



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Diseño de un sistema de riego para cultivos de maíz y maní, en la propiedad del Sr. Barbariano Vera, ubicada en el barrio Cardopamba, cantón Celica.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de ingeniero en Electromecánica.

AUTOR:

Lenin Aníbal Vera Córdova

DIRECTOR:

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo. Mg. Sc

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 30 de enero de 2023

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo. Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego para cultivos de maíz y maní, en la propiedad del Sr. Barbariano Vera, ubicada en el barrio Cardopamba, cantón Celica,** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electromecánica,** de la autoría del estudiante **Lenin Anibal Vera Cordova,** con **cédula de identidad Nro.1105497802,** 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 DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Lenin Anibal Vera Cordova**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus 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 de identidad: 1105497802

Fecha: 20/03/2023

Correo electrónico: lenin.vera@unl.edu.ec

Teléfono: 0996996340

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

Yo, **Lenin Anibal Vera Cordova**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego para cultivos de maíz y maní, en la propiedad del Sr. Barbariano Vera, ubicada en el barrio Cardopamba, cantón Celica**, como requisito para optar 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 puedan 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 por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veinte días del mes de marzo de dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Lenin Anibal Vera Cordova

Cédula: 1105497802

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

Correo electrónico: lenin.vera@unl.edu.ec

Teléfono: 0996996340

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

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado con todo cariño a mis padres Barbariano Vera y Rosa Cordova, quienes son el pilar principal para mi formación académica superior. Quienes me supieron inculcar los valores de respeto, responsabilidad, dedicación y superación. A mis maestros que compartieron sus conocimientos durante el transcurso de mi carrera universitaria y a todas las personas que me apoyaron hasta el final de esta etapa de formación profesional.

Agradecimientos

A mi familia por apoyarme en cada momento para realizar la presente investigación. A mis compañeros y amigos por el apoyo a lo largo 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 impartidos a lo largo de todos los ciclos académicos de estudio, en especial al Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc. por su colaboración para la culminación del presente Trabajo de Titulación.

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de figuras:.....	xiii
Índice de tablas:	xv
Índice de anexos:.....	xviii
Simbología:	xx
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1 Análisis del suelo	6
4.1.1 Textura del suelo	6
4.1.2 Triángulo de texturas	6
4.1.3 Velocidad de infiltración	7
4.2 Cultivo	8
4.2.1 Maíz	8
4.2.2 Maní	10
4.3 Parámetros climáticos	10
4.3.1 Precipitación	10
4.3.2 Datos meteorológicos	11

4.4	Parámetros atmosféricos	12
4.4.1	Presión atmosférica (P)	12
4.4.2	Calor latente de vaporización (λ).....	12
4.4.3	Constante psicrométrica (γ).....	12
4.4.4	Temperatura del aire	13
4.4.5	Humedad del aire	13
4.4.6	Presión media de vapor de saturación (e_s).....	14
4.4.7	Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ)	14
4.4.8	Presión real de vapor (e_a), derivada de datos de humedad relativa.....	15
4.4.9	Radiación	15
4.5	Evapotranspiración.....	21
4.5.1	Evapotranspiración del cultivo ET_c	22
4.6	Riego	24
4.6.1	Agua disponible total (ADT)	24
4.6.2	Agua fácilmente aprovechable (AFA)	26
4.7	Cropwat 8.0 y Climwat 2.0	28
4.7.1	Cropwat 8.0.....	28
4.7.2	Climwat 2.0.....	29
4.8	Soil Water Characteristics.....	30
4.9	Riego por aspersión.....	30
4.9.1	Tipos de Aspersores.....	31
4.9.2	Conceptos generales.....	32
4.10	Pérdidas de carga.....	33
4.10.1	Propiedades de los fluidos	34
4.10.2	Densidad	34
4.10.3	Velocidad de flujo.....	34
4.10.4	Peso específico.....	34

4.10.5	Viscosidad dinámica	35
4.10.6	Viscosidad cinemática	35
4.10.7	Propiedades de las tuberías	36
4.10.8	Número de Reynolds.....	36
4.10.9	Factor de fricción para flujo turbulento	37
4.10.10	Pérdidas de carga en la tubería.....	37
4.10.11	Ecuación de Darcy - Weisbach para la pérdida de energía.....	38
4.10.12	Pérdidas menores	38
4.11	Energía añadida al fluido h_A	41
4.12	Ecuación general de la energía.....	42
4.13	Selección y aplicación de bombas.....	42
4.13.1	Tipos de bombas	42
4.13.2	Bombas cinéticas	42
4.13.3	Potencia suministrada por una bomba al fluido	45
4.13.4	Eficiencia mecánica de las bombas.....	46
4.13.5	Cavitación	46
4.14	Sistema energético	48
4.14.1	Redes de distribución eléctrica	48
4.14.2	Criterios de diseño	48
4.14.3	Capacidad de transformadores	50
4.14.4	Cálculos de caída de tensión	51
4.14.5	Diseño de líneas y redes aéreas para media tensión	52
4.14.6	Diseño mecánico.....	53
4.14.7	Límites de partida en el cálculo de un conductor	57
4.14.8	Hipótesis de velocidad de viento máxima y temperatura mínima	59
4.14.9	Hipótesis de la condición diaria.....	59
4.14.10	Hipótesis de la temperatura máxima ambiente	59

4.14.11 Ecuación de la catenaria.....	60
4.14.12 Cálculo de flechas	60
4.14.13 Cálculo del esfuerzo útil del poste	61
4.14.14 Vano vs tipo de estructura.....	63
4.14.15 Amortiguadores.....	64
4.14.16 Postes	64
4.14.17 Aisladores	64
4.14.18 Cálculo de vanos	66
4.14.19 Distancia entre fases.	68
4.14.20 Distancias mínimas del conductor al suelo	69
4.14.21 Determinación de las franjas de servidumbre	69
4.14.22 Vano peso.....	69
4.14.23 Vano viento	70
4.14.24 Distancia de los conductores al terreno	70
4.14.25 Puesta a tierra.....	71
4.15 Trabajos relacionados.....	71
5. Metodología.....	74
5.1 Área de estudios	74
5.2 Materiales	75
5.3 Procedimiento	75
5.4 Procesamiento y análisis de datos	78
5.4.1 Cálculos de parámetros meteorológicos y parámetros de riego.....	78
5.4.2 Cálculo de parámetros hidráulicos.....	86
5.4.3 Sistema energético	98
5.4.4 Parámetros de diseño	98
5.4.5 Cálculo del transformador.....	99
5.4.6 Cálculo del esfuerzo útil del poste	108

5.4.7	Herrajes y accesorios	110
5.4.8	Puesta a tierra	110
5.4.9	Selección de los elementos del circuito	110
6.	Resultados	112
6.1	Evapotranspiración.....	112
6.1.1	Evapotranspiración de referencia.....	112
6.1.2	Factor Kc de los cultivos.....	113
6.1.3	Evapotranspiración de los cultivos bajo condiciones estándar y lámina bruta obtenidos a partir del software Cropwat 8.0.....	114
6.2	Valores críticos de caudal, lámina bruta, lámina neta y evapotranspiración de los cultivos analizados	117
6.3	Frecuencia de riego y tiempo de riego	118
6.4	Diseño hidráulico del sistema de riego	118
6.4.1	Sistema de distribución	118
6.4.2	Sistema de riego de alimentación	122
6.5	Diseño del sistema energético para la alimentación del sistema de riego.....	125
6.5.1	Descripción geográfica del lugar	125
6.5.2	Perfil de la red Cardopamba	125
6.5.3	Ubicación de los vanos	126
6.5.4	Selección del conductor y caída de tensión de la red de media tensión	126
6.5.5	Transformadores para proyectos de urbanizaciones, lotizaciones y proyectos rurales	127
6.5.6	Cálculos mecánicos del conductor de la red de media tensión	127
6.5.7	Distancia entre la superficie del suelo y el conductor.....	129
6.5.8	Cadena de aisladores.....	129
6.5.9	Vano máximo por péndulo.....	129
6.5.10	Flecha máxima permitida por la altura de la estructura	129

6.5.11 Distancia entre fases	129
6.5.12 Vano regulador.....	129
6.5.13 Vano peso y vano viento.....	129
6.5.14 Altura de enterramiento de los postes	130
6.5.15 Esfuerzo útil de los postes.....	130
6.5.16 Herrajes y accesorios	131
6.5.17 Elementos de para los circuitos de accionamiento de las bombas hidráulicas	131
6.6 Presupuesto total de la obra.....	131
7. Discusión	132
8. Conclusiones	134
9. Recomendaciones	135
10. Bibliografía	136
11. Anexos	139

Índice de figuras:

Figura 1. Triángulo de texturas.....	6
Figura 2. Componentes de la radiación	19
Figura 3. Curva generalizada del coeficiente de cultivo.....	23
Figura 4. Representación del agua disponible total (<i>ADT</i>).....	25
Figura 5. Medida de presión en la boquilla del aspersor usando un manómetro.....	33
Figura 6. Contracción súbita.....	39
Figura 7. Coeficientes de resistencia de entrada.....	40
Figura 8. Bomba centrífuga accionada por un motor, sobre una base.....	43
Figura 9. Bomba centrífuga.....	43
Figura 10. Rodete de una bomba centrífuga.....	44
Figura 11. Curvas características de una bomba centrífuga.....	45
Figura 12. Aislador de Suspensión, Porcelana, Clase ANSI 52-1, 15 kV.....	65
Figura 13. Aislador Espiga (Pin), de Porcelana, Clase ANSI 55-5, 15 kV.....	65
Figura 14. Aislador Rollo, de Porcelana, Clase ANSI 53-2, 0,25 kV.....	66
Figura 15. Aislador de Retenida, Porcelana, ANSI 54-2.....	66
Figura 16. Gravivano y eolovano.....	70
Figura 17. Lugar de diseño del sistema de riego.....	75
Figura 18. Selección del país donde se va a analizar la estación meteorológica.....	76
Figura 19. Estación meteorológica analizada para el objeto de estudio.....	76
Figura 20. Extracción de datos para la lectura con el software Cropwat 8.0.....	77
Figura 21. Datos obtenidos del software Cropwat 8.0 de la estación meteorológica MACARA – J.M. -VELASCO I.....	77
Figura 22. Toma de muestras de suelo del lugar de análisis.....	78
Figura 23. Clasificación de las muestras de suelo para enviar al laboratorio.....	78
Figura 24. Evapotranspiración del cultivo de referencia para el año analizado.....	112
Figura 25. Evapotranspiración del cultivo de referencia para el año analizado en el barrio Cardopamba, propiedad del sr. Barbariano Vera.....	113
Figura 26. Evapotranspiración de los cultivos de maíz y maní para el año analizado en el barrio Cardopamba, propiedad del sr. Barbariano Vera.....	115
Figura 27. Valores de lámina bruta en mm para el primer periodo del cultivo de maíz en la propiedad del sr. Barbariano Vera.....	116

Figura 28. Valores de lámina bruta obtenidos para el cultivo de maíz en su segundo período de producción en la propiedad del sr. Barbariano Vera.....	116
Figura 29. Valores de lámina bruta obtenidos para el cultivo de maní en el primer período de producción, en la propiedad del sr. Barbariano Vera.....	117
Figura 30. Valores de lámina bruta obtenidos para el cultivo de maní en el segundo período de producción, en la propiedad del sr. Barbariano Vera.	117
Figura 31. Bomba centrífuga IHM- 20A – 10MW.....	120
Figura 32. Curva del sistema, para el sistema de riego de distribución.....	121
Figura 33. Curva de la bomba, para el sistema de riego de distribución.	121
Figura 34. Análisis del punto de operación sistema – bomba, y proyección hasta el punto de intersección.	122
Figura 35. Análisis del punto de operación sistema – bomba, y proyección hasta el punto de intersección, en el sistema de alimentación de riego.	124
Figura 36. Ubicación geográfica del sector donde se realizó el diseño de la red.	125
Figura 37. Sección del perfil topográfico de la red Cardopamba.	126
Figura 38. Transformador 15 kVA.	127

Índice de tablas:

Tabla 1. Tipos de suelo y texturas de acuerdo con la clasificación americana.....	7
Tabla 2. Valores referenciales de velocidad de infiltración básica o estabilizada según textura del suelo.	8
Tabla 3. Tipos de maíz.....	8
Tabla 4. Consumo de agua promedio por etapa fenológica para una variedad típica intermedia de maíz.	9
Tabla 5. Requerimientos hídricos del maní por fase o ciclo.	10
Tabla 6. Precipitación anual en el barrio Cardopamba según CCAAA,2015.....	11
Tabla 7. Duración de las etapas de crecimiento de los cultivos de maíz y maní para distintas regiones	23
Tabla 8. Valores tabulados de Kc , para los cultivos de maíz y maní bajo condiciones estándar.	24
Tabla 9. Valores de profundidad radicular para cultivos de maíz y maní.	26
Tabla 10. Densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez según la textura del suelo.	26
Tabla 11. Eficiencia de aplicación de agua para diferentes sistemas de riego.....	28
Tabla 12. Valores de viscosidad seleccionados a partir del apéndice D del libro de Mott.....	35
Tabla 13. Rugosidad absoluta de la tubería hecha de diferentes materiales.	36
Tabla 14. Rango de velocidades recomendadas para sistemas de fluidos.	37
Tabla 15. Coeficiente de resistencia K , para contracción súbita.	39
Tabla 16. Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería, (LeD).	40
Tabla 17. Nivel de aislamiento BIL de acuerdo con el nivel de voltaje.	48
Tabla 18. Demandas máximas proyectadas según el tipo de usuario para el sector rural.	49
Tabla 19. Factor de sobrecarga de los transformadores.....	50
Tabla 20. Criterios para la resolución de la ecuación de cambio de estado.....	55
Tabla 21. Criterios para la resolución de la ecuación de cambio de estado.....	56
Tabla 22. Valores recomendados para líneas aéreas de hasta 30 kV.....	58
Tabla 23. Valores recomendados para líneas aéreas de hasta 30 kV.....	58
Tabla 24. Parámetros para la hipótesis de velocidad de viento máxima.....	59
Tabla 25. Parámetros para la hipótesis de velocidad de temperatura mínima.	59

Tabla 26. Parámetros para la hipótesis de condición diaria.	59
Tabla 27. Parámetros para la hipótesis de temperatura máxima ambiente.	60
Tabla 28. Número de postes a usarse de acuerdo a la longitud del vano.	63
Tabla 29. Número de amortiguadores de acuerdo con la longitud de vano.	64
Tabla 30. Coeficiente de oscilación de los conductores.	67
Tabla 31. Coeficiente de oscilación de los conductores.	69
Tabla 32. Distancias excepcionales para franjas de servidumbre.	69
Tabla 33. Mediciones obtenidas a partir de los programas CLIMWAT 2.0 y CROPWAT 8.0 en el transcurso de un año tomado	79
Tabla 34. Valores de lámina neta referenciales obtenidas a partir del software CROPWAT 8.0.	85
Tabla 35. Valores de algunos elementos que condicionan el diseño del sistema de riego.	87
Tabla 36. Características de la bomba marca IHM 20A – 10MW.	97
Tabla 37. Descripción de elementos para el cálculo de la capacidad del transformador.	100
Tabla 38. Parámetros del primer vano de la red.	101
Tabla 39. Factor Kc para los cultivos de maíz y maní clasificados mediante las etapas más representativas de cada cultivo obtenidos de la publicación Serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 24	113
Tabla 40. Duración de las etapas representativas de los cultivos de maíz y maní en distintas regiones del mundo.	114
Tabla 41. Valores críticos obtenidos de los cultivos de maíz y maní en sus dos periodos de producción durante un año.	118
Tabla 42. Valores de mayor demanda para el sistema de riego obtenidos del análisis de las condiciones del lugar donde se realiza el diseño de sistema de riego.	118
Tabla 43. Parámetros hidráulicos del sistema de riego de distribución.	118
Tabla 44. Valores de pérdidas para el sistema de riego de distribución.	119
Tabla 45. Parámetros de la bomba centrífuga seleccionada para el sistema de riego de distribución.	119
Tabla 46. Parámetros hidráulicos del sistema de alimentación de riego.	122
Tabla 47. Parámetros de la bomba centrífuga seleccionada para el sistema de riego de alimentación.	123
Tabla 48. Longitud y ubicación de los vanos de la red Cardopamba.	126
Tabla 49. Características del transformador de 15 kVA seleccionado.	127

Tabla 50. Temperaturas en °C, máxima, mínima y promedio obtenidas del registro de un año de anterioridad.....	128
Tabla 51. Tensiones para condiciones finales obtenidas a partir de la ecuación de cambio de estado.	128
Tabla 52. Flechas generadas en el conductor de acuerdo al cambio de temperatura.....	129
Tabla 53. Vano peso y vano viento de la red Cardopamba.....	130
Tabla 54. Esfuerzo útil para las estructuras de la red de media tensión Cardopamba.	130
Tabla 55. Accionamientos eléctricos para el funcionamiento de las bombas.....	131
Tabla 56. Presupuesto total de la obra.	131

Índice de anexos:

Anexo 1. Entrevista de obtención de parámetros para el diseño del sistema de riego.	139
Anexo 2. Fichas técnicas de la variedad de maíz sembradas por los dueños del predio.	143
Anexo 3. Tabla de resultados de la velocidad del viento en relación con la altura para todos los meses del año.....	146
Anexo 4. Evapotranspiración de referencia para los meses del año en análisis.	147
Anexo 5. Estudio de suelo del lugar de análisis.	148
Anexo 6. Estudio topográfico.	149
Anexo 7. Ficha técnica aspersor.	150
Anexo 8. Propiedades del agua SI.	151
Anexo 9. Curva de desnivel para la línea principal.	152
Anexo 10. Ficha técnica PLASTIGAMA para mangueras de polietileno (PE)	153
Anexo 11. Catálogo de selección para bombas IHM y curva de rendimiento.	154
Anexo 12. Presión de vapor y carga de presión de vapor para el agua.	156
Anexo 13. Selección de los puntos para la obtención de la curva de la bomba.	157
Anexo 14. Elementos que componen el sistema hidráulico de alimentación.....	158
Anexo 15. Elementos que componen el sistema hidráulico de distribución.	159
Anexo 16. Factor de caída de tensión [FDV], alimentadores primarios [kVA – KM].....	160
Anexo 17. Longitud entre vanos y denominación de los postes.....	161
Anexo 18. Anotaciones del conductor Sparrow 2 (2).....	162
Anexo 19. Computo de caída de tensión red primaria.....	163
Anexo 20. Computo de caída de tensión red secundaria.	164
Anexo 21. Elementos de las redes eléctricas y accionamiento de las bombas hidráulicas. ..	165
Anexo 22. Plano de distribución de los aspersores.....	167
Anexo 23. Plano del sistema de riego de alimentación.	168
Anexo 24. Plano del sistema de riego de distribución.....	169
Anexo 25. Plano de la red de media y baja tensión.	170
Anexo 26. Plano del circuito de fuerza del sistema de riego de alimentación.	171
Anexo 27. Plano del circuito de mando del sistema de riego de alimentación.	172
Anexo 28. Plano del circuito de fuerza del sistema de riego de distribución.....	173
Anexo 29. Plano del circuito de mando del sistema de riego de distribución.	174
Anexo 30. Hoja de cálculo de parámetros de diseño hidráulico sistema de riego de	

distribución.....	175
Anexo 31. Hoja de cálculo de parámetros de diseño hidráulico sistema de riego de alimentación.....	176
Anexo 32. Elementos de Accionamiento eléctrico.....	177
Anexo 33. Cotizaciones realizadas a fin de obtener el presupuesto total de la obra.	179
Anexo 34. Certificación de la traducción del resumen.....	182

Simbología:

ω_s Ángulo de radiación a la puesta del sol.

P Presión atmosférica.

z Elevación sobre el nivel del mar.

γ Constante psicrométrica.

λ Calor latente de vaporización.

c_p Calor específico a presión constante.

ε Cociente del peso molecular de vapor de agua / aire seco.

$e^\circ(T)$ Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T .

T Temperatura del aire.

Δ Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T .

e_a Presión real de vapor.

$e^\circ(T_{\min})$ Presión de saturación de vapor a la temperatura mínima diaria.

$e^\circ(T_{\max})$ Presión de saturación de vapor a la temperatura máxima diaria.

HR_{\max} Humedad relativa máxima.

HR_{\min} Humedad relativa mínima.

R_a Radiación extraterrestre.

G_{sc} Constante solar.

d_r Distancia relativa tierra-sol.

φ Latitud.

δ Declinación solar.

N_i Duración máxima de insolación.

R_s Radiación solar de onda corta.

n Duración real de la insolación.

N Duración máxima posible de la insolación.

$\frac{n}{N}$ Duración relativa de la insolación.

R_a Radiación extraterrestre.

a_s Constante de regresión.

$a_s + b_s$ Fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados.

R_{s0} Radiación solar en un día despejado.

R_{ns} Radiación neta solar o de onda corta.

α Albedo o coeficiente de reflexión del cultivo.

R_s Radiación solar entrante.

R_{nl} Radiación neta de onda larga.

σ Constante de Stefan-Boltzmann.

$T_{\max,K}$ Temperatura máxima absoluta en un periodo de 24 horas.

$T_{\min,K}$ Temperatura mínima absoluta en un periodo de 24 horas.

R_n Radiación neta.

G Flujo de calor del suelo.

c_s Capacidad calorífica del suelo.

T_i Temperatura del aire en el tiempo i .

T_{i-1} Temperatura del aire en el tiempo $i-1$.

Δt Intervalo de tiempo considerado.

Δz Profundidad efectiva del suelo.

u_2 Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie.

u_z Velocidad del viento.

z Altura de medición sobre la superficie.

ET_o Evapotranspiración de referencia.

ET_c Evapotranspiración del cultivo.

K_c	Coefficiente del cultivo.	f	Factor de fricción.
ADT	Agua total disponible en la zona radicular del suelo.	h_L	Pérdidas de energía debida a la fricción.
CC	Capacidad de campo.	L	Longitud de tubería.
PMP	Punto de marchitez.	K	Coefficiente de resistencia.
P_r	Profundidad de las raíces.	$\frac{L_e}{D}$	Longitud equivalente en diámetros de tubería.
da	Densidad aparente.	h_A	Energía añadida al fluido.
AFA	Agua fácilmente aprovechable (extraíble) de la zona radicular del suelo.	P_h	Potencia hidráulica.
p	Fracción promedio del total de agua disponible.	η_B	Eficiencia de la bomba.
Ln	Lámina neta.	P_h	Potencia suministrada por la bomba al fluido.
f_A	Fracción de agotamiento.	P_B	Potencia suministrada a la bomba.
L_T	Lámina total de riego.	h_{sp}	Carga de presión estática.
Ln	Lámina neta.	h_s	Diferencia de elevación.
E_A	Eficiencia de aplicación.	h_f	Pérdida de carga en la tubería de succión.
f_r	Frecuencia de riego.	h_{vp}	Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.
T_R	Tiempo de riego.	DMP	Demanda máxima proyectada en el punto dado.
V_I	Velocidad de infiltración.	DMUp	Demanda máxima unitaria proyectada.
ρ	Densidad.	N	Número de usuarios.
m	Masa.	FC	Factor de coincidencia.
V	Volumen.	DMD	Demanda máxima de diseño.
v_f	Velocidad de flujo.	AP	Carga de alumbrado público.
Q	Caudal.	Ce	Cargas especiales (puntuales).
A	Área de la sección transversal.	MD _T	Demanda máxima de diseño del transformador.
γ_l	Peso específico.	FS	Factor de sobrecarga.
g	Constante gravitacional.	L_{red}	Longitud de la red.
ν	Viscosidad cinemática.	f_{dv}	Factor de caída de voltaje.
η	Viscosidad dinámica.	$kVA_{caída_total}$	Caída de tensión total.
ε	Rugosidad absoluta.		
D	Diámetro de la tubería.		
N_R	Número de Reynolds.		

$\#_{\text{cond}}$ Cantidad de conductores.
 $\text{Volt}_{\text{línea}}$ Voltaje de línea.
 D_m Distancia entre conductores.
 r Radio del conductor.
 ϵ Permisividad del vacío.
 γ_{cond} Peso específico del conductor.
 $P_{\text{unit_cond}}$ Peso unitario del conductor.
 S_{cond} Sección total del conductor.
 $C_{\text{unit_viento}}$ Carga unitaria en el conductor por efecto del viento.
 V_{viento} Velocidad del viento.
 D_{cond} Diámetro del conductor.
 T_{rot} Tensión de rotura.
 T_2 Tensión unitaria, condición final a calcular.
 T_1 Tensión unitaria, condición inicial.
 θ_1 Temperatura inicial del cable.
 θ_2 Temperatura final del cable.
 ω Peso del cable o peso aparente del cable en condiciones de carga del viento.
 m_1 Coeficiente de sobrecarga por velocidad del viento condición inicial.
 m_2 Coeficiente de sobrecarga por velocidad viento, condición final.
 a Vano horizontal.
 E Módulo de elasticidad del cable.
 α Coeficiente de dilatación lineal del cable.
 Q_r Carga de rotura del conductor.
 K Coeficiente de seguridad.
 t_2 Tensión de tendido del conductor.
 D_{cond} Diámetro del conductor.
 T_2 Tensión del conductor en condiciones finales.

T_{rotura} Tensión de rotura del conductor.
 C_{seg} Coeficiente de seguridad.
 q Fuerza del viento.
 v_v Velocidad del viento.
 p_{viento} Peso del viento.
 $p_{\text{conductor}}$ Peso del conductor.
 pt Peso total y unitario del conductor.
 p Peso unitario del conductor.
 Ph Peso unitario del hielo.
 L_0 Longitud del cable tendido en estado inicial.
 L Longitud del cable tendido en estado final.
 pt_0 Peso unitario total del cable en estado inicial.
 Pt Peso unitario total del cable en estado final.
 t_0 Temperatura del cable en estado inicial.
 t Temperatura del cable en estado final.
 T_0 Tensión del cable en estado inicial.
 δ Coeficiente de dilatación lineal del cable.
 c Parámetro de la catenaria.
 w_c Peso propio del conductor.
 $T_{\text{máx}}$ Tensión mecánica máxima del conductor.
 f Flecha.
 h Parámetro del conductor.
 th Tensión mecánica horizontal.
 x_m Abscisa media de la longitud horizontal del vano desnivelado.
 x_d Abscisa extrema derecha de la longitud horizontal del vano, desnivelado.

x_i	Abscisa extrema izquierda de la longitud horizontal del vano desnivelado.	A_{ev}	Área expuesta al viento del elemento.
P_{v1}	Presión del viento sobre el área rectangular.	a_r	Vano regulador.
P_{v2}	Presión del viento sobre el área circular.	d_f	Separación entre conductores en la misma estructura.
M_{VC}	Momento debido a la carga del viento sobre los conductores.	K	Coefficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.
M_{VP}	Momento debido a la carga del viento sobre el poste, aplicado sobre su centro de gravedad.	λ	Longitud de la cadena de aisladores en suspensión.
$M_{VC\alpha}$	Momento debido a los conductores por el ángulo de la línea.	L_m	Altura de montaje del conductor más bajo en la estructura.
M_{CV}	Momento debido a la carga del viento sobre otros elementos instalados en el poste.	h_{min}	Altura mínima del conductor al terreno.
$d1$	Ancho del poste en su parte superior.	s_{cond}	Separación entre conductores.
$d2$	Ancho del poste en la línea de empotramiento.	L_c	Longitud de la cadena de aisladores.
ϕ_C	Diámetro del conductor.	A	Separación mínima en medio vano.
h_i	Altura del conductor "i" con respecto al suelo.	V_s	Velocidad del viento de diseño.
a_v	Vano viento.	S_1	Coefficiente de topografía.
a_g	Vano peso.	S_2	Coefficiente de rugosidad del terreno.
H_p	Longitud del poste.	S_3	Coefficiente del grado de seguridad y vida útil.
H_e	Altura de empotramiento del poste.	S_4	Coefficiente de la variación de la densidad del aire.
H_l	Altura libre del poste.	D_v	Distancia vertical.
Co	Conicidad	D_0	Distancia de seguridad.
H_g	Centro de gravedad del poste.	V_n	Voltaje fase-fase nominal del conductor.
α	Angulo de desvío topográfico.	f_c	Factor de corrección a partir de los 1000 msnm.
To	Tensión de tendido de la línea.		
Pa	Peso de los aisladores.		
Ph	Peso de la herrajería.		

1. Título

**Diseño de un sistema de riego para cultivos de maíz y maní, en la propiedad del Sr.
Barbariano Vera, ubicada en el barrio Cardopamba, cantón Celica**

2. Resumen

Los cultivos para desarrollarse de manera óptima necesitan extraer agua del suelo, cuando el contenido de agua es bajo se dificulta la absorción, por ello es necesario regar para reponerla y que esté disponible para las plantas. La propiedad del Sr. Barbariano Vera se encuentra ubicada en el barrio Cardopamba cantón Celica, posee un clima cálido seco y durante el transcurso del año se presentan dos temporadas bien marcadas: seca y lluviosa. Se puede aumentar la producción porque se cuenta con el afluente hídrico del río Catamayo y el presente estudio técnico que avalen la construcción de un sistema de riego. El objetivo principal del presente proyecto es “Realizar un sistema de riego para cultivos de maíz y maní, en la propiedad del sr. Barbariano Vera, ubicada en el barrio Cardopamba, cantón Celica”. La obtención de la demanda de riego se realizó mediante el estudio del suelo y el uso de softwares para el análisis de datos climáticos y fichas técnicas de los cultivos que proporcionaron la información necesaria para el diseño del sistema de riego. El diseño del sistema hidráulico se realizó para las condiciones críticas de los cultivos y la selección de las bombas que abastecerán el reservorio y distribuirán el agua hacia los aspersores. El diseño del sistema eléctrico se realizó considerando las cargas de las bombas y de los elementos que integran el sistema de riego, el mismo fue determinado a partir de reglamentos nacionales, locales y normas técnicas para la determinación y selección de cada uno de los elementos. Se determinó que la mayor demanda de riego por hectárea es de 430 m^3 y que las bombas monofásicas a usar deben poseer una potencia de 10 HP. El sistema eléctrico se determinó a partir de las cargas existentes y es necesario un transformador de 15 kVA.

Palabras claves: Sistema de riego, Cropwat,, cultivo de maní, cultivo de maíz bombas hidráulicas,

2.1 Abstract

Crops to develop optimally need to extract water from the soil, when the water content is low absorption is difficult, so it is necessary to irrigate to replenish it and make it available to plants. The property of Mr. Barbariano Vera is in the Cardopamba neighborhood, in the Celica canton, it has a dry-warm climate, and during the course of the year, there are two distinct seasons: dry and rainy. We can increase the production because it has the water affluent of the Catamayo River, and this technical study supports the construction of an irrigation system. The main objective of this project is "Carry out an irrigation system for corn and peanut crops in the property of Mr. Barbariano Vera, located in the neighborhood of Cardopamba, Celica." We obtained the irrigation demand through the study of the soil and the use of software for the analysis of climatic data and crop data sheets that provided the necessary information for the design of the irrigation system. We designed the hydraulic system for the critical conditions of the crops and the selection of the pumps that will supply the reservoir and distribute the water to the sprinklers. We considered the concept of the electric system considering the loads of the pumps and the elements that make up the irrigation system, which we determined based on national and local regulations and technical standards for the determination and selection of each component. We estimated that the highest irrigation demand per hectare is 430 m^3 and that the single-phase pumps used should have a power of 10 HP. We established that the electric system from the existing loads and a 15 kVA transformer is required.

Keywords: Irrigation System, Cropwat, Peanut Crop, Corn Crop Hydraulic Pumps,

3. Introducción

De acuerdo con Gómez Fernández (2010), los sistemas de riego por aspersión requieren de energía suficiente para su buen funcionamiento, a fin de alcanzar los valores de presión necesarios en la red de riego y en los emisores, garantizando su correcto funcionamiento. La propiedad del Sr. Barbariano Vera se encuentra ubicada en el barrio Cardopamba, cantón Celica, cuya zona es altamente productiva. Entre los principales cultivos se tiene maíz y maní; además cuenta con el afluente hídrico del río Catamayo. En este sector se presentan durante el año dos temporadas marcadas: lluviosa y seca.

La inexistencia de un estudio técnico que valide el diseño de un sistema de riego para cultivos de maíz maní, nos lleva a plantear el tema de investigación denominado, “Diseño de un sistema de riego para cultivos de maíz y maní, en la propiedad del sr. Barbariano Vera, ubicada en el barrio Cardopamba, cantón Celica”, que tiene elevada importancia en el desarrollo de proyectos hidráulicos y energéticos así mismo la consideración de diversos factores que ayuden a determinar la demanda hídrica más alta.

Los beneficios al desarrollar el presente trabajo de investigación es aportar al conocimiento científico de las personas involucradas; además, obtener una metodología de cálculo para el diseño de sistemas de riego y sistemas energéticos que promueva el uso de recursos naturales existentes.

Este trabajo tiene estrecha relación con la publicación de Villegas & Torres (2006), para calcular la demanda de riego y obtener datos relevantes de los cultivos. Los elementos hidráulicos se calcularon de acuerdo con la metodología empleada Mott (2015) y las publicaciones de CONGOPE (2016), mientras que el enfoque del sistema energético esta desarrollado con base en normativas técnicas tales como EERSSA (2012), MEER (2013b), CNEL EP (2015) y EBSA (2010).

El proyecto se compone de un objetivo general y tres específicos, el objetivo general es, “Realizar un sistema de riego para cultivos de maíz y maní, en la propiedad del sr. Barbariano Vera, ubicada en el barrio Cardopamba, cantón Celica”, con base en este objetivo se plantearon los objetivos específicos requeridos para su cumplimiento.

Primeramente, se plantea, “Realizar el estudio de la demanda de riego considerando parámetros climáticos, desarrollo de cultivo y tipo de suelo”, mediante el uso de distintos softwares de parámetros climáticos y el uso de la metodología de cálculo de Villegas & Torres (2006), levantamiento topográfico y estudio del suelo realizado en el lugar donde se plantea el diseño del sistema de riego.

Seguidamente tenemos, “Diseñar un sistema de riego para cultivos de maíz y maní”, el sistema de riego debe satisfacer las necesidades de los cultivos en las condiciones más críticas en el transcurso del año, mediante el uso de la metodología de cálculo de Mott (2015).

Finalmente tenemos “Diseñar el sistema energético para alimentar el sistema de riego”, se realizó el diseño del sistema energético que alimenta el sistema de riego y se propone el diseño de una red de media y baja tensión monofásica que se inicia a partir de la red que existe en la actualidad de 7,967 kV.

4. Marco Teórico

4.1 Análisis del suelo

4.1.1 Textura del suelo

La textura del suelo se relaciona con los procesos de degradación y potencial de producción. La determinación de las propiedades del suelo es esencial para determinar su apropiado manejo y realizar la planificación de actividades agrícolas (Forestal et al., 2016).

La textura indica el contenido de partículas de arena, limo y arcilla en el suelo. Así mismo influye como la densidad aparente, la porosidad y por lo tanto el movimiento y el almacenamiento de fluidos (aire y agua) en el suelo (Forestal et al., 2016).

4.1.2 Triángulo de texturas

El conjunto de arenas, limos y arcillas del suelo es el componente sólido y es lo que define la textura del suelo, en función de su composición los suelos poseen diferente capacidad de retención de humedad, que depende también del contenido de materia orgánica presente, aspectos determinantes para la buena práctica de riego.

Existen dos escalas de clasificación de texturas: la internacional y la americana, de las cuales esta última es la más utilizada, **Figura 1**. Son conocidas como triángulo de texturas (Valdés, 2008).

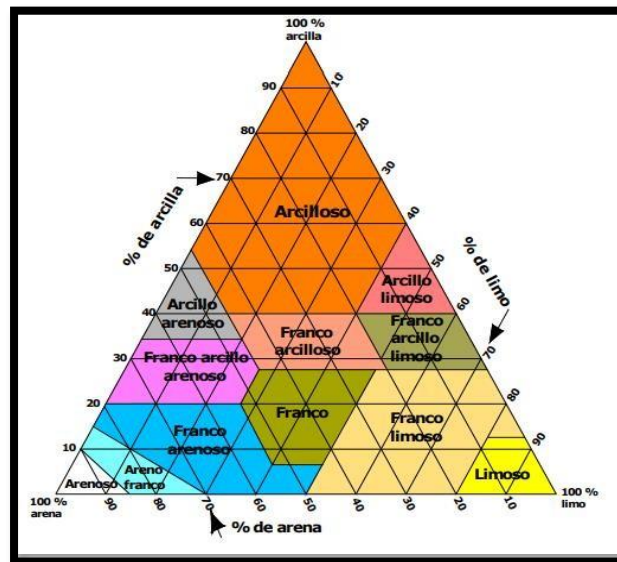


Figura 1. Triángulo de texturas.

Fuente. (Valdés, 2008)

Para fines prácticos los suelos también se clasifican como familia de texturas que se denominan pesados (textura fina), medios (textura intermedia) y livianos de (de textura gruesa).

En la **Tabla 1**, se muestran las doce clases texturales de acuerdo con la clasificación

americana, además el porcentaje de los contenidos de las fracciones de arena, limo y arcilla.

Tabla 1. Tipos de suelo y texturas de acuerdo con la clasificación americana.

Tipo de suelo	Textura	Relación Arena-limo-arcilla (%)	Símbolo
Livianos	Arenoso	90-5-5	a
	Arenoso franco	80-15-5	aF
	Franco arenoso	65-25-10	Fa
	Franco	40-40-20	F
Medios	Franco limoso	20-65-15	FL
	Franco arcilloso arenoso	35-35-30	FAa
	Franco arcilloso	35-30-35	FA
	Franco arcillo limoso	10-35-55	FAL
	Limoso	10-85-5	L
Pesados	Arcillo arenoso	55-5-40	Aa
	Arcillo limoso	5-50-45	AL
	Arcilloso	10-20-60	A

Fuente. (Valdés, 2008)

4.1.3 Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración permite estimar la penetración del agua en el suelo, se puede medir como una lámina en función de la profundidad y el tiempo. Existen algunos métodos para medir el comportamiento de la lámina de agua en el suelo (Ávila-Dávila et al., 2019).

La velocidad de infiltración depende de muchos factores, entre ellos: la lámina de riego o de lluvia, la temperatura del agua y del suelo, la estructura y compactación, textura, contenido de humedad del suelo, estratificación y actividades microbianas (Quispe Aquino, 2018).

Conocer la velocidad de infiltración, permite que a través de un modelo matemático llegar a predecir el tiempo de riego que se necesita para reponer una determinada cantidad de agua en el suelo para satisfacer las necesidades del cultivo (Lulacam, 2019).

La velocidad de infiltración será más rápida en suelos arenosos y más lenta en suelos arcillosos.

Al comenzar un riego, el suelo absorbe agua rápidamente; sin embargo, a medida que transcurre el tiempo, el suelo se va saturando gradualmente y la velocidad de infiltración va

disminuyendo hasta alcanzar un valor prácticamente constante, llamado: velocidad de infiltración básica o estable (Lulacam, 2019).

En la **Tabla 2** se muestran los valores de la velocidad de infiltración básica para algunos tipos de texturas de suelos existentes.

Tabla 2. Valores referenciales de velocidad de infiltración básica o estabilizada según textura del suelo.

Textura	Velocidad de infiltración (mm/hr)
Arcilloso	< 5
Franco - arcilloso	5 - 10
Franco	10 - 20
Franco – arenoso	20-30
Arenoso	> 30

Fuente. (Lulacam, 2019)

4.2 Cultivo

4.2.1 Maíz

El maíz (*Zea mays* L), es uno de los cereales más antiguos que se conocen. Pertenecen a la familia Poaceae, la tribu Maydeas, y es la única especie cultivada del género. Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamado teosinte, y del género *Tripsacum*, llamado arrocillo o maicillo, son parientes silvestres de maíz. Se clasifican como nuevo mundo porque su origen está en América (Paliwal, 2001).

4.2.1.1 Tipos de maíz.

En la **Tabla 3** se pueden mostrar algunos tipos de maíz.

Tabla 3. Tipos de maíz.

Tipos de maíz
Amarillo duro
Blanco duro
Blanco dentado
Amarillo dentado
Harinoso y Morocho
Reventón, dulce y ceroso

Fuente. (Paliwal, 2001)

4.2.1.2 Maíz duro.

El maíz amarillo duro en Ecuador es uno de los productos agrícolas más importantes en la economía nacional. Es el ingrediente principal para la producción de alimentos concentrados (balanceados) para la industria ganadera, especialmente la avicultura comercial, que es una de las actividades más dinámicas del sector agropecuario (INIAP, 2014).

4.2.1.3 Requerimientos hídricos del maíz.

Según Ibarra (2018), el cultivo del maíz depende de las condiciones climáticas, sin considerar otros factores de producción se requieren 500-800 mm de agua para todo el ciclo bien repartidos, según su etapa fenológica. La floración y el llenado de granos son las etapas más críticas para obtener el máximo rendimiento.

4.2.1.4 Fenología del maíz.

La madurez fisiológica de un cultivo de maíz ocurre cuando se forma una capa negra cerca de la base del grano, esto indica que el transporte de materia seca se ha detenido. En esta etapa, el maíz ya no necesita agua, pero debido al alto contenido de humedad del grano (30% a 40%) y al costo del secado manual, no se puede cosechar. La humedad óptima para el almacenamiento de maíz grano es 13 a 15% (Ojeda-Bustamante et al., 2006).

De acuerdo a los resultados obtenidos por Ojeda-Bustamante et al., (2006), se puede determinar el consumo de agua promedio por etapa fenológica para una variedad típica intermedia de maíz tal como se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Consumo de agua promedio por etapa fenológica para una variedad típica intermedia de maíz.

Etapa	K_c	Consumo de agua promedio			Duración etapa		Duración acumulada	
		Diario mm	Etapa mm	Acum mm	Días n	DA_n •D	Días n	DA_n •D
Emergencia	0.05 – 0.3	0.59	7.1	7.1	12	109.4	12	109.4
4 hojas	0.40 – 0.45	0.63	21.6	28.6	34	207.0	46	316.4
8 hojas	0.80 – 0.85	1.41	52.2	80.9	37	185.5	83	502.0
12 hojas	0.9 – 0.98	2.50	35.0	115.9	14	74.1	97	576.1
Flor masculina	1 – 1.12	3.03	39.3	155.2	13	89.1	110	665.2
Jiloteo	1.15 – 1.25	4.47	67.0	222.2	15	158.3	125	823.5
Grano acuoso	1.1 – 1.2	4.87	82.9	305.0	17	155.1	142	978.6
Grano lechoso	1 – 1.1	4.32	47.5	352.6	11	123.7	153	1102.3
Grano masoso	0.8 – 1	4.34	47.8	400.3	11	137.5	164	1239.8
Grano abollado	0.6 – 0.85	2.97	20.8	421.1	7	95.8	171	1335.5
Madurez	0.3 – 0.4	1.85	14.8	435.9	8	115.6	179	1451.1
Cosecha	0.05 – 0.2	0.81	8.9	444.8	11	189.6	190	1640.8

Fuente. (Ojeda-Bustamante et al., 2006)

4.2.2 Maní

Según Pedelini & Monetti (2018), el maní crece bien en suelo profundo, ligeramente ácido, donde desarrolla un amplio sistema radicular.

Tierra suelta, bajo porcentaje Arcilla es ideal para el maní:

- ✚ El clavo penetra fácilmente.
- ✚ Produce vainas de tamaño moderado.
- ✚ Es fácil de arrancar.
- ✚ Se cosecha vainas "limpias" con poca tierra adherida.

La desventaja de los suelos arenosos es que almacenan muy poca agua y nutrientes, y, por lo tanto, los cultivos serán más susceptibles a la sequía y las deficiencias de nutrientes.

4.2.2.1 Fases fenológicas del maní.

De acuerdo con Valdés (2008), las plantas de maní tienen un hábito de crecimiento indeterminado y, por lo tanto, las etapas vegetativas y reproductivas exhiben diversos grados de superposición. La duración de las diferentes etapas es influenciada por la temperatura, el contenido de agua del suelo, el fotoperíodo y el genotipo.

En la **Tabla 5** se muestra el requerimiento hídrico por fase o ciclo del cultivo de maní donde:

Kc I: establecimiento (Nascencia, germinación, y emergencia).

Kc II: prefloración (Crecimiento vegetativo).

Kc III: floración (Floración y fuerte floración)

Kc IV: Formación del fruto (Desarrollo del ginóforo y la vaina)

Kc V: Maduración (Final de desarrollo de vaina y madurez)

Tabla 5. Requerimientos hídricos del maní por fase o ciclo.

Kc I	Kc II	Kc III	Kc IV	Kc V	ET mm	ETP mm	Prec mm	Fases Sensibles
0,40- 0,50	0,70- 0,80	0,95- 1,10	0,75- 0,85	0,55- 0,60	370- 570	450- 700	400- 800	Maduración Floración

Fuente. (González, 2009)

4.3 Parámetros climáticos

4.3.1 Precipitación

La finalidad es determinar un intervalo en (mm) de la cantidad de precipitación del sector como se muestra en la **Tabla 6** (Alvarado & Alvarado CIA. LTDA., 2019).

Tabla 6. Precipitación anual en el barrio Cardopamba según CCAAA,2015.

Rango		Régimen		
Anual (mm)	Tipo	Pluviométrico	Calificación	Localidad
500-600	II	Lluvias de diciembre a mayo, apogeo en febrero, marzo y abril.	Semihúmedo	Ningún poblado
600-700	II		- húmedo	Piedra Tabla, Cardopamba

Fuente. (Alvarado & Alvarado CIA. LTDA., 2019)

4.3.2 Datos meteorológicos

4.3.2.1 Radiación solar.

El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización y época del año (Villegas & Torres, 2006).

4.3.2.2 Temperatura del aire.

De acuerdo con Villegas & Torres (2006), la temperatura del aire se ve afectada por la radiación absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra. La energía es transferida al cultivo mediante el calor sensible y entonces existe un determinado control en la tasa de evapotranspiración. Podemos decir que en un día soleado y cálido la evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.

4.3.2.3 Humedad del aire.

Para Villegas & Torres (2006), la remoción de vapor es afectada directamente por la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante. En regiones secas y áridas consumen grandes cantidades de agua debido a la cantidad de energía disponible y al poder de extracción de vapor de la atmósfera. Por el contrario, en regiones húmedas tropicales, pese a que el ingreso de energía es elevado, la humedad alta reduce la demanda de evapotranspiración.

4.3.2.4 Velocidad del viento.

Según lo mencionado por Villegas & Torres (2006), el viento y la turbulencia tienen un grado alto de influencia en la remoción de vapor, estas transfieren una cantidad elevada de aire a la superficie evaporante. Con la evaporación del agua, el aire de la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor. Al no sustituirse este aire por uno más seco,

disminuye la tasa de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye.

El efecto de los factores climáticos combinados que afectan la evapotranspiración se muestra en la **Figura 2**, para dos condiciones climáticas diferentes. La demanda evapotranspiratoria es elevada bajo condiciones de tiempo caliente y seco debido a la sequedad del aire y de la cantidad de energía disponible como radiación solar directa y calor latente, por el contrario, en las condiciones atmosféricas húmedas la humedad del aire y la presencia de nubes hace que la evapotranspiración sea más baja (Villegas & Torres, 2006).

4.4 Parámetros atmosféricos

4.4.1 Presión atmosférica (P)

La presión atmosférica, P , es la presión ejercida por el peso de la atmósfera terrestre. La evapotranspiración en altitudes elevadas ocurre gracias a la baja presión atmosférica que se expresa con la constante psicrométrica según lo que describe Villegas & Torres (2006). Para efectos de cálculo, el valor promedio de una localidad es suficiente y se puede calcular mediante la **Ecuación** (1) (descrita en el apartado de materiales y métodos).

Para el cálculo de P puede emplearse una simplificación de la ley de los gases ideales, a una temperatura atmosférica estándar de 20°C (Villegas & Torres, 2006).

$$P = 101,3 \times \left(\frac{293 - 0,0065 \times z}{293} \right)^{5,26} \quad (1)$$

Donde

P Presión atmosférica [kPa].

z Elevación sobre el nivel del mar [m].

4.4.2 Calor latente de vaporización (λ)

Para Villegas & Torres (2006), este parámetro se refiere a la energía requerida para cambiar la masa de agua líquida a vapor de agua bajo presión y temperatura constante, el valor del calor latente cambia en función de la temperatura, esto quiere decir que mientras más elevada sea la temperatura menos energía será requerida. Como λ varía levemente bajo condiciones normales de temperatura, se considera un valor constante de $2,45 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$, este valor corresponde al calor latente de vaporización a una temperatura del aire de alrededor de 20 °C.

4.4.3 Constante psicrométrica (γ)

De acuerdo con Villegas & Torres (2006), la constante psicrométrica es calculada mediante la **Ecuación** (2). En esta ecuación también se puede identificar el calor específico, este hace referencia a la cantidad de energía requerida para aumentar la temperatura de una

unidad de masa de aire a 1 °C a presión constante, para condiciones atmosféricas medias se puede utilizar el valor $c_p = 1,013 \times 10^{-3} \frac{\text{MJ}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}}$.

La constante psicrométrica se calcula mediante la **Ecuación** (2) que se expresa como.

$$\gamma = \frac{c_p \times P}{\varepsilon \times \lambda} = 0,665 \times 10^{-3} \quad (2)$$

Donde

γ Constante psicrométrica [kPa/°C].

P Presión atmosférica [kPa].

λ Calor latente de vaporización, 2,45 MJ/kg.

c_p Calor específico a presión constante, $1,013 \times 10^{-3}$ MJ/kg °C.

ε Cociente del peso molecular de vapor de agua / aire seco = 0,622

4.4.4 Temperatura del aire

Al tener una relación no lineal entre la humedad y la temperatura, ambas se incluyen en la ecuación de FAO Penman-Monteith, se debe realizar el cálculo de la presión de vapor para cierto periodo, como la media entre la presión de vapor bajo la temperatura máxima y la presión de vapor bajo la temperatura mínima del aire en ese período.

Para la estandarización, T_{media} para periodos de 24 horas se define como el promedio de las temperaturas máxima (T_{max}) y mínima diaria (T_{min}) en el lugar del promedio de las mediciones horarias de temperatura. La temperatura media es calculada mediante la **Ecuación** (3) y se determinan con los valores medidos en el área de estudio de temperaturas máximas y temperaturas mínimas.

$$T_{media} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (3)$$

Esta temperatura se expresa en (°C)

4.4.5 Humedad del aire

El contenido de humedad del aire se puede expresar de varias maneras. En meteorología agrícola, presión de vapor, punto de rocío temperatura y la humedad relativa son una expresión común para la humedad del aire (Villegas & Torres, 2006).

4.4.5.1 Presión de vapor.

Villegas & Torres (2006), menciona que, cuando un cierto volumen de aire queda atrapado en la superficie de evaporación de agua, se obtiene un equilibrio entre las moléculas de agua unidas al aire y los que regresan a las fuentes de agua. En ese momento, se

consideraba que el aire está saturado porque no puede almacenar ninguna molécula de agua adicional. La presión correspondiente se denomina presión de vapor saturado ($e^{\circ}(T)$). El número de moléculas de agua que se pueden almacenar en el aire depende de la temperatura (T). Cuanto mayor sea la temperatura del aire, mayor será la capacidad de almacenamiento de vapor de agua y más elevada es la presión de vapor saturado.

La presión de vapor real (e_a) es la presión de vapor ejercida por el vapor de agua en el aire. Cuando el aire no está saturado, la presión de vapor real será menor que la presión de vapor saturado. La diferencia entre la presión de saturación y la presión real de vapor se denomina presión de vapor insuficiente o saturación insuficiente, y es un indicador preciso de la capacidad de evaporación real del aire.

La presión de saturación de vapor puede ser calculada en función de la temperatura del aire ya que es dependiente de ella. Esta relación se expresa como se ve en la **Ecuación (4)** (Villegas & Torres, 2006).

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \times \exp \left[\frac{17,27 \times T}{T + 237,3} \right] \quad (4)$$

Donde

$e^{\circ}(T)$ Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T [kPa].

T Temperatura del aire [$^{\circ}$ C].

Debido a la característica no lineal de la **Ecuación (4)**, la presión media de saturación de vapor para un día, semana, década, o mes debe ser calculada como el promedio de la presión de saturación de vapor a la temperatura mínima media del aire para ese periodo como se expresa en la **Ecuación (5)** (Villegas & Torres, 2006).

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2} \quad (5)$$

4.4.6 Presión media de vapor de saturación (e_s)

La presión de saturación de vapor puede ser calculada en función de la temperatura del aire, pues depende de ella. La relación entre ambas variables se expresa como se muestra en la **Ecuación (5)** (Villegas & Torres, 2006).

4.4.7 Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ)

En la evapotranspiración es necesario calcular la pendiente de relación entre la presión de saturación de vapor y la temperatura, Δ . La pendiente de la curva a una temperatura dada se da mediante la **Ecuación (6)** (Villegas & Torres, 2006).

La pendiente de la curva de presión de saturación Δ , se calcula mediante la **Ecuación**

(6).

$$\Delta = \frac{4098 \times \left[0,6108 \times \exp\left(\frac{17,27 \times T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (6)$$

Donde

Δ Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T [kPa °C⁻¹].

4.4.8 Presión real de vapor (e_a), derivada de datos de humedad relativa

La presión de vapor real también se puede derivar de la humedad relativa. Dependiendo de la disponibilidad de datos de humedad, se pueden usar varias ecuaciones una de estas es la **Ecuación** (7) que se muestra a continuación (Villegas & Torres, 2006).

$$e_a = \frac{e^\circ(T_{\min}) \times \frac{HR_{\max}}{100} + e^\circ(T_{\max}) \times \frac{HR_{\min}}{100}}{2} \quad (7)$$

Donde

e_a Presión real de vapor [kPa].

$e^\circ(T_{\min})$ Presión de saturación de vapor a la temperatura mínima diaria [kPa].

$e^\circ(T_{\max})$ Presión de saturación de vapor a la temperatura máxima diaria [kPa].

HR_{\max} Humedad relativa máxima [%].

HR_{\min} Humedad relativa mínima [%].

Cuando utilice instrumentos en los que el error en la estimación de HR_{\min} pueda ser grande, o cuando la precisión de los datos esté en duda, utilice HR_{\max} solamente como se expresa en la **Ecuación** (8) (Villegas & Torres, 2006).

$$e_a = e^\circ(T_{\min}) \times \frac{HR_{\max}}{100} \quad (8)$$

4.4.9 Radiación

4.4.9.1 Radiación extraterrestre.

Villegas & Torres (2006) menciona que, la radiación que golpea la superficie en la parte superior de la atmósfera terrestre que es perpendicular a los rayos del sol se denomina constante solar y tiene un valor de aproximadamente $0,082 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{min}}$. Sin embargo, la intensidad local de la radiación depende del ángulo entre la dirección de los rayos del sol y la superficie de la atmósfera. Este ángulo cambia durante el día y es diferente en diferentes latitudes y en diferentes épocas del año. La radiación solar recibida en la superficie horizontal superior de la atmósfera terrestre se denomina radiación extraterrestre (solar) R_a , se puede

determinar mediante la **Ecuación** (9).

La radiación solar extraterrestre se determina a partir de los siguientes parámetros como son la constante solar, declinación solar y época del año y se expresa en la **Ecuación** (9).

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} \times G_{sc} \times d_r \times [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)] \quad (9)$$

Donde

- R_a Radiación extraterrestre $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.
 G_{sc} Constante solar = 0,082 $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{min}} \right]$.
 d_r Distancia relativa tierra-sol ecuación.
 ω_s Ángulo de radiación a la puesta del sol [rad].
 φ Latitud [rad].
 δ Declinación solar.

La distancia relativa inversa tierra-sol, d_r , y la declinación solar, δ , se dan mediante las **Ecuaciones** (10) y (11) respectivamente.

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{2\pi}{365} j\right) \quad (10)$$

$$\delta = 0,409 \times \sin\left(\frac{2\pi}{365} j - 1,39\right) \quad (11)$$

Donde j es el número del día en el año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre). Para cálculos mensuales de la evapotranspiración j es el día 15 de cada mes y viene dado por la **Ecuación** (12).

$$j = 30,4 M - 15 \quad (12)$$

El ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol, ω_s , se da por la **Ecuación** (13).

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\varphi) \times \tan(\delta)] \quad (13)$$

Duración máxima de insolación.

Se puede determinar mediante la **Ecuación** (14).

$$N_i = \frac{24}{\pi} \times \omega_s \quad (14)$$

Donde

N_i Duración máxima de insolación [horas].

4.4.9.2 Radiación solar o de onda corta (R_s).

Cuando la radiación viaja a través de la atmósfera hacia la superficie de la tierra, parte de ella es dispersada, reflejada o absorbida por los gases atmosféricos, las nubes y el polvo. La cantidad de radiación que alcanza el nivel de la superficie de la tierra también llamada radiación solar R_s (Villegas & Torres, 2006).

Villegas & Torres (2006) menciona que, si no se cuenta con mediciones directas de radiación solar, R_s , se puede determinar mediante la ecuación de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación como se muestra en la **Ecuación** (15).

$$R_s = \left(a_s + b_s \times \frac{n}{N} \right) \times R_a \quad (15)$$

Donde

R_s Radiación solar de onda corta $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

n Duración real de la insolación [horas].

N Duración máxima posible de la insolación [horas].

$\frac{n}{N}$ Duración relativa de la insolación.

R_a Radiación extraterrestre $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

a_s Constante de regresión, que expresa la fracción de radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados ($n = 0$).

$a_s + b_s$ Fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados ($n = N$).

Si no se dispone de datos reales de radiación solar y no se realizaron los ajustes a la ecuación se recomienda utilizar valores de $a_s = 0,25$ y $b_s = 0,5$.

🚧 Radiación solar en día despejado.

La radiación en días despejados se representa como ($n = N$) y puede ser calculada mediante la **Ecuación** (16).

$$R_{so} = (a_s + b_s) \times R_a \quad (16)$$

Donde

R_{so} Radiación solar en un día despejado $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

Radiación solar de onda corta.

Se da por el equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada está dada por la **Ecuación (17)**.

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \times R_s \quad (17)$$

Donde

R_{ns} Radiación neta solar o de onda corta $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

α Albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia.

R_s Radiación solar entrante $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

4.4.9.3 Albedo (α) y radiación neta solar (R_{ns}).

Villegas & Torres (2006), hace referencia que gran parte de la radiación solar que llega a la superficie terrestre es reflejada por ella. Fracción de radiación solar reflejada por la superficie α es llamado albedo. El albedo varía mucho según el tipo de superficie y el ángulo de incidencia o pendiente de la superficie terrestre. Su valor puede ser de 0,95 para nieve recientemente caída, o tan bajo como 0,05 para el suelo desnudo y húmedo. El albedo del dosel de vegetación verde varía de 0,20 a 0,25. Para el cultivo de referencia, se supone que el valor de α es 0,23.

4.4.9.4 Radiación de onda larga R_{nl} .

La radiación solar absorbida por la tierra se convierte en energía térmica. La Tierra pierde esta energía a través de varios procesos, incluyendo la emisión de radiación. La tierra, que tiene una temperatura mucho más baja que el sol, emite energía radiante con longitudes de onda más largas que el sol. Por ello, la radiación terrestre se conoce como radiación de onda larga y se ve expresada mediante la **Ecuación (18)** (Villegas & Torres, 2006).

Se determina cuantitativamente mediante la ley de Stefan Boltzmann como se muestra en la **Ecuación (18)**.

$$R_{nl} = \sigma \times \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \times (0,34 - 0,14 \times \sqrt{e_a}) \times \left(1,35 \times \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (18)$$

Donde

R_{nl} Radiación neta de onda larga $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

σ Constante de Stefan-Boltzmann $\left[4,903 \times 10^{-9} \frac{\text{MJ}}{\text{K}^4 \times \text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

$T_{max,K}$ Temperatura máxima absoluta en un periodo de 24 horas $[\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,16]$.

$T_{min,K}$ Temperatura mínima absoluta en un periodo de 24 horas $[\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,16]$.

e_a Presión de vapor real [kPa].

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

R_s Radiación solar medida o calculada $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

R_{so} Radiación en un día despejado $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

4.4.9.5 Radiación neta (R_n).

La radiación neta (R_n), es la diferencia entre la radiación de entrada y salida en longitudes de onda cortas y largas. Es el equilibrio entre la energía absorbida, reflejada y emitida por la superficie terrestre, o la diferencia entre la radiación de onda corta entrante neta (R_{ns}) y la radiación de onda larga saliente neta (R_{nl}) **Figura 2**.

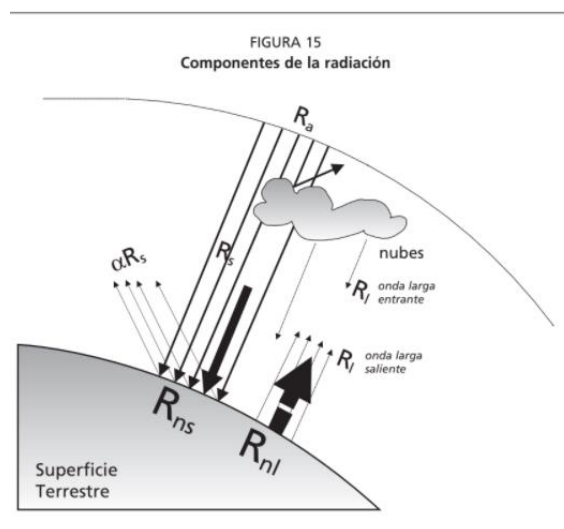


Figura 2. Componentes de la radiación

Fuente. (Villegas & Torres, 2006)

La radiación neta R_n se puede determinar mediante la diferencia entre la radiación neta de onda corta y la radiación neta de onda larga tal como se expresa en la **Ecuación** (19).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (19)$$

4.4.9.6 Flujo de calor en el suelo (G).

El flujo geotérmico (G) se utiliza para calentar el suelo. (G) es positivo cuando el suelo está caliente y negativo cuando el suelo está frío. Aunque el flujo de calor del suelo es pequeño en comparación con R_n y, a menudo, puede pasarse por alto, en teoría, la energía ganada o perdida por el suelo en el proceso debe restarse o sumarse a R_n para estimar la evapotranspiración (Villegas & Torres, 2006).

La profundidad de penetración de la onda de temperatura está determinada por la duración del intervalo de tiempo. La profundidad efectiva del suelo (Δz) es de solo 0,10-0,20 m en intervalos de 1 o varios días, pero puede alcanzar los 2 m o más durante cada mes (Villegas & Torres, 2006).

Para periodos mensuales se asume una capacidad calorífica constante del suelo de $2,1 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \times ^\circ\text{C}}$ y una profundidad media del suelo, mediante la **Ecuación** (20) se puede determinar para periodos mensuales (Villegas & Torres, 2006).

Existen diversos modelos complejos para determinar el flujo de calor en el suelo para motivos de cálculo usamos la **Ecuación** (20), considerando que la temperatura del suelo tiene tendencia similar a la de la temperatura del aire.

$$G = c_s \times \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t} \times \Delta z \quad (20)$$

Donde

G Flujo de calor del suelo $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right]$.

c_s Capacidad calorífica del suelo $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \times ^\circ\text{C}} \right]$.

T_i Temperatura del aire en el tiempo i [$^\circ\text{C}$].

T_{i-1} Temperatura del aire en el tiempo $i-1$ [$^\circ\text{C}$].

Δt Intervalo de tiempo considerado [días].

Δz Profundidad efectiva del suelo [m].

Para períodos mensuales se utiliza una capacidad calorífica constante del suelo de $2,1 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \times ^\circ\text{C}}$ y una profundidad media, esto se muestra en la **Ecuación** (21).

$$G_{mes,i} = 0,07 \times (T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1}) \quad (21)$$

Si no se conoce el valor de $T_{mes,i+1}$ utilizamos la **Ecuación** (22).

$$G_{mes,i} = 0,14 \times (T_{mes,i} - T_{mes,i-1}) \quad (22)$$

$T_{mes,i}$ Temperatura media del aire en el mes i [$^{\circ}\text{C}$].

$T_{mes,i-1}$ Temperatura media del aire en el mes $i-1$ [$^{\circ}\text{C}$].

$T_{mes,i+1}$ Temperatura media del aire en el mes $i+1$ [$^{\circ}\text{C}$].

4.4.9.7 Relación del viento con la altura.

Villegas & Torres (2006) menciona que, las velocidades del viento a diferentes alturas sobre la superficie tienen valores diferentes. La fricción de la superficie tiende a reducir la velocidad del viento en la superficie. La velocidad del viento es menor cerca de la superficie y aumenta con la altitud. Por este motivo, los anemómetros se colocan a alturas estándar seleccionadas, 10 m para meteorología y 2 o 3 m para agrometeorología. Para calcular la evapotranspiración se requiere la velocidad del viento medida a 2 m sobre la superficie, para ajustar los datos de velocidad del viento se pueden usar una relación logarítmica expresada en la **Ecuación** (23).

Para ajustar los datos del viento obtenidos se puede usar una relación logarítmica expresada en la **Ecuación** (23).

$$u_2 = u_z \times \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)} \quad (23)$$

Donde

u_2 Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$.

u_z Velocidad del viento medida a z m sobre la superficie $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$.

z Altura de medición sobre la superficie [m].

4.5 Evapotranspiración

En mayo de 1990 un grupo de expertos en colaboración con la Comisión Internacional para el Riego y Drenaje y junto a estos la Organización Meteorológica Mundial, buscan revisar diferentes metodologías que han sido propuestas con anticipación por la FAO para el cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos (Villegas & Torres, 2006).

El grupo de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como el nuevo método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración está determinado a partir de la **Ecuación** (24).

$$ET_o = \frac{0,408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \frac{900}{T + 273} \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times u_2)} \quad (24)$$

Donde

ET_o Evapotranspiración de referencia $\left[\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right]$.

R_n Radiación neta de la superficie $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}}\right]$.

G Flujo de calor en el suelo $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}}\right]$.

T Temperatura media del aire a 2 m de altura $[\text{°C}]$.

u_2 Velocidad del viento a 2 m de altura $[\text{m/s}]$.

e_s Presión de vapor de saturación $[\text{kPa}]$.

e_a Presión real de vapor $[\text{kPa}]$.

$e_s - e_a$ Déficit de presión de vapor $[\text{kPa}]$.

Δ Pendiente de la curva de presión de vapor $\left[\frac{\text{kPa}}{\text{°C}}\right]$.

γ Constante psicrométrica $\left[\frac{\text{kPa}}{\text{°C}}\right]$.

4.5.1 Evapotranspiración del cultivo ET_c

Para Villegas & Torres (2006), la evapotranspiración que se da en una área cultivada se puede medir directamente a través de los métodos de balance o transferencia de energía. De la misma manera se puede obtener a partir de los datos meteorológicos y de cultivo utilizando la ecuación de Penman – Monteith, **Ecuación** (24).

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ET_c se calcula como el producto de la evapotranspiración del de referencia, ET_o y el coeficiente de cultivo K_c y se expresa mediante la **Ecuación** (25).

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (25)$$

Donde

ET_c Evapotranspiración del cultivo $\left[\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right]$.

K_c Coeficiente del cultivo.

ET_o Evapotranspiración del cultivo de referencia $\left[\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right]$.

4.5.1.1 Coeficiente único del cultivo K_c .

En esta sección se aborda el cálculo de la evapotranspiración del cultivo ET_c bajo condiciones estándar se expresa en la **Ecuación** (25). Se toma en cuenta que las condiciones

para el desarrollo del cultivo son óptimas y no existen limitaciones como estrés hídrico o salino, densidad del cultivo, plagas y enfermedades, presencia de malezas o baja fertilidad. El valor de ET_c es calculado a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son implementados en ET_o y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente K_c (Villegas & Torres, 2006).

En la **Figura 3** se representa de manera general, la curva del coeficiente del cultivo. En el caso de las plantaciones de cultivos anuales poco después de su plantación y en los cultivos perennes luego de la aparición de las hojas nuevas, K_c es pequeño con frecuencia menor a 0,4, este valor empieza a aumentar a partir del valor inicial (Villegas & Torres, 2006).

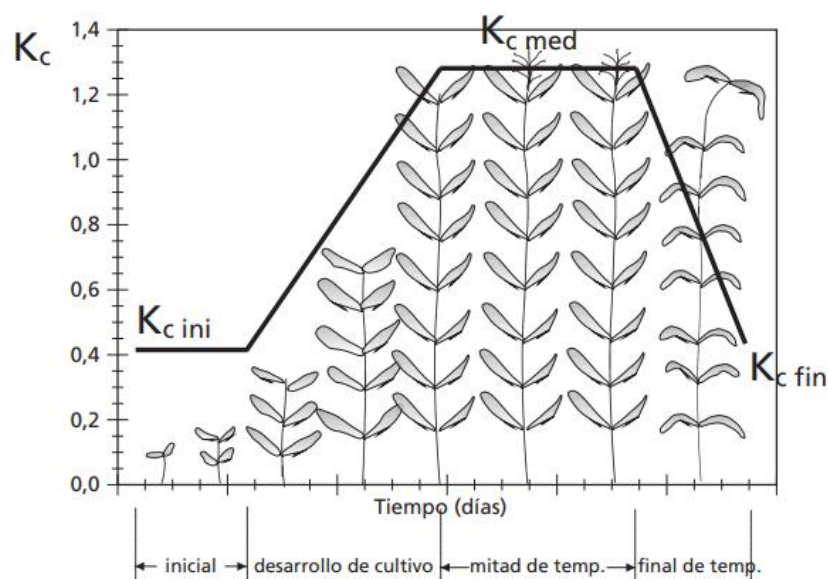


Figura 3. Curva generalizada del coeficiente de cultivo.

Fuente. (Villegas & Torres, 2006)

4.5.1.2 Duración de las etapas de crecimiento.

La publicación de la serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 24 incluye duraciones generales para las cuatro etapas de crecimiento de distintos cultivos, así como la duración total de la temporada de crecimiento de cada cultivo para distintos tipos de clima y diferentes localidades (Villegas & Torres, 2006).

En la **Tabla 7** se representa la duración de las etapas de crecimiento de cultivos de manera general, estas pueden variar dependiendo la región y las condiciones climáticas y de cultivo, los cultivos analizados son maíz (grano) y maní.

Tabla 7. Duración de las etapas de crecimiento de los cultivos de maíz y maní para distintas regiones

Cultivo	Inicial (Lini)	Desarrollo (Ldes)	Media (Lmed)	Final (Lfin)	Total	Fecha de siembra	Región
maíz (grano)	30	50	60	40	180	Abril	Este de África (Alt.)

Cultivo	Inicial (Lini)	Desarrollo (Ldes)	Media (Lmed)	Final (Lfin)	Total	Fecha de siembra	Región
maíz	25	40	45	30	140	Dic./Ene.	Clima Árido
	20	35	40	30	125	Junio	Nigeria (húmedo)
	20	35	40	30	125	Octubre	India (seco, frío)
	30	40	50	30	150	Abril	España (prim, ver); Calif. EU
	30	40	50	50	170	Abril	Idaho EU
	25	35	45	25	130	Periodo seco	Oeste de África
	35	35	35	35	140	Mayo	Latitudes altas
	35	45	35	35	150	Mayo/Junio	Mediterráneo

Fuente. (Villegas & Torres, 2006)

4.5.1.3 Valores tabulados de K_c .

En la **Tabla 8** se muestran los valores de $K_{c\ ini}$, $K_{c\ med}$, $K_{c\ fin}$, correspondientes a los cultivos de maíz y maní, estos valores son analizados bajo condiciones típicas de desarrollo bajo riego, los valores de K_c inicial y medio depende de la diversidad de frecuencias de humedecimiento del suelo (Villegas & Torres, 2006).

Tabla 8. Valores tabulados de K_c , para los cultivos de maíz y maní bajo condiciones estándar.

Cultivo	$K_c\ ini$	$K_c\ med$	$K_c\ fin$	Altura Máx. cultivo (h) (m)
maíz (grano)	0,7	1,2	0,48	2
maní	0,4	1,15	0,6	0,4

Fuente. (Villegas & Torres, 2006)

4.6 Riego

Cuando el contenido de humedad en el suelo es bajo dificulta la absorción de agua de los cultivos por lo tanto es necesario regar para reponerla y quede disponible para las plantas. Existe gran variedad de métodos de riego, y se ajustan a cada circunstancia particular, su eficiencia de aplicación de agua es lo que los hace diferentes (Enrique, 2014).

4.6.1 Agua disponible total (ADT)

Para Ojeda et al (2018), la humedad aprovechable del suelo nos da los parámetros para determinar el rango óptimo de contenido de agua necesaria para el crecimiento de las plantas y se describe cómo (HA) o también conocida como agua disponible total (ADT). La capacidad de campo (CC) pertenece al límite superior de la ADT, mientras que el límite inferior se relaciona con el porcentaje de marchitez permanente (PMP). En la **Figura 4** se representa el agua disponible para un perfil de suelo determinado.

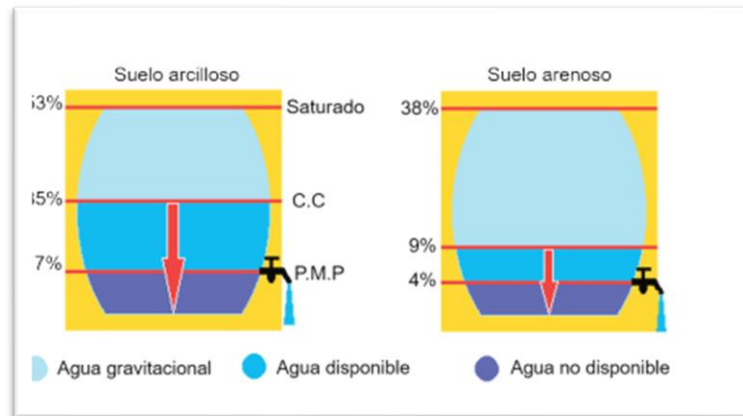


Figura 4. Representación del agua disponible total (*ADT*).

Fuente. (Ojeda et al., 2018)

El agua no se encuentra disponible para las plantas en todo el rango de *ADT* (requiere de un gasto adicional de energía para poder extraerla), por lo cual se debe regar sólo cuando se agota una fracción de *ADT*, cantidad de agua que se denomina agua fácilmente aprovechable (*AFA*) o umbral de riego (*UR*) (Ojeda et al., 2018).

La lámina *ADT* representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular y cuya magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad radicular en la ecuación se representan los factores involucrados para el cálculo respectivo (Villegas & Torres, 2006).

Una vez conocidas las necesidades que tenemos de riego, nos interesa saber la cantidad de agua que se va a aplicar en cada riego; la misma que depende de dos factores:

- ✚ La capacidad de retención de agua que tenga el suelo.
- ✚ La profundidad de las raíces.

En la **Figura 4** se representan los factores a tomar en cuenta para el cálculo de la *ADT* que se determina a partir de la **Ecuación** (26) (CONGOPE, 2016).

$$ADT = (CC - PMP) \times da \times P_r \quad (26)$$

Donde

ADT Agua total disponible en la zona radicular del suelo [mm].

CC Capacidad de campo [%].

PMP Punto de marchitez [%].

P_r Profundidad de las raíces [m].

da Densidad aparente.

La profundidad radicular es una característica de cada especie de cultivo por lo tanto va a depender de diversos factores, tales como: características genéticas, características del

suelo, nivel de agua en el suelo, nutrientes, oxígeno, etc.

La **Tabla 9** presenta los valores que alcanza la profundidad de las raíces dependiendo de la textura de suelo donde los valores más elevados son para suelos arenosos mientras que los más bajos son para suelos arcillosos (CONGOPE, 2016).

Tabla 9. Valores de profundidad radicular para cultivos de maíz y maní.

Cultivo	Profundidad (m)
maíz tierno	0,6 - 1,0
maíz grano	0,8 - 1,2
maní	0,9 - 1,0

Fuente. (CONGOPE, 2016).

La densidad aparente da , al igual que la textura, influyen en la retención de humedad del suelo y la profundidad radicular que pueden desarrollar los cultivos. En la **Tabla 10** se detallan las densidades aparentes (da), porcentajes de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PMP) para las distintas texturas de suelo (Ojeda et al., 2018).

Tabla 10. Densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez según la textura del suelo.

Texturas	$da \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	CC [%]	PMP [%]
Arenoso	1,55 – 1,80	6 – 12	2 – 6
Franco Arenoso	1,40 – 1,60	10 – 18	4 – 8
Franco	1,35 – 1,50	18 – 26	6 – 10
Franco Arcilloso	1,30 – 1,40	23 – 31	12 – 15
Arcilloso Arenoso	1,25 – 1,35	27 – 35	14 – 18
Arcilloso	1,20 – 1,30	31 – 39	16 – 20

Fuente. Israelsen y Hansen 1979.

4.6.2 Agua fácilmente aprovechable (AFA)

De acuerdo con lo que menciona Villegas & Torres (2006), cuando el suelo contiene suficiente humedad, el mismo es capaz de suministrar el agua con la rapidez suficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo. Conforme se reduzca la humedad en el suelo el agua será retenida con mayor fuerza hacia la matriz del suelo y esto hace que sea más difícil de extraer. Cuando el valor de humedad del suelo se encuentre por debajo del límite permitido el agua del suelo no será transportada con la suficiente velocidad por las raíces impidiendo que la planta cumpla con la demanda transpiratoria provocando estrés. La cantidad de ADT que un cultivo pueda extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico es denominada agua fácilmente aprovechable en el suelo y se determina mediante la **Ecuación** (27).

$$AFA = p \times ADT \quad (27)$$

Donde

AFA Agua fácilmente aprovechable (extraíble) de la zona radicular del suelo [mm].

p Fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico.

4.6.2.1 Lámina neta.

Según CONGOPE (2016), el contenido de agua fácilmente disponible es correspondiente a la definición de lámina neta que es: la cantidad de agua que debe quedar en la zona de raíces de las plantas, para llevar el suelo a capacidad de campo después de un riego y se expresa mediante la **Ecuación** (28).

$$Ln = ADT \times f_A \quad (28)$$

Donde

Ln Lámina neta [mm].

ADT Agua disponible total [mm].

f_A Fracción de agotamiento [0 – 1].

Los valores de f_A son válidos para $ET_o \approx 5$ mm/día. El valor de f_A puede ser ajustado para diferentes valores de ET_c de acuerdo a la **Ecuación** (29) (Villegas & Torres, 2006):

$$f_c = f_A + 0,04 \times (5 - ET_c) \quad (29)$$

4.6.2.2 Lámina bruta o total de riego.

Es la cantidad de agua que debe aplicarse en cada riego a la superficie del terreno, de manera de asegurar una penetración suficiente de agua que permita retener en la zona radicular el valor de la lámina neta (CONGOPE, 2016).

Para determinar la cantidad de agua que será consumida por la planta y que debe ser reemplazada en cada riego que penetra y es retenida en la zona radicular, es necesario aplicar una mayor cantidad de agua en el riego al terreno, con el fin de contrarrestar las pérdidas (CONGOPE, 2016).

Esta cantidad de agua se obtiene a través de la **Ecuación** (30).

$$L_T = \frac{Ln}{E_A} \quad (30)$$

Donde

L_T Lámina total de riego [mm].

Ln Lámina neta [mm].

E_A Eficiencia de aplicación.

La eficiencia de aplicación E_A está definida por los que son, el sistema de riego que se desea implementar y de la experiencia del regador estos valores se expresan en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Eficiencia de aplicación de agua para diferentes sistemas de riego.

Tipo de riego	Eficiencia de la aplicación E_A
Riego por surcos	0,50 – 0,70
Riego por fajas	0,60 – 0,75
Riego por inundación	0,60 – 0,80
Riego por inundación permanente (arroz)	0,30 – 0,40
Riego por aspersión	0,65 – 0,85
Riego por goteo	0,75 – 0,90

Fuente. (CONGOPE, 2016).

4.6.2.3 Frecuencia de riego.

Según lo descrito por CONGOPE (2016), la frecuencia de riegos se basa en la cantidad de días que transcurren entre dos riegos sucesivos. Este proceso va a estar condicionado por el balance de agua que se haga entre la oferta y la demanda, es decir, de la capacidad de retención de agua del suelo por una parte y por otra la demanda de agua de la planta, este valor se determina mediante el cociente entre la lámina neta (Ln) y la evapotranspiración diaria (ET_o), tal como se expresa en la **Ecuación** (31).

$$f_r = \frac{Ln}{ET_c} \quad (31)$$

Donde

f_r Frecuencia de riego [días].

Ln Lámina neta [mm].

ET_c Evapotranspiración del cultivo de referencia $\left[\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right]$.

4.6.2.4 Tiempo de riego.

Es la cantidad de tiempo necesario para que la lámina total de agua se infiltre en el suelo y se describe mediante la **Ecuación** (32).

$$T_R = \frac{L_T}{V_I} \quad (32)$$

T_R Tiempo de riego [horas].

V_I Velocidad de infiltración [mm/hora].

L_T Lámina total [mm].

4.7 Cropwat 8.0 y Climwat 2.0

4.7.1 Cropwat 8.0

Cropwat 8.0 para Windows se trata de un programa de computación que es usado para los cálculos de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego

basados en datos climáticos, características de cultivo ya sean existentes o nuevos. Por consiguiente este programa también permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para los diferentes patrones de cultivo (FAO, 2016).

4.7.1.1 Estructura del programa.

Los módulos de entrada de datos de CROPWAT son los siguientes:

1. Clima/ETo: para ingresar datos medidos de ETo o datos climáticos que permitan el cálculo de la ETo Penman-Monteith.
2. Precipitación: para ingresar datos de precipitación y el cálculo de la precipitación efectiva.
3. Cultivo (cultivos no inundados o arroz): para ingresar datos del cultivo y de la fecha de siembra.
4. Suelo: para ingresar datos de suelo (sólo en caso de programación de riego).
5. patrón de cultivo: para ingresar un patrón de cultivos para calcular el esquema de entrega de agua.



Nótese que los módulos Clima/ETo y Precipitación se usan no sólo para la introducción de datos, sino que también calculan otros datos, como Radiación/ETo y precipitación efectiva respectivamente. Los módulos de cálculo de CROPWAT son:

6. RAC - para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos.
7. Programación (cultivos no inundados o arroz) - para el cálculo de los calendarios de riego.
8. Esquema para el cálculo del régimen de la oferta de agua sobre la base de un patrón de cultivo (FAO, 2016).

4.7.2 Climwat 2.0

Es una base de datos climáticos para ser utilizado en combinación con el programa Cropwat y ayuda en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos el suministro de agua y la programación de riego para distintos cultivos, basado en la obtención de información de una amplia gama de estaciones climatológicas de todo el mundo (Ayella et al., 2019).

CLIMWAT proporciona valores medios mensuales a largo plazo de los siete parámetros climáticos, a saber:

-  La temperatura media diaria máxima en ° C.
-  La temperatura media diaria mínima en ° C.

- ✚ Humedad relativa en % promedio.
- ✚ Velocidad media del viento en km / día.
- ✚ La media de horas de sol al día.
- ✚ La radiación solar media en MJ/m²/día.
- ✚ Precipitaciones mensuales en mm / mes.
- ✚ Lluvia efectiva mensual en mm / mes.
- ✚ Referencia evapotranspiración calculada con el método de Penman-Monteith en mm / día (Ayella et al., 2019).

4.8 Soil Water Characteristics

El análisis hidrológico abarca la evaluación de la infiltración del suelo, el almacenaje y la relación de agua – suelo-planta. Para poder determinar estos parámetros es necesario estimar la curva de retención hídrica y la conductividad hidráulica. El programa posee una interfaz gráfica que a partir de los contenidos de arena y arcilla provee las relaciones del contenido hídrico y tensión (punto de marchitez, capacidad de campo y saturación) y conductividad hidráulica saturada (Ksat) y no saturada. Las ecuaciones del modelo fueron desarrolladas por medio de correlaciones de una extensa base de datos de 1722 muestras provista por el Nacional Soil Survey Laboratory del NRCS del USDA. Las soluciones del modelo son válidas para todas las texturas excepto para aquellas con contenidos de arcilla superior al 60% (Amabile, 2015).

4.9 Riego por aspersión

El riego por aspersión es un método de aplicación de agua en forma de agua de lluvia en toda la superficie del suelo, mediante una red de riego que permite dirigir el agua con la presión adecuada a los elementos encargados de aplicarla, los aspersores (Gómes Fernández et al., 2010).

En un sistema de rociadores bien diseñado, no debe haber escorrentía, es decir, cada gota de agua debe filtrarse en el mismo punto donde cae. Además, las gotas que producen los aspersores deben dimensionarse para que no provoquen erosión al tocar el suelo. Cuanto mayor sea el tamaño de la gota, más energía tiene para llegar al suelo, por lo que es probable que la erosión sea mayor (Gómes Fernández et al., 2010).

En el caso de riego local y riego por aspersión, es necesario dotar de energía al agua, para hacerla circular por tuberías a presión (Gómes Fernández et al., 2010).

En caso de que el agua no se encuentre en estas condiciones, por ejemplo, si la parcela de riego está a mayor altura que el lugar donde se encuentra almacenada e incluso al mismo

nivel, será necesario suministrarle una energía para que alcance la presión necesaria para circular por toda la red de riego y salir por los emisores con una presión tal que garantice su buen funcionamiento (Gómes Fernández et al., 2010).

4.9.1 Tipos de Aspersores

Según el mecanismo de giro se clasifican en:

- ✚ **Aspersores de impacto:** Son los más utilizados en agricultura. El giro se consigue mediante el impulso del chorro del agua sobre un brazo oscilante que se desplaza y vuelve a su posición inicial gracias a un muelle recuperador (Gómes Fernández et al., 2010).
- ✚ **Aspersores de turbina o engranaje:** Su giro es continuo empleando la presión del agua a su paso por un mecanismo de engranajes que va unido al cuerpo del aspersor. En general son aspersores de gran tamaño que trabajan con altas presiones y suministran caudales elevados (Gómes Fernández et al., 2010).
- ✚ **Aspersores rotativos o de reacción:** Poseen una o varias boquillas orientadas de forma que la reacción al cambio de dirección del movimiento del agua produce la rotación del aspersor. Su uso es muy frecuente en jardinería, horticultura, viveros, etc. pero no son utilizados en agricultura extensiva (Gómes Fernández et al., 2010).

Según la presión de trabajo se clasifican en:

- ✚ **De baja presión:** Los más usuales son los de impacto, que suelen trabajar a presiones menores de $2,5 \text{ kg/cm}^2$ (“kilos”). Por lo general tienen una sola boquilla de un diámetro de salida inferior a 4 milímetros, y generan un caudal inferior a 1 000 litros/hora (Gómes Fernández et al., 2010).
- ✚ **De media presión:** Son aspersores que trabajan a una presión comprendida entre 2,5 y 4 kg/cm^2 . Suelen llevar una o dos boquillas con un diámetro comprendido entre 4 y 7 milímetros, pudiendo suministrar caudales entre 1 000 y 6 000 litros/hora. Suelen utilizarse en marcos desde 12×12 metros a 24×24 metros, lo que indica que el alcance del aspersor puede variar de 12 a 24 metros (Gómes Fernández et al., 2010).
- ✚ **De alta presión:** Son aspersores cuya presión de funcionamiento es superior a los 4 kg/cm^2 . Suelen ser de gran tamaño, más conocidos como “cañones”, y pueden tener una, dos o tres boquillas. El caudal del aspersor puede variar entre 6 000 y 40 000 litros/hora, aunque los grandes cañones pueden llegar a los 200 000 litros/hora (200 metros cúbicos/hora) (Gómes Fernández et al., 2010).

4.9.2 Conceptos generales

4.9.2.1 Caudal.

Se define el caudal como la cantidad de agua que pasa por una conducción o tubería en un tiempo determinado. Los caudales se miden principalmente en las siguientes unidades:

- ✚ litros/segundos (l/s).
- ✚ litros/hora (l/h).
- ✚ metros cúbicos/hora (m³/h) (Gómes Fernández et al., 2010).

4.9.2.2 Presión.

Los sistemas de riego localizado y aspersión están basados en la conducción del agua desde un punto de almacenamiento hasta los emisores, discurriendo durante todo el trazado o red de distribución dentro de unas tuberías cerradas. Para que el agua llegue a todos los puntos de emisión, es preciso que circule con una determinada presión (Gómes Fernández et al., 2010).

Las principales unidades en que se mide la presión del agua en una conducción o tubería son las siguientes:

- ✚ Atmosferas (atm).
- ✚ Kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm²), usualmente conocida por el término “kilos”.
- ✚ Metros de columna de agua (m.c.a.).
- ✚ Megapascuales (MPa) (Gómes Fernández et al., 2010).

En sistemas de riego a presión, localizado y aspersión, las presiones suelen indicarse en “kilos” aunque es frecuente que las casas comerciales indiquen las características de funcionamiento de sus equipos en otras unidades. La relación existente entre las más frecuentes es (MPa) (Gómes Fernández et al., 2010):

$$1 \text{ atm} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ m. c. a} = 0,1 \text{ MPa}$$

Una forma muy práctica de medir la presión con la que el agua sale por los aspersores es colocando un manómetro en la boquilla o boquillas. La lectura del manómetro indicará si el aspersor está funcionando a la presión adecuada y, en consecuencia, está aplicando el agua según lo deseado tal y como se muestra en la **Figura 5** (Gómes Fernández et al., 2010).



Figura 5. Medida de presión en la boquilla del aspersor usando un manómetro.

Fuente. (Gómes Fernández et al., 2010).

4.10 Pérdidas de carga

A medida que el agua dotada de presión circula por las tuberías y atraviesa los distintos elementos del sistema va perdiendo parte de dicha presión debido al rozamiento. A esta pérdida de presión se le denomina pérdida de carga, y se expresa en las mismas unidades que la presión, normalmente en metros de columna de agua (m.c.a.) (Gómes Fernández et al., 2010).

Las pérdidas de carga en el sistema dependen principalmente de los siguientes condicionantes:

- ✚ **Diámetro interior de la tubería**, teniendo en cuenta que a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante (Gómes Fernández et al., 2010).
- ✚ **Longitud de la tubería**, sabiendo que a mayor longitud de la tubería también es mayor la pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante (Gómes Fernández et al., 2010).
- ✚ **Caudal**, siendo mayor la pérdida de carga a mayor caudal para el mismo diámetro (Gómes Fernández et al., 2010).
- ✚ **Tipo de material** de la tubería y rugosidad de sus paredes interiores (aluminio, polietileno, fibrocemento, etc.) (Gómes Fernández et al., 2010).

El valor de las pérdidas de carga que originan los diferentes elementos del sistema como uniones, codos, válvulas, medidores, etc. debe ser suministrado por el fabricante. Igualmente, la pérdida de carga en las tuberías debe ser solicitada al fabricante, aunque para ciertos tipos de materiales y diámetros más usuales pueden encontrarse valores en publicaciones referidas a sistemas de riego a presión (Gómes Fernández et al., 2010).

A la hora de realizar el diseño hidráulico de la red de riego es imprescindible tener en cuenta todas las pérdidas de carga que puedan ocasionarse, con objeto de que en el punto más

desfavorable de la instalación exista suficiente presión para que el emisor suministre el agua de forma adecuada (Gómez Fernández et al., 2010).

4.10.1 Propiedades de los fluidos

La característica básica de un fluido se llama fluidez. Un fluido cambia constantemente de forma cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar cuán pequeño sea, es decir, el fluido no puede soportar el esfuerzo cortante sin moverse por un período de tiempo prolongado. Algunos líquidos se moverán más lentamente que otros, pero siempre se moverán bajo esfuerzo cortante. La facilidad con que se mueve estará dada por la viscosidad, que se comenta más adelante, en relación con el efecto del rozamiento (Lage, 2018).

4.10.2 Densidad

Se define como la masa por unidad de volumen. Sus unidades en el sistema internacional son [kg/m³]. Para un fluido homogéneo, la densidad no varía de un punto a otro y puede definirse simplemente mediante la **Ecuación** (33) (Lage, 2018).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (33)$$

Donde

ρ Densidad [kg/m³].

m Masa [kg].

V Volumen [m³].

4.10.3 Velocidad de flujo

Cuando el fluido llena completamente el área de la sección transversal disponible y está bajo presión, la velocidad de flujo promedio se determina usando la rapidez del flujo de volumen y el área de flujo neta en la **Ecuación** (34) (Mott & Untener, 2015).

$$v_f = \frac{Q}{A} \quad (34)$$

Donde

v_f Velocidad de flujo. [m/s]

Q Caudal [m³/s].

A Área de la sección transversal [m²].

4.10.4 Peso específico

El peso específico se define como el peso por unidad de volumen. En el sistema internacional sus unidades son [N/m³]. Para un fluido homogéneo se puede determinar

mediante la **Ecuación** (35) (Lage, 2018).

$$\gamma_l = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (35)$$

Donde

γ_l Peso específico [N/m³].

ρ Densidad [kg/m³].

g Constante gravitacional [m/s²].

4.10.5 Viscosidad dinámica

Cuando un fluido se mueve, se crea en él un esfuerzo cortante, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. El esfuerzo cortante, denotado por la letra griega τ (tau), se puede definir como la fuerza requerida para deslizar una capa de unidad de área de una sustancia sobre otra y las unidades en el SI (Sistema Internacional de Unidades) es Pa.s. (Mott & Untener, 2015).

En la **Tabla 12** se expresan valores de viscosidad dinámica para algunos líquidos.

Tabla 12. Valores de viscosidad seleccionados a partir del apéndice D del libro de Mott.

Fluido	Temperatura (°C)	Viscosidad dinámica (N.s/m ² o Pa.s)
Agua	20	1x10 ⁻³
Agua	70	4x10 ⁻⁴
Gasolina	20	3,1x10 ⁻⁴
Gasolina	62	2,0x 10 ⁻⁴
Aceite - SAE 30	20	3,5x10 ⁻¹
Aceite - SAE 30	80	1,9x10 ⁻²

Fuente. (Mott & Untener, 2015)

4.10.6 Viscosidad cinemática

En mecánica de fluidos, muchos cálculos involucran la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido. Por conveniencia, la viscosidad cinemática ν (letra griega nu) se define como se expresa en la **Ecuación** (36) (Mott & Untener, 2015).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (36)$$

Donde

ν Viscosidad cinemática [m²/s].

η Viscosidad dinámica [Pa · s].

ρ Densidad [kg/m³].

4.10.7 Propiedades de las tuberías

4.10.7.1 Rugosidad absoluta.

Es un conjunto de irregularidades de diferentes formas y tamaños que se pueden encontrar dentro de las tuberías comerciales, cuyo valor promedio se denomina rugosidad absoluta (ε) y se puede definir como el cambio promedio en el radio dentro de la tubería, algunos valores de esta rugosidad están expresados en la **Tabla 13** (Fernández, 2017).

Tabla 13. Rugosidad absoluta de la tubería hecha de diferentes materiales.

Material	Rugosidad ε (m)
Vidrio	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$
Material PVC	$7,0 \times 10^{-6}$
Tubo estirado, cobre, latón, acero	$1,5 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil - revestido	$1,2 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil - sin revestir	$2,4 \times 10^{-4}$
Concreto, bien hecho	$1,2 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1,8 \times 10^{-3}$

Fuente. (Mott & Untener, 2015)

4.10.7.2 Rugosidad relativa.

Es el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería, la influencia de la rugosidad absoluta depende del tamaño del tubo y se puede determinar a partir de la **Ecuación (37)**.

$$Rugosidad\ relativa = \frac{D}{\varepsilon} \quad (37)$$

Donde

ε Rugosidad absoluta [m].

D Diámetro de la tubería [m].

4.10.8 Número de Reynolds

El comportamiento del fluido, especialmente con respecto a la pérdida de energía, resulta totalmente dependiente de si el flujo es laminar o turbulento. Es posible demostrar en forma experimental y verificar de manera analítica que, en un tubo redondo, el carácter del flujo depende de cuatro variables: la densidad ρ del fluido, la viscosidad η del fluido, el diámetro D de la tubería y la velocidad promedio del flujo (Mott & Untener, 2015).

Al minimizar de manera cuidadosa las perturbaciones externas, es posible mantener un flujo laminar para números de Reynolds tan altos como 50 000. Sin embargo, cuando el

N_R es mayor que aproximadamente 4000, una perturbación menor de la corriente de flujo hará que éste cambie en forma repentina de laminar a turbulento por lo tanto se supone que (Mott & Untener, 2015).

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar (Mott & Untener, 2015).

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento (Mott & Untener, 2015).

El número de Reynolds para una sección circular se puede determinar a partir de la **Ecuación (38)**.

$$N_R = \frac{v\rho D}{\eta} \quad (38)$$

Donde

N_R Número de Reynolds.

v Velocidad promedio del flujo [m/s].

D Diámetro de la tubería [m].

η Viscosidad del fluido [Pa · s].

Por ejemplo, a continuación, se presentan algunas velocidades de flujo recomendadas para sistemas de fluidos expresadas en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Rango de velocidades recomendadas para sistemas de fluidos.

Tipo de servicio	v (m/s)
Líneas de succión	0,6 - 1,2
Líneas de retorno	1,5 - 4,0
Líneas de descarga	2,1 - 7,6

Fuente. (Mott & Untener, 2015)

4.10.9 Factor de fricción para flujo turbulento

La **Ecuación (39)**, que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción para el flujo turbulento, fue desarrollada por P. K. Swamee y A. K. Jain (Mott & Untener, 2015).

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (D/\varepsilon)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (39)$$

Donde

f Factor de fricción.

N_R Número de Reynolds.

D Diámetro [m].

ε Rugosidad absoluta [m].

4.10.10 Pérdidas de carga en la tubería

Los sistemas de tuberías paralelas y ramificadas son sistemas en los que los fluidos

pueden tomar múltiples caminos a medida que fluyen desde un punto inicial hasta un punto final (Mott & Untener, 2015).

4.10.11 Ecuación de Darcy - Weisbach para la pérdida de energía.

La ecuación de Darcy se puede utilizar para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en una sección recta larga de un tubo circular para flujo laminar y turbulento lento. El término h_L se define como la pérdida de energía en el sistema. Un componente de la pérdida de energía se debe a la fricción en el fluido que fluye. Para las condiciones de flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y la relación entre la longitud y el diámetro de la corriente que fluye. Esto se expresa matemáticamente como la ecuación de Darcy **Ecuación** (40) (Mott & Untener, 2015).

$$h_L = \frac{f \times L \times v^2}{D \times 2g} \quad (40)$$

Donde

h_L Pérdidas de energía debida a la fricción. [m o N·m/N]

f Factor de fricción.

v Velocidad de flujo promedio [m/s].

L Longitud de tubería [m].

D Diámetro de la tubería [m].

g Aceleración de la gravedad [9,81 m/s²].

Teniendo en cuenta que, $Q = v \times A$, y realizando un cambio de variables las pérdidas de energía debida a la fricción también se las puede expresar como se muestra en la **Ecuación** (41).

$$h_L = \frac{8 \times f \times L \times Q^2}{\pi^2 \times 2g \times D^5} \quad (41)$$

4.10.12 Pérdidas menores

La mayoría de los sistemas de tuberías también contienen otros elementos que provocan pérdidas de energía: válvulas, accesorios (por ejemplo, codos, tes, expansiones, contracciones), entradas y salidas de tuberías y equipos especiales como medidores, medidores de flujo, intercambiadores de calor, filtros y filtros. Estas pérdidas a menudo se denominan pérdidas menores (Mott & Untener, 2015).

4.10.12.1 Contracción súbita

La pérdida de energía debida a una contracción súbita, como se representa en la **Figura 6**, se calcula a partir de la **Ecuación** (42).

$$h_L = K \times \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (42)$$

Donde

h_L Pérdida de energía debida a la contracción súbita [m o N·m/N].

v Velocidad de flujo promedio [m/s].

g Aceleración de la gravedad [9,81 m/s²].

K Coeficiente de resistencia.

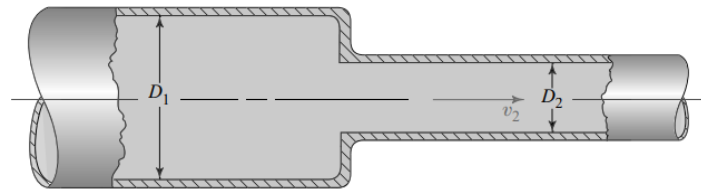


Figura 6. Contracción súbita.
Fuente. (Mott & Untener, 2015)

Donde v_2 representa la velocidad en la tubería pequeña aguas abajo de la contracción. El coeficiente de resistencia K depende de la relación de los tamaños de las dos tuberías y de la velocidad de flujo, tal como indican la **Tabla 15** y **Figura 6** (Mott & Untener, 2015).

Tabla 15. Coeficiente de resistencia K , para contracción súbita.

D1/D2	Velocidad v_2								
	0,6 (m/s)	1,2 (m/s)	1,8 (m/s)	2,4 (m/s)	3 (m/s)	4,5 (m/s)	6 (m/s)	9 (m/s)	12 (m/s)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,1	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
1,2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,1	0,11
1,4	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,2
1,6	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,24
1,8	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,29	0,27
2	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,34	0,33	0,31	0,29
2,2	0,4	0,4	0,39	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33	0,3
2,5	0,42	0,42	0,41	0,4	0,4	0,38	0,37	0,34	0,31
3	0,44	0,44	0,43	0,42	0,42	0,4	0,39	0,36	0,33
4	0,47	0,46	0,45	0,45	0,44	0,42	0,41	0,37	0,34
5	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	0,38	0,35
10	0,49	0,48	0,48	0,47	0,46	0,45	0,43	0,4	0,36

Fuente. (Mott & Untener, 2015)

4.10.12.2 Pérdida de entrada.

Un caso especial de constricción ocurre cuando el fluido fluye hacia una tubería desde un depósito o tanque relativamente grande. El fluido debe acelerar desde una velocidad despreciable hasta cualquier velocidad de flujo existente en la tubería. La facilidad con la que se realiza la aceleración determina la cantidad de energía perdida, por lo que el valor de la resistividad de entrada depende de la geometría de la entrada (Mott & Untener, 2015).

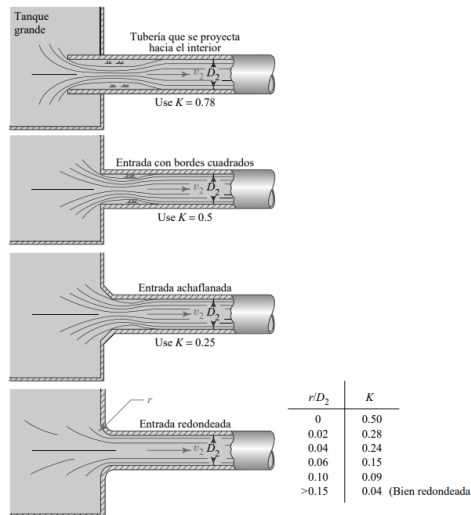


Figura 7. Coeficientes de resistencia de entrada.
Fuente. (Mott & Untener, 2015)

En resumen, después de seleccionar un valor para el coeficiente de resistencia de la **Figura 7**, podemos calcular la pérdida de energía en una entrada a partir de la **Ecuación (42)**.

4.10.12.3 Pérdidas de válvulas y accesorios.

Muchos tipos de válvulas y accesorios están disponibles de varios fabricantes para la especificación e instalación de sistemas de flujo de fluidos. Las válvulas se utilizan para controlar el flujo y pueden ser válvulas de globo, válvulas de ángulo, válvulas de compuerta, válvulas de mariposa, varios tipos de válvulas de retención y muchas más configuraciones. Los accesorios guían la ruta de flujo o provocan cambios en el tamaño de la ruta de flujo. Incluyen codos, tes, reductores, boquillas y toberas en varios diseños (Mott & Untener, 2015).

En la **Tabla 16** Se muestra el valor de relación de longitud equivalente (L_e/D) para distintos accesorios utilizados en los sistemas de flujos de fluidos.

Tabla 16. 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
Válvula de compuerta— $\frac{3}{4}$ open	35
Válvula de compuerta— $\frac{1}{2}$ open	160
Válvula de compuerta— $\frac{1}{4}$ open	900
Válvula de retención-tipo oscilante	100
Válvula de retención-tipo bola	150
Válvula de mariposa-totalmente abierta, 2-8 in	45

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería (L_e/D)
Válvula de mariposa-totalmente abierta—10–14 in	35
Válvula de mariposa-totalmente abierta—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
Te estándar- con flujo por la ramificación	60

Fuente. (Mott & Untener, 2015)

La pérdida de energía experimentada por el fluido que fluye a través de la válvula o accesorio se calcula mediante la **Ecuación** (42) para las pérdidas menores descritas anteriormente. Sin embargo, el método para determinar la resistividad K es diferente y se expresa mediante la **Ecuación** (43) (Mott & Untener, 2015).

$$K = f \times \left(\frac{L_e}{D} \right) \quad (43)$$

Donde

K Coeficiente de resistencia.

f Factor de fricción.

$\frac{L_e}{D}$ Longitud equivalente en diámetros de tubería.

4.11 Energía añadida al fluido h_A

Se realiza mediante un dispositivo mecánico como una bomba; con frecuencia, a esto se le denomina carga total de la bomba y se expresa mediante la **Ecuación** (44).

$$h_A = \left(\frac{P_B - P_A}{\gamma} \right) + (Z_B - Z_A) + \left(\frac{v_B^2 - v_A^2}{2g} \right) + (h_L) \quad (44)$$

La **Ecuación** (44) debe ser bien estudiada. Indica que la carga total h_A sobre la bomba es una medida de todas las tareas que debe realizar la bomba en un sistema. Debe incrementar la presión que hay en el punto A (P_A) situado en la entrada de la bomba hasta la presión en el punto B (P_B). Debe elevar el fluido en una cantidad igual a la diferencia de elevación que haya entre los puntos A y B. Debe suministrar energía para aumentar la velocidad del fluido a

partir de la velocidad existente en la tubería más grande localizada en la entrada de la bomba (llamada tubo de succión) hasta la velocidad existente en la tubería de sección más pequeña situada a la salida de la bomba (llamada tubo de descarga). Además, debe superar cualesquiera pérdidas de energía que se produzcan en el sistema, como las debidas a la válvula de retención y a la fricción generada en la tubería de descarga (Mott & Untener, 2015).

4.12 Ecuación general de la energía.

La ecuación general de la energía representa la energía por unidad de peso del fluido que fluye en el sistema. Las unidades típicas del SI son $\text{N} \cdot \text{m}/\text{N}$ o metros. La unidad comúnmente utilizada en los Estados Unidos es $\text{lb-ft}/\text{lb}$, o pies y viene descrita por la **Ecuación (45)** (Mott & Untener, 2015).

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

Es importante destacar que la ecuación general de energía se puede escribir como la dirección del flujo, es decir, desde el punto de referencia en el lado izquierdo de la ecuación hasta el lado derecho (Mott & Untener, 2015).

4.13 Selección y aplicación de bombas

4.13.1 Tipos de bombas

Las bombas se clasifican generalmente como bombas de desplazamiento positivo o bombas cinéticas. Las bombas de desplazamiento positivo entregan un volumen de fluido por cada revolución del eje de la bomba o cada ciclo de movimiento del elemento de bombeo activo. Por lo general, generan presiones muy altas a caudales moderados. Las bombas de energía cinética funcionan transfiriendo energía cinética desde un elemento giratorio llamado impulsor al fluido a medida que se mueve hacia la bomba y a través de ella (Mott & Untener, 2015).

4.13.2 Bombas cinéticas

Las bombas cinéticas aceleran el fluido a través de la acción de un impulsor giratorio, agregando así energía al fluido. La **Figura 8** muestra la configuración básica de las bombas centrífugas de flujo radial, el tipo más común de bomba cinética. Aquí se muestra la unidad completa, incluida la bomba en la parte delantera, el motor impulsor en la parte trasera y la conexión entre los ejes de la bomba y el motor debajo del marco protector. Todos los componentes están montados en una placa rígida que se puede fijar al suelo o a otra parte de la máquina donde se va utilizar (Mott & Untener, 2015).



Figura 8. Bomba centrífuga accionada por un motor, sobre una base.
Fuente. (Mott & Untener, 2015)

4.13.2.1 Bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas son versátiles, de bajo costo y fáciles de diseñar, operar y mantener, por lo que son las más adecuadas en la mayoría de las situaciones. Pueden proporcionar caudales variables desde unos pocos litros por minuto (modelos más pequeños) hasta cientos de metros cúbicos por minuto **Figura 9** (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

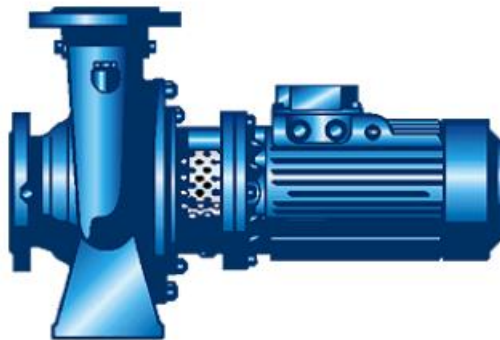


Figura 9. Bomba centrífuga.
Fuente. (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

Como se ha mencionado, están formadas por un disco rotatorio denominado rodete, provisto de unas nervaduras o álabes dispuestos como indica la **Figura 10**, que gira a gran velocidad dentro de una carcasa metálica (1500-3000 r.p.m.) (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

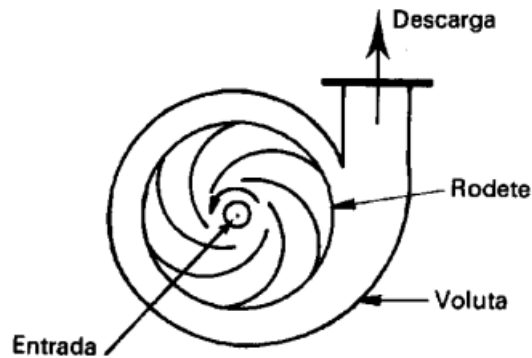


Figura 10. Rodete de una bomba centrífuga.
Fuente. (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

Según el tipo de líquido a bombear, elegir uno u otro impulsor y construirlo con el material adecuado. Ésta puede ser de hierro, bronce, aceros varios, aleaciones de níquel, etc; incluso metales vítreos, cerámica, carbono o fibras sintéticas, según las necesidades del fluido bombeado (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

En resumen, se pueden mencionar algunas ventajas de las bombas centrífugas.

- ✚ Construcción sencilla, con gran diversidad de materiales de construcción.
- ✚ Bajo coste inicial y de mantenimiento (menor que el de cualquier tipo de bomba).
- ✚ Ausencia de válvulas en el cuerpo de la bomba.
- ✚ Posibilidad de acoplamiento directo a un motor eléctrico, dada la gran velocidad a que operan (hasta más de 4000 r.p.m.).
- ✚ En general, para un caudal determinado, una mayor velocidad de giro supone un menor tamaño de la bomba y del motor.
- ✚ Al ser la de menor tamaño para una determinada capacidad, posibilidad de fabricarse formando con el motor de impulsión una unidad sellada, por lo que resulta útil para su introducción en el depósito de succión.
- ✚ Funcionamiento muy estable. Si se produce un bloqueo de la línea de impulsión (salida de la bomba) no se produce daño en la bomba, siempre que su funcionamiento no se mantenga así por largo tiempo.
- ✚ Puede manejar líquidos que contengan elevadas proporciones de sólidos suspendidos.
- ✚ A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo, pueden trabajar a válvula cerrada a la salida sin que sufran daño, proporcionando en vez de caudal, presión a la salida de la bomba (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

4.13.2.2 Curva característica de una bomba centrífuga.

La curva característica muestra que la bomba proporciona la altura máxima con caudal cero. Si hace funcionar una bomba centrífuga de válvula cerrada, la presión que recibe el fluido (ya que no circula) es la presión que corresponde a la altura de la bomba (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

Además de las curvas características de la bomba H/Q , también es necesario comprender la evolución de la eficiencia y la potencia con el caudal, cuya evolución se muestra en la **Figura 11**. En cuanto a la eficiencia, su evolución es una parábola que pasa por el origen y tiene un valor máximo, correspondiente al valor alto del par de corrientes, correspondiente al punto óptimo de funcionamiento de la bomba (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

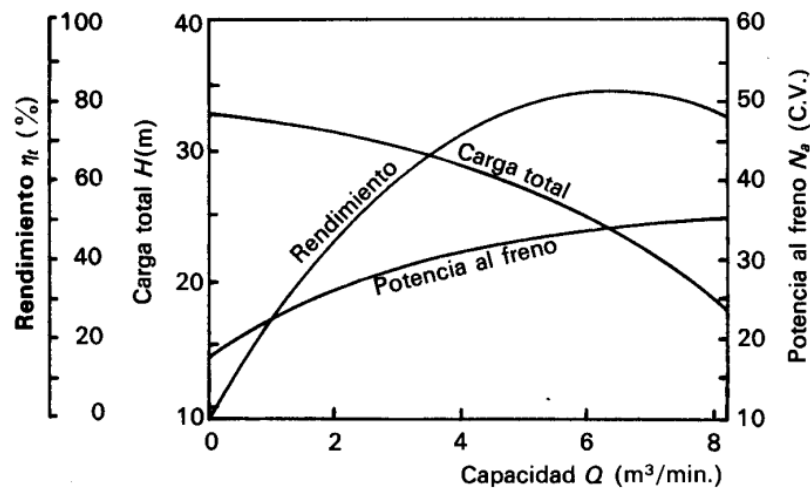


Figura 11. Curvas características de una bomba centrífuga.

Fuente. (I. Martín, R. Salcedo, 2011).

4.13.3 Potencia suministrada por una bomba al fluido

Debido a pérdidas de energía inevitables en la bomba, la fricción mecánica y la turbulencia creada por el fluido que pasa a través de la bomba. Por lo tanto, se requiere más potencia para accionar la bomba de la que finalmente se proporciona al fluido **Ecuación** (46) (Mott & Untener, 2015).

$$P_h = h_A \times \gamma \times Q \quad (46)$$

Donde

P_h Potencia hidráulica [W].

h_A Carga dinámica total [m].

Q Caudal [m^3/s].

γ Peso específico [N/m³].

4.13.4 Eficiencia mecánica de las bombas

El término eficiencia se utiliza para indicar la relación entre la potencia suministrada al fluido por la bomba y la potencia suministrada a la bomba. No toda la potencia de entrada se transfiere al fluido debido a las pérdidas de energía debidas a la fricción mecánica en el conjunto de la bomba, la fricción del fluido en la bomba y la turbulencia excesiva del fluido en la bomba esto se expresa en la **Ecuación** (47) (Mott & Untener, 2015).

$$\eta_B = \frac{P_h}{P_B} \quad (47)$$

Donde

η_B Eficiencia de la bomba [%].

P_h Potencia suministrada por la bomba al fluido [W].

P_B Potencia suministrada a la bomba [W].

4.13.5 Cavitación

Cuando la presión de succión en la entrada de la bomba es demasiado baja, se forman burbujas de vapor en el fluido de manera similar a la ebullición (Mott & Untener, 2015).

El fluido ingresa a la bomba a través de un puerto de succión ubicado en el orificio central del impulsor, donde la presión es más baja, la rotación del impulsor luego acelera el fluido hacia afuera a lo largo de las palas y hacia la armadura, llamada voluta. Durante todo el proceso, la presión del fluido sigue aumentando. Si se forman burbujas de vapor en el puerto de succión debido a la baja presión en este punto, colapsan a medida que fluyen hacia áreas de mayor presión. El estallido de la burbuja libera una gran cantidad de energía, que ejerce un impacto efectivo sobre las palas del impulsor y provoca una rápida erosión de sus superficies (Mott & Untener, 2015).

Cuando ocurre la cavitación, el rendimiento de la bomba puede degradarse severamente a medida que se reduce el flujo volumétrico entregado. La bomba vibra y hace un ruido fuerte como si el fluido contuviera grava. Si se permite que esto continúe, la bomba será destruida muy rápidamente. La bomba debe apagarse inmediatamente para determinar la causa de la cavitación y corregirla antes de reanudar la operación (Mott & Untener, 2015).

4.13.5.1 Presión de vapor.

La propiedad del fluido que determina las condiciones en que se forman burbujas de vapor es su presión de vapor p_{vp} , la cual suele reportarse como una presión absoluta en unidades de kPa o psia. Cuando las formas de vapor y líquido de una sustancia están en

equilibrio, hay una compensación entre el vapor que se expulsa fuera del líquido por acción de la energía térmica y la condensación del vapor debida a las fuerzas de atracción entre las moléculas (Mott & Untener, 2015).

En el análisis de la carga de succión positiva neta que sigue, es pertinente utilizar la carga de la presión de vapor h_{vp} en lugar de la presión de vapor básica p_{vp} , donde:

$$h_{vp} = p_{vp}/\gamma$$

La presión de vapor a cualquier temperatura debe dividirse entre el peso específico del líquido a esa temperatura (Mott & Untener, 2015).

4.13.5.2 NPSH.

Los fabricantes de bombas prueban cada diseño de bomba para determinar el nivel de presión de succión necesario para evitar la cavitación, reportando el resultado como la carga de succión positiva neta requerida $NPSH_R$ (Mott & Untener, 2015).

El diseñador de un sistema de bombeo tiene la responsabilidad de asegurar que la carga de succión positiva neta disponible, $NPSH_A$, sea significativamente superior a la $NPSH_R$.

De acuerdo con Mott & Untener (2015), se debe considerar una diferencia entre la $NPSH_A$, y la $NPSH_R$ mínima del 10 por ciento. Es decir

$$NPSH_A > 1,10 NPSH_R$$

El valor de la $NPSH_A$ depende de la presión de vapor del fluido que está siendo bombeado, de las pérdidas de energía en la tubería de succión, de la elevación del depósito de fluido y de la presión aplicada al fluido en el depósito. Esto se puede expresar como se muestra en la **Ecuación** (48) (Mott & Untener, 2015).

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (48)$$

Donde

h_{sp} Carga de la presión estática (absoluta) por encima del líquido contenido en el depósito [m o ft].

h_s Diferencia de elevación, expresada en metros o pies, entre el nivel del fluido contenido en el depósito y la línea central de la entrada de succión en la bomba [m o ft].

h_f Pérdida de carga en la tubería de succión debida a las pérdidas por fricción y pérdidas menores [m o ft].

h_{vp} Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo [m o ft].

4.14 Sistema energético

4.14.1 Redes de distribución eléctrica

4.14.1.1 Media tensión.

Se tiene dos niveles de tensión en zonas bien definidas:

Zona de Loja: corresponde a toda la provincia de Loja en la cual el sistema de distribución opera a una tensión de 13,8/7,97 kV (EERSSA, 2012).

Zona Oriental: corresponde a la provincia de Zamora Chinchipe y el cantón Gualaquiza, en esta zona la tensión en el sistema de distribución es de 22/12,7 kV (EERSSA, 2012).

4.14.1.2 Baja tensión.

Las redes de distribución de la EERSSA pueden ser monofásicas o trifásicas, con niveles de tensión de.

- ✚ Sistemas monofásicos de distribución 240/120 V.
- ✚ Sistemas trifásicos de distribución 220/127 V.
- ✚ Otras tensiones solicitadas para sistemas eléctricos industriales o comerciales pueden ser utilizadas y serán servidas desde el secundario del transformador a instalar, según el requerimiento (EERSSA, 2012).

4.14.2 Criterios de diseño

Las líneas de media tensión se proyectarán para 15 años y las redes de baja tensión y centros de transformación se proyectarán para un período de 10 años (EERSSA, 2012).

Los proyectos que se presentan en la EERSSA, deberán contener por lo menos lo siguiente, previo a su aprobación (EERSSA, 2012).

4.14.2.1 Nivel de aislamiento.

Los equipos como transformadores, seccionadores, pararrayos, capacitores, etc. que se instalen en el sistema de distribución del área de concesión de la EERSSA deben cumplir con los siguientes niveles de aislamiento **Tabla 17** (EERSSA, 2012).

Tabla 17. Nivel de aislamiento BIL de acuerdo con el nivel de voltaje.

Nivel de Tensión	Nivel de aislamiento BIL
13,8 kV	95 kV
22 kV	125 kV
69 kV	350 kV

Fuente. (EERSSA, 2012)

4.14.2.2 Cálculo de la demanda de diseño.

La demanda de diseño deberá ser determinada para un punto dado y su cálculo

considera los siguientes casos:

- ✚ Demanda de diseño para edificaciones centros comerciales, talleres y fábricas construidas en el área urbana (EERSSA, 2012).
- ✚ Demanda de diseño para urbanizaciones, lotizaciones y proyectos rurales (EERSSA, 2012).

4.14.2.3 Demanda Máxima Unitaria Proyectada, urbanizaciones, lotizaciones y proyectos rurales.

Las demandas máximas unitarias proyectadas serán consideradas tomando en consideración el área de los lotes para el sector urbano y el tipo de usuarios para el sector rural **Tabla 18** (EERSSA, 2012).

Tabla 18. Demandas máximas proyectadas según el tipo de usuario para el sector rural.

Tipo de sector	Tipo de cliente	DMUp [kVA] [10 años]
Periferia de la ciudad	F	0,6
Centro parroquial	G	0,5
Rural	H	0,4

Fuente. (EERSSA, 2012)

La demanda máxima proyectada, urbanizaciones, lotización es y proyectos rurales se determina mediante la **Ecuación** (49).

$$DMP = DMUp \times N \times FC \quad (49)$$

Donde

DMP Demanda máxima proyectada en el punto dado [kVA].

DMUp Demanda máxima unitaria proyectada [kVA].

N Número de usuarios.

FC Factor de coincidencia, dado por la **Ecuación** (50).

$$FC = N^{-0,0944} \quad (50)$$

Deberá incorporarse la demanda de las cargas especiales como las de alumbrado público y otras que sean incidentes para el cálculo como lo expresa la **Ecuación** (51) (EERSSA, 2012).

$$DMD = DMP + AP + Ce \quad (51)$$

DMD Demanda máxima de diseño [kVA].

AP Carga de alumbrado público [kVA].

Ce Cargas especiales (puntuales) [kVA].

4.14.3 Capacidad de transformadores

La capacidad del transformador a instalar se determinará en base a la demanda máxima calculada (EERSSA, 2012).

Todos los transformadores deben cumplir con las normas NTE INEN 2114 y 2115, referidas a las máximas pérdidas admisibles en los transformadores monofásicos y trifásicos, además, el aceite de dichos transformadores no debe tener contenido de PCB (EERSSA, 2012).

Los requerimientos de servicios monofásicos serán atendidos con transformadores tipo autoprotegidos (CSP) (EERSSA, 2012).

4.14.3.1 Transformadores para proyectos de urbanizaciones, lotizaciones y proyectos rurales.

Para determinar la capacidad de los transformadores, deberá considerarse los valores de demanda máxima de diseño (DMD) y el factor de sobrecarga (FS), para lo cual se deberá aplicar la **Ecuación** (52) (EERSSA, 2012).

$$MD_T = DMD \times FS \quad (52)$$

Donde

MD_T Demanda máxima de diseño del transformador [kVA].

DMD Demanda máxima de diseño según la **Ecuación** (51) [kVA].

FS Factor de sobrecarga.

El factor de sobrecarga (FS) de los transformadores se expresa en la **Tabla 19**.

Tabla 19. Factor de sobrecarga de los transformadores.

Categoría	FS
A	0,9
B y C	0,8
D...H	0,7

Fuente. (EERSSA, 2012)

En las redes de distribución aéreas los transformadores monofásicos a instalarse serán del tipo autoprotegidos (CSP), con excepción de los casos emergentes o temporales, en los cuales se pueden utilizar los bancos de transformadores (EERSSA, 2012).

El montaje de los transformadores convencionales conlleva la instalación de protecciones como pararrayos y seccionador-fusibles en media tensión, los que serán montados en crucetas ubicadas por debajo de la estructura de M.T. y en baja tensión de un interruptor termomagnético (EERSSA, 2012).

4.14.4 Cálculos de caída de tensión

Para el cálculo de la caída de tensión se aplicará el método de momento de potencia aparente de cada conductor para 1% de caída de tensión, para el cual se aplicarán los valores de kVA x km para media tensión (22 y 13,8 kV); y, kVA x metro para baja tensión (EERSSA, 2012).

4.14.4.1 Caída de tensión admisible para la red primaria.

Los límites máximos de la caída de tensión considerados desde el punto de salida de la subestación hasta el transformador más alejado eléctricamente en el proyecto, no deberán exceder los siguientes valores (EERSSA, 2012).

✚ Área Urbana = 3,5 %

✚ Área Rural = 7,0 %

Para su cómputo, la EERSSA facilitará el valor de caída de tensión en el punto de arranque del proyecto (EERSSA, 2012).

La caída de tensión respectiva se determina a partir de las **Ecuaciones** (53) y (54), mientras que el porcentaje de caída de tensión se calcula mediante la **Ecuación** (55).

$$\text{kVA}_{\text{caída}} = 0,01 \times L_{\text{red}} \times f_{\text{dv}} \quad (53)$$

Donde

L_{red} Longitud de la red [m].

f_{dv} Factor de caída de voltaje.

$$\text{kVA}_{\text{caída_total}} = \text{kVA}_{\text{caída}} \times \#_{\text{cond.}} \quad (54)$$

Donde

$\text{kVA}_{\text{caída_total}}$ Caída de tensión total.

$\#_{\text{cond.}}$ Cantidad de conductores.

$$\%_{\text{caída}} = \frac{\text{kVA}_{\text{caída_total}}}{\text{Volt}_{\text{línea}}} \quad (55)$$

Donde

$\text{Volt}_{\text{línea}}$ Voltaje de línea [V].

4.14.4.2 Caída de tensión admisible para red secundaria.

La máxima caída de tensión se calcula desde el transformador hasta la vivienda más alejada eléctricamente (red de distribución secundaria sumada la acometida), este valor no

deberá exceder los siguientes límites (EERSSA, 2012).

✚ Área Urbana = 4,5 %

✚ Área Rural = 5,5 %

Para el caso de edificios o edificaciones, el proyectista deberá incluir el cálculo de la caída de tensión hasta el tablero de distribución principal más alejado, debiendo cumplir además con los límites establecidos (EERSSA, 2012).

4.14.5 Diseño de líneas y redes aéreas para media tensión

4.14.5.1 Ruta.

Previo a la ejecución del diseño, el ingeniero proyectista recorrerá la ruta con la finalidad de escoger la más adecuada técnicamente y comprobar que no existan problemas en el terreno causado por deslizamientos (EERSSA, 2012).

En aquellos sitios en los que se visualice problemas por deslizamientos, la EERSSA solicitará la ejecución de un estudio de geología para garantizar la estabilidad de la obra a construir (EERSSA, 2012).

4.14.5.2 Diseño eléctrico.

Todas las líneas de media tensión se proyectarán para 15 años y su diseño se realizará respetando el nivel de tensión correspondiente a la zona en la cual se ubicará el proyecto (zona de Loja 13,8/7,97 kV, zona Oriental 22/12.7 kV) (EERSSA, 2012).

La configuración de las redes o alimentadores primarios pueden ser monofásicos, bifásicos o trifásicos (EERSSA, 2012).

No se podrá realizar la instalación de estructuras de líneas eléctricas en zonas de influencias de las carreteras, cursos de agua, canales, etc. de conformidad a lo que establece las leyes pertinentes (EERSSA, 2012).

4.14.5.3 Determinación del conductor.

El conductor en media tensión se determinará en función de la carga y la caída de tensión permisible, para su cálculo la EERSSA proporcionará al ingeniero proyectista el valor de la caída de tensión y las pérdidas de potencia en el punto de arranque del diseño eléctrico, desde este punto el diseñador efectuará los cálculos respectivos (EERSSA, 2012).

El conductor a utilizar será de aluminio reforzado con acero tipo ACSR o cables de aleación de aluminio (EERSSA, 2012).

Los sistemas aéreos pueden tener los siguientes calibres de conductores: 4(4), 2(2), 1/0(1/0), 2/0(2/0), 4/0(4/0) AWG, el hilo del neutro se especifica entre paréntesis. Por ningún motivo se puede utilizar conductores de calibres menores a los señalados (EERSSA, 2012).

4.14.5.4 Protecciones.

En todas las ramificaciones trifásicas y monofásicas que derivan de un alimentador primario trifásico, se instalarán seccionadores fusibles (EERSSA, 2012).

En las derivaciones monofásicas de un alimentador primario monofásico que superen los 300 metros, se instalarán seccionadores fusibles (EERSSA, 2012).

Cada 3 km de red de distribución o alimentador primario se instalarán seccionadores fusibles y pararrayos (EERSSA, 2012).

Los seccionadores fusible tipo abierto, serán de 100 A de capacidad (EERSSA, 2012).

Cuando se diseñe la instalación de seccionador-fusible o seccionador de barra en los recorridos principales de los alimentadores, deberá consultarse su capacidad en la EERSSA (EERSSA, 2012).

Los niveles de aislamiento de los sistemas de media y baja tensión serán los establecidos en esta norma (EERSSA, 2012).

4.14.5.5 Derivaciones de alimentadores primarios o redes de distribución.

En un poste que contenga media tensión trifásica, se permitirá una sola derivación trifásica o dos derivaciones monofásicas, para realizar más derivaciones será necesario cambiar el poste por uno de mayor altura (EERSSA, 2012).

Para postes que contengan media tensión monofásica, se permitirá un máximo de dos derivaciones monofásicas, para realizar más derivaciones podrá colocarse una cruceta metálica o un poste de mayor altura (EERSSA, 2012).

4.14.6 Diseño mecánico.

Para el cálculo mecánico del conductor se define las características y condiciones de operación y factores incidentes en el primer vano, (Aguilar., 2022).

El peso específico del conductor se determina a partir de la **Ecuación** (56) (Aguilar., 2022).

$$\gamma_{\text{cond}} = \frac{P_{\text{unit_cond}}}{S_{\text{total}}} \quad (56)$$

Donde

γ_{cond} Peso específico del conductor $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \right]$.

$P_{\text{unit_cond}}$ Peso unitario del conductor $\left[\frac{\text{kg}}{\text{km}} \right]$.

S_{total} Sección total del conductor $[\text{mm}^2]$.

La carga unitaria en el conductor por efecto del viento se determina a partir de la **Ecuación (57)** (Aguilar., 2022).

$$C_{\text{unit_viento}} = 0,00485 \times V_{\text{viento}}^2 \times D_{\text{cond}} \quad (57)$$

Donde

$C_{\text{unit_viento}}$ Carga unitaria en el conductor por efecto del viento $\left[\frac{\text{kg}}{\text{km}}\right]$.

V_{viento} Velocidad del viento [km/h].

D_{cond} Diámetro del conductor [mm].

El factor de sobrecarga en el conductor se determina a partir de la **Ecuación (58)** (Aguilar., 2022).

$$C_{\text{sobrecarga}} = \frac{\sqrt{P_{\text{unit_cond}}^2 + C_{\text{unit_viento}}^2}}{P_{\text{unit_cond}}} \quad (58)$$

El esfuerzo de la tensión unitaria, en condiciones iniciales del conductor se determina a partir de la **Ecuación (59)** (Aguilar., 2022).

$$T_1 = \frac{T_{\text{rot}}}{S_{\text{cond}} \times 2} \quad (59)$$

Donde

T_{rot} Tensión de rotura [kg].

S_{cond} Sección total del conductor [mm²].

4.14.6.1 Ecuación del cambio de estado.

Al realizar el estudio de una red de distribución, la EERSSA podrá solicitar la ejecución del cálculo mecánico, con la finalidad de determinar las tensiones de tendido y las distancias entre conductores que debe cumplir cada vano de un A/P (EERSSA, 2012).

Los valores de las tensiones y fechas para el tendido del conductor, así como también los parámetros para la obtención de las catenarias para los estados de máxima temperatura y mínima temperatura necesarios para el diseño de una línea, se obtienen a partir de la resolución de la ecuación de cambio de estado, cuya fórmula se expresa mediante la **Ecuación (60)** (EERSSA, 2012).

$$T_2^2 \left[T_2 + \alpha E(\theta_2 - \theta_1) - T_1 + \frac{a^2 m_1^2 \omega^2 E}{24 T_1^2} \right] = \frac{a^2 m_2^2 \omega^2 E}{24} \quad (60)$$

Donde

T_2 Tensión unitaria, condición final a calcular [kg/mm²].

T_1 Tensión unitaria, condición inicial [kg/mm²].

θ_1 Temperatura inicial del cable [°C].

θ_2 Temperatura final del cable [°C].

ω Peso del cable o peso aparente del cable en condiciones de carga del viento [kg/ (m × mm²)].

m_1 Coeficiente de sobrecarga por velocidad del viento condición inicial.

m_2 Coeficiente de sobrecarga por velocidad viento, condición final.

a Vano horizontal [m].

E Módulo de elasticidad del cable [kg/mm²].

α Coeficiente de dilatación lineal del cable [1/°C].

En la elaboración del cálculo mecánico, se considerará que las tensiones de tendido del conductor no superen el 20% de su tensión a la rotura (EERSSA, 2012).

El área de concesión de la EERSSA es muy abrupta y diversa, su altitud es muy variante, va de los 500 metros sobre el nivel del mar en adelante, lo que ocasiona una variación de las temperaturas promedios (EERSSA, 2012).

Para facilitar el cálculo mecánico, se ha procedido a su zonificación:

Zona 1, considera las áreas comprendidas en una elevación sobre el nivel del mar inferior a los 1 800 metros (EERSSA, 2012).

Zona 2, las restantes áreas con una elevación superior a los 1 800 metros (EERSSA, 2012).

Los siguientes criterios se deben considerar para la resolución de la ecuación de cambio de estado tal como se expresa en **Tabla 20** (EERSSA, 2012).

Tabla 20. Criterios para la resolución de la ecuación de cambio de estado.

Criterio	Estado	Zona 1		Zona 2	
		Temperatura [°C]	Viento Máximo [km/h]	Temperatura [°C]	Viento Máximo [km/h]
I	Temperatura mínima	5		-5	
II	Máxima carga (viento)	15	50	5	60
III	Tensión de todos los días	22		15	
IV	Temperatura máxima conductor	55		45	

Fuente. (EERSSA, 2012)

4.14.6.2 Sobrecarga de los cables.

El Reglamento de obras e instalaciones eléctricas en su Artículo 55 establece que, para calcular la tensión mecánica de los conductores, se considerará como la carga total, la resultante del peso del conductor y de la fuerza producida por el viento, actuando ésta horizontalmente y en ángulo recto con la dirección de la línea (Landa Viqueira, 2010).

La tracción máxima de los conductores y cables de tierra no debe resultar superior a su carga de rotura, mínima dividida por 2,5, si se trata de conductores cableados, o dividida por 3, si se trata de conductores de un alambre, considerándoles sometidos a la hipótesis de sobrecarga en la **Tabla 21**. En función de que la zona sea A, B o C (Ministerio de Industria, 2008).

Tabla 21. Criterios para la resolución de la ecuación de cambio de estado.

ZONA A			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción Máxima del viento	-5	Mínimo 120 o 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
ZONA B			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción Máxima del viento	-10	Mínimo 120 o 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
Tracción Máxima del hielo	-15	No se aplica	Aplica
Tracción Máxima del hielo + viento	-15	Mínimo 60 km/h	Aplica
ZONA C			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción Máxima del viento	-15	Mínimo 120 o 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
Tracción Máxima del hielo	-20	No se aplica	Aplica
Tracción Máxima del hielo + viento	-20	2 mínimo 60 km/h	Aplica

Fuente. (Ministerio de Industria, 2008).

De acuerdo con lo descrito por (Ministerio de Industria, 2008), el país está clasificado por tres zonas.

- ✚ ZONA A: La situada a menos de 500 metros de altitud sobre el nivel del mar.
- ✚ ZONA B: La situada a una altitud entre 500 y 1000 metros sobre el nivel del mar.
- ✚ ZONA C: La situada a una altitud superior a 1000 msnm.

4.14.6.3 Tracción máxima admisible.

La tracción máxima admisible se obtiene a partir de la **Ecuación** (61) (Aguilar., 2022).

$$T_{\text{máx}} = \frac{T_r}{C_{\text{seg}}} \quad (61)$$

Donde

Q_r Carga de rotura del conductor [kg].

C_{seg} Coeficiente de seguridad.

4.14.6.4 Tensión del tendido del conductor.

Es el esfuerzo de tensión que soportará el conductor al estar sujetos en los postes, y se expresa mediante la **Ecuación** (62) (Aguilar., 2022).

$$t_2 = S_{\text{cond}} \times T_2 \quad (62)$$

Donde

t_2 Tensión de tendido del conductor [kg].

S_{cond} Sección del conductor [mm²].

T_2 Tensión del conductor en condiciones finales [kg].

4.14.6.5 Coeficiente de seguridad.

Se trata de la relación entre la tensión de rotura del conductor y la tensión del conductor en condiciones finales y se determina a partir de la **Ecuación** (63) (Aguilar., 2022).

$$C_{\text{seg}} = \frac{T_{\text{rotura}}}{T_2} \quad (63)$$

Donde

T_{rotura} Tensión de rotura del conductor [kg].

C_{seg} Coeficiente de seguridad.

4.14.7 Límites de partida en el cálculo de un conductor

4.14.7.1 Límite elástico.

Aguilar (2022), menciona que la RLAT señala que la tensión máxima a la que puede someterse un cable es: la de su tensión de rotura (TR) dividida por un número de seguridad de 2,5. Esta tensión máxima se hallará aplicada en las condiciones de temperatura y exceso más propicios de la zona en la que se instale el conductor.

4.14.7.2 Límites dinámicos.

(TCD y THF) en el cálculo mecánico de los conductores el RLAT, determina que habrá de calcularse los conductores de forma que permanezcan protegidos de los fenómenos vibrantes (motivados por el viento). Sin embargo, no instituye límites al respecto, siendo por tanto el creador quien debe fijarlos (en dicho artículo se presenta las recomendaciones de la CIGRE: Diálogo Intencional de Grandes Redes Eléctricas) (Aguilar., 2022).

Se ha llegado así a instituir los conocimientos de los siguientes límites dinámicos:

- ✚ Tirantez de cada día (TCD-EDS): límite de tensión a 15°C, sin sobrecargas (en inglés, Every Day Stress: (EDS). Este límite tiene en cuenta el fenómeno vibrante eólico en ambientes de temperatura media más habitual, que se instaura en 15°C (Aguilar., 2022).
- ✚ Tirantez en las horas frías (THF-CHS): límite de tensión a -5°C, sin sobrecargas (en inglés, Cold Hours Stress: CHS). Además, tiene en cuenta el fenómeno vibratorio completo al viento, pero en condiciones de temperatura mínima más habitual, que se fija en -5°C. La recomendación de la CIGRE es que no se excedan los siguientes valores, mencionados en porcentaje de la tensión de rotura (TR) (Aguilar., 2022):

$$\text{TCD (EDS)} < 20\% \text{ de TR}$$

$$\text{THF (CHS)} < 22,5\% \text{ de TR}$$

UNESA, en su proyecto tipo para líneas aéreas de hasta 30 kV crea los siguientes valores privilegiados, únicamente para TCD (EDS), tomándolo como valor de partida para el cálculo de los conductores, estos valores se muestran en la **Tabla 22**.

Tabla 22. Valores recomendados para líneas aéreas de hasta 30 kV.

CONDUCTOR	LA-30	LA-56	LA-78	LA-110	LA-180
TDC (EDS)%	7	9	11	15	15

Fuente. (Camarero, 1999).

Unión Fenosa, en su proyecto tipo para líneas aéreas de hasta 20 kV, toma los conductores LA-56 y LA-110, que son los que utiliza esta empresa para este tipo de líneas, esto se muestra en **Tabla 23**.

Tabla 23. Valores recomendados para líneas aéreas de hasta 30 kV.

CONDUCTOR	ZONA	TCD (EDS)%	THF (CHS)%
LA-56	A	11	
	B	9	20
	C	5	
LA-110	A	13,6	
	B	13,6	15,9
	C	8,7	

Fuente. (Camarero, 1999).

Los valores de las **Tablas 22 y 23** son perceptiblemente menores (más seguros), a los límites determinados por la CIGRE. La razón es que el factor que más limita la duración de los conductores esgrimidos en líneas aéreas de M.T. es la vibración eólica y con TCD y THF más pequeños se limita ampliamente el efecto de la misma (Camarero, 1999).

4.14.8 Hipótesis de velocidad de viento máxima y temperatura mínima

Esta hipótesis es determinante en el cálculo de esfuerzos y tensiones en los conductores y cables de guarda, los valores de referencia según la altura sobre el nivel del mar donde este ubicada la red a diseñar se expresan en la **Tabla 24** (EBSA, 2010).

Tabla 24. Parámetros para la hipótesis de velocidad de viento máxima.

PARÁMETROS	0≤hsnm<1000	1000≤hsnm<2000	2000≤hsnm
Velocidad máxima del viento (km/h)	100	80	60
Temperatura coincidente (°C)	21	15	9

Fuente. (EBSA, 2010).

Según EBSA (2010), bajo las hipótesis de velocidad máxima del viento y temperatura mínima, los conductores no deben estar sometidos a una tensión mayor al 40% de su tensión de rotura cuyos valores se expresan en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Parámetros para la hipótesis de velocidad de temperatura mínima.

PARÁMETROS	0≤hsnm<1000	1000≤hsnm<2000	2000≤hsnm
Velocidad del viento (km/h)	60	48	36
Temperatura mínima (°C)	19	13	4

Fuente. (EBSA, 2010).

4.14.9 Hipótesis de la condición diaria.

Permite comprobar el cumplimiento de los factores de riesgo de diseño para los conductores. En condición diaria los conductores no deben estar sometidos a una tensión mecánica mayor al 20% de su tensión mecánica de rotura **Tabla 26** (EBSA, 2010).

Tabla 26. Parámetros para la hipótesis de condición diaria.

PARÁMETROS	0≤hsnm<1000	1000≤hsnm<2000	2000≤hsnm
Velocidad máxima del viento (km/h)	15	11	7
Temperatura promedio (°C)	25	19	14

Fuente. (EBSA, 2010).

4.14.10 Hipótesis de la temperatura máxima ambiente

Es determinante para calcular la magnitud de la máxima flecha y por consiguiente la altura de la estructura, además, se deben considerar los efectos de radiación solar y efecto

Joule debido a que afectan la temperatura del conductor, y el efecto Creep asociado con la elongación por tensión mecánica; puesto que los tres producen un incremento de la flecha (EBSA, 2010).

Para la hipótesis de temperatura máxima, se debe considerar una temperatura mínima del conductor de 60 °C (EBSA, 2010).

La **Tabla 27** expresa los valores de temperatura máxima ambiente para las condiciones de elevación sobre el nivel del mar donde se encuentra ubicada la red.

Tabla 27. Parámetros para la hipótesis de temperatura máxima ambiente.

PARÁMETROS	0≤hsnm<1000	1000≤hsnm<2000	2000≤hsnm
Temperatura máxima ambiente (°C)	33	26	24

Fuente. (EBSA, 2010).

4.14.11 Ecuación de la catenaria

Se denomina catenaria a la curva de equilibrio que adopta un hilo uniforme sometido a su propio peso (Aguilar., 2022).

Al coeficiente ‘a’ resultante del cociente de la tensión mecánica del conductor entre su peso, se le llamará ‘c’ para no confundirlo con el parámetro que indica el vano esto se expresa mediante la **Ecuación** (64), y además se le conoce como parámetro de la catenaria (Aguilar., 2022).

$$c = \frac{T_{\text{máx}}}{w_c} \quad (64)$$

Donde

c Parámetro de la catenaria [m].

w_c Peso propio del conductor [kg/m].

T_{máx} Tensión mecánica máxima del conductor [kg].

Mientras que la tensión horizontal se expresa mediante la **Ecuación** (65).

$$th = T_0 = w_c \times c \quad (65)$$

4.14.12 Cálculo de flechas

El cálculo de flechas se realiza para las hipótesis de diseño de temperatura máxima y temperatura mínima (EBSA, 2010).

El cálculo de la flecha para terreno nivelado se determina a partir de la **Ecuación** (66).

$$f = h \times \left[\cosh \left(\frac{a}{2h} \right) - 1 \right] \quad (66)$$

El cálculo de la flecha para terrenos desnivelados se determina a partir de la **Ecuación** (67).

$$f = h \times \cosh \left(\frac{x_m}{h} \right) \times \left[\cosh \left(\frac{a}{2h} \right) - 1 \right] \quad (67)$$

$$h = \frac{th}{\gamma_{\text{cond}}}$$

$$x_m = \frac{x_d - x_i}{2}$$

Donde

f Flecha [m].

h Parámetro del conductor [m].

a Longitud horizontal del vano [m].

th Tensión mecánica horizontal [kg/mm²].

γ_{cond} Peso aparente del conductor [kg/m · mm²].

x_m Abscisa media de la longitud horizontal del vano desnivelado [m].

x_d Abscisa extrema derecha de la longitud horizontal del vano, desnivelado [m].

x_i Abscisa extrema izquierda de la longitud horizontal del vano desnivelado [m].

4.14.13 Cálculo del esfuerzo útil del poste

Adicionalmente al cálculo mecánico, el Ingeniero Proyectista deberá elaborar el cálculo del esfuerzo útil del poste bajo condiciones de máximo viento, con la finalidad de determinar el tipo de poste a utilizar según su resistencia a la rotura (EERSSA, 2012).

Para su cálculo se considera que el viento pega sobre las cargas instaladas en el poste en forma perpendicular, que es el caso más crítico, las cargas a considerar en el cálculo son: conductores, aisladores, accesorios, transformadores, equipos de protección y seccionamiento, centro de gravedad del poste y en las estructuras angulares se debe incluir la tensión mecánica de los conductores en condiciones normales (EERSSA, 2012).

Su cálculo se elabora bajo la siguiente formulación:

- a) Momento debido a la carga del viento que sopla en dirección perpendicular al eje de la línea tal como se muestra en la **Ecuación** (68) (EERSSA, 2012).

$$M_{VC} = P_{v2} \times \sum(\phi_C \times a_v \times hi) \quad (68)$$

$$M_{VP} = P_{v1} \times \left[(2 \times d1 + HI \times Co) \times \frac{HI}{2} \right] \times Hg$$

$$M_{CV} = P_{v2} \times \sum(Aev \times a_v \times hi)$$

b) Momento debido a la carga de los conductores en estructuras donde la línea forma un ángulo, se expresa mediante la **Ecuación** (69) (EERSSA, 2012).

$$M_{VC\alpha} = 2 \times To \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times \sum(hi) \quad (69)$$

c) Otras fórmulas

$$P_{v1} = 0,0076 \times v^2, \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$P_{v2} = 0,0048 \times v^2, \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$He = \left(\frac{Hp}{10}\right) + 0,5$$

$$HI = H - He$$

$$Co = \frac{(d1-d2)}{Hp}$$

$$Hg = \left(\frac{HI}{3}\right) \times \left[\frac{2 \times d1 + d2}{d1 + d2}\right]$$

d) Cálculo

$$EU = \frac{(M_{VC} + M_{VC\alpha} + M_{VP} + M_{CV})}{(HI - 0,2)}$$

Donde

P_{v1} Presión del viento sobre el área rectangular.

P_{v2} Presión del viento sobre el área circular.

v Velocidad del viento [km/h].

M_{VC} Momento debido a la carga del viento sobre los conductores.

M_{VP} Momento debido a la carga del viento sobre el poste, aplicado sobre su centro de gravedad.

$M_{VC\alpha}$ Momento debido a los conductores por el ángulo de la línea.

M_{CV} Momento debido a la carga del viento sobre otros elementos instalados en el poste.

$d1$ Ancho del poste en su parte superior [m].

$d2$ Ancho del poste en la línea de empotramiento [m].

ϕ_C Diámetro del conductor [m].

hi	Altura del conductor ‘i’ con respecto al suelo [m].
a _v	Vano viento [m].
a _g	Vano peso [m].
H _p	Longitud del poste [m].
H _e	Altura de empotramiento del poste [m].
H _l	Altura libre del poste [m].
Co	Conicidad, se determina por [m].
H _g	Centro de gravedad del poste [m].
α	Ángulo de desvío topográfico [grados].
To	Tensión de tendido de la línea [kg].
ω _c	Peso del conductor [kg].
Pa	Peso de los aisladores [kg].
Ph	Peso de la herrajería [kg].
A _{ev}	Área expuesta al viento del elemento.

4.14.14 Vano vs tipo de estructura

Según lo descrito por EERSSA, (2012), Las estructuras normalizadas por la EERSSA son las que se establecen en el documento “Homologación y Estandarización de las Unidades de Propiedad y Unidades Constructivas del Sistema de Distribución Eléctrica”, elaborada por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y aprobada por el Directorio de la EERSSA.

El tipo de estructura a utilizar en una línea de media tensión se determina de acuerdo a la longitud del vano máximo que puede soportar una estructura, la que se determina por el cálculo mecánico y por la configuración del sistema, esto es si es monofásico o trifásico, tal como se muestra en la **Tabla 28**, (EERSSA, 2012).

Tabla 28. Número de postes a usarse de acuerdo a la longitud del vano.

Sistema Trifásico		Sistema Monofásico	
Vano [m]	Número de postes	Vano [m]	Número de postes
a < 200	1	a < 700	1
200 < a < 400	2	a > 700	2
400 < a < 700	3		
a > 700	4		

Fuente. (EERSSA, 2012).

Para los vanos que sobrepasan los 700 metros tanto en los sistemas monofásicos como en trifásicos, el conductor del neutro se lo colocará en un solo poste (EERSSA, 2012).

4.14.15 Amortiguadores

Según lo descrito por EERSSA (2012), se instalarán amortiguadores en el conductor de fase y en el neutro, del tipo adecuado para el calibre del conductor, el número de éstos depende de la longitud del vano tal como se muestra en la **Tabla 29**.

Tabla 29. Número de amortiguadores de acuerdo con la longitud de vano.

Longitud de vano [m]	Número de amortiguadores por cada conductor
$450 < a < 600$	1
$a > 600$	2 superpuestos

Fuente. (EERSSA, 2012).

4.14.16 Postes

4.14.16.1 Esfuerzo a la rotura.

Es el máximo esfuerzo de trabajo admisible que un poste puede soportar cuando se aplica una carga horizontal expresada en kilogramos, aplicada a 20 cm del extremo superior (EERSSA, 2012).

4.14.16.2 Características.

En el área de concesión de la EERSSA se utilizarán postes circulares de hormigón armado o plásticos reforzados con fibra de vidrio. Las alturas normalizadas para los postes son de 10, 12, 13, 14 y 15 metros, con cargas de rotura de 400 Kg, 500 Kg y 1200 Kg, especificados en el “Documento de homologación y Estandarización de las Unidades de Propiedad y Unidades Constructivas del Sistema de Distribución Eléctrica”, su uso lo establecerá el cálculo mecánico, esfuerzo útil del poste y las recomendaciones que especifique la EERSSA para cada proyecto (EERSSA, 2012).

4.14.16.3 Altura de enterramiento.

La altura de enterramiento de los postes lo determina el uso de la **Ecuación (70)** (EERSSA, 2012).

$$He = \frac{\text{Altura del poste}}{10} + 0,5 \quad (70)$$

4.14.17 Aisladores

4.14.17.1 Aislador de Suspensión, Porcelana, Clase ANSI 52-1, 15 kV.

Los aisladores de porcelana deben fabricarse por proceso húmedo. Toda la superficie expuesta de los aisladores de porcelana debe cubrirse con un vitrificado de tipo compresión duro, liso, brillante e impermeable a la humedad **Figura 12**; que le permita, por medio del lavado natural de las aguas lluvias, mantenerse fácilmente libre de polvo o suciedades

residuales ocasionadas por la contaminación ambiental. La superficie total del aislador, con excepción de la superficie de quema, deberá estar esmaltada. La superficie total deberá estar libre de imperfecciones (CNEL EP, 2015).



Figura 12. Aislador de Suspensión, Porcelana, Clase ANSI 52-1, 15 kV.
Fuente. (CNEL EP, 2015).

4.14.17.2 Aislador Espiga (Pin), de Porcelana, Clase ANSI 55-5, 15 kV.

Los aisladores de porcelana deben fabricarse por proceso húmedo. Toda la superficie expuesta de los aisladores de porcelana debe cubrirse con un vitrificado de tipo compresión duro, liso, brillante e impermeable a la humedad; que le permita, por medio del lavado natural de las aguas lluvias, mantenerse fácilmente libre de polvo o suciedades residuales ocasionadas por la contaminación ambiental **Figura 13** (CNEL EP, 2015).

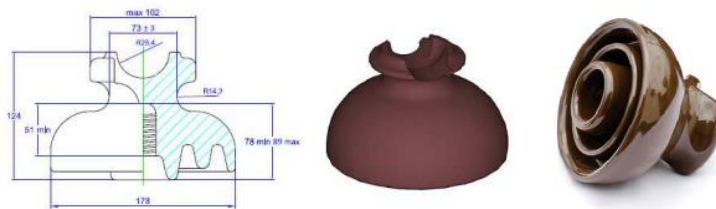


Figura 13. Aislador Espiga (Pin), de Porcelana, Clase ANSI 55-5, 15 kV
Fuente. (CNEL EP, 2015).

4.14.17.3 Aislador Rollo, de Porcelana, Clase ANSI 53-2, 0,25 kV.

Los aisladores de porcelana deben fabricarse por proceso húmedo. Toda la superficie expuesta de los aisladores de porcelana debe cubrirse con un vitrificado de tipo compresión duro, liso, brillante e impermeable a la humedad; que le permita, por medio del lavado natural de las aguas lluvias, mantenerse fácilmente libre de polvo o suciedades residuales ocasionadas por la contaminación ambiental. La superficie total del aislador, con excepción de la superficie de quema, deberá estar esmaltada **Figura 14** (CNEL EP, 2015).

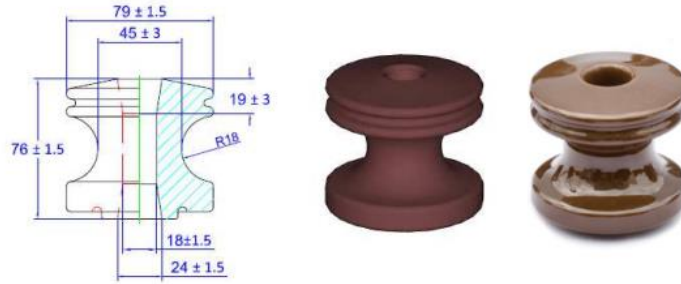


Figura 14. Aislador Rollo, de Porcelana, Clase ANSI 53-2, 0,25 kV.
Fuente. (CNEL EP, 2015).

4.14.17.4 Aislador de Retenida, Porcelana, ANSI 54-2.

Los aisladores de porcelana deben fabricarse por proceso húmedo. Toda la superficie expuesta de los aisladores de porcelana debe cubrirse con un vitrificado de tipo compresión duro, liso, brillante e impermeable a la humedad, que le permita, por medio del lavado natural de las aguas lluvias, mantenerse fácilmente libre de polvo o suciedades residuales ocasionadas por la contaminación ambiental. La superficie total del aislador deberá estar esmaltada y libre de imperfecciones, **Figura 15.** (CNEL EP, 2015).

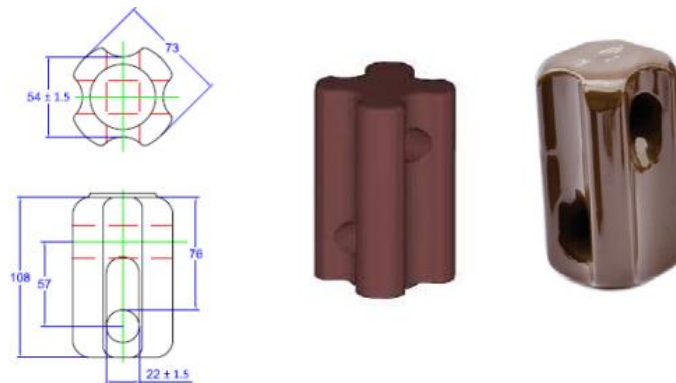


Figura 15. Aislador de Retenida, Porcelana, ANSI 54-2
Fuente. (CNEL EP, 2015).

4.14.18 Cálculo de vanos

El cálculo de vanos permite obtener directa o indirectamente las tensiones mecánicas y flechas de conductores y cables de guarda, las alturas necesarias de las estructuras, los esfuerzos transversales y verticales, y la elección de la hipótesis dominante en el estudio mecánico de conductores (Aguilar., 2022).

4.14.18.1 Vano regulador.

Si los apoyos se encuentran al mismo nivel se determina a partir de la **Ecuación (71)**.

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^3}{\sum_{i=0}^n a_i}} \quad (71)$$

Donde

a_r Vano regulador [m].

a Longitud del vano medido en la dirección longitudinal [m].

4.14.18.2 Vano máximo.

El vano máximo permitido es el mínimo vano comprendido entre el vano máximo por péndulo y el vano máximo por altura de la estructura (Aguilar., 2022).

4.14.18.3 Vano máximo por péndulo.

Es posible determinar la máxima flecha que permite conservar la distancia mínima entre conductores y posteriormente calcular el vano máximo por péndulo. Para que el vano máximo por péndulo sea permitido, la distancia obtenida debe ser menor o igual a la distancia real entre conductores (Aguilar., 2022).

La separación entre conductores se expresa mediante la **Ecuación (72)**.

$$d_f = K \times \sqrt{f + \lambda} + \frac{U}{150} \quad (72)$$

Donde

d_f Separación entre conductores en la misma estructura [m].

K Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.

f Flecha máxima [m].

λ Longitud de la cadena de aisladores en suspensión [m].

Para estructuras de retención $\lambda = 0$.

U Tensión nominal de línea [kV].

Los valores del coeficiente K se expresan en la **Tabla 30**.

Tabla 30. Coeficiente de oscilación de los conductores.

Ángulo de oscilación	Valores de K	
	Líneas de tercera categoría	Líneas de primera y segunda categoría
Superior a 65°	0,65	0,7
Entre 40° y 65°	0,6	0,65
inferior a 40°	0,55	0,6

Fuente. (EBSA, 2010).

Según Aguilar (2022), describe las categorías dependiendo la tensión nominal que va desde 1 kV hasta 220 kV.

- ✚ Primera categoría: Las de tensión nominal inferior a 220 kV y superior a 66 kV.
- ✚ Segunda categoría: Las de tensión nominal igual o inferior a 66 kV y superior a 30 kV.
- ✚ Tercera categoría: Las de tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1 kV.

4.14.18.4 Vano máximo permitido por la altura de la estructura.

Al igual que la condición anterior, el vano máximo permitido por la altura de la estructura queda restringido al vano mediante el cual se obtenga una flecha que satisfaga la **Ecuación (73)** (EBSA, 2010).

$$f_{\text{máx}} = L_m - h_{\text{min}} \quad (73)$$

Donde

$f_{\text{máx}}$ Flecha máxima vertical en terreno [m].

L_m Altura de montaje del conductor más bajo en la estructura [m].

h_{min} Altura mínima del conductor al terreno [m].

4.14.18.5 Distancia de seguridad entre vanos y personas.

Para Aguilar (2022), los conductores serán colocados sobre apoyos con altura necesaria de forma tal que no puedan ser accesibles sin medios especiales desde el suelo, viviendas ni otros lugares generalmente accesibles a las personas y, la distancia al suelo del conductor se calcula mediante la **Ecuación (74)**.

$$h_{\text{min}} = 5,3 + \left(\frac{V}{150}\right) \quad (74)$$

Donde

V Voltaje [kV].

h_{min} Altura mínima [m].

La altura de las estructuras será la necesaria para que los conductores con su máxima flecha vertical, queden situados por encima de cualquier punto del terreno o superficies de agua no navegables, a una altura mínima de 6 m (Aguilar., 2022).

4.14.19 Distancia entre fases.

La distancia permitida admisible entre fases en el centro del vano se calcula mediante la **Ecuación (75)** (Aguilar., 2022).

$$s_{\text{cond}} = k \times \sqrt{f_c + L_c + A} \quad (75)$$

Donde

s_{cond} Separación entre conductores [m].

k 0,75 para separación vertical y 0,65 para separación horizontal.

f_c Flecha final del conductor, [m]. Calculada a 45° y sin viento, correspondiente al vano máximo hacia cualquier lado de cada tipo de estructura.

L_c Longitud de la cadena de aisladores [m].

A Separación mínima en medio vano: 1,53 m para la zona 1.

4.14.20 Distancias mínimas del conductor al suelo

Según National Electrical Safety Code, ANSI C2 versión 2002, “Las alturas de seguridad normalizadas del conductor al suelo son las descritas

Tabla 31. Coeficiente de oscilación de los conductores.

Descripción	Distancia
Cruce con líneas férreas	10 m
Cruce de ríos	7 m
Vías de primer orden	9 m
Terrenos transitados y vías de segundo orden	8 m
Terreno normal en áreas rurales	7,5 m
Terreno de difícil acceso	7 m

Fuente. National Electrical Safety Code, ANSI C2 versión 2002.

4.14.21 Determinación de las franjas de servidumbre

Las distancias para franjas de servidumbre, en función del voltaje de la línea eléctrica, se muestran en la **Tabla 32**. Las empresas eléctricas distribuidoras podrán declarar en casos especiales franjas de servidumbre para redes eléctricas con los voltajes establecidos en la **Tabla 32**, cuando se justifique por razones de naturaleza técnica, social o ambiental, en zonas rurales (Landa Viqueira, 2010).

Tabla 32. Distancias excepcionales para franjas de servidumbre.

Voltaje (kV)	Ancho de la franja (m)
$34,5 < V \leq 46$	16
$13,8 < V \leq 34,5$	12
$13,8 < V \leq 34,5$	6

Fuente. (Landa Viqueira, 2010).

Según lo mencionado por Landa Viqueira (2010), dentro de la franja de servidumbre está prohibido el levantamiento de construcciones o edificaciones de cualquier tipo.

4.14.22 Vano peso

Se conoce también como gravivano, y es aquel que facilita calcular los esfuerzos verticales que los pesos aparentes de los conductores transmiten a las estructuras **Figura 16**. Este vano se determina a partir de la **Ecuación (76)** (EBSA, 2010).

$$a_g = a_{g1} + a_{g2} \quad (76)$$

Donde

a_g Vano peso del conductor [m].

a_{g1} Longitud desde la estructura hasta el vértice del vano anterior [m].

a_{g2} Longitud desde la estructura hasta el vértice del vano posterior [m].

4.14.23 Vano viento

Se le conoce también como eolovano, nos muestra cómo calcular el esfuerzo transversal que se transmite a las estructuras debido al efecto del viento sobre los conductores

Figura 16 y se determina mediante la **Ecuación (77)** (EBSA, 2010).

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (77)$$

Donde

a_v Longitud del vano viento medido en dirección longitudinal [m].

a_1 Longitud del vano anterior al apoyo medido en dirección longitudinal [m].

a_2 Longitud del vano posterior al apoyo medido en dirección longitudinal [m].

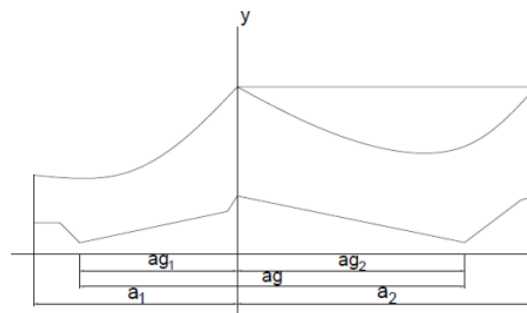


Figura 16. Gravivano y eolovano.

Fuente. (Aguilar., 2022).

4.14.24 Distancia de los conductores al terreno

Los conductores desnudos de una línea de M.T. han de quedar situados por encima de cualquier punto del terreno o superficie de agua no navegable, a una altura mínima que se determina a partir de la **Ecuación (78)** (Aguilar., 2022).

$$D_T = 5,3 + \frac{U}{150} \text{ [m]}, \text{ con un mínimo de 6 m.} \quad (78)$$

Donde

U Tensión [kV].

Por tanto, para una tensión de 20 kV el conductor deberá quedar a la mínima altura de

6m. esto significa que la altura de engrape (H_{eng}) del conductor más bajo se determina a partir de la **Ecuación (79)** (Aguilar., 2022).

$$H_{eng} = 6 \text{ m} + \text{flecha máxima prevista} \quad (79)$$

4.14.25 Puesta a tierra

Según EERSSA (2012), se conectará la “puesta a tierra” con el conductor neutro en los siguientes casos.

- ✚ En alimentadores primarios cada 500 ó 600 metros.
- ✚ En cada centro de transformación.
- ✚ En cada juego de pararrayos.
- ✚ En las cabinas de transformación, para lo cual la puesta a tierra se formará mediante una malla compuesta de 6 grillas.
- ✚ En todos los terminales y divisiones de las redes de baja tensión urbanas.
- ✚ En las estructuras terminal de las redes de baja tensión mayores a 200 m medidos a partir del transformador.
- ✚ En todas las luminarias (se conectará la carcasa de la luminaria al neutro del sistema que estará a su vez multiterrado).
- ✚ En todos los tableros o equipos de medición.

La puesta a tierra se la realizará con conductor de cobre cableado desnudo o con cable de cobre con recubrimiento de cobre, el calibre mínimo será el 4 AWG, el mismo que se conectará al neutro de las redes de distribución mediante un conector perno hendido Cu-Al de 6-2/0 AWG o Cu-Cu de tamaño adecuado, también se conectará a una varilla de cooperweld de $\varnothing 16 \times 1\ 800$ mm, (EERSSA, 2012).

El cable de puesta a tierra, en la parte inferior de los postes, deberá ir dentro de un tubo metálico tipo EMT de $\varnothing 12,5 \times 3\ 000$ mm sujetado al poste mediante cintas metálicas. No se aceptará la sujeción con hilos de alambre, (EERSSA, 2012).

En forma alternativa, el conductor de cobre para la puesta a tierra podrá estar fundido en el poste o también podrá colocarse una tubería PVC de $\varnothing 12,7$ mm para pasar el conductor de puesta a tierra, (EERSSA, 2012).

4.15 Trabajos relacionados

Ramos R. & Báez R (2013), en su trabajo titulado “Diseño Y Construcción De Un Sistema De Riego Por Aspersión En Una Parcela Demostrativa En El Cantón Cevallos”, concluyen que, para poder obtener mejores resultados en el riego por aspersión, se debe

tomar en cuenta todos los parámetros disponibles para el diseño, como son el viento, el agua, el tipo de cultivo, el tipo de suelo, etc. Ya que de ellos dependerá la eficiencia y uniformidad de riego, así como el resultado en la producción del cultivo.

Según Cleves et al (2016), en su artículo con título “ Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica.”, llegan a la conclusión que la ecuación propuesta por Penman-Monteith que permite calcular la ETo corresponde a un parámetro agroclimático que condensa y resume la influencia de los parámetros meteorológicos en la productividad de las plantas en condiciones de referencia, que luego pueden acercarse a la realidad mediante la utilización de los Kc de cada especie, teniendo en cuenta las características del suelo. Estos modelos son una herramienta importante para calcular o predecir el rendimiento esperado de cultivos herbáceos, bajo condiciones climáticas normales o de eventos de variabilidad o cambio climático.

En su guía titulada “Guía del cultivo de maní para las zonas de Loja y el Oro”, José Ullaury (2004), mencionan que, la planta de maní tiene alta resistencia a la sequía, pero necesita de humedad en la fase de floración y formación de frutos. La frecuencia de riego será dependiente del clima y el tipo de suelo en la zona de producción, además, del riego de la siembra es recomendable seis riegos de auxilio distribuidos en 8 -15 – 25 – 35 – 50 y 65 días después de la siembra. Debe evitarse el riego desde 20 días antes de la maduración esto evita que la semilla se pudra o germine.

El agua es uno de los factores más importantes para el establecimiento y mantenimiento del huerto o el sitio donde se realiza esta práctica. Las malas prácticas de riego pueden detener el crecimiento de las plantas, e incluso ser fatales para ellas (AMORGEO, 2005).

AMORGEO (2005), en su manual técnico titulado, “Manual técnico de cultivos agrícolas bajo riego” determinan la relación del tipo de suelo con la frecuencia y cantidad de agua requerida.

- ✚ Con más frecuencia en suelos arenosos, ya que no retienen mucha agua.
- ✚ Con menos frecuencia en suelos arcillosos, debido a su buena retención de agua.
- ✚ Moderadamente en suelos franco arcillosos y franco - arenosos debido a su mediana capacidad de retención de agua (AMORGEO, 2005).

Como regla general, las plantas deben ser regadas profundamente pero no con mucha frecuencia. El riego profundo humedece el suelo. Esto permite que el agua baje dentro del suelo llenando gradualmente la capacidad de retención del agua que tiene cada partícula de

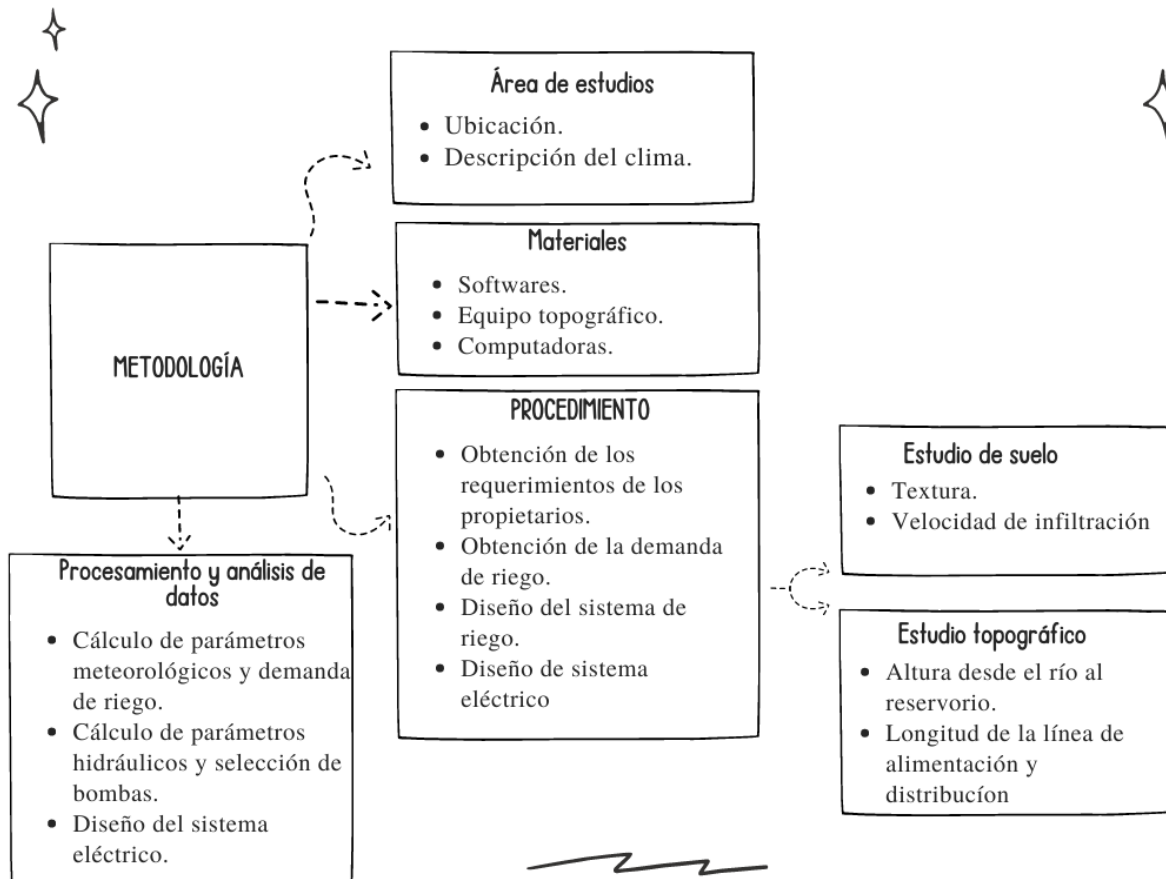
tierra. Asimismo, una buena secuencia de riego permite que el agua penetre lentamente en el suelo, y que la tierra de la superficie se seque. Estas condiciones estimulan el desarrollo de un sistema radicular profundo (AMORGEO, 2005).

Riego por aspersión

Algunas ventajas del riego por aspersión se describen en la publicación de AMORGEO (2005), estas son, alcanza elevadas eficiencias de riego, controla la salinización, se puede regar en suelos de muy baja capacidad de retención de humedad, es posible regar en suelos de fuertes pendientes, protege de excesivo calor y las heladas, permite la germinación del 100%, asegura un riego controlado y ofrece la posibilidad de planificar totalmente integrada de ingeniería agrícola a micro escala a nivel de agricultor. Entre algunas desventajas tenemos, costo, velocidad del viento, disponer agua limpia y filtrada, desarrollo de enfermedades fungosas y lava aplicaciones foliares.

5. Metodología

En esta sección se presenta el análisis de datos y mediciones realizadas, también se desarrollan los cálculos necesarios con las variables obtenidas durante el proceso de investigación.



5.1 Área de estudios

En la **Figura 17** se presenta el lugar donde se realizó la investigación, ubicada en el sur del Ecuador, provincia Loja, cantón Celica, barrio Cardopamba. Cuenta con un clima cálido seco en dos épocas marcadas durante el año que son, temporada lluviosa y temporada seca, la primera comprendida entre enero a julio y la segunda de julio hasta diciembre.

La propiedad del señor Barbariano Vera se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas, latitud **4°14'6.07"S** y longitud **80° 2'56.35"W**. Al contar con un gran afluente hídrico como es el río Catamayo y las condiciones adecuadas para la producción de maíz y maní se presentó la necesidad de diseñar un sistema de riego que aproveche estas condiciones principalmente en la época del año que las precipitaciones son nulas.



Figura 17. Lugar de diseño del sistema de riego.

5.2 Materiales

Para el estudio de esta sección se usó los siguientes materiales.

- ✚ Computadoras.
- ✚ Recipientes para muestras de suelo.
- ✚ Equipo topográfico.
- ✚ Aplicaciones web
- ✚ Cropwat.
- ✚ Climwat.

5.3 Procedimiento

El enfoque metodológico que se utilizó para este objetivo es de carácter mixto ya que se enfoca de manera cualitativa en la descripción del clima, las características topográficas además de la descripción de los cultivos involucrados en el estudio.

La parte cuantitativa se determinó a partir de los cálculos de los diferentes parámetros para obtener la evapotranspiración de los dos tipos de plantas involucradas en el diseño del sistema de riego, además de la obtención de la frecuencia de riego y tiempo de riego para los cultivos determinados.

Se obtuvieron los parámetros climáticos y atmosféricos a partir de los softwares Climwat 2.0 y Cropwat 8.0. En esta sección se procedió a seleccionar el país y posteriormente se

selecciona la estación meteorológica que consta en el software como se muestra en la **Figura 18**.

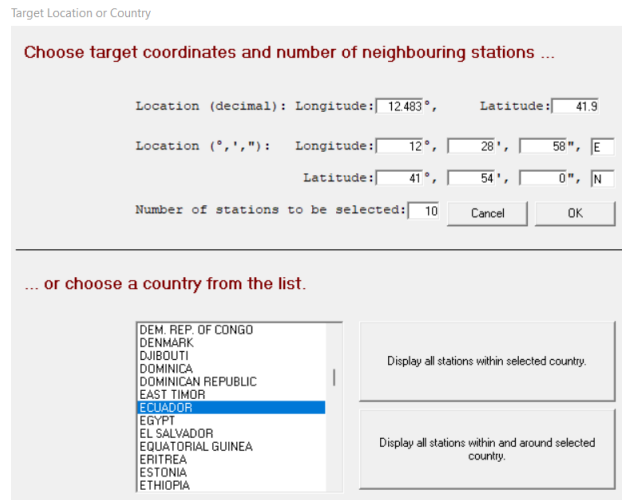


Figura 18. Selección del país donde se va a analizar la estación meteorológica.

Fuente. CLIMWAT 2.0

Luego de haber seleccionado el país se procede a determinar la estación meteorológica que fue analizada por el software **Figura 19**.

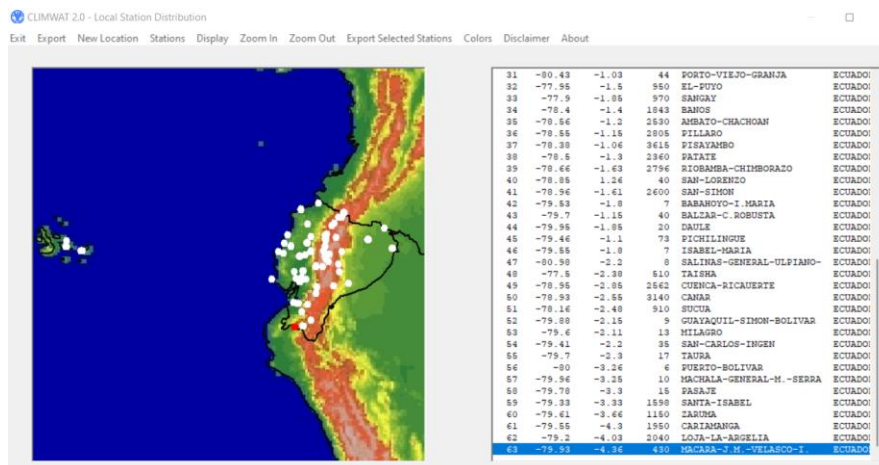


Figura 19. Estación meteorológica analizada para el objeto de estudio.

Fuente. CLIMWAT 2.0

Se seleccionó la estación meteorológica MACARA – J.M. -VELASCO I. para posteriormente exportar los datos y proceder a realizar su lectura con el software Cropwat 8.0 como se muestra en la **Figura 20**.

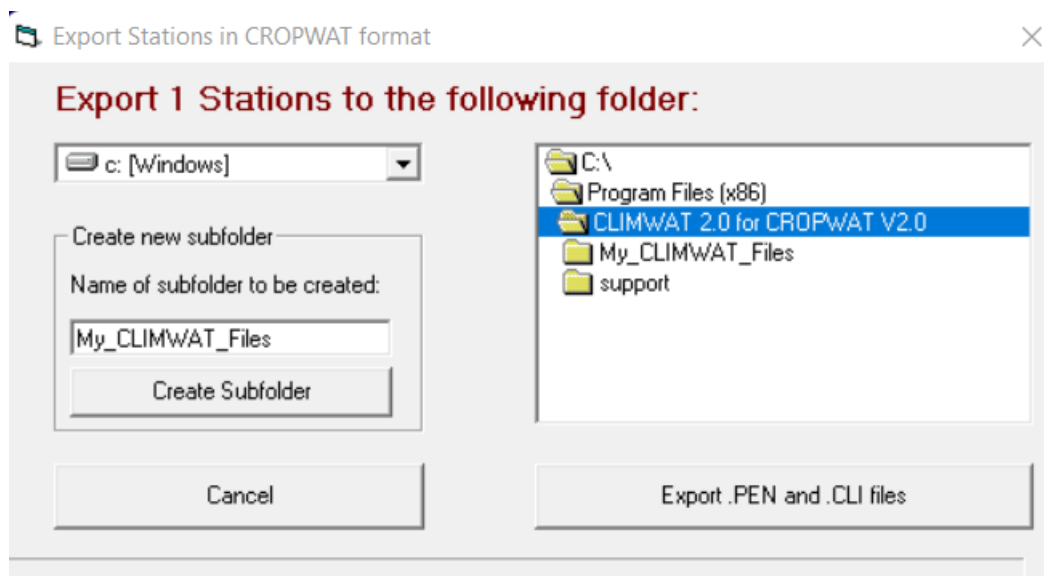


Figura 20. Extracción de datos para la lectura con el software Cropwat 8.0.
Fuente. CLIMWAT 2.0

Después de lo que muestra la **Figura 20** se procedió a guardar el archivo en una carpeta en el ordenador para su posterior lectura.

En la **Figura 21** se muestra los datos obtenidos a partir del software Cropwat 8.0.

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\CIENCIAS DE LOS MATERIALES\My_CLIMWAT_Files\MAC...							
País		Location 65		Estación MACARAJ_M_VELASCO-			
Altitud	430 m.	Latitud	4.36 °S	Longitud	79.93 °W		
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	19.4	31.2	65	216	3.0	14.0	4.29
Febrero	20.1	31.3	69	164	3.5	15.1	4.08
Marzo	20.0	30.1	75	164	3.6	15.1	3.75
Abril	18.8	31.2	72	173	4.3	15.5	3.99
Mayo	18.0	30.2	71	190	2.9	12.4	3.53
Junio	16.4	30.9	68	207	2.1	10.8	3.60
Julio	15.2	30.2	64	225	2.4	11.4	3.85
Agosto	15.4	31.0	61	216	3.2	13.3	4.27
Septiembre	15.7	32.0	59	225	3.4	14.4	4.72
Octubre	16.2	32.0	59	242	2.1	12.7	4.68
Noviembre	16.4	31.9	58	233	2.7	13.7	4.73
Diciembre	17.6	32.2	58	225	2.6	13.4	4.66
Promedio	17.4	31.2	65	207	3.0	13.5	4.18

Figura 21. Datos obtenidos del software Cropwat 8.0 de la estación meteorológica MACARA – J.M. -VELASCO I.
Fuente. CLIMWAT 2.0

Se obtuvo los datos de temperatura mínima, temperatura máxima, humedad, insolación que son datos que permitió realizar los cálculos para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia ET_o , además se usó la altura sobre nivel del mar que se obtuvo del estudio topográfico realizado en el sitio del diseño del sistema de riego.

Los parámetros de precipitación se obtuvieron del PDOT (Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Tnte. Maximiliano Rodríguez Loaiza) **Tabla 6.**

Para determinar la frecuencia y tiempo de riego se realizó un estudio de suelos para obtener la textura de suelo (ver **Anexo 5**), para ello se tomaron muestras del suelo objeto del presente proyecto para cultivo de maíz y maní (ver **Figura 22** y **Figura 23**).



Figura 22. Toma de muestras de suelo del lugar de análisis.



Figura 23. Clasificación de las muestras de suelo para enviar al laboratorio.

Luego de obtener los parámetros de riego: frecuencia de riego, tiempo de riego, lámina bruta entre otros, se seleccionaron los parámetros críticos donde el sistema de riego presentará su mayor demanda, tales valores se encuentran expresados en la **Tabla 41**.

5.4 Procesamiento y análisis de datos

5.4.1 Cálculos de parámetros meteorológicos y parámetros de riego

5.4.1.1 Cálculo de parámetros meteorológicos.

5.4.1.2 Presión atmosférica (P)

Para determinar la presión atmosférica se utilizó la **Ecuación (1)**, este cálculo requiere de la altura sobre el nivel del mar de 430 msnm del cultivo, mismo que es un dato arrojado por el software CROPWAT 8.0 para el lugar de análisis MACARA – J.M. -VELASCO I.

$$P = 101,3 \times \left(\frac{293 - 0,0065 \times (430)}{293} \right)^{5,26}$$

$$P = 96,319 \text{ kPa}$$

5.4.1.3 Constante psicrométrica (γ).

La constante psicrométrica (γ), se calculó mediante las variables expresadas en la **Ecuación** (2), se debe considerar que el valor de c_p es considerado para condiciones atmosféricas medias y tiene un valor de $c_p = 1,013 \times 10^{-3} \frac{\text{MJ}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}}$, así como el calor latente de vaporización λ que para condiciones normales de temperatura asume un valor de $2,45 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$ ya que presenta variaciones bajas.

$$\gamma = \frac{c_p \times P}{\varepsilon \times \lambda}$$

$$\gamma = \frac{1,013 \times 10^{-3} \frac{\text{MJ}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}} \times 96,319 \text{ kPa}}{0,622 \times 2,45 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = 0,064 \frac{\text{kPa}}{^\circ\text{C}}$$

5.4.1.4 Temperatura media del aire (T_{media}).

La temperatura media fue determinada mediante los datos obtenidos de las aplicaciones, CLIMWAT 2.0 y CROPWAT 8.0 que arroja los valores expresados en la **Tabla 33**. Se calcula mediante la **Ecuación** (3) la temperatura media para el mes de enero.

Tabla 33. Mediciones obtenidas a partir de los programas CLIMWAT 2.0 y CROPWAT 8.0 en el transcurso de un año tomado

Mes	T min (°C)	T máx. (°C)
Enero	19,4	31,2
Febrero	20,1	31,3
Marzo	20,0	30,1
Abril	18,8	31,2
Mayo	18,0	30,2
Junio	16,4	30,9
Julio	15,2	30,2
Agosto	15,4	31,0
Septiembre	15,7	32,0
Octubre	16,2	32,0
Noviembre	16,4	31,9
Diciembre	17,6	32,2
Promedio	17,4	31,2

Fuente. CLIMWAT 2.0 y CROPWAT 8.0

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

$$T_{media} = \frac{31,2 + 19,4}{2} = 25,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.4.1.5 Presión de saturación de vapor $e^\circ(T)$.

La presión de saturación se calcula en función de la temperatura del aire tal como se expresa en la **Ecuación** (4).

$$e^\circ(T) = 0,6108 \times \exp \left[\frac{17,27 \times T}{T + 237,3} \right]$$
$$e^\circ(T_{max}) = 0,6108 \times \exp \left[\frac{17,27 \times (31,2)}{31,2 + 237,3} \right]$$
$$e^\circ(T_{max}) = 4,544 \text{ kPa}$$
$$e^\circ(T_{min}) = 0,6108 \times \exp \left[\frac{17,27 \times (19,4)}{19,4 + 237,3} \right]$$
$$e^\circ(T_{min}) = 2,2528 \text{ kPa}$$

5.4.1.6 Presión media de vapor de saturación e_s .

La presión media de vapor de saturación se determinó a partir de la **Ecuación** (5) y es el promedio de la presión de saturación de vapor de las temperaturas medias máxima y mínima del aire.

$$e_s = \frac{e^\circ(T_{max}) + e^\circ(T_{min})}{2}$$
$$e_s = \frac{4,544 \text{ kPa} + 2,2528 \text{ kPa}}{2}$$
$$e_s = 3,3984 \text{ kPa}$$

5.4.1.7 Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ).

Para determinar la evapotranspiración fue necesario determinar la pendiente de relación entre la presión de saturación de vapor y la temperatura tal como se expresa en la **Ecuación** (6).

$$\Delta = \frac{4098 \times \left[0,6108 \times \exp \left(\frac{17,27 \times T}{T + 237,3} \right) \right]}{(T + 237,3)^2}$$
$$\Delta = \frac{4098 \times \left[0,6108 \times \exp \left(\frac{17,27 \times 25,3}{24,3 + 237,3} \right) \right]}{(25,3 + 237,3)^2}$$
$$\Delta = 0,1916 \frac{\text{kPa}}{^\circ\text{C}}$$

5.4.1.8 Presión real de vapor (e_a)

La presión real de vapor se calculó mediante la **Ecuación** (8), debido a que la precisión de los datos no es precisa en su totalidad.

$$e_a = e^\circ(T_{min}) \times \frac{HR_{max}}{100}$$

$$e_a = 2,2528 \text{ kPa} \times \frac{65}{100}$$

$$e_a = 1,464 \text{ kPa}$$

5.4.1.9 Radiación extraterrestre R_a .

La radiación extraterrestre se determinó mediante la **Ecuación** (9), la cual hace uso de los resultados obtenidos de las **Ecuaciones** (10), (11), (12) y (13) respectivamente.

Con la **Ecuación** (10), se obtuvo la distancia relativa tierra-sol, d_r , y la **Ecuación** (11) dio como resultado la declinación solar δ .

Se determinó la evapotranspiración promedio de cada mes, mismo que se calcula mediante la **Ecuación** (12). De acuerdo con lo señalado por el manual de la FAO (2006), se recomienda un valor de $j = 15$ que se corresponde con el quinceavo día de cualquier mes.

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{2\pi}{365} \times j\right)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{2\pi}{365} \times 15\right)$$

$$d_r = 1,032$$

La declinación solar para $j = 15$, se obtuvo a partir de la **Ecuación** (11).

$$\delta = 0,409 \times \sin\left(\frac{2\pi}{365} j - 1,39\right)$$

$$\delta = 0,409 \times \sin\left(\frac{2\pi}{365} \times 15 - 1,39\right)$$

$$\delta = -0,370 \text{ rad}$$

El ángulo de radiación (ω_s) a la puesta de sol, se determinó mediante la **Ecuación** (13). La latitud (φ) tomada para el análisis en el cantón Macara es $\varphi = -4,36^\circ = -0,076096 \text{ rad}$.

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\varphi) \times \tan(\delta)]$$

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(-0,076096 \text{ rad}) \times \tan(-0,370 \text{ rad})]$$

$$\omega_s = 1,600 \text{ rad}$$

La radiación extraterrestre (R_a) se calculó mediante la **Ecuación** (9), como se expresa a continuación.

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

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} \times 0,082 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{min}} \times 1,032 \times [1,60 \text{ rad} \times \sin(-0,080 \text{ rad}) \sin(-0,370 \text{ rad})$$

$$+ \cos(-0,080 \text{ rad}) \cos(-0,370 \text{ rad}) \sin(1,600 \text{ rad})]$$

$$R_a = 37,74438 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

La duración máxima de insolación (N_i) se determina a partir de la **Ecuación** (14).

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

$$N_i = \frac{24}{\pi} \times (1,600 \text{ rad})$$

$N_i = 12,2230$ horas de insolación

5.4.1.10 Radiación solar o de onda corta R_s .

La radiación solar o de onda corta (R_s) se determinó a partir de la **Ecuación** (15), que está en función de la radiación extraterrestre (R_a) y la duración de insolación (N_i).

$$R_s = \left(a_s + b_s \times \frac{n}{N} \right) \times R_a$$

$$R_s = \left(0,25 + 0,5 \times \frac{3,0 \text{ horas}}{12,2230 \text{ horas}} \right) \times 37,74438 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$R_s = 14,0681 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

5.4.1.11 Radiación solar en un día despejado R_{so} .

La radiación solar en día despejado (R_{so}) fue calculada mediante la **Ecuación** (16).

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

$$R_{so} = (0,25 + 0,5) \times 37,74438 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$R_{so} = 28,3083 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

5.4.1.12 Radiación neta solar o de onda corta R_{ns} .

Esta radiación se determinó a partir de la **Ecuación** (17), y se da por el equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada y se expresa de la siguiente manera.

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

$$R_{ns} = (1 - 0,23) \times 14,0681 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$R_{ns} = 10,8324 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

5.4.1.13 Radiación de onda larga R_{nl} .

La radiación de onda larga (R_{nl}) se determinó a partir de la **Ecuación** (18), e indica la radiación solar absorbida por la tierra que se convierte en energía térmica.

$$R_{nl} = \sigma \times \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \times (0,34 - 0,14 \times \sqrt{e_a}) \times \left(1,35 \times \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

$$R_{nl} = 4,903 \times 10^{-9} \frac{\text{MJ}}{\text{K}^4 * \text{m}^2 * \text{día}} \times \left[\frac{(304,35 \text{ K})^4 + (290,55 \text{ K})^4}{2} \right]$$

$$\times (0,34 - 0,14 \times \sqrt{1,464}) \times \left(1,35 \times \frac{14,0681 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}}{28,3083 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}} - 0,35 \right)$$

$$R_{nl} = 2,13 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

5.4.1.14 Radiación neta R_n .

La radiación neta (R_n) es la diferencia entre la radiación de entrada y de salida y se determinó a partir de la **Ecuación** (19).

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

$$R_n = 10,8324 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}} - 2,13468 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$R_n = 8,6977 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

5.4.1.15 Flujo del calor en el suelo (G).

Flujo de calor (G) se obtuvo a partir de la **Ecuación** (21).

$$T_{mes,+1} = 25,7 \text{ °C}$$

$$T_{mes,i-1} = 24,9 \text{ °C}$$

$$G_{mes,1} = 0,07 \times (T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1})$$

$$G_{mes,1} = 0,07 \times (25,7 \text{ °C} - 24,9 \text{ °C})$$

$$G_{mes,1} = 0,056 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

En este apartado se realizó únicamente el cálculo guía para el mes de enero del año que se obtuvo los datos, los resultados para los demás meses se encuentran descritos en el **Anexo 2**.

5.4.1.16 Relación del viento con la altura.

La relación del viento con la altura (u_2) se determinó a partir de la **Ecuación** (23).

$$u_2 = u_z \times \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)}$$

$$u_2 = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{4,87}{\ln(67,8 \text{ m} \times 10 - 5,42)}$$

$$u_2 = 1,8699 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Al igual que el apartado anterior se realizó el cálculo para el mes de enero los resultados para el resto de meses del año en análisis se presentan en el **Anexo 3**.

5.4.1.17 Evapotranspiración de referencia.

La evapotranspiración de referencia (ET_o) se determinó a partir del método de Penman-Monteith que reúne los datos obtenidos en la **Ecuación** (24), cabe recalcar que este cálculo se lo realizó como referencia para el mes de enero, para los meses faltantes los resultados se encuentran en el **Anexo 4**.

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

ET_o

$$= \frac{0,408 \times 0,19164 \frac{\text{kPa}}{^{\circ}\text{C}} \times \left(8,6977 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}} - 0,056 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \times \text{día}}\right) + 0,064 \frac{\text{kPa}}{^{\circ}\text{C}} \times \frac{900}{25,3^{\circ}\text{C} + 273} \times 1,8699 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (3,3984 \text{ kPa} - 1,4643 \text{ kPa})}{0,19264 \frac{\text{kPa}}{^{\circ}\text{C}} + 0,064 \frac{\text{kPa}}{^{\circ}\text{C}} \times \left(1 + \left(0,34 \times 1,8699 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)\right)}$$

$$ET_o = 4,6368 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

5.4.1.18 Evapotranspiración del cultivo ET_c .

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) se obtuvo a partir de la **Ecuación** (25), tomando en cuenta los valores del coeficiente K_c expresados en la **Tabla 8** y los valores respectivos de ET_o que se obtuvieron del lugar donde se realiza el diseño del sistema de riego.

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

$$ET_c = 0,7 \times 4,463 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

$$ET_c = 3,1241 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

Este valor referencial es considerado para el mes de enero y para el cultivo particular de maíz.

5.4.1.19 Parámetros para riego.

5.4.1.20 Agua disponible total (ADT).

La lámina (ADT) se determinó a partir de la **Ecuación** (26), tomando en cuenta los datos de la **Tabla 10**, los resultados del laboratorio de suelos expresados en el **Anexo 5** y los datos de la **Tabla 9** y se expresa a continuación.

$$ADT = (CC - PMP) \times da \times P_r$$

$$ADT = (0,35 - 0,18) \times 1,25 \times 0,8 \text{ m}$$

$$ADT = 0,17 \text{ m} = 170 \text{ mm}$$

Este valor se determina como referencia para la etapa fenológica del maíz en grano

5.4.1.21 Lámina neta.

Para Villegas & Torres (2006), el factor de agotamiento ($f_A = 0,6$) correspondiente a una

evapotranspiración de $5 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$, la **Ecuación** (29) permite ajustar los valores a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar promedio calculado para el mes de enero ($ET_c = 3,12 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$).

$$fc = f_A + 0,04 \times (5 - ET_c)$$

$$fc = 0,6 + 0,04 \times \left(5 - 3,12 \frac{\text{mm}}{\text{día}}\right)$$

$$fc = 0,6752$$

La lámina neta (Ln) se determinó a partir de la **Ecuación** (28) haciendo uso del factor de agotamiento corregido (fc) de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar obtenida en el lugar de análisis para los diferentes meses del año.

$$Ln = ADT \times f_A$$

$$Ln = ADT \times f_c$$

$$Ln = 170 \text{ mm} \times 0,6752$$

$$Ln = 114,78 \text{ mm}$$

Cabe recalcar que estos valores se obtuvieron considerando que los cultivos estuvieran dentro de un invernadero, para el caso del análisis que se realizó en la propiedad del sr. Barbariano Vera se consideraron factores como la precipitación, el tipo de suelo, entre otros. Para obtener estos datos se hizo uso del software CROPWAT 8.0 y se muestran valores de referencia expresados en la **Tabla 34**.

Tabla 34. Valores de lámina neta referenciales obtenidas a partir del software CROPWAT 8.0.

Fecha	Día	Etapas	Lám,Neta mm
5 Ene	5	Ini	19,8
16 Ene	16	Ini	20,5
1-Feb	32	Des	23,5
22-Feb	53	Des	27,4
1 Abr	91	Med	27,1
12 Abr	102	Med	27,7
22 Abr	112	Fin	29,2
5-May	125	Fin	29,3
19-May	139	Fin	29,2
20-May	Fin	Fin	

Fuente. CROPWAT 8.0

5.4.1.22 Lámina bruta o total de riego.

La lámina bruta (L_T) se determinó a partir de la **Ecuación** (30) y está relacionada con la lámina neta (Ln) y la eficiencia de aplicación (E_A) obtenida de la **Tabla 11**.

$$L_T = \frac{Ln}{E_A}$$

$$L_T = \frac{19,8 \text{ mm}}{0,75}$$

$$L_T = 26,4 \text{ mm}$$

Se consideró una eficiencia de aplicación (E_A) del 75% debido a las condiciones climáticas, las características del suelo y el tipo de sistema de riego que se va a implementar que en este caso es riego por aspersión.

5.4.1.23 Frecuencia de riego.

La frecuencia de riego (f_r), se determinó a partir de la **Ecuación** (31), involucra la lámina neta (Ln) más elevada que se obtuvo en los cultivos analizados y a su vez la evapotranspiración del cultivo de referencia ET_c que corresponde al periodo en cuestión.

$$f_r = \frac{Ln}{ET_c}$$

$$f_r = \frac{32,2 \text{ mm}}{5,58 \frac{\text{mm}}{\text{día}}}$$

$$f_r = 5,77 \text{ días}$$

5.4.1.24 Tiempo de riego.

El tiempo de riego (T_R) se determinó a partir de la **Ecuación** (32), involucra la velocidad de infiltración que se obtuvo a partir de la **Tabla 2** y la lámina total (L_T).

$$T_R = \frac{L_T}{V_I}$$

$$T_R = \frac{43 \text{ mm}}{3,5 \frac{\text{mm}}{\text{hora}}}$$

$$T_R = 12,29 \text{ horas}$$

5.4.2 Cálculo de parámetros hidráulicos

Para determinar los parámetros hidráulicos del sistema de bombeo se consideró que se poseen elementos que condicionarán el diseño los cuales son, el tipo de tubería, volumen de los reservorios, tipo de aspersores, entre otros. En esta sección se analizó los cálculos respectivos desde la tubería de succión (Lsu) hasta la línea que presenta la mayor cantidad de pérdidas en el sistema de bombeo de distribución.

El sistema de riego además está condicionado por la velocidad de infiltración del agua en el suelo, que condiciona el caudal que se debe suministrar ya que si se exceden estos valores existirán pérdidas por escurrimiento. Según Lulacam (2019), los valores de infiltración para el suelo de textura arcillosa es $< 5 \text{ mm/hr}$, mediante el estudio de suelo realizado en el sector del sistema de riego **Anexo 5**, se determinó que se posee suelo de textura arcilloso, por lo

tanto, se seleccionó la velocidad de infiltración de 3,5 mm/hr y se procedió a calcular el caudal necesario por hectárea para evitar pérdidas por escurrimiento.

$$3,5 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600} = 9,72222 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

Con la **Ecuación** (34) se obtuvo el caudal requerido (Q_i) para una hectárea de terreno.

$$v_i = \frac{Q_i}{A_i}$$

$$Q_i = v_i * A_i$$

$$Q_i = 9,72222 \times 10^{-7} \text{ m/s} * 10000 \text{ m}^2$$

$$Q_i = 9,7222 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal requerido es 35 m³/h, con esta condición se procedió a seleccionar el aspersor adecuado, las especificaciones técnicas se encuentran en el **Anexo 7**.

Tabla 35. Valores de algunos elementos que condicionan el diseño del sistema de riego.

Elemento	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /h)	#Aspersores	D (mm)	v (m/s)
Tanque de alimentación 2	67,01	-	-	-	-
Aspersores	-	5,84	6	-	-
Tubería Principal (manguera)	-	35	-	102,3	1,183
Tubería Secundaria (manguera)	-	11,68	2	77,9	0,681
Tubería de Succión	-	35	-	152,4	0,831

En la **Tabla 35** se muestran los parámetros que se consideraron para el diseño del sistema de riego, los mismos que fueron seleccionados a partir de las condiciones climáticas, desarrollo de cultivo y tipo de suelo del lugar de estudio.

En esta metodología se consideró que se va a alimentar 6 aspersores que regarán la cantidad de 10014 m² aproximadamente una hectárea de terreno y que deberán entregar un volumen de 430 m³ de agua, por ende, se dispondrán de 3 puntos de alimentación de aspersión los cuales se ubicarán en la línea principal cubriendo la necesidad de regar 3 hectáreas de terreno en riegos periódicos donde los puntos de alimentación se accionaran por separado, con estas consideraciones se seleccionó la bomba para el punto de alimentación más crítico, para lograr esto se desarrollaron los siguientes cálculos.

5.4.2.1 Valores de pérdidas para la línea de succión h_{Lsu} .

El valor de velocidad de flujo (v_{Lsu}) en la tubería de succión (Lsu) se obtuvo a partir de la

Ecuación (34), donde se relaciona el caudal de demanda con el área de la sección transversal de la tubería y se expresa a continuación.

$$v_{Lsu} = \frac{Q_{Lsu}}{A_{Lsu}}$$

Para la línea de succión se consideró los parámetros expresados en la **Tabla 35**.

$$A_{Lsu} = \frac{\pi \times D_{Lsu}^2}{4} = \frac{\pi \times (0,1223 \text{ m})^2}{4} = 0,0117 \text{ m}^2$$

$$v_{Lsu} = \frac{9,7222 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,0117 \text{ m}^2}$$

$$v_{Lsu} = 0,831 \text{ m/s}$$

Según Mott & Untener (2015), los rangos de velocidades recomendados para tuberías de succión están dentro de 0,6 – 1,2 m/s, tal como se muestra en la **Tabla 14**, de tal manera que para el estudio se utilizó un diámetro de tubería de succión de 122,3 mm.

5.4.2.2 Rugosidad relativa Lsu .

La rugosidad relativa se determinó a partir de la **Ecuación** (37), y es el cociente entre el diámetro de la tubería analizada para la línea principal que tiene un valor de (5 in = 0,1223 m) y la rugosidad absoluta y el valor de la rugosidad absoluta ϵ se obtuvo de la **Tabla 13**, y se seleccionó considerando que el tipo de material de la manguera es plástico y posee un valor de $\epsilon = 7,0 \times 10^{-6}$ m, por lo tanto, tenemos que.

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0,1223 \text{ m}}{7,0 \times 10^{-6} \text{ m}}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = 1,75 \times 10^4$$

5.4.2.3 Número de Reynolds Lsu .

El número de Reynolds (N_{RLsu}) se obtuvo a partir de la **Ecuación** (38) e involucra variables como son velocidad promedio del flujo, diámetro de la tubería, que los encontramos en la **Tabla 35**, la densidad del fluido (agua a 20°C), que fue seleccionada a partir del **Anexo 8** y viscosidad del fluido obtenida a partir de la **Tabla 12**, para el agua a temperatura de 20°C.

$$N_{RLsu} = \frac{v\rho D}{\eta}$$

$$N_{RLsu} = \frac{0,831 \text{ m/s} \times 998 \text{ kg/m}^3 \times 0,1223 \text{ m}}{1 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2}$$

$$N_R = 1,01 \times 10^5$$

De acuerdo con Mott & Untener (2015), si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento.

5.4.2.4 Factor de fricción para flujo turbulento L_{Su} .

Se determinó el factor de fricción para secciones circulares (f) a partir de la **Ecuación** (39), donde este involucra la rugosidad absoluta del material (ε), el diámetro de la tubería (D_{Lsu}) y el número de Reynolds (N_{RLsu}).

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (D_{Lsu}/\varepsilon)} + \frac{5,74}{N_{RLsu}^{0,9}} \right) \right]^2}$$
$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (0,1223\text{ m}/7,0 \times 10^{-6}\text{ m})} + \frac{5,74}{(1,01 \times 10^5)^{0,9}} \right) \right]^2}$$
$$f = 0,0182$$

5.4.2.5 Pérdidas de carga en la línea de succión h_{Lsu} .

Las pérdidas en la tubería de succión (h_{Lsu}) se determinaron de acuerdo a la **Ecuación** (40) e involucran la longitud de la tubería $L_{Lsu} = 3$ m, el factor de fricción $f = 0,017$, y la aceleración de la gravedad $g = 9,81$ m/s², la velocidad de flujo que recorre la línea de succión $v_{2Lsu} = 0,831$ m/s, y el diámetro de la tubería $D_{Lsu} = 0,1223$ m.

$$h_{Lsu} = \frac{f \times L_{Lsu} \times v_{2Lsu}^2}{D_{Lsu} \times 2g}$$
$$h_{Lsu} = \frac{0,0182 \times 3\text{ m} \times (0,831\text{ m/s})^2}{2 \times (9,81\text{ m/s}^2) \times 0,1223\text{ m}}$$
$$h_{Lsu} = 0,0157\text{ m}$$

5.4.2.6 Pérdidas menores en la línea de succión h_{LMsu} .

Para determinar las pérdidas menores en la línea de succión se consideró los siguientes elementos, una válvula de compuerta y la pérdida por entrada de flujo desde el tanque a la línea de succión.

Pérdida de entrada h_{Lsu-E}

Para el cálculo de esta pérdida se usó el coeficiente $K = 0,78$, ya que se seleccionó una tubería que se proyecta hacia el interior, el valor de la pérdida de entrada (h_{LMsu-E}) se obtuvo a partir de la **Ecuación** (42).

$$h_{LMsu-E} = K \times \left(\frac{v_{Lsu}^2}{2g} \right)$$
$$h_{LMsu-E} = 0,78 \times \left(\frac{(0,831\text{ m/s})^2}{2 \times (9,81\text{ m/s}^2)} \right)$$
$$h_{LMsu-E} = 0,0275\text{ m}$$

5.4.2.7 Pérdidas de carga en la línea principal h_{LP} y secundaria h_{LS} .

5.4.2.8 Pérdidas de energía en la línea principal h_{LP} .

Se consideró que el punto más alejado de la línea principal se encuentra en la cámara 3 (CAM-3), la longitud de la tubería es $L_{LP} = 216,65$ m, y el diámetro es de $D_{LP} = 0,1023$ m. El caudal que llega hasta la cámara 3 es $Q_{CAM-3} = 9,722 \times 10^{-3}$ m³/s, con estos datos se procedió a desarrollar los cálculos.

El valor de la velocidad de flujo para la línea principal de descarga (v_{LP}) se determinó a partir de la **Ecuación** (34).

$$v_{LP} = \frac{Q_{LP}}{A_{LP}}$$

El área (A_{LP}) se determinó usando como dato $D_{LP} = 0,1023$ m.

$$A_{LP} = \frac{\pi \times D_{LP}^2}{4} = \frac{\pi \times (0,1023 \text{ m})^2}{4} = 8,22 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Entonces la velocidad de flujo es.

$$v_{LP} = \frac{9,7222 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{8,22 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,183 \text{ m/s}$$

Teniendo en cuenta lo que menciona Mott & Untener (2015), que las velocidades recomendadas para las líneas de descarga se encuentra en el rango de 2,1 – 7,6 m/s. Se determinó que la tubería seleccionada es la adecuada.

✚ **Rugosidad relativa línea principal LP.**

La rugosidad relativa para la línea principal de descarga se determinó a partir de la **Ecuación** (37).

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{D_{LP}}{\varepsilon}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0,1023 \text{ m}}{7,0 \times 10^{-6} \text{ m}} = 1,46 \times 10^4$$

✚ **Número de Reynolds para la línea principal de descarga N_{RLP} .**

El número de Reynolds para la línea principal de descarga (N_{RLP}) se obtuvo a partir de la **Ecuación** (38).

$$N_{RLP} = \frac{v_{LP} \times \rho \times D_{LP}}{\eta}$$

$$N_{RLP} = \frac{1,183 \text{ m/s} \times 998 \text{ kg/m}^3 \times 0,1023 \text{ m}}{1 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2}$$

$$N_{RLP} = 1,21 \times 10^5$$

✚ **Factor de fricción para la línea principal de descarga LP.**

El factor de fricción (f) se determinó a partir de la **Ecuación** (39), y su valor se muestra a continuación.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (D_{LP}/\varepsilon)} + \frac{5,74}{N_{RLP}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (0,1023 \text{ m}/7,0 \times 10^{-6} \text{ m})} + \frac{5,74}{(1,21 \times 10^5)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,0176$$

Finalmente se determinó las pérdidas de carga para la línea principal de descarga (h_{LP}) mediante la **Ecuación** (40).

$$h_{LP} = \frac{f \times L_{LP} \times v_{LP}^2}{D_{LP} \times 2g}$$

$$h_{LP} = \frac{0,0176 \times 216,65 \text{ m} \times (1,183 \text{ m/s})^2}{0,1023 \text{ m} \times 2 (9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{LP} = 2,659 \text{ m}$$

5.4.2.9 Pérdidas menores en la línea principal de descarga h_{LMP} .

En esta sección se consideró los siguientes elementos que se encuentran ubicados en la línea principal de descarga (LP), estos elementos fueron seleccionados con la finalidad de accionar las cámaras por separado y a su vez direccionar el flujo a las líneas secundarias en cada cámara.

- 2 válvulas de compuerta.
- 3 te estándar – con flujo por la línea principal.

✚ Pérdida de energía en la válvula de compuerta h_{LMP-VC} .

Las pérdidas de energía en la válvula de compuerta (h_{LMP-VC}) están condicionadas por el factor de resistencia K y fue obtenido con ayuda de la **Tabla 16** que brinda la relación de longitud equivalente L_e/D y la **Ecuación** (43).

$$f_T = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (D_{LP}/\varepsilon)} + \frac{5,74}{(100000000)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_T = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (0,1023 \text{ m}/7,0 \times 10^{-6} \text{ m})} + \frac{5,74}{(100000000)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_T = 0,0112$$

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

$$K = 0,0112 \times 8 = 0,090$$

Las pérdidas de energía en la válvula de compuerta (h_{LMP-VC}) fueron obtenidas a partir de la **Ecuación** (42).

$$h_{LMP-VC} = K \times \left(\frac{v_{LP}^2}{2g}\right)$$

$$h_{LMP-VC} = 0,090 \times \left(\frac{(1,183 \text{ m/s})^2}{2 \times (9,81 \text{ m/s}^2)}\right)$$

$$h_{LMP-VC} = 6,42 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Sabiendo que son dos válvulas de compuerta entonces tenemos que:

$$h_{LMP-VC} = 6,42 \times 10^{-3} \text{ m} \times 2 = 0,0128 \text{ m}$$

✚ Pérdida de energía en la te estándar h_{LMP-TE} .

Al igual que las pérdidas de energía para las válvulas de compuerta en la te estándar con flujo por la línea principal se obtuvo el coeficiente de resistencia K con la ayuda de la **Tabla 16** y la **Ecuación** (43) como se detalla a continuación.

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

$$K = 0,0112 \times 20 = 0,224$$

Las pérdidas de energía en la te estándar (h_{LMP-TE}) fueron obtenidas a partir de la **Ecuación** (42).

$$h_{LMP-TE} = K \times \left(\frac{v_{LP}^2}{2g}\right)$$

$$h_{LMP-TE} = 0,224 \times \left(\frac{(1,183 \text{ m/s})^2}{2 \times (9,81 \text{ m/s}^2)}\right)$$

$$h_{LMP-TE} = 0,0160 \text{ m}$$

Considerando que son dos te estándar con flujo por la línea principal tenemos que:

$$h_{LMP-TE} = 0,0160 \text{ m} \times 2 = 0,032 \text{ m}$$

✚ Pérdida de energía en los codos de 90° radio largo $h_{LMP-C90^\circ}$.

Al igual que las pérdidas de energía para las válvulas de compuerta en los codos 90° de radio largo se obtuvo el coeficiente de resistencia K con la ayuda de la **Tabla 16** y la **Ecuación** (43) como se detalla a continuación.

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

$$K = 0,0112 \times 20 = 0,224$$

Las pérdidas de energía en los codos de 90° radio largo ($h_{LMP-C90^\circ}$) fueron obtenidas a partir de la **Ecuación** (42).

$$h_{LMP-C90^\circ} = K \times \left(\frac{v_{LP}^2}{2g} \right)$$

$$h_{LMP-C90^\circ} = 0,224 \times \left(\frac{(1,183 \text{ m/s})^2}{2 \times (9,81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_{LMP-C90^\circ} = 0,0160 \text{ m}$$

Considerando que son 5 codos de 90° de radio largo tenemos que:

$$h_{LMP-C90^\circ} = 0,0160 \text{ m} \times 5 = 0,0798 \text{ m}$$

5.4.2.10 Pérdidas de energía en la línea secundaria de descarga h_{LS} .

5.4.2.11 Pérdidas de energía en la línea secundaria h_{LS} .

Se consideró que el punto más alejado del sistema para la línea secundaria se encuentra en la cámara 3 (CAM-3), la longitud de la tubería es de $L_{LS} = 97,73 \text{ m}$, el diámetro es de $D_{LS} = 0,0779 \text{ m}$. El caudal que recorre esta tubería es el equivalente al demandado por dos aspersores $Q_{LS} = 3,244 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, con estos datos se procedió a desarrollar los cálculos respectivos.

El valor de la velocidad de flujo (v_{LS}) para la línea secundaria de descarga se determinó a partir de la **Ecuación** (34).

$$v_{LS} = \frac{Q_{LS}}{A_{LS}}$$

El área se determinó usando como dato $D_{LS} = 0,0508 \text{ m}$.

$$A_{LS} = \frac{\pi \times D_{LS}^2}{4} = \frac{\pi \times (0,0779 \text{ m})^2}{4} = 4,766 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Entonces la velocidad de flujo (v_{LS}) es:

$$v_{LS} = \frac{3,244 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{4,766 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 0,681 \text{ m/s}$$

Teniendo en cuenta lo que menciona Mott & Untener (2015), que las velocidades recomendadas para las líneas de descarga se encuentra en el rango de 2,1 – 7,6 m/s. Se determinó que la tubería seleccionada es la adecuada.

Rugosidad relativa línea principal LS.

La rugosidad relativa para la línea secundaria de descarga se determinó a partir de la **Ecuación** (37), y se expresa a continuación.

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{D_{LS}}{\varepsilon}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0,0779 \text{ m}}{7,0 \times 10^{-6} \text{ m}} = 1,11 \times 10^4$$

✚ Número de Reynolds para la línea secundaria de descarga N_{RLS} .

El número de Reynolds para la línea secundaria de descarga (N_{RLS}) se obtuvo a partir de la **Ecuación (38)**.

$$N_{RLS} = \frac{v_{LS} \times \rho \times D_{LS}}{\eta}$$

$$N_{RLS} = \frac{0,681 \text{ m/s} \times 998 \text{ kg/m}^3 \times 0,0779 \text{ m}}{1 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2}$$

$$N_{RLP} = 5,3 \times 10^4$$

✚ Factor de fricción para la línea secundaria de descarga LS .

El factor de fricción (f) se determinó a partir de la **Ecuación (39)**, y su valor se muestra a continuación.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (D_{LS}/\varepsilon)} + \frac{5,74}{N_{RLS}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (0,0779 \text{ m}/7,0 \times 10^{-6} \text{ m})} + \frac{5,74}{(5,3 \times 10^4)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,021$$

Finalmente se determinó las pérdidas de carga para la línea secundaria de descarga (h_{LS}) mediante la **Ecuación (40)**, tomando en cuenta los datos mostrados anteriormente.

$$h_{LS} = \frac{f \times L_{LS} \times v_{LS}^2}{D_{LS} \times 2g}$$

$$h_{LS} = \frac{0,021 \times 97,73 \text{ m} \times (0,681 \text{ m/s})^2}{0,0779 \text{ m} \times 2 (9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{LS} = 0,623 \text{ m}$$

5.4.2.12 Pérdidas menores en la línea secundaria de descarga h_{LMS} .

En esta sección se consideró los siguientes elementos que se encuentran ubicados en la línea secundaria de descarga (LS), son los encargados de distribuir el líquido a los aspersores existentes en la misma.

- 1 contracción súbita.
- 2 te estándar – con flujo por la línea principal.

✚ **Pérdida de energía en la contracción súbita h_{LMS-CS} .**

Las pérdidas de energía en la contracción súbita (h_{LMS-CS}) están condicionadas por el factor de resistencia K y fue obtenido con ayuda de la **Tabla 15** en la cual se obtiene su valor mediante interpolación para la relación de diámetros $D_{LP}/D_{LS} = 1,5$.

$$K = 0,2199$$

Las pérdidas de energía se obtuvieron a partir de la **Ecuación (42)**.

$$h_{LMS-CS} = K \times \left(\frac{v_{LS}^2}{2g} \right)$$

$$h_{LMS-CS} = 0,2199 \times \left(\frac{(0,681 \text{ m/s})^2}{2 \times (9,81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_{LMS-CS} = 5,198 \times 10^{-3} \text{ m}$$

✚ **Pérdida de energía en la te estándar h_{LMS-TE} .**

Al igual que las pérdidas de energía para las válvulas de compuerta en la te estándar con flujo por la línea principal se obtuvo el coeficiente de resistencia K con la ayuda de la **Tabla 16** y la **Ecuación (43)** como se detalla a continuación.

$$f_T = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times (D_{LS}/\varepsilon)} + \frac{5,74}{(100000000)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_T = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(0,0779 \text{ m}/7,0 \times 10^{-6} \text{ m})} + \frac{5,74}{(100000000)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_T = 0,012$$

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

$$K = 0,012 \times 20 = 0,24$$

Las pérdidas de energía en la te estándar con flujo por la línea principal (h_{LMS-TE}) fueron obtenidas a partir de la **Ecuación (42)**.

$$h_{LMS-TE} = K \times \left(\frac{v_{LS}^2}{2g} \right)$$

$$h_{LMS-TE} = 0,24 \times \left(\frac{(0,681 \text{ m/s})^2}{2 \times (9,81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_{LMS-TE} = 5,673 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Considerando que son dos te estándar con flujo por la línea principal tenemos que:

$$h_{LMS-TE} = 5,673 \times 10^{-3} \text{ m} \times 2 = 0,0114 \text{ m}$$

5.4.2.13 Energía añadida al fluido h_A .

Se realiza generalmente a partir de una bomba hidráulica y su valor se determinó a partir de la **Ecuación (44)**.

$$h_A = \left(\frac{P_B - P_A}{\gamma} \right) + (Z_B - Z_A) + \left(\frac{v_B^2 - v_A^2}{2g} \right) + (h_L)$$

El valor de (h_L) es la suma de todas las pérdidas por fricción en las tuberías que componen el sistema hasta llegar a su salida.

$$h_{Lsistema} = h_{LSu} + h_{LMSu-E} + h_{LP} + h_{LMP-VC} + h_{LMP-TE} + h_{LMP-C90^\circ} + h_{LS} + h_{LMS-CS} + h_{LMS-TE}$$

$$h_{Lsistema} = 0,0157 \text{ m} + 0,0275 \text{ m} + 2,659 \text{ m} + 0,0128 \text{ m} + 0,032 \text{ m} + 0,0798 \text{ m} + 0,623 \text{ m} + 5,198 \times 10^{-3} \text{ m} + 0,0114 \text{ m}$$

$$h_{L-TOTAL} = 3,47 \text{ m}$$

El valor del peso específico en las unidades del SI se lo obtuvo a partir del **Anexo 8**, y tiene un valor de $\gamma = 9790 \text{ N/m}^3$, la presión en el punto B debe ser de $P_B = 413\,685 \text{ Pa}$ de acuerdo con el **Anexo 7** que nos indica la presión mínima de operación de los aspersores, la velocidad en el punto B tuvo un valor de $v_B = 0,681 \text{ m/s}$, la carga de altura se determinó a partir de la curva de desnivel mostrada en el **Anexo 9** y que adquiere el valor de $Z_B = -7,115 \text{ m}$ por lo tanto la energía añadida al fluido tiene un valor de.

$$h_A = \left(\frac{413\,685 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{9790 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} \right) + (-7,115 \text{ m}) + \left(\frac{\left(0,681 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} \right) + (3,47 \text{ m})$$

$$h_A = 42,26 \text{ m} - 7,115 \text{ m} + 0,024 \text{ m} + 3,47 \text{ m}$$

$$h_A = 38,604 \text{ m}$$

Los valores de diámetros de la tubería utilizada se obtuvieron del **Anexo 10**.

Las hojas de cálculo generadas para la obtención de los parámetros de diseño del sistema hidráulico se muestran en el **Anexo 30** y **Anexo 31**.

5.4.2.14 Potencia suministrada por la bomba al fluido.

La potencia suministrada al fluido (P_h) fue determinada a partir de la **Ecuación (46)**, y su valor se muestra a continuación.

$$P_h = h_A \times \gamma \times Q$$

$$P_h = 38,604 \text{ m} \times 9790 \text{ N/m}^3 \times 9,7222 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_h = 3674,34 \frac{\text{N} \times \text{m}}{\text{s}} = 3674,34 \text{ W}$$

5.4.2.15 Eficiencia mecánica de las bombas.

Este valor se determinó a partir de la **Ecuación** (47).

$$\eta_B = \frac{P_h}{P_B}$$

Con los datos obtenidos se realizó la selección de la bomba a partir del catálogo general de Bohman, (bombas centrifugas) pg.22, bomba centrífuga 20A-10MW las características de esta bomba se describen en la **Tabla 36**.

Tabla 36. Características de la bomba marca IHM 20A – 10MW.

Características de la bomba		
Potencia	7,457	kW
Caudal máx.	45,4	m ³ /h
Altura máx.	70	m
Velocidad	3500	rpm

Fuente.(Ignacio Gómez IHM, 2022)

Con estos datos se procedió a determinar la eficiencia mecánica de la bomba de la bomba y a su vez se puede hacer la comparación con la eficiencia de la bomba entregada por el fabricante, (ver **Anexo 11**).

$$\eta_B = \frac{3674,34 \text{ W}}{7457 \text{ W}} = 0,493 \times 100 = 49,3\%$$

5.4.2.16 Cavitación.

La carga de presión estática (h_{sp}) fue obtenida considerando que el reservorio está abierto a la atmósfera.

$$P_{abs} = \text{Presión atmosférica} + \text{presión manométrica del tanque}$$

$$p_{abs} = 101 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$h_{sp} = \frac{101 \times 10^3 \text{ N/m}^2}{9790 \text{ N/m}^3}$$

$$h_{sp} = 10,32 \text{ m}$$

La diferencia de elevación se obtuvo a partir de las mediciones realizadas en lugar de estudio.

$$h_s = 1,60 \text{ m}$$

La pérdida de carga en la tubería de succión (h_f) debido a las pérdidas por fricción y pérdidas menores se obtuvieron en el análisis de las tuberías en la sección anterior y tienen un valor de

$$h_f = 0,04 \text{ m}$$

La carga de presión del líquido (h_{vp}) a la temperatura de bombeo fue obtenida a partir de los datos obtenidos del **Anexo 12**, considerando que el líquido a bombear (agua a 20 °C) la carga de presión es:

$$h_{vp} = p_{vp} / \gamma$$

$$h_{vp} = 0,2388 \text{ m}$$

De acuerdo con la **Ecuación** (48), se obtuvo el valor de ($NPSH_A$).

$$NPSH_A = 10,32 \text{ m} + 1,60 \text{ m} - 0,04 \text{ m} - 0,2388 \text{ m}$$

$$NPSH_A = 11,6412 \text{ m}$$

El **Anexo 11** proporcionó el $NPSH_R = 4 \text{ m}$, según los datos del fabricante, por lo tanto:

$$NPSH_A > 1,10 NPSH_R$$

$$NPSH_A > 1,10 \times 4 \text{ m}$$

$$NPSH_A > 4,4 \text{ m}$$

Como $NPSH_A = 11,6412 \text{ m}$ es mayor a $NPSH_R$ la bomba no cavita.

5.4.3 Sistema energético

El diseño del sistema energético toma en cuenta diferentes etapas a seguir, donde se detallan los factores y coeficientes de cálculo que fueron proporcionados por las distintas normativas vigentes en la actualidad.

5.4.3.1 Descripción geográfica del lugar donde se construirá la red.

En este apartado se detalló las coordenadas geográficas del lugar donde se realizará la construcción de la red, esto ayudó a determinar las condiciones ambientales y climáticas, además se identificó otros elementos que son indispensables para elaborar el cálculo mecánico de los cables.

5.4.3.2 Levantamiento del perfil topográfico de la red.

A partir de esto se determinó los puntos donde se ubican los postes y además se describió la ruta de tendido de los conductores, además se detalló la distancia de los vanos existentes en la red.

5.4.4 Parámetros de diseño

5.4.4.1 Ubicación de vanos.

La ubicación de los vanos se realizó mediante el perfil topográfico donde fueron ubicadas las estructuras.

5.4.4.2 Selección del conductor.

En sistemas de distribución aérea es más común usar conductores de tipo ACSR. Estos se seleccionaron de acuerdo a la capacidad de conducción de corriente, limitados por pérdidas y caídas de tensión. En el diseño de redes, en las cuales no existe aún conductor (redes rurales), se recomienda seguir el siguiente procedimiento (Aguilar., 2022).

Establecer la longitud en metros, de la sección desde los terminales del transformador hasta el extremo más alejado de la carga (Aguilar., 2022).

El calibre mínimo del conductor a utilizarse en sistemas de media tensión será el #2 AWG, tipo ACSR (Aguilar., 2022).

5.4.4.3 Caída de tensión.

La caída de tensión se determina con el método de momento de potencia aparente de cada conductor para 1% de caída de tensión, para el cual se aplicarán los valores de kVA/km para media tensión (22 y 13,8 kV), para el factor de caída de voltaje (f_{dv}) se toma del **Anexo 16** (Aguilar., 2022).

La caída de tensión se determinó a partir de la **Ecuación** (53) descrita a continuación, que para la longitud de red del diseño se da un valor de $L_{red} = 1,810$ km tomado a partir del **Anexo 17**.

$$kVA_{caída} = 0,01 \times L_{red} \times f_{dv}$$

$$kVA_{caída} = 0,01 \times 0,14 \text{ km} \times 330 \frac{\text{kV}}{\text{km}}$$

$$kVA_{caída} = 0,462 \text{ kV}$$

En el caso de diseño se consideró que consta de 2 conductores, 1 fase y 1 neutro por lo tanto la caída de tensión se determinó a partir de la **Ecuación** (54).

$$kVA_{caída_total} = kVA_{caída} \times \#_{cond.}$$

$$kVA_{caída_total} = 0,462 \text{ kV} \times 1$$

$$kVA_{caída_total} = 0,462 \text{ kV}$$

Mientras que el porcentaje de caída de tensión se obtuvo a partir de la **Ecuación** (55).

$$\%_{caída} = \left(\frac{kVA_{caída_total}}{\text{Volt}_{línea}} \right) \times 100$$

$$\%_{caída} = \left(\frac{0,462 \text{ kV}}{7,967 \text{ kV}} \right) \times 100$$

$$\%_{caída} = 5,8 \%$$

El porcentaje de caída de tensión es más bajo del recomendado por EERSSA (2012), que menciona que para el área urbana no se debe sobrepasar el 3,5 % mientras que para el área rural se debe considerar 7,0 %. En el caso de estudio se desarrolló en el sector rural.

Estos cálculos fueron desarrollados para el primer tramo de red, por consiguiente, para los tramos faltantes se expresan en el **Anexo 19**.

5.4.5 Cálculo del transformador

5.4.5.1 Demanda Máxima Unitaria Proyectada, urbanizaciones, lotizaciones y proyectos rurales.

La demanda máxima unitarias proyectadas fueron consideradas según el tipo de usuario de

acuerdo a la **Tabla 18**.

Para el caso en estudio se consideró el tipo de cliente H, con un valor de $DMU_p = 0,4$.

La demanda máxima proyectada (DMP) se determinó a partir de la **Ecuación (49)**.

$$DMP = DMU_p \times N \times FC$$

El factor de coincidencia (FC) se determinó a partir de la **Ecuación (50)**, además se consideró que el proyecto se realizaría para un solo usuario.

$$FC = N^{-0,0944}$$

$$FC = 1^{-0,0944}$$

$$FC = 1$$

$$DMP = 0,4 \times 1 \times 1$$

$$DMP = 0,4 \text{ kVA}$$

La demanda máxima de diseño (DMD) se determinó a partir de la **Ecuación (51)**, donde se consideró todas las cargas que influyen en el diseño del sistema energético. Para ello se describen los elementos en la **Tabla 37**.

Tabla 37. Descripción de elementos para el cálculo de la capacidad del transformador.

Cantidad	Descripción	Potencia (kW)	Potencia (kVA)
2	Bombas hidráulicas	14,914	17,97
1	Lampara para alumbrado público	0,1	0,109

$$DMD = DMP + AP + Ce$$

$$DMD = 0,4 \text{ kVA} + 0,109 \text{ kVA} + 17,97 \text{ kVA}$$

$$DMD = 18,479 \text{ kVA}$$

5.4.5.2 Transformadores para proyectos de urbanizaciones, lotizaciones y proyectos rurales.

La capacidad del transformador se determinó a partir de la **Ecuación (52)**. Se consideró el factor de sobrecarga (FS) de acuerdo a la **Tabla 19**, considerando que es un proyecto para el área rural el tipo de usuario es H.

$$MD_T = DMD \times FS$$

$$MD_T = 18,479 \text{ kVA} \times 0,7$$

$$MD_T = 12,94 \text{ kVA}$$

5.4.5.3 Cálculos mecánicos del conductor.

Se identificó las características del primer vano del caso de estudio las cuales se describen en la **Tabla 38**.

Tabla 38. Parámetros del primer vano de la red.

Parámetros	Valor	Unidad
Longitud del vano	140	m
Velocidad del viento	50	km/h
Número de conductores de fase	1	
Temperatura	22	°C
Longitud de poste	12	m
Voltaje de línea	7,967	kV

El peso específico del conductor se determinó a partir de la **Ecuación** (56), tal como se describe a continuación.

$$\gamma_{\text{cond}} = \frac{P_{\text{unit_cond}}}{S_{\text{total}}}$$
$$\gamma_{\text{cond}} = \frac{136,56 \frac{\text{kg}}{\text{km}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}}}{39,22 \text{ mm}^2}$$
$$\gamma_{\text{cond}} = 3,482 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{mm}^2}$$

La carga unitaria en el conductor por efecto del viento se determinó mediante la **Ecuación** (57).

$$C_{\text{unit_viento}} = 0,00485 \times V_{\text{viento}}^2 \times D_{\text{cond}}$$
$$C_{\text{unit_viento}} = 0,00485 \frac{\text{h}^2 \times \text{kg}}{\text{mm} \times \text{km}^3} \times \left(50 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2 \times 8,01 \text{ mm}$$
$$C_{\text{unit_viento}} = 97,121 \frac{\text{kg}}{\text{km}}$$
$$F_{\text{v_cond}} = (l_{\text{vano}} + V_{\text{sig}}) \times \frac{C_{\text{unit_viento}}}{1000}$$
$$F_{\text{v_cond}} = (140 + 0) \times \frac{97,121 \frac{\text{kg}}{\text{km}}}{\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}}$$
$$F_{\text{v_cond}} = 13,60 \text{ kg}$$

El factor de sobrecarga en el conductor se calculó a partir de la **Ecuación** (58).

$$C_{\text{sobrecarga}} = \frac{\sqrt{P_{\text{unit_cond}}^2 + C_{\text{unit_viento}}^2}}{P_{\text{unit_cond}}}$$

$$C_{\text{sobrecarga}} = \frac{\sqrt{\left(136,56 \frac{\text{kg}}{\text{km}}\right)^2 + \left(97,121 \frac{\text{kg}}{\text{km}}\right)^2}}{136,56 \frac{\text{kg}}{\text{km}}}$$

$$C_{\text{sobrecarga}} = 1,227$$

Se desarrolló la ecuación de la catenaria para lo cual se encontró el parámetro de la catenaria (c) expresado mediante la **Ecuación** (64).

$$c = \frac{T_{\text{máx}}}{w_c}$$

La tensión mecánica máxima del conductor se determinó a partir de lo mencionado por EERSSA (2012), “En condición diaria los conductores no deben estar sometidos a una tensión mecánica mayor al 20 % de su tensión mecánica de rotura”.

$$T_{\text{máx}} = T_{\text{rot}} \times 20 \%$$

Del **Anexo 18**, se obtuvo la tensión de rotura del conductor por lo tanto tenemos que.

$$T_{\text{máx}} = 1265 \text{ kg} \times 20\%$$

$$T_{\text{máx}} = 1012 \text{ kg}$$

$$c = \frac{1012 \text{ kg}}{0,13656 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}$$

$$c = 7410,66 \text{ m}$$

5.4.5.4 Desarrollo de la ecuación del cambio de estado.

Se desarrolló los diferentes procesos para determinar la tensión mecánica en condiciones finales en la red de estudio barrio Cardopamba, donde fueron ubicados los puntos donde están las estructuras, la obtención de todos los vanos correspondientes para cada uno de los criterios y sus respectivos estados, tal como se muestran en la **Tabla 51**.

$$T_1 = 29,9260025 \text{ kg/mm}^2$$

$$\theta_1 = 5 \text{ °C}$$

$$\theta_2 = 22 \text{ °C}$$

$$\omega = 3,482 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{mm}^2}$$

$$m_1 = 1$$

$$m_2 = 1$$

$$a = 140 \text{ m}$$

$$E = 6300 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\alpha = 23 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Se aplicó el método de Newton-Raphson para realizar las iteraciones necesarias y determinar la aproximación más conveniente para T_2 , considerando las temperaturas máxima y mínima establecidas para la zona (5 a 55), se consideró la temperatura inicial o de instalación de 22 °C obtenida a partir de la **Tabla 50**.

T_2 Fue determinada a partir de la ecuación de cambio de estado descrita por, **Ecuación (60)**.

$$T_2^2 \left[T_2 + \alpha E(\theta_2 - \theta_1) - T_1 + \frac{a^2 m_1^2 \omega^2 E}{24 T_1^2} \right] = \frac{a^2 m_2^2 \omega^2 E}{24}$$

Tensión en horas frías.

$$\begin{aligned} & \left(26,4771311 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)^2 \left[26,4771311 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} + \left(23 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \right) \times \left(6300 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) \times (22 - 5)^\circ\text{C} \right. \\ & \quad \left. - \left(28,9260025 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) + \frac{(140 \text{ m})^2 \times (1)^2 \times \left(3,482 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{mm}^2} \right)^2 \times \left(6300 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)}{24 \times \left(28,9260025 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)^2} \right] \\ & = \frac{(140 \text{ m})^2 \times (1)^2 \times \left(3,482 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{mm}^2} \right)^2 \times \left(6300 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)}{24} \\ & \quad 62,37963914 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 62,37964698 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \\ & \quad T_2 = 26,4771311 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

Tensión de cada día.

$$\begin{aligned} & \left(24,1764721 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)^2 \left[24,1764721 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} + \left(23 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \right) \times \left(6300 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) \times (55 - 22)^\circ\text{C} \right. \\ & \quad \left. - \left(28,9260025 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) + \frac{(140 \text{ m})^2 \times (1)^2 \times \left(3,482 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{mm}^2} \right)^2 \times \left(6300 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)}{24 \times \left(28,9260025 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)^2} \right] \\ & = \frac{(140 \text{ m})^2 \times (1)^2 \times \left(3,482 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{mm}^2} \right)^2 \times \left(6300 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)}{24} \end{aligned}$$

$$62,37964744 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 62,37964698 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$T_2 = 24,1764721 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Se puede explicar mediante los cálculos realizados que la tensión en condiciones finales $T_{2(5^\circ\text{C})} > T_{2(55^\circ\text{C})}$, ya que al momento de disminuir la temperatura el cable se contrae por lo tanto $T_{2(5^\circ\text{C})}$ alcanza un valor más elevado, mientras que al momento de elevarse la temperatura el cable se dilata provocando una mayor holgura entre los postes de sujeción por lo tanto $T_{2(55^\circ\text{C})}$ posee un valor inferior.

Según lo mencionado por Checa (1988), la tensión de cada día (*TCD*) se define como la tensión máxima admisible en un cable durante el período de tiempo más largo del año sin que experimente vibraciones eólicas y se acostumbra a expresar en tanto por ciento de la carga de rotura del cable.

5.4.5.5 Tracción máxima admisible.

Se determinó a partir de la **Ecuación** (61).

$$T_{\text{máx}} = \frac{T_r}{C_{\text{seg}}}$$

$$T_{\text{máx}} = \frac{1265 \text{ kg}}{1,556}$$

$$T_{\text{máx}} = 812,98 \text{ kg}$$

5.4.5.6 Tensión de tendido del conductor.

Se determinó a partir de la **Ecuación** (62).

$$t_2 = S_{\text{cond}} \times T_2$$

$$t_2 = 33,62 \text{ mm}^2 \times 26,4771311 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$t_2 = 890,161 \text{ kg}$$

$$\text{THF} < 22,4\% \times T_r$$

$$890,161 \text{ kg} < 22,5\% \times 1265 \text{ kg}$$

$$890,161 \text{ kg} < 980,375 \text{ kg}$$

$$t_2 = S_{\text{cond}} \times T_2$$

$$t_2 = 33,62 \text{ mm}^2 \times 24,1764721 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$t_2 = 812,813 \text{ kg}$$

$$\text{TCD} < 20\% \times T_r$$

$$812,813 \text{ kg} < 20\% \times 1265 \text{ kg}$$

$$812,813 \text{ kg} < 1012 \text{ kg}$$

5.4.5.7 Coeficiente de seguridad.

El coeficiente de seguridad se calculó mediante la **Ecuación** (63).

$$C_{\text{seg}} = \frac{T_{\text{rotura}}}{T_2}$$

$$C_{\text{seg}} = \frac{1265 \text{ kg}}{812,813 \text{ kg}}$$

$$C_{\text{seg}} = 1,556$$

5.4.5.8 Cálculo de flechas.

El cálculo de la flecha (f) para el primer vano, a = 140 m, se desarrolló mediante la **Ecuación** (67), ya que se trata de terrenos desnivelados.

$$f = h \times \cosh\left(\frac{x_m}{h}\right) \times \left[\cosh\left(\frac{a}{2h}\right) - 1\right]$$

La tensión horizontal th, se determinó a partir de la **Ecuación** (65).

$$th = T_0 = w_c \times c$$

$$th = 0,13656 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 7121,4922033 \text{ m}$$

$$th = \frac{972,4922033 \text{ kg}}{33,62 \text{ mm}^2} = 28,92600248 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$h = \frac{th}{\gamma_{\text{cond}}}$$

$$h = \frac{28,92600248 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{3,482 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{mm}^2}}$$

$$h = 8307,29537 \text{ m}$$

El valor de x_m se obtuvo a partir de los cálculos desarrollados en Excel, para el vano (a = 140 m) se obtuvo un valor de $x_m = 14,1695769 \text{ m}$.

$$f_{140} = 8307,29537 \text{ m} \times \cosh\left(\frac{14,1695769 \text{ m}}{8307,29537 \text{ m}}\right) \times \left[\cosh\left(\frac{140 \text{ m}}{2 \times 8307,29537 \text{ m}}\right) - 1\right]$$

$$f_{140} = 0,295 \text{ m}$$

5.4.5.9 Distancia entre la superficie del suelo y el conductor.

La distancia recomendada por EERSSA (2012), entre la superficie del suelo y el conductor, se considera 0,22 m como la distancia mínima de aislamiento en el aire para una tensión de hasta 24 kV, y fue calculada mediante la **Ecuación** (78).

$$D_T = 5,3 + \frac{U}{150}$$

$$D_T = 5,3 + \frac{7,967 \text{ kV}}{150}$$

$$D_T = 5,35 \text{ m}$$

La altura de engrape se determinó a partir de la **Ecuación (79)**.

$$H_{\text{eng}} = 6 \text{ m} + \text{flecha máxima prevista}$$

$$H_{\text{eng}} = 6 \text{ m} + 2,64 \text{ m}$$

$$H_{\text{eng}} = 8,64 \text{ m}$$

5.4.5.10 Cadena de aisladores.

Los aisladores recomendados para el caso de estudio sería el aislador espiga, de porcelana ANSI 55-5,15 kV, se consideró que el voltaje de fase a fase $V_{ff} = 7,967 \text{ kV}$ y $V_{fn} = 7,967 \text{ kV}$.

$$\# \text{aisladores} = \frac{V_{ff}}{V_{fn}}$$

$$\# \text{aisladores} = \frac{7,967 \text{ kV}}{7,967 \text{ kV}}$$

$$\# \text{aisladores} = 1$$

$$L_{\text{cadena de ais.}} = l_{\text{ais.}} \times \# \text{aisladores}$$

$$L_{\text{cadena de ais.}} = 0,160 \text{ m} \times 1$$

$$L_{\text{cadena de ais.}} = 0,16 \text{ m}$$

5.4.5.11 Vano máximo por péndulo.

Se determinó a partir de la **Ecuación (72)**, y de los datos obtenidos a partir de la **Tabla 30**, donde se eligió un coeficiente de oscilación de los conductores de $K = 0,65$, ya que se trata una línea de tercera categoría.

$$d_f = K \times \sqrt{f + \lambda} + \frac{U}{150}$$

$$d_f = 0,65 \times \sqrt{0,322 \text{ m} + 0,16 \text{ m}} + \frac{7,967 \text{ kV}}{150}$$

$$d_f = 0,20 \text{ m}$$

5.4.5.12 Flecha máxima permitida por la altura de la estructura.

Se determinó a partir de la **Ecuación (73)** y la altura mínima a partir de la **Ecuación (74)**.

$$h_{\text{min}} = 5,3 + \left(\frac{V}{150} \right)$$

$$h_{\text{min}} = 5,3 + \left(\frac{7,967 \text{ kV}}{150} \right)$$

$$h_{\text{min}} = 5,353 \text{ m}$$

$$f_{\text{máx}} = L_m - h_{\text{min}}$$

$$f_{\text{máx}} = 8,1 \text{ m} - 5,353 \text{ m}$$

$$f_{\text{máx}} = 2,74 \text{ m}$$

5.4.5.13 Distancia entre fases.

Se calculó mediante la **Ecuación (75)**.

$$s_{\text{cond}} = k \times \sqrt{f_c + L_c + A}$$

$$s_{\text{cond}} = 0,75 \times \sqrt{2,64 \text{ m} + 0,16 + 1,53 \text{ m}}$$

$$s_{\text{cond}} = 1,56 \text{ m}$$

5.4.5.14 Vano regulador.

Se determinó a partir de la **Ecuación (71)**.

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^3}{\sum_{i=0}^n a_i}}$$

$$a_r = \sqrt{\frac{(140 \text{ m})^3 + (280 \text{ m})^3 + (350 \text{ m})^3 + (350 \text{ m})^3 + (245 \text{ m})^3 + (70 \text{ m})^3 + (375,69 \text{ m})^3}{140 \text{ m} + 280 \text{ m} + 350 \text{ m} + 350 \text{ m} + 245 \text{ m} + 70 \text{ m} + 375,69 \text{ m}}}$$

$$a_r = 314 \text{ m}$$

5.4.5.15 Vano peso.

Se calculó mediante la **Ecuación (76)**.

$$a_g = a_{g1} + a_{g2}$$

$$a_{g140} = 84,1695769 \text{ m} + 132,3560824 \text{ m}$$

$$a_{g140} = 216,526 \text{ m}$$

5.4.5.16 Vano viento.

Se determinó a partir de la **Ecuación (77)**.

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

$$a_{v140} = \frac{84,1695769 + 132,3560824}{2}$$

$$a_{v140} = 108,263 \text{ m}$$

5.4.5.17 Altura de enterramiento del poste.

Se determinó a partir de la **Ecuación (70)**, esta altura está en función de la longitud de los postes existentes en la red diseñada.

$$He = \frac{\text{Altura del poste}}{10} + 0,5$$

$$He = \frac{12 \text{ m}}{10} + 0,5$$

$$H_e = 1,7 \text{ m}$$

5.4.6 Cálculo del esfuerzo útil del poste

El esfuerzo útil del poste se determinó a partir de la **Ecuación** (68).

Presión del viento sobre área circular (P_{V2}):

$$P_{V2} = 0,0048 \times v^2$$

$$P_{V2} = 0,0048 \times \left(50 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{V2} = 12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Altura libre del poste, en metros:

$$H_I = H_p - H_e$$

$$H_I = 12 \text{ m} - 1,7 \text{ m}$$

$$H_I = 10,3 \text{ m}$$

Se considera que la línea de MT está a 20 cm de la punta del poste:

$$h_{i_{MT}} = H_I - 0,2 \text{ m}$$

$$h_{i_{MT}} = 10,3 \text{ m} - 0,2 \text{ m}$$

$$h_{i_{MT}} = 10,1 \text{ m}$$

Se considera que existe un espacio de 2 metros entre la línea de MT y el Neutro de BT.

$$h_{i_N} = h_{i_{MT}} - 2 \text{ m} = 8,1 \text{ m}$$

Momento debido a la carga del viento sobre los conductores.

$$M_{vc} = P_{V2} \times \Sigma(\emptyset c \times a_v \times h_i)$$

$$M_{vc} = 12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times ((\emptyset c \times a_v \times h_{i_{MT}}) + (\emptyset c \times a_v \times h_{i_N}) + (\emptyset c \times a_v \times h_{i_{F1}}) + (\emptyset c \times V_v \times h_{i_{F2}}))$$

$$M_{vc} = 12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times ((8,02 \times 10^{-3} \text{ m} \times 108,263 \text{ m} \times 10,1 \text{ m}) + (8,02 \times 10^{-3} \text{ m} \times 108,263 \text{ m} \times 8,1 \text{ m}))$$

$$M_{vc} = 189,63 \text{ kg}$$

Momento debido a la carga del viento sobre el poste (M_{VP}), aplicado sobre su centro de gravedad.

$$M_{VP} = P_{v1} \times \left[(2 \times d1 + H_I \times Co) \times \frac{H_I}{2} \right] \times H_g$$

$$P_{v1} = 0,0076 \times v^2$$

$$P_{v1} = 0,0076 \times \left(50 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{v1} = 19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Momento debido a la carga de los conductores en estructuras donde la línea forma un ángulo ($M_{VC\alpha}$) se determinó a partir de la **Ecuación** (69).

$$M_{VC\alpha} = 2 \times T_o \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times \sum (hi)$$

Tensión de tendido de la línea (T_o), en kg, se considera que no supera el 20% de la tensión a la ruptura.

$$T_o = \text{tensión de ruptura} \times 20\%$$

$$T_o = 500 \text{ kg} \times 0,2$$

$$T_o = 500 \text{ kg} \times 0,2$$

$$T_o = 100 \text{ kg}$$

Momento debido a los conductores por el ángulo de la línea ($M_{VC\alpha}$).

$$M_{VC\alpha} = 2 \times T_o \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times \sum (hi)$$

$$M_{v\alpha} = 2 \times 100 \text{ kg} \times \text{Sen}\left(\frac{15,566^\circ}{2}\right) \times \Sigma(10,1 \text{ m} + 8,1 \text{ m})$$

$$M_{v\alpha} = 495,89 \text{ kg}$$

Momento debido a la carga del viento sobre el poste, aplicado sobre su centro de gravedad (M_{VP}).

$$M_{VP} = P_{v1} \times \left[(2 \times d1 + HI \times Co) \times \frac{HI}{2} \right] \times Hg$$

Presión del viento sobre área rectangular (P_{v1}).

$$P_{v1} = 0.0076 \times v^2$$

$$P_{v1} = 0.0076 \times 50^2$$

$$P_{v1} = 19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Conicidad (Co), se determina por:

$$Co = \frac{d1 - d2}{Hp}$$

$$Co = \frac{0,145 \text{ m} - 0,34 \text{ m}}{12 \text{ m}}$$

$$Co = -0,01625 \text{ m}$$

Centro de gravedad del poste (Hg).

$$Hg = \left(\frac{HI}{3}\right) \times \left[\frac{2 \times d1 + d2}{d1 + d2}\right]$$

$$H_g = \left(\frac{10,3 \text{ m}}{3} \right) \times \left[\frac{2 \times (0,145 \text{ m} + 0,34 \text{ m})}{0,145 \text{ m} + 0,34 \text{ m}} \right]$$

$$H_g = 6,87 \text{ m}$$

Momento debido a la carga del viento sobre el poste (Mvp), aplicado sobre su centro de gravedad.

$$M_{vp} = P_{v1} \times \left[(2 \times d_1 + H_I \times C_o) \times \frac{H_I}{2} \right] \times H_g$$

$$M_{vp} = 19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \left[(2 \times 0,145 \text{ m} + 10,3 \text{ m} \times -0,01625 \text{ m}) \times \frac{10,3 \text{ m}}{2} \right] \times 6,87 \text{ m}$$

$$M_{vp} = 82,43 \text{ kg}$$

Cálculo del esfuerzo útil (EU).

$$EU = \frac{(189,63 \text{ kg} + 495,89 \text{ kg} + 82,43 \text{ kg})}{(10,3 \text{ m} - 0,2)}$$

$$EU = 76,034 \text{ kg}$$

5.4.7 Herrajes y accesorios

Se determinaron a partir de la información proporcionada por MEER, 2013, y de acuerdo a los requerimientos de la red diseñada.

5.4.8 Puesta a tierra

La puesta a tierra se seleccionó de acuerdo a lo recomendado por EERSSA, 2012, será realizada con conductor de cobre cableado desnudo, calibre 2 AWG, conectada mediante perno hendido Cu-Al de 6-2/0 AWG, se instalarán dos varillas de cooperweld de \varnothing 16 x 1, 800 mm se designó de la siguiente manera PT0-0DC2_2.

5.4.9 Selección de los elementos del circuito

La selección de estos elementos se realizó siguiendo la metodología de cálculo de Julián (2014), y los elementos utilizados se seleccionaron de acuerdo al catálogo Camsco (2014) (ver **Anexo 32**)

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

De esta ecuación se determinó la intensidad nominal para seleccionar los accesorios.

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

La potencia de la bomba seleccionada es de 10 HP por lo tanto la intensidad nominal es.

$$I_n = \frac{7457 \text{ W}}{220 \text{ V} \times 0,83}$$

$$I_n = 40,83 \text{ A}$$

5.4.9.1 Selección del interruptor termomagnético.

El interruptor termomagnético se determinó a partir del incremento del 20% de su capacidad.

$$I_{TM} = I_n \times 1,20$$

$$I_{TM} = 42,37 \text{ A} \times 1,20$$

$$I_{TM} = 49 \text{ A}$$

Del catálogo Camsco (2014), se seleccionó el interruptor C60N 2P 50A (ver **Anexo 32**).

5.4.9.2 Selección del contactor.

El contactor seleccionado -de acuerdo a la intensidad nominal y según el catálogo Camsco (2014), es el C1-D50/220V, (ver **Anexo 32**).

5.4.9.3 Selección del relé térmico.

Se realizó de la siguiente manera:

$$I_{RT} = I_n \times 0,8$$

$$I_{RT} = 40,84 \text{ A} \times 0,8$$

$$I_{RT} = 32,67 \text{ A}$$

$$I_{RT} = I_n / 0,8$$

$$I_{RT} = 40,84 \text{ A} / 0,8$$

$$I_{RT} = 51,05 \text{ A}$$

El relé térmico seleccionado del catálogo de Camsco, 2014, R2-D3359.

5.4.9.4 Selección del conductor.

Se realizó mediante las consideraciones de la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC), donde menciona que la caída de tensión debe estar entre (3% - 5%), para ello se utilizó la siguiente ecuación.

$$S = \frac{2 \times P \times L}{\gamma \times U^2 \times e(\%)} \times 100$$

El parámetro γ se obtuvo de acuerdo a Julían et al., 2014, donde menciona que la conductividad del cobre a 20 °C tiene un valor 56 m/Ω × mm², el aluminio a 35 °C tiene un valor de 35 m/Ω × mm² por lo tanto:

$$S = \frac{2 \times 7457 \text{ W} \times 7 \text{ m}}{56 \text{ m}/\Omega \times \text{mm}^2 \times (220 \text{ V})^2 \times 0,3} \times 100$$

$$S = 12,84 \text{ mm}^2$$

Del catálogo de Electrocables (2018), se seleccionó el conductor de tipo THHW calibre AWG 6 de sección transversal $S = 13,3 \text{ mm}^2$.

6. Resultados

6.1 Evapotranspiración

6.1.1 Evapotranspiración de referencia

En la **Figura 24** se presentan los resultados que se obtuvo de la evapotranspiración del cultivo de referencia, se muestra la variación de acuerdo a cada mes del año analizado, estos resultados se obtuvieron a partir del uso de softwares tales como son el CROPWAT 8.0 CLIMWAT 2.0, además de las mediciones topográficas realizadas que se muestran en el (ver **Anexo 6**), las mismas que nos arrojan la altura sobre el nivel del mar que se encuentra el sitio donde se realizó el diseño del sistema de riego.

Se realizaron los cálculos utilizando la metodología de la FAO Penman – Monteith, para la estación meteorológica MACARA – J.M. -VELASCO I esta información se contrastó con los resultados obtenidos del programa CROPWAT 8.0 para la misma estación, esto ayudó a comprobar la metodología que se estaba usando, el porcentaje de error entre el valor promedio de ET_o obtenido por medio de cálculo manual y el programa alcanzó un 8%.

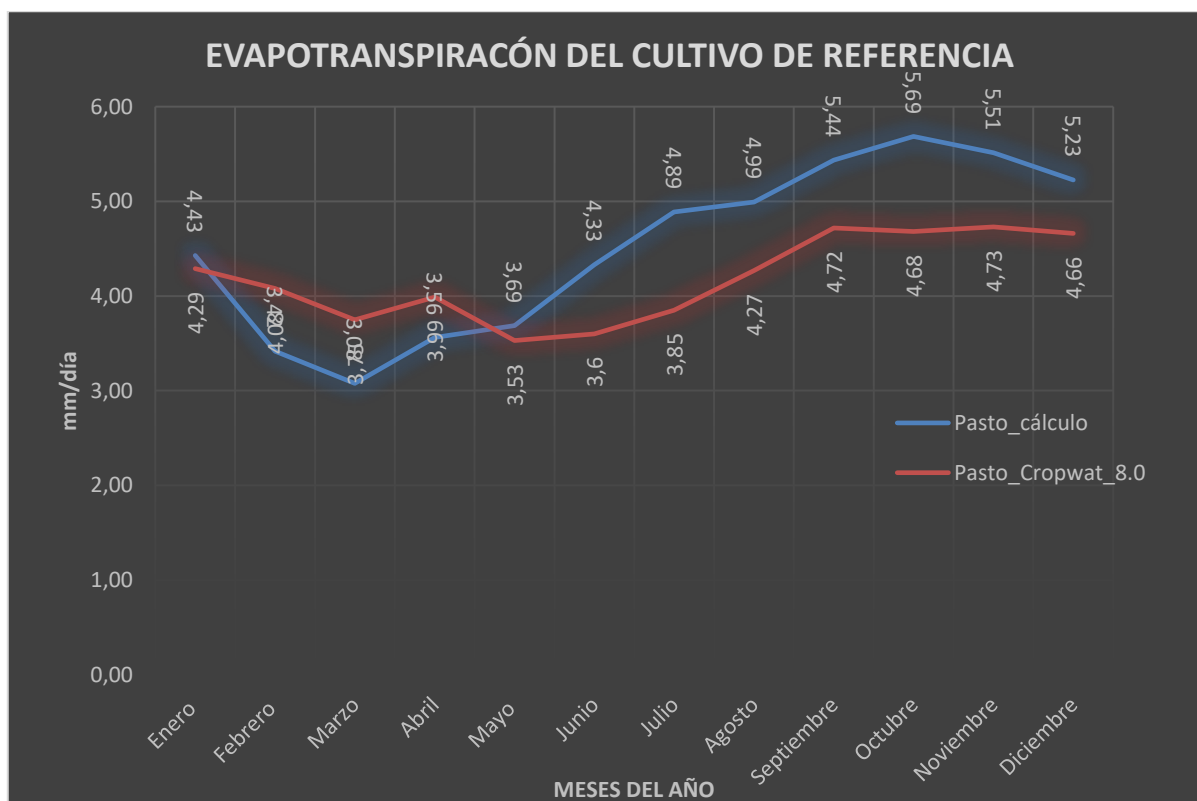


Figura 24. Evapotranspiración del cultivo de referencia para el año analizado.

Luego de que se realizó la comparación de los resultados entre metodologías se procedió a determinar el valor de ET_o para el sitio donde se desarrolla el diseño del sistema de riego, se usó los valores de humedad, temperatura máxima y mínima, insolación y

velocidad del viento, que nos arroja el programa CROPWAT 8.0, esta información es obtenida de la estación meteorológica MACARA – J.M. -VELASCO I, el dato de la elevación sobre el nivel del mar (z) se obtuvo del estudio topográfico realizado en la propiedad del sr. Barbariano Vera (ver **Anexo 6**) y tiene un valor de 351 msnm. Para el sitio en análisis, la evapotranspiración de referencia ET_o en el tiempo de un año se obtuvo los siguientes valores **Figura 25**.



Figura 25. Evapotranspiración del cultivo de referencia para el año analizado en el barrio Cardopamba, propiedad del sr. Barbariano Vera.

6.1.2 Factor K_c de los cultivos

Tabla 39. Factor K_c para los cultivos de maíz y maní clasificados mediante las etapas más representativas de cada cultivo obtenidos de la publicación Serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 24

Cultivo	K_c ini	K_c med	K_c fin	Altura Máx. cultivo (h) (m)
maíz (grano)	0,7	1,2	0,48	2
maní	0,4	1,15	0,6	0,4

Fuente.(Villegas & Torres, 2006)

Los valores de K_c se clasificaron mediante la síntesis de la información recopilada del tipo de semilla que es usada por los dueños de la propiedad, la revisión de fichas técnicas **Anexo 2**, la información obtenida de la publicación Serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 24 y las entrevistas realizadas a los propietarios (ver **Anexo 1**) estos se describen en la **Tabla 39**.

Luego de analizar y verificar la información se obtuvo la **Tabla 40**, que indica la cantidad de días que dura cada etapa del cultivo desde la siembra hasta la cosecha, así como

la región y la fecha de la siembra en la que se realizó el análisis.

Tabla 40. Duración de las etapas representativas de los cultivos de maíz y maní en distintas regiones del mundo.

Cultivo	Inicial (Lini)	Desarrollo (Lmed)	Media (Lmed)	Final (Lfin)	Total	Fecha de siembra	Región
maíz (grano)	30	50	60	40	180	Abril	Este de África (Alt.)
	25	40	45	30	140	Dic./Ene.	Clima Árido
	20	35	40	30	125	Junio	Nigeria (húmedo)
	20	35	40	30	125	Octubre	India (seco, frío)
	30	40	50	30	150	Abril	España (prim, ver); Calif. EU
maní	30	40	50	50	170	Abril	Idaho EU
	25	35	45	25	130	Periodo seco	Oeste de África
	35	35	35	35	140	Mayo	Latitudes altas
	35	45	35	35	150	Mayo/Junio	Mediterráneo

Fuente.(Villegas & Torres, 2006)

A partir de la tabla anterior se identificó la duración de las etapas, en el caso del maíz se realizó la comparación entre la información entregada por la publicación Serie de Riego y Drenaje de la FAO, las fichas técnicas de las variedades de maíz que son consideradas para el cultivo en el área del diseño del sistema de riego, con esto se toma como datos que la duración desde la siembra hasta la cosecha del mismo es de 140 días, en la **Tabla 40** este valor se considera que la siembra se va a realizar el mes de enero/ diciembre, y el clima en que se dan estas características es en las regiones con clima árido.

Para el caso del cultivo de maní se seleccionó la información a partir de los datos obtenidos de las entrevistas realizadas a los productores de la zona (ver **Anexo 1**), y de la información obtenida de la publicación Serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 24, con esto se contrasta que el maní desde la siembra hasta la cosecha tiene una duración de 130 días estas características se dan para la región del Oeste de África y es aplicable para el lugar donde se realiza el diseño del sistema de riego.

6.1.3 Evapotranspiración de los cultivos bajo condiciones estándar y lámina bruta obtenidos a partir del software Cropwat 8.0

La **Figura 26** muestra la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ET_c en la propiedad del señor Barbariano Vera, lugar seleccionado para el diseño del sistema de riego, se puede notar que en el primer periodo de cultivo comprendido entre el mes de enero al mes de mayo los valores de ET_c son más bajos en comparación a los valores del segundo periodo comprendido entre julio y noviembre, esto ocurre a causa de que en el primer período

existe la presencia de precipitaciones con valores de 500 – 600 mm y 600 – 700 mm anual con mayor frecuencia en los meses de febrero, marzo y abril, esta información fue obtenida del PDOT (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial) de la parroquia Tnte. Maximiliano Rodríguez Loaiza.

Se tomó en cuenta que la siembra de ambos cultivos se la realiza en el mes de enero, bajo esta consideración y tomando en cuenta que el período de producción del maíz es de 140 días, **Tabla 40**, se multiplicó el valor de ET_o por el factor K_c en las etapas del cultivo las cuales son (inicial, desarrollo, media, final) lo cual arrojó los valores ET_c expresados en la **Figura 26**.

Los meses de junio y diciembre no se han considerado en análisis de ET_c debido a que mediante la información recopilada de las entrevistas realizadas se ocupan para la recolección del producto y la preparación de los terrenos para su siembra.

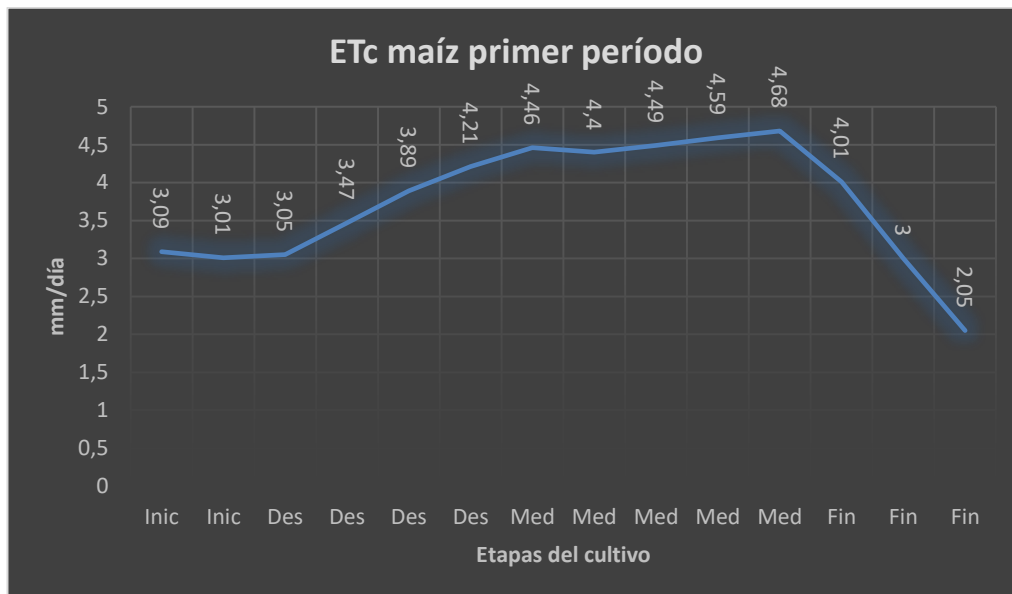


Figura 26. Evapotranspiración de los cultivos de maíz y maní para el año analizado en el barrio Cardopamba, propiedad del sr. Barbariano Vera.

Los valores obtenidos mediante el trabajo realizado en conjunto con el software CROPWAT 8.0 y las mediciones realizadas se obtuvo los valores de lámina bruta descritos en la **Figura 27**, estos valores son obtenidos de acuerdo a la programación realizada y a las condiciones climáticas del sector en análisis.

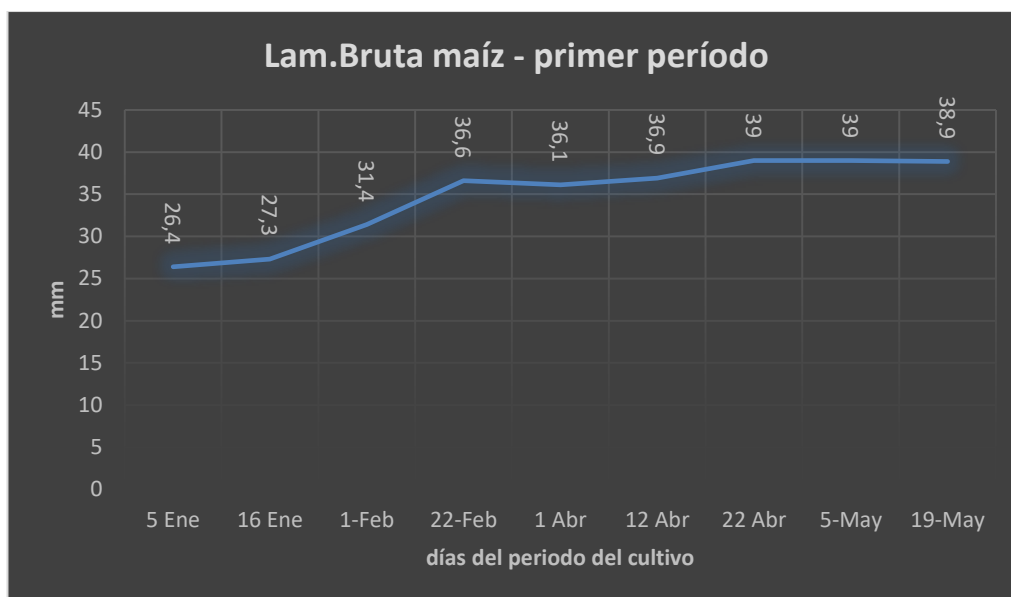


Figura 27. Valores de lámina bruta en mm para el primer periodo del cultivo de maíz en la propiedad del sr. Barbariano Vera.

Utilizando la misma metodología se extrajo los valores de lámina bruta requeridos para el segundo período de cultivo de maíz y se describe en la **Figura 28.**

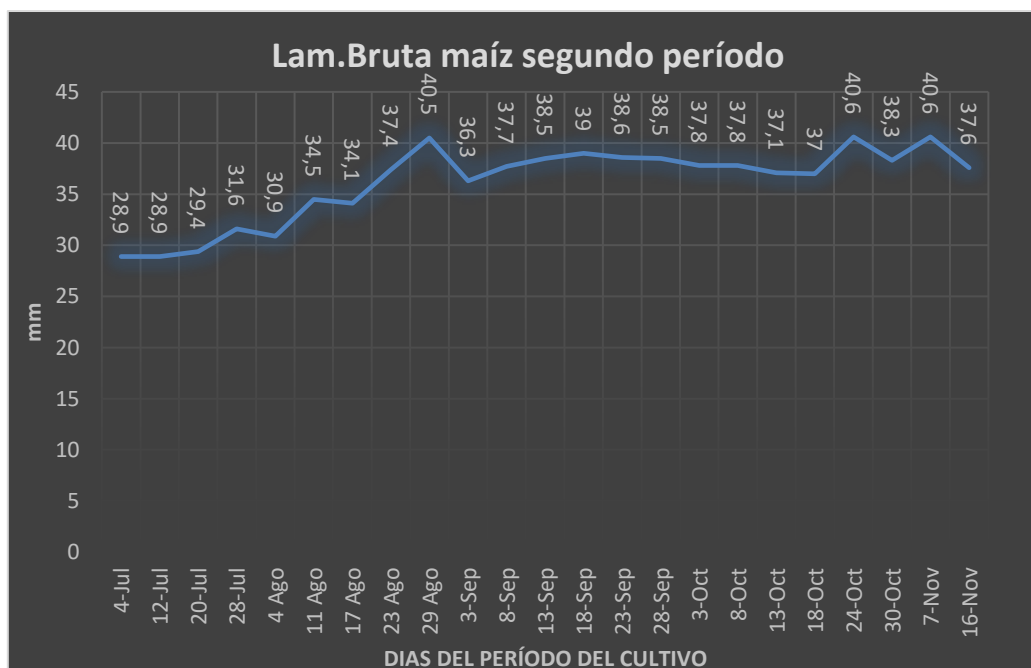


Figura 28. Valores de lámina bruta obtenidos para el cultivo de maíz en su segundo período de producción en la propiedad del sr. Barbariano Vera.

Para el cultivo de maní se realizó un procedimiento similar, se obtuvieron los valores de lámina bruta para el primer período de producción y se expresan en la **Figura 29.**

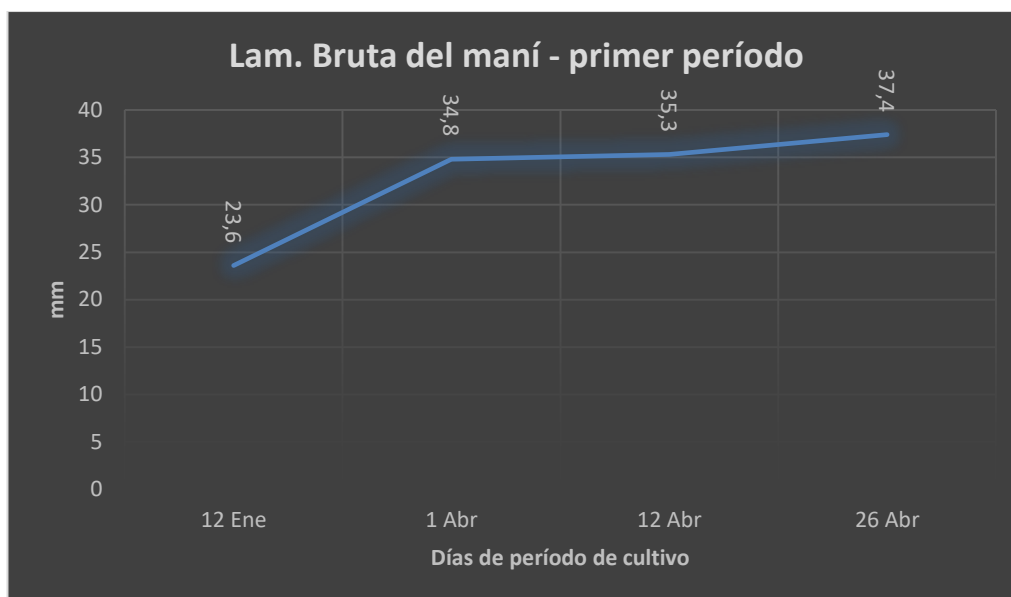


Figura 29. Valores de lámina bruta obtenidos para el cultivo de maní en el primer período de producción, en la propiedad del sr. Barbariano Vera.

Para el caso del maní en su segundo período de producción se obtuvo los valores expresados en la **Figura 30**.

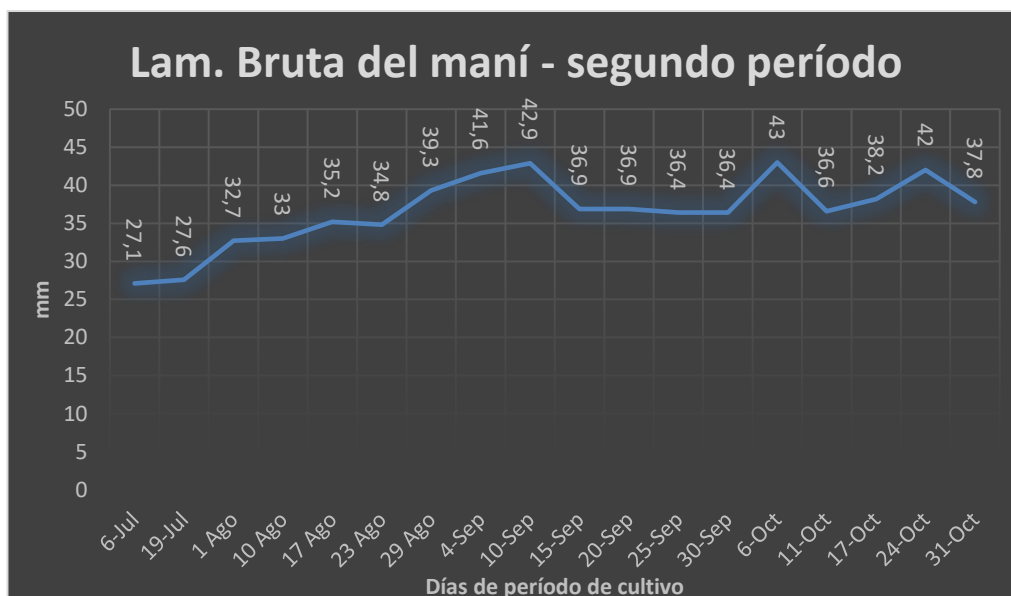


Figura 30. Valores de lámina bruta obtenidos para el cultivo de maní en el segundo período de producción, en la propiedad del sr. Barbariano Vera.

6.2 Valores críticos de caudal, lámina bruta, lámina neta y evapotranspiración de los cultivos analizados

Luego de haber realizado el análisis y haber obtenido los valores de lámina bruta, caudal requerido, lámina neta y la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se identificó los valores más críticos de estos parámetros y que se muestran en la **Tabla 41**.

Tabla 41. Valores críticos obtenidos de los cultivos de maíz y maní en sus dos periodos de producción durante un año.

Valores críticos requeridos por los cultivos			
	Lám.Neta (mm)	Lám.Bruta (mm)	ETc mm/día
Maíz primer período de producción	29,3	39	4,68
Maíz segundo período de producción	30,5	40,6	5,91
Maní primer período de producción	28,1	37,4	4,42
Maní segundo período de producción	32,2	43	5,58

6.3 Frecuencia de riego y tiempo de riego

Los valores obtenidos más elevados descritos en la **Tabla 41** nos ayudan a determinar la frecuencia de riego y el tiempo de riego en que el sistema de riego tendrá su mayor demanda y se describen en la **Tabla 42**.

Tabla 42. Valores de mayor demanda para el sistema de riego obtenidos del análisis de las condiciones del lugar donde se realiza el diseño de sistema de riego.

Valores de mayor demanda del sistema de riego	
Frecuencia de riego (días)	Tiempo de riego (hr)
5,77	12,29

Los valores críticos obtenidos con ayuda de los programas antes mencionados permitieron establecer los parámetros de diseño del sistema de riego, teniendo en cuenta que la lámina bruta más elevada se dio para el cultivo de maní en el segundo período de producción comprendido entre los meses de julio a noviembre del año en análisis.

El valor de la lámina bruta máxima fue de 43 mm lo que equivale a 430 m³ que deben ser proporcionados por el sistema de riego, además el caudal requerido es de 35 m³/h, con estos datos sabemos que el tiempo de riego es 12,29 horas.

6.4 Diseño hidráulico del sistema de riego

Teniendo en cuenta que en el sector de análisis únicamente se puede utilizar motores monofásicos se seleccionó el caudal y la carga dinámica total que proporcionan estas máquinas, permitiendo ajustar el sistema para su adecuado funcionamiento.

6.4.1 Sistema de distribución

Los parámetros hidráulicos del sistema de riego de distribución fueron seleccionados tomando en consideración el análisis anterior y son descritos en la **Tabla 43**.

Tabla 43. Parámetros hidráulicos del sistema de riego de distribución.

PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Elemento	Valor	Unidad
Caudal <i>LP</i>	0,010	m ³ /s
Caudal <i>LS</i>	$3,244 \times 10^{-3}$	m ³ /s
Presión de Trabajo	413685	Pa
Altura	-7,15	m

Mediante las mediciones respectivas se determinó que el punto más crítico del sistema involucra una longitud de línea principal $LP = 216,65$ m y la longitud de la línea secundaria tiene un valor de $LS = 97,65$ m. Siguiendo la metodología se obtuvo los valores de las pérdidas que sirven para la selección de la bomba hidráulica para la distribución del agua, estos valores se expresan en la **Tabla 44**.

Tabla 44. Valores de pérdidas para el sistema de riego de distribución.

Parámetros del sistema de riego de distribución		
Parámetro	Valor	Unidad
Pérdida de carga por fricción en tubería de succión	0,02	m
Pérdida de carga por fricción en tubería principal y secundaria	3,44	m
Carga estática	35,14	m
Carga dinámica total del sistema	38,68	m

Con los valores obtenidos y de acuerdo al caudal que se debe entregar por el sistema se seleccionó la siguiente bomba hidráulica, además se tomó en cuenta que el motor debe ser monofásico debido a la red existente en el sitio.

Las características de la bomba seleccionada se expresan en la **Tabla 45**, luego de los cálculos respectivos se determinó que cumple para satisfacer la demanda del sistema de riego.

Tabla 45. Parámetros de la bomba centrífuga seleccionada para el sistema de riego de distribución.

Características de la bomba centrífuga para el sistema de riego de distribución	
Marca	IHM
Caudal Medio	160 GPM
Caudal Máx.	200 GPM
Altura Media	59 m
Altura Máx.	70 m
Motor	Monofásico
Potencia	10 HP
Voltaje	220 V
Conexión de succión	2 in
Conexión de descarga	2 in

La eficiencia global que involucra a todo el sistema de bombeo; es decir, tanto al accionamiento como a la bomba en si misma es de 49,5 %, y se trata de la relación entre la potencia suministrada al fluido por la bomba y la potencia del motor eléctrico que acciona la bomba. De acuerdo con Mott & Untener (2015), no toda la potencia de entrada se transfiere

al fluido debido a las pérdidas de energía debidas a la fricción mecánica en el conjunto de la bomba, la fricción del fluido en la bomba y la turbulencia excesiva del fluido en la bomba además de las pérdidas de eficiencia desde el propio motor. Esto justifica el bajo rendimiento existente en la bomba seleccionada.

Si consideramos las curvas características de la bomba seleccionada (ver **Anexo 11**) se puede apreciar que para los parámetros de funcionamiento de la bomba según se muestra en la **Figura 34** ($h = 41$ m y $Q = 48$ m³/h), la eficiencia sería aproximadamente un 70%, lo cual se justifica teniendo en cuenta que esta eficiencia se corresponde con los parámetros de funcionamiento de la propia bomba.

De acuerdo a metodología seguida se obtuvo que, $NPSH_A = 11,6412$ m, mientras que, $NPSH_R = 4$ m por lo tanto de como $NPSH_A$ es mayor que $NPSH_R$ la bomba no cavita según lo descrito por (Mott & Untener, 2015).

Luego de haber seleccionado la bomba **Figura 31** y obtenido los parámetros del sistema se procedió a construir las curvas respectivas que a su vez ayudaron a obtener las ecuaciones tanto del sistema como de la bomba.



Figura 31. Bomba centrífuga IHM- 20A – 10MW.

En la **Figura 32** se muestra la curva del sistema obtenida a partir del análisis de las pérdidas de carga en la línea principal y secundaria y a su vez las pérdidas menores existentes en las mismas en esta gráfica también se representa la carga estática total presente en el sistema.

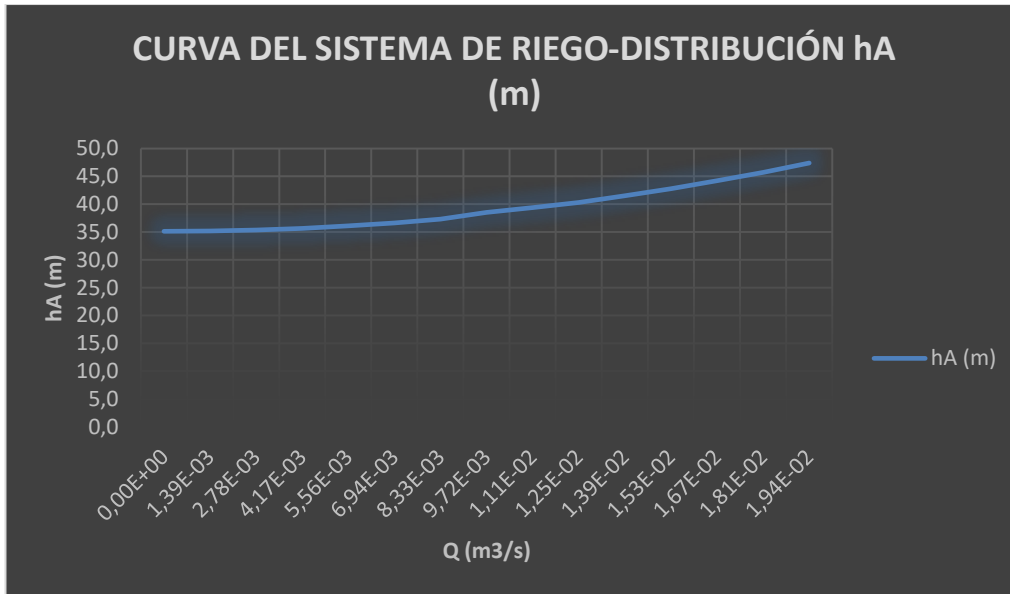


Figura 32. Curva del sistema, para el sistema de riego de distribución.

Luego que se realizó el procesamiento de datos se obtuvo la ecuación del sistema expresada a continuación, **Ecuación (80)**.

$$h_A = A + BQ^2 + CQ^2 + DQ^2 \quad (80)$$

$$h_A = 35,141 + 60779,595Q^2 + 455,627Q^2 + 28387,0668Q^2$$

La curva de la bomba se muestra en la **Figura 33**, para obtenerla se realizó la obtención de los datos a partir del **Anexo 13**, luego de los cálculos respectivos se determinó la curva respectiva.

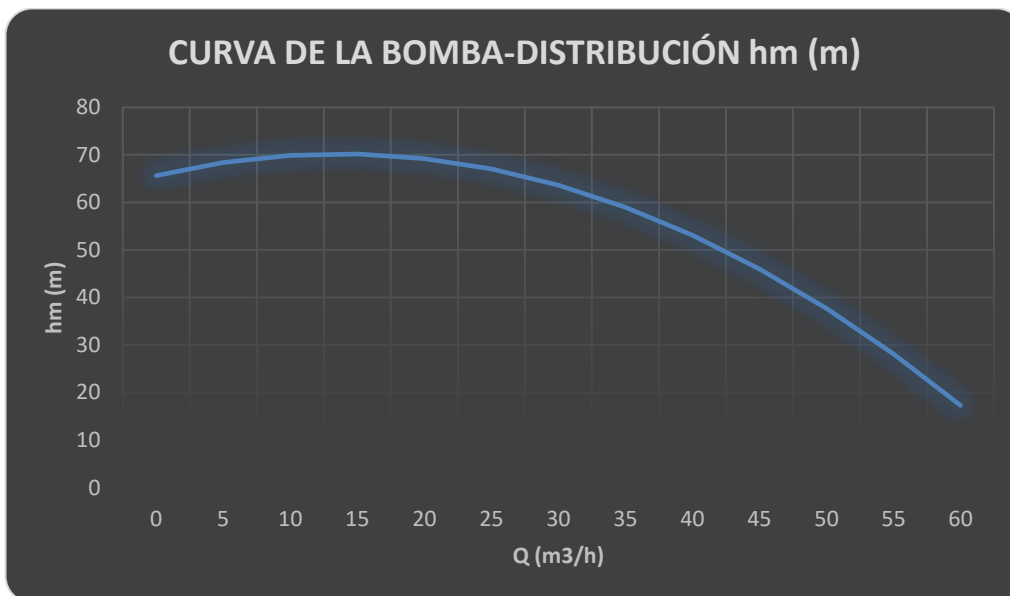


Figura 33. Curva de la bomba, para el sistema de riego de distribución.

La ecuación de la bomba se obtuvo mediante la resolución de un sistema de

ecuaciones de 3×3 , a partir de la obtención de los puntos de operación de la bomba **Anexo 13**, luego de realizar los cálculos se determinó la ecuación de la bomba descrita a continuación, **Ecuación (81)**.

$$h_m = AQ^2 + BQ + C \quad (81)$$

$$h_m = -0,0246192Q^2 + 0,67099369Q + 65,6590335$$

El análisis del punto de operación (sistema – bomba) se muestra en la **Figura 34** y a su vez la proyección del sistema hasta intersectarse con la curva de la bomba.

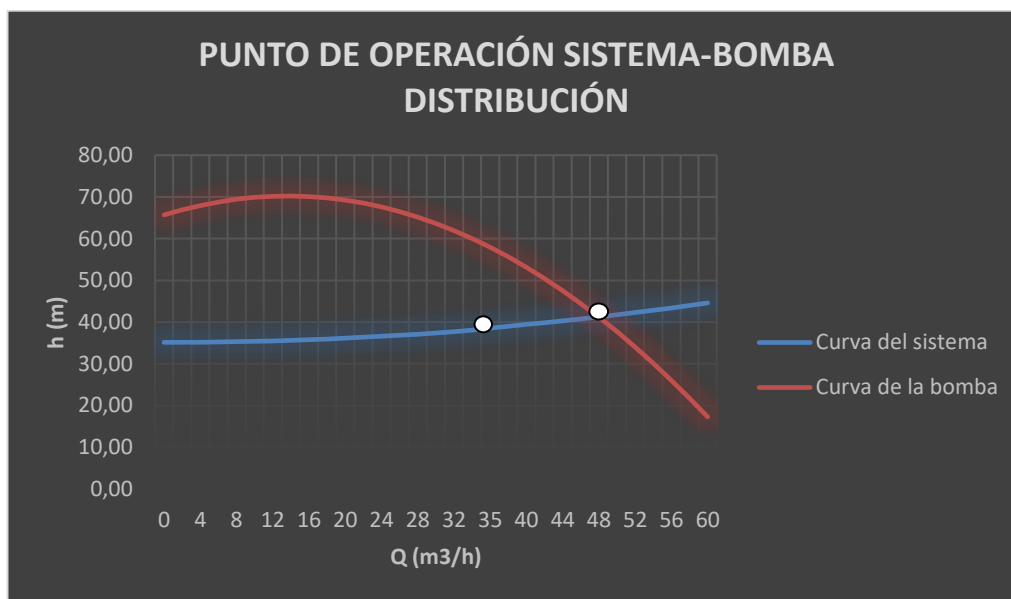


Figura 34. Análisis del punto de operación sistema – bomba, y proyección hasta el punto de intersección.

Se puede apreciar que el punto de funcionamiento mediante la combinación sistema – bomba está dado por, $Q = 48 \text{ m}^3/\text{h}$, y la altura es de $h = 41 \text{ m}$. Bajo estas consideraciones lo requerido por el sistema de riego de distribución fue que el caudal proporcionado por la bomba sea $Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$ y la altura total que se debe entregar es de $h = 38,72 \text{ m}$, por lo tanto, la bomba cumple con los parámetros solicitados.

6.4.2 Sistema de riego de alimentación

Siguiendo la metodología del capítulo anterior se procedió a determinar los elementos y parámetros que determinarán el diseño del sistema de riego en la parte de alimentación, para ello se consideró que la longitud desde la ubicación de la bomba hasta el reservorio es de $L = 180 \text{ m}$ los parámetros hidráulicos para esta sección del sistema de riego se describen en la **Tabla 46**.

Tabla 46. Parámetros hidráulicos del sistema de alimentación de riego.

Parámetros Hidráulicos

Parámetros Hidráulicos		
Elemento	Valor	Unidad
Caudal <i>LP</i>	$6,944 \times 10^{-3}$	m ³ /s
Caudal <i>Lsu</i>	$6,944 \times 10^{-3}$	m ³ /s
Presión de Trabajo	0	Pa
Carga dinámica total	61,46	m

Considerando que la distancia desde la captación hasta donde se desea bombear el agua es extensa y que a su vez la carga de altura tiene un valor de ($z_2 - z_1 = 56,8$ m) y considerando que la carga dinámica total del sistema tiene un valor de ($h_A = 62,55$ m), además se tuvo en cuenta que se cuenta con alimentación monofásica por lo tanto se realizó la selección de la bomba sus características se muestran en la **Tabla 47**.

Tabla 47. Parámetros de la bomba centrífuga seleccionada para el sistema de riego de alimentación.

Características de la bomba centrífuga para el sistema de riego de alimentación	
Marca	IHM
Caudal Medio	160 GPM
Caudal Máx.	200 GPM
Altura Media	59 m
Altura Máx.	70 m
Motor	Monofásico
Potencia	10 HP
Voltaje	220 V
Conexión de succión	2 in
Conexión de descarga	2 in

La eficiencia global que involucra a todo el sistema de bombeo; es decir, tanto al accionamiento como a la bomba en si misma es de 56 %, y se trata de la relación entre la potencia suministrada al fluido por la bomba y la potencia del motor eléctrico que acciona la bomba. De acuerdo con Mott & Untener (2015), no toda la potencia de entrada se transfiere al fluido debido a las pérdidas de energía debidas a la fricción mecánica en el conjunto de la bomba, la fricción del fluido en la bomba y la turbulencia excesiva del fluido en la bomba además de las pérdidas de eficiencia desde el propio motor. Esto justifica el bajo rendimiento existente en la bomba seleccionada.

Si consideramos las curvas características de la bomba seleccionada (ver **Anexo 11**) se puede apreciar que para los parámetros de funcionamiento de la bomba según se muestra en la **Figura 35** ($h = 64$ m y $Q = 30$ m³/h), la eficiencia sería aproximadamente un 65%, lo cual se justifica teniendo en cuenta que esta eficiencia se corresponde con los parámetros de funcionamiento de la propia bomba.

De acuerdo a metodología seguida se obtuvo que, $NPSH_A = 7,0412$ m, mientras que,

$NPSH_R = 4,18$ m, por lo tanto, como $NPSH_A$ es mayor que $NPSH_R$ la bomba no cavita según lo descrito por (Mott & Untener, 2015).

En la **Figura 35** se puede identificar que el punto de operación sistema – bomba se encuentra dado por $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ y la altura que alcanza es de $h = 64$ m, por lo tanto, como en el diseño propuesto se desea proporcionar un caudal de $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$, y a su vez que la carga dinámica total alcanza un valor de $h = 62,55$ m, esta bomba cumple con los requerimientos del sistema.

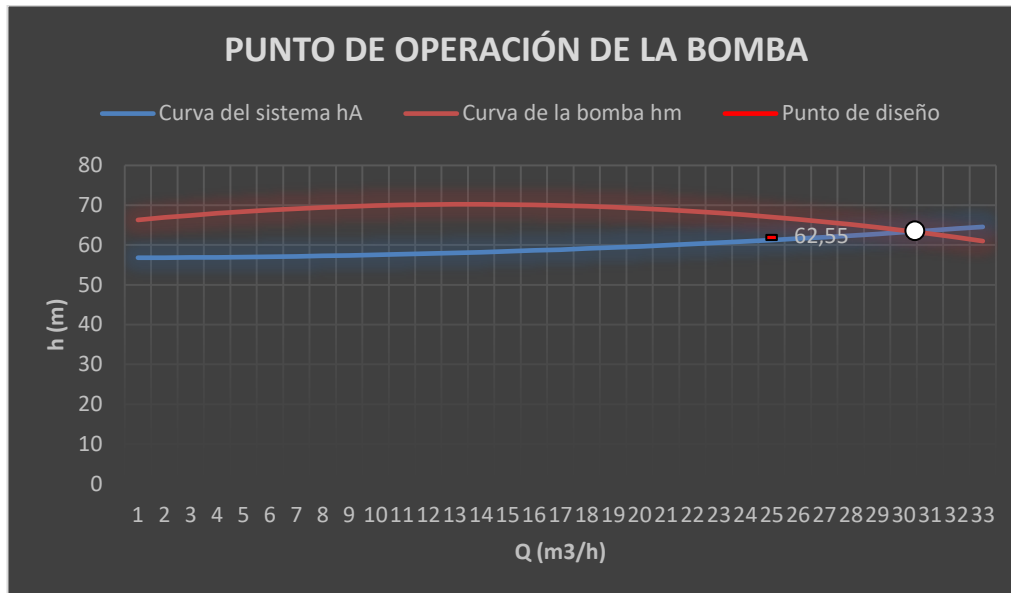


Figura 35. Análisis del punto de operación sistema – bomba, y proyección hasta el punto de intersección, en el sistema de alimentación de riego.

La ecuación del sistema se describe a partir de, **Ecuación** (82), mientras que la ecuación de la bomba está dada por, **Ecuación** (81), ya que se trata de máquinas similares.

$$h_A = 56,8 + 97311,475 Q^2 \quad (82)$$

Teniendo en cuenta que el caudal que se va a suministrar al reservorio es de $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ y que el reservorio tiene una capacidad de almacenamiento de $V = 67,1 \text{ m}^3$ el tiempo que tardará en llenarse es de:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{67,1 \text{ m}^3}{25 \text{ m}^3/\text{h}} = 2,684 \text{ horas}$$

Mientras que el vaciado del reservorio estará condicionado por el caudal entregado por cada aspersor y por la cantidad de aspersores que estén accionados, por lo tanto, si $Q_{As} = 5,84 \text{ m}^3/\text{h}$ y están trabajando 6 aspersores por cada cámara tenemos un caudal de $Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$ por lo tanto el reservorio será desocupado en un tiempo de:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{67,1 \text{ m}^3}{35 \text{ m}^3/\text{h}} = 1,915 \text{ horas}$$

Los elementos que componen el sistema hidráulico de alimentación se describen en el **Anexo 14**, mientras los que componen el sistema de riego de distribución se describen en el **Anexo 15**.

6.5 Diseño del sistema energético para la alimentación del sistema de riego

6.5.1 Descripción geográfica del lugar

La propiedad del señor Barbariano Vera se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas, latitud **-4.219169"S** y longitud **-80.052485"W**, pertenece a la parroquia Tnte. Maximiliano Rodríguez Loaiza, cantón Celica **Figura 36**.

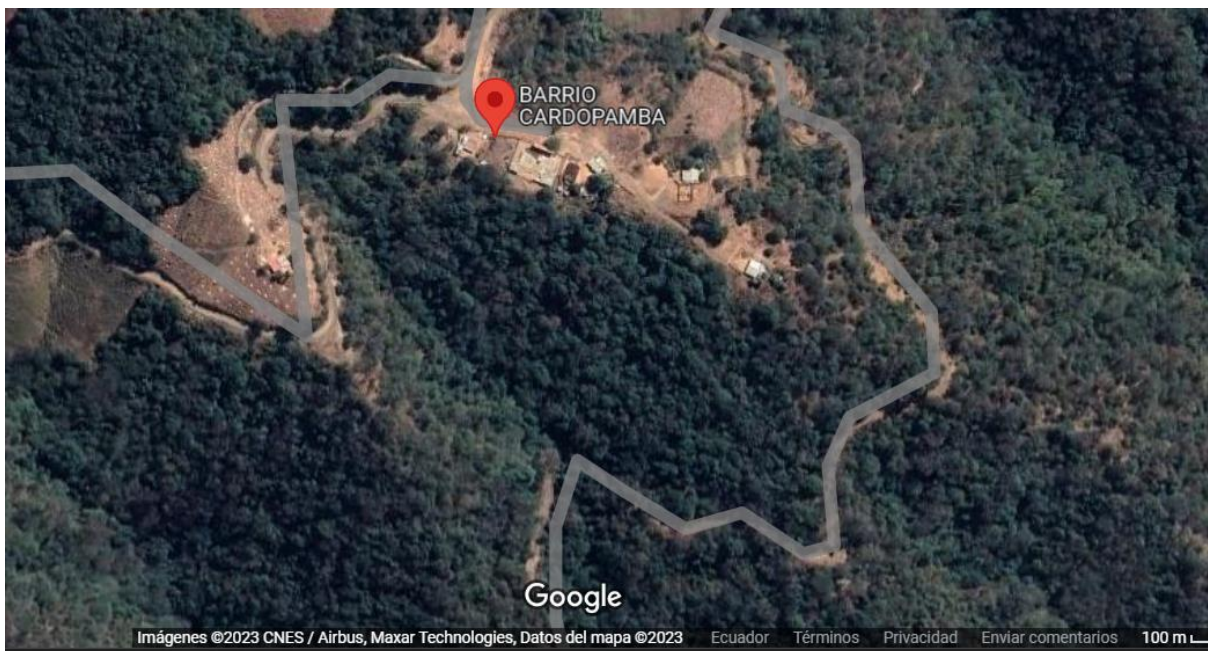


Figura 36. Ubicación geográfica del sector donde se realizó el diseño de la red.

6.5.2 Perfil de la red Cardopamba

En la **Figura 37** se describió una sección del perfil topográfico donde se encuentra ubicada la red eléctrica, también se describió el tendido de los conductores. Este perfil se obtuvo mediante el uso de aplicaciones como son Google Earth Pro, Global Mapper 18 y AutoCAD 2022, el tramo de la red tiene una longitud de 1,810 km.

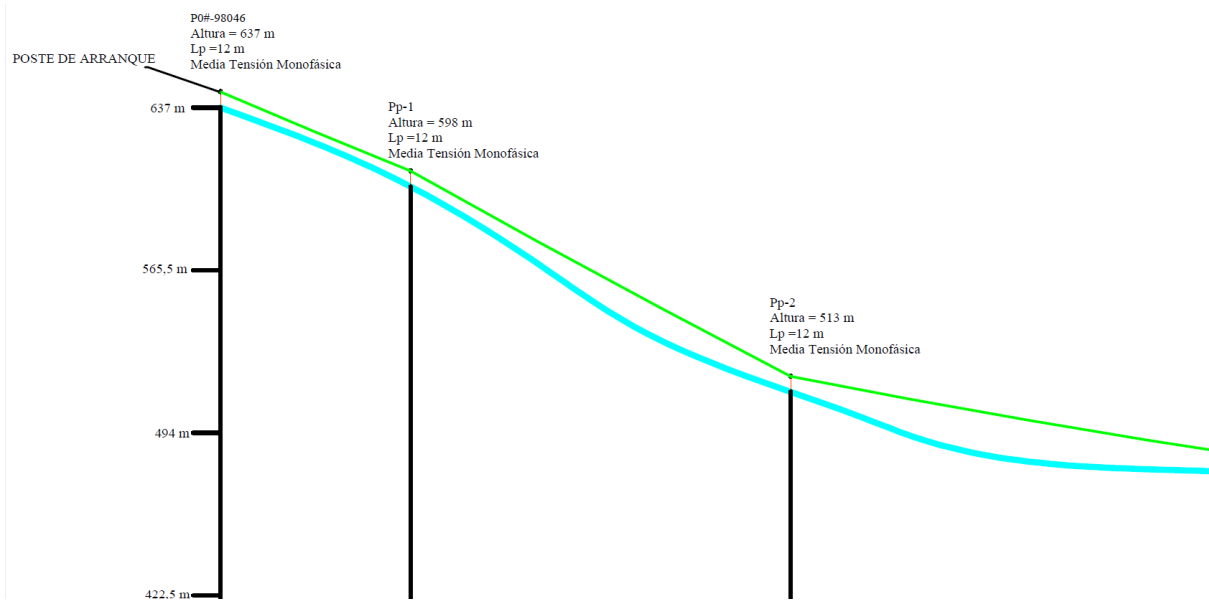


Figura 37. Sección del perfil topográfico de la red Cardopamba.

6.5.3 Ubicación de los vanos

Con la ayuda del perfil topográfico se realizó la ubicación de los vanos y las estructuras de la red que se realizó el diseño los mismos son expresados en la **Tabla 48**.

Tabla 48. Longitud y ubicación de los vanos de la red Cardopamba.

	Denominación entre postes	Longitud del vano (m)
1	P0#-98046 - P1p	140
2	P1p – P2p	280
3	P2p – P3p	350
4	P3p – P4p	350
5	P4p – P5p	245
6	P5p – P6p	70
7	P6p – P7p	375
Longitud total de la red		1810

6.5.4 Selección del conductor y caída de tensión de la red de media tensión

La selección del conductor se realizó mediante lo descrito por EERSSA (2012) y de acuerdo a las cargas para las cuales se realizó el diseño de la red y a su vez se consideró la caída de tensión permitida para el sector rural.

Como se trata de un sistema aéreo se utilizó el conductor de aluminio reforzado con acero de calibre 2 (2) ACSR.

La caída de tensión se realizó siguiendo la metodología pertinente y cuyos cálculos se encuentran en el **Anexo 19**, respetando los valores permitidos por EERSSA (2012), los cuales no deben sobrepasar los siguientes valores:

✚ Área Urbana: 3,5 %

✚ Área rural: 7,0 %

6.5.4.1 Caída de tensión en la red de baja tensión.

La caída de tensión para la red de baja tensión montada en postes de hormigón armado **PO0-0HC10_400**, y cuyos resultados se expresaron en el **Anexo 20**.

6.5.5 Transformadores para proyectos de urbanizaciones, lotizaciones y proyectos rurales

De acuerdo a la metodología seguida se determinó la carga que soportará el transformador, $MD_T = 12,90$ kVA. El transformador se catalogó mediante lo dispuesto por MEER (2013a), donde se indican las capacidades nominales más utilizadas, para el sistema diseñado de 7, 967 kV monofásico autoprotegido para instalación en poste de 15 kVA se identificó de la siguiente manera **TRT – 1A15**, como se muestra en la **Figura 38**.



Figura 38. Transformador 15 kVA.

Fuente.(INELDEC SAS, 2022)

Las especificaciones técnicas se describen en la **Tabla 49**.

Tabla 49. Características del transformador de 15 kVA seleccionado.

Características Técnicas	
Volumen de aceite	45 l
Peso aproximado	146 kg
Nivel de aislamiento	17,5 kV
Tensión primaria	13,2 - 34,5 kV
Tensión secundaria	220/208/440 V
Tipo de refrigeración	ONAN
BIL Primario/Secundario	95/30 kV
Dimensiones (mm)	480x920x563 (Ancho x Largo x Alto)

Fuente.(INELDEC SAS, 2022)

6.5.6 Cálculos mecánicos del conductor de la red de media tensión

Los cálculos mecánicos del conductor se desarrollaron bajo la consideración de las hipótesis proporcionadas por la EERSSA, y que están descritas en la **Tabla 20**, la red diseñada

se encuentra en un área comprendida en una elevación inferior a los 1800 msnm por lo tanto corresponde a la **Zona 1**.

La temperatura promedio obtenida a partir de Weather Atlas, 2022, para el cantón Celica fue resultado de los valores obtenidos como historial del año 2022 y sus valores se expresan en la **Tabla 50**.

Tabla 50. Temperaturas en °C, máxima, mínima y promedio obtenidas del registro de un año de anterioridad.

Temperaturas máxima y mínima (°C)		
	Máxima	Mínima
Enero	26,3	18,8
Febrero	26	18,6
Marzo	26	17,8
Abril	26,4	17,8
Mayo	26,9	17,4
Junio	27	16,4
Julio	27,6	16,2
Agosto	28	16,6
Septiembre	28,4	17,3
Octubre	27,5	17,8
Noviembre	27	17,8
Diciembre	26,9	18,3
PROMEDIO		22

Fuente. (Weather Atlas, 2022)

La tensión mecánica para condiciones finales T_2 se obtuvo siguiendo la metodología descrita en el capítulo anterior y los valores obtenidos se describen en la **Tabla 51**.

Tabla 51. Tensiones para condiciones finales obtenidas a partir de la ecuación de cambio de estado.

CÁLCULO DE LAS TENSIONES PARA LOS DIFERENTES ESTADOS					
Vano	Vano siguiente	TENSIÓN EN (kg) A TEMPERATURA DE 22°C			
		I	II	III	IV
0	140	890,161	938,576	972,492	812,813
140	280	872,996	921,396	955,299	795,685
280	350	909,680	958,113	992,040	832,292
350	350	907,781	956,213	990,139	830,398
350	245	917,256	965,695	999,627	839,854
245	70	927,243	975,691	1009,628	849,824
70	375,69	859,600	907,982	941,880	782,320

Para el cálculo de las flechas de la red de media tensión se realizó los cálculos siguiendo la metodología de cálculo para vanos a desnivel, los resultados obtenidos se describen en la **Tabla 52**.

Tabla 52. Flechas generadas en el conductor de acuerdo al cambio de temperatura.

Cálculo de las flechas para los diferentes estados					
Vano	Vano siguiente	FLECHAS (m)			
		I	II	III	IV
0	140	0,3222	0,306	0,295	0,353
140	280	1,314	1,245	1,2	1,442
280	350	1,971	1,871	1,807	2,154
350	350	1,975	1,875	1,811	2,159
350	245	0,958	0,909	0,879	1,046
245	70	0,077	0,074	0,071	0,084
70	375,69	2,403	2,275	2,193	2,64

6.5.7 Distancia entre la superficie del suelo y el conductor

La distancia mínima para la red de media tensión fue obtenida considerando que la red diseñada tiene nivel de voltaje de 7,967 kV y su valor es de $D_T = 5,35$ m.

6.5.8 Cadena de aisladores

Los aisladores se seleccionaron de acuerdo a las especificaciones de voltaje proporcionadas por EERSSA (2012), se hace uso del aislador espiga ANSI 55-5,15 kV cuyo material de construcción es porcelana.

6.5.9 Vano máximo por péndulo

El vano máximo o distancia entre fases tiene un valor de $d_f = 0,20$ m

6.5.10 Flecha máxima permitida por la altura de la estructura

La flecha máxima permitida de acuerdo al tipo de estructura presente en la red de media tensión tiene un valor de $f_{m\acute{a}x} = 2,74$ m.

6.5.11 Distancia entre fases

La distancia entre fases se obtuvo tomando en cuenta la flecha máxima que se dará bajo condiciones consideradas y se alcanzó un valor de $s_{cond} = 1,56$ m.

6.5.12 Vano regulador

El vano que asegura la mejor tensión mecánica media a lo largo de la red diseñada alcanzó un valor de $a_r = 314$ m.

6.5.13 Vano peso y vano viento

El vano peso considerado como la suma de las distancias horizontales medidas entre los puntos más bajos de un conductor a ambos lados de un apoyo y el vano viento considerado como la semisuma de los vanos adyacentes a un apoyo sus valores son descritos en la **Tabla 53**.

Tabla 53. Vano peso y vano viento de la red Cardopamba.

Vano peso y vano viento de la red Cardopamba						
Vano (m)	Vano siguiente (m)	xm (m)	xb (m)	xa (m)	av (m)	ag (m)
0	140	14,16957690	84,17	-55,83	108,26283	216,53
140	280	7,64391763	147,64	-132,36	160,27153	320,54
280	350	2,10086610	177,10	-172,90	174,85216	349,70
350	350	2,39655152	177,40	-172,60	149,16574	298,33
350	245	1,56506917	124,07	-120,93	75,013876	150,03
245	70	9,03731693	44,04	-25,96	113,00995	226,02
70	375,69	5,86241808	193,71	-181,98	96,853709	193,71

6.5.14 Altura de enterramiento de los postes

Para los postes **PO0-0HC12_500** y **PO0-0PC12_500**, se debe tener una altura de enterramiento de 1,7 m mientras que para los postes **PO0-0HC10_400** se debe tener una altura de enterramiento de 1,5 m.

6.5.15 Esfuerzo útil de los postes

El esfuerzo útil definido como el esfuerzo libre disponible aplicado por encima o por debajo de la cabeza del poste que para el diseño de la red de media tensión se obtuvo los siguientes valores descritos en la **Tabla 54**.

Tabla 54. Esfuerzo útil para las estructuras de la red de media tensión Cardopamba.

Postes	Mvc	α	Mvca	Mvp	EU
P1p	189,63	0,27	492,94	82,39	75,74
P2p	280,73	0,29	534,47	82,39	88,87
P3p	306,27	0,11	196,73	82,39	57,96
P4p	261,27	0,11	206,99	82,39	54,52
P5p	131,39	0,11	192,33	82,39	40,21
P6p	197,94	0,09	155,57	82,39	43,16
P7p	169,65	0,30	551,75	82,39	79,58

Los postes se identificaron de acuerdo a MEER, 2013, en el caso de los postes de hormigón armado su identificación se realizó de la siguiente manera **PO0-0HC12_500**, poste de hormigón armado tipo circular de 12 m y de carga de rotura de 500 kg, mientras que para los postes de fibra de vidrio fueron identificados **PO0-0PC12_500**, y para los postes de la red de baja tensión se identificaron mediante la siguiente nomenclatura **PO0-0HC10_400**.

La selección de los postes se la realizó de acuerdo a las normas técnicas proporcionadas por la EERSSA (Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A), que es la encargada de la regulación y la distribución de la energía en la zona donde se realiza el diseño, por ende se seleccionó postes circulares de hormigón armado en las áreas donde es fácil acceso a los vehículos que transportan los mismos y se pueden usar para vanos menores a 700 m, mientras que para el sector donde no es posible su ingreso se seleccionó postes de

fibra de vidrio debido al peso de estos son más fáciles de manipular, se pueden usar para vanos menores a 400 m.

6.5.16 Herrajes y accesorios

Los herrajes y accesorios se determinaron a partir de lo especificado en el catálogo digital Redes de distribución de energía eléctrica (MEER, 2018) y su ubicación se encuentra descrita en el **Anexo 21** y la representación de cada elemento seleccionado esta descrito en el **Anexo 25**.

6.5.17 Elementos de para los circuitos de accionamiento de las bombas hidráulicas

De acuerdo a la metodología seguida se seleccionó los elementos que intervienen en el accionamiento de las bombas hidráulicas, estos fueron elegidos de acuerdo a los cálculos desarrollados y mediante las especificaciones técnicas entregadas por el catálogo Camsco, (ver **Anexo 32**), estos elementos son descritos en la **Tabla 55**.

Tabla 55. Accionamientos eléctricos para el funcionamiento de las bombas.

ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS		
Cantidad	Descripción	Nomenclatura
2	Interruptor Termomagnético	C60N 2P 50A
2	Contactador	C1-D50/220V.
2	Relé Térmico	R2-D3359
	Conductor THHW	6 AWG
2	Luces piloto verdes (240V)	LPV
2	Luces piloto rojas (240V)	LPR
2	Selector de dos posiciones	S2P

6.6 Presupuesto total de la obra

En la **Tabla 56** se muestra el presupuesto total de la obra, la información se puede contrastar con las cotizaciones realizadas tal como se muestra en el **Anexo 33**.

Tabla 56. Presupuesto total de la obra.

Costo total de la obra	
Total, de presupuesto de materiales eléctricos e hidráulicos	21625,5134
Total, de mano de obra calificada	2734,77
Total, de mano de obra no calificada	800
Total, de transporte de postes	2000
Total, de transporte de elementos hidráulicos y eléctricos	1600
Total, de costos directos	28760,2834
Administración y dirección técnica 5%	1438,01417
Gastos y financiamiento 3%	862,808502
Utilidades 10%	2876,02834
Total, de costos indirectos	5176,851012
Subtotal de la obra	33937,13441
IVA 12%	4072,456129
Total, de la obra	38009,59054

7. Discusión

El barrio Cardopamba cuenta con un afluente hídrico muy importante como es el río Catamayo y a su vez características óptimas para el cultivo de maíz y maní al contrastar estos datos se desarrolló la metodología pertinente basada publicación Serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 24, Villegas & Torres, 2006.

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que, bajo las condiciones climáticas, tipo de suelo y desarrollo de cultivo se obtuvo el valor de lámina bruta más elevada en el cultivo de maní en su segundo periodo de producción 43 mm , esto se puede contrastar con lo concluido por Cleves et al (2016) en su trabajo titulado “Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica.”, que mencionan la ecuación propuesta por Penman-Monteith que permite calcular la ETo corresponde a un parámetro agroclimático que condensa y resume la influencia de los parámetros meteorológicos en la productividad de las plantas en condiciones de referencia, que luego pueden acercarse a la realidad mediante la utilización de los Kc de cada especie, teniendo en cuenta las características del suelo. Estos modelos son una herramienta importante para calcular o predecir el rendimiento esperado de cultivos herbáceos, bajo condiciones climáticas normales o de eventos de variabilidad o cambio climático.

Ya determinado el valor más elevado de lámina bruta se procedió a determinar los parámetros que ayudarán a satisfacer la demanda hidráulica de los cultivos de acuerdo a lo mencionado por CONGOPE (2016), en la cual se considera la lámina total de riego en la que está involucrada la eficiencia de aplicación de acuerdo al sistema de riego a instalarse, al considerar un sistema de riego por aspersión lo cual es un sistema eficiente de acuerdo a lo descrito por AMORGEIO (2005), en su trabajo titulado “Manual técnico de cultivos agrícolas bajo riego”, donde enumeran diversas ventajas de implementar este tipo de sistemas de riego.

En nuestro caso de estudio se consideró instalar un sistema de riego por aspersión por lo tanto la frecuencia de riego se determinó de acuerdo CONGOPE (2016), la cual se desarrolló considerando la lámina neta mayor y la evapotranspiración del cultivo de referencia más elevada, lo cual nos indicó una frecuencia de riego de $f_r = 5,77\text{ días}$.

La cantidad de tiempo necesario para que el agua ingrese al suelo se obtuvo mediante la relación entre la lámina bruta y la velocidad infiltración obtenida a partir de los apuntes de Lulacam (2019), para el suelo arcilloso debe ser menor a 5 mm/hr , nuestro caso en particular se seleccionó una velocidad de infiltración $3,5\text{ mm/hr}$, con los datos obtenidos de los estudios realizados se determinó un tiempo de riego $T_R = 12,29\text{ horas}$.

Se tuvo en cuenta que el caudal con que se debe suministrar el agua no debe superar los 35 m³/h por hectárea ya que si se sobrepasa este valor se generarán pérdidas de líquido por escurrimiento según lo contrastado con Villegas & Torres (2006).

Los parámetros hidráulicos fueron determinados mediante las especificaciones técnicas obtenidas de las guías y catálogos de los accesorios que se van a utilizar en el sistema de riego, mientras que la metodología de cálculo se realizó mediante la guía del libro de Mott (2015). Al haber realizado los cálculos pertinentes se encontró la carga dinámica total para el sistema de abastecimiento $h_A = 62,55$ m, mientras que para el sistema de distribución se obtuvo una carga dinámica de $h_A = 38,72$ m.

Haciendo uso de la metodología utilizada por Mott & Untener (2015), se obtuvo la potencia suministrada por la bomba al fluido y a su vez se determinó la eficiencia mecánica de las bombas, que a su vez fueron seleccionadas a partir de Ignacio Gómez IHM (2022).

Los elementos de conexión del sistema hidráulico se seleccionaron a partir de catálogos que nos brindan las especificaciones técnicas de acuerdo al diseño propuesto según los requerimientos hidráulicos del sistema.

Los parámetros de cavitación fueron calculados mediante las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante y procedimientos bibliográficos obtenidos de Mott & Untener (2015), y los resultados obtenidos nos muestran que las bombas no cavitan en ninguno de los dos sistemas.

El sistema energético se diseñó basado en normas técnicas proporcionadas por EERSSA (2012), que permitieron determinar la caída de tensión para la red primaria y para la red secundaria **Anexo 19** y **Anexo 20** respectivamente.

El cálculo de los demás elementos se realizó mediante las especificaciones técnicas proporcionadas por MEER (2013a), y las demás normativas vigentes a nivel local EERSSA (2012), luego de haber desarrollado los cálculos respectivos se determinó los elementos a utilizar en la red de media tensión proyectada y a su vez la red de baja tensión proyectada hasta concluir con los elementos de accionamiento de las bombas hidráulicas.

8. Conclusiones

- ✚ Con ayuda del software Climwat versión 2.0, se obtuvieron de la estación meteorológica MACARA – J.M. -VELASCO I los parámetros climáticos de radiación solar, temperatura ambiente y precipitación. La información relacionada con el desarrollo de los cultivos se la obtuvo de fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes de las semillas, y de la publicación No. 24 “Serie de Riego y Drenaje” de la FAO. Además, el tipo de suelo se lo determinó a partir del análisis realizado en la zona de estudio como se muestra en el **Anexo 5**. Con los parámetros y la información obtenida, se determinó que la mayor demanda hídrica se presentó para el cultivo de maní en su segundo periodo de producción, con un total de 430 m³/ha, la velocidad de infiltración se determinó de acuerdo a la textura del suelo, que para este estudio en particular es de 3,5 mm/hora, por lo tanto, el tiempo de riego bajo estas condiciones es de 12,29 horas y la frecuencia de riego es de 5,77 días.
- ✚ El sistema de riego diseñado para el cultivo de maíz y maní se ha dividido en distribución y alimentación. El sistema de riego de distribución consta de 6 aspersores de 5,84 m³/h, los cuales entregan 35 m³/h por hectárea. Con base en los cálculos realizados se seleccionó una bomba monofásica de 10 Hp cuyas características técnicas se presentan en el **Anexo 24**. Por otra parte, el sistema de alimentación debe proporcionar un caudal de 25 m³/h hasta el reservorio, y mediante el estudio topográfico que se muestra en el **Anexo 6**, se seleccionó una bomba de 10 Hp monofásica como se muestra en el **Anexo 23**.
- ✚ Luego de haber seleccionado las bombas que integran el sistema de riego, se procedió a diseñar el sistema energético para su alimentación. Este sistema de alimentación está constituido principalmente por una red de media de 1810 m, una red de baja tensión monofásica de 180 m, un transformador monofásico de 15 kVA, 7 postes de hormigón armado circulares de diferentes características, y 3 postes de fibra de vidrio. El detalle del sistema energético de alimentación se presenta en el **Anexo 25**.

9. Recomendaciones

- ✚ Proponer otras opciones de energía para la alimentación de los sistemas hidráulicos donde se considere el factor económico y ambiental.
- ✚ Considerar otros sistemas de riego en el cual el aprovechamiento hídrico sea más eficiente.
- ✚ Considerar extensiones de cultivo más bajas para reducir las cargas en el sistema.
- ✚ Analizar la posibilidad de realizar un estudio económico para verificar la viabilidad de la construcción de sistemas de riego similares.
- ✚ Analizar el uso de energías renovables tales como la solar para la alimentación de las bombas hidráulicas.

10. Bibliografía

- Aguilar., C. I. L. (2022). Determinar la metodología para el diseño mecánico de redes eléctricas de media tensión. *Universidad Nacional De Loja*, 69. [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS WILSON FERNANDO.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS_WILSON_FERNANDO.pdf)
- Alvarado & Alvarado CIA. LTDA. (2019). *Plan de Ordenamiento Territorial*.
- Amabile, G. V. (2015). *Introducción y Tutorial en español al programa " Soil Water Characteristics " Hydraulic Properties Calculator (Saxton y Rawls) para estudiantes de la Introducción al programa " Soil Water Characteristics " Hydraulic Properties Calculator. September*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2709.5527>
- AMORGEIO, D. D. S. D. R. (2005). *Manual técnico de cultivos agrícolas bajo riego*.
- Ávila-Dávila, L., Soler-Méndez, M., Madrona-Sánchez, P., Ruiz-Canales, A., Bautista-Capetillo, C. F., González-Trinidad, J., & Molina-Martínez, J. M. (2019). *Análisis de la velocidad de infiltración del agua en el suelo saturados mediante lisímetros de pesada*. 642–648. https://doi.org/10.26754/c_agroing.2019.com.3370
- Ayella, P., Ishii, A., & Satoh, M. (2019). A comparative analysis of two paddy irrigation schemes under contrasting water management of participatory and top-down systems in Uganda. *Paddy and Water Environment*, 17(3), 497–505. <https://doi.org/10.1007/s10333-019-00745-y>
- Camarero, F. B. (1999). *Líneas aéreas de media y baja tensión*.
- Camsco. (2014). *Supresores de transientes (picos) monofásicos y trifásicos interruptores diferenciales tipo F360 breakers para montaje en riel din " C45N " breakers para riel din " C60N " Y NC100H "*. 6–9.
- Checa, L. M. (1988). Líneas de Transporte de Energía. *Alfa Omega Marcombo*, 314. <https://doku.pub/download/lineas-de-transporte-de-energia-luis-maria-checa-ed-marcombo-v4lo67j3rplx>
- Cleves, J. A., Toro, J., & Martínez, L. F. (2016). *Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica*. 10(1), 149–163. <https://doi.org/10.17584/rcch>
- CNEL EP. (2015). *" Construcción De Alimentadora Guasmo # 9 (Alimentadora Acerias) Desde Subestacion. 9*.
- CONGOPE. (2016). *Hablemos de riego*.
- EBSA. (2010). Normas de diseño de redes de distribución de energía eléctrica. *LOGINN Investigación Científica y Tecnológica*, 4(1). <https://doi.org/10.23850/25907441.3139>
- EERSSA. (2012). *Normas técnicas para el diseño de redes eléctricas urbanas y rurales*. 11–12. http://www.eerssa.gob.ec/eerssa/lotaip/2017/noviembre/archivos/a3/Normas_tecnicas_para_el_diseno_de_redes_electricas_urbanas_y_rurales.pdf
- Electrocables. (2018). *Electrocables - Catálogo de Productos. Electro Cable*, 182.
- Enrique, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego Métodos de riego. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 1, 1–20.

- FAO. (2016). *Tópicos de ayuda - Cropwat*. 64. www.elregante.com
- Fernández, M. (2017). *Laboratorio de operaciones unitarias i - guía de prácticas*. 3, 32–37.
- Forestal, C., Camacho-Tamayo, J. H., Forero-Cabrera, N. M., Ramírez-López, L., & Rubiano, Y. (2016). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia Near-infrared spectroscopic assessment of soil texture in an oxisol of the eastern plains of Colombia. *Revistas.Udistrital*, 20, 5–18. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>
- Gómez Fernández, R., Oyonarte Gutiérrez, N. A., García Bernal, J. P., Yruela Morillo, M. del C., Milla Milla, M., & Alabarces Ávila, R. (2010). *Manual de Riego para Agricultores. Módulo 3, Riego por Aspersión*.
- González, C. (2009). *Información agrometeorológica necesaria para el cultivo del maní - II*(González 1984), 1–17.
- I. Martín, R. Salcedo, R. F. (2011). Mecánica de fluidos. Tema 2. Impulsión de fluidos. *Mecánica De Fluidos*, 2, 4–5. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2_impulsion.pdf
- Ibarra, E. S. (2018). *Los requerimientos hídricos del maíz*. Carlos Reyes. <https://panorama-agro.com/?p=2990>
- Ignacio Gómez IHM. (2022). *Bombas de agua, Motobombas | Servicio técnico | Ignacio Gómez IHM*. <https://www.igihm.com/bombas/centrifugas/?codigo=64414000A2>
- INELDEC SAS. (2022). *Transformador Monofasico Convencional 15 kVA Rymel Magnetron*. <https://ineldec.com/producto/transformador-monofasico-convencional-de-15-kva-rymel-magnetron-2/>
- INIAP. (2014). *Maíz duro*. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/>
- Julían, R. F., Miguel, C. F. L., & Bezos, H. S. R. (2014). *Automatismos industriales* (C. L. Carmona (ed.); 1st ed.).
- Lage, E. (2018). Fluidos. *Revista de Ciência Elementar*, 6(4). <https://doi.org/10.24927/rce2018.071>
- Landa Viqueira, J. (2010). *Redes Eléctricas I* (Segunda ed). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lulacam. (2019). El contenido de este artículo fue elaborado por es.khanacademy.org y fue revisado y reeditado por Portalfruticola.com. *Agricola*.
- MEER. (2013). Homologación De Las Unidades De Propiedad (Up) Y Unidades De Construcción (Uc) Del Sistema De Distribución Eléctrica. *Catálogo Digital - Redes de Distribución de Energía Eléctrica*.
- MEER. (2018). *Catálogo digital, Redes de distribución de energía eléctrica*. <https://www.unidadespropiedad.com/>
- Ministerio de Industria, T. y C. (2008). Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. *Subvenciones Al Empleo. Trabajos de Interés General*, 16436–16554. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_276.pdf

- Mott, R. L. (2015). Mecánica de Fluidos. In *Mecánica De Fluidos* (Septima Ed).
- Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). Mecánica de Fluidos: Dinámica de Fluidos. In *StuDocu* (Séptima ed). 2015. [https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-federico-villarreal/mecanica-de-fluidos-i/resumen-mecanica-de-fluidos-hidrodinamica/3500368%0Ahttps://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10195/Dinamica de fluidos ideales.pdf?sequence=1&](https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-federico-villarreal/mecanica-de-fluidos-i/resumen-mecanica-de-fluidos-hidrodinamica/3500368%0Ahttps://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10195/Dinamica%20de%20fluidos%20ideales.pdf?sequence=1&)
- Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., & Unland-Weiss, H. (2006). Programación intergral del riego en Maíz en el Norte de Sinaloa, México. *Agrociencia*, 40(1), 13–25.
- Ojeda, A., Mc Leod, C., Águila, K., & Pino, M. T. (2018). Bases para la determinación de las necesidades hídras del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*, June, 1–6.
- Paliwal, R. L. (2001). *EL maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm#toc>
- Pedelini, R., & Monetti, M. (2018). *Guia Mani 2018*. [http://www.ciabrera.com.ar/docs/Guia Mani 2018.pdf](http://www.ciabrera.com.ar/docs/Guia%20Mani%202018.pdf)
- Quispe Aquino, R. (2018). Universidad Nacional Del Altiplano Tesis. *Factores Que Influyen En El Inicio De Relaciones Sexuales En Los Adolescentes De La Institución Educativa Secundaria Independencia Nacional Puno, 2017, 99*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14458>
- Ramos R., M., & Báez R., D. (2013). *Diseño Y Construcción De Un Sistema De Riego Por Aspersión En Una Parcela Demostrativa En El Canton Cevallos*. 53–55.
- Ullaury, J., Guamán, R., & Jaime, A. (2004). Guía del cultivo de mani para las zonas de Loja y el Oro. In *Iniap* (Vol. 314, pp. 1–24).
- Valdés, A. B. (2008). *Caracterización Morfo - fisiológica de cuatro accesiones de maní [Arachis hypogaea L.] en un suelo Pardo sialítico, en época de primavera*. Universidad Nacional de San Martín Perú.
- Villegas, J. A., & Torres, B. E. (2006). Evapotranspiración. In *Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootécnica, Universidad Nacional de Tucuman* (Vol. 45, pp. 29–270).
- Weather Atlas. (2022). *Pronóstico del tiempo - Pronóstico de verano - Celica, Ecuador*. <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/celica-el-tiempo-en-enero>

11. Anexos

Anexo 1. Entrevista de obtención de parámetros para el diseño del sistema de riego.



Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA



Entrevista I

Como estudiante de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, en busca de su vinculación académica con la sociedad y como parte del proceso para la culminación de mi formación profesional; hago llegar a usted la presente entrevista la cuál ha sido desarrollada con la finalidad de obtener mayor información sobre el proceso de cultivo de maíz y maní en este sector; por tal motivo se pide que sea leída detenidamente y contestada con información verídica.

Datos generales de la propiedad

1. Datos Generales:

1.1. ¿Cuáles son los propietarios del sector donde se desea realizar el diseño del sistema de riego?

Roberto Vera, Rosa Cortava

1.2. ¿Qué extensión se desea abastecer con el sistema de riego a diseñar?

Tres hectáreas

1.3. ¿Desde qué año se adecuaron los terrenos para el cultivo?

2005

1.4. ¿Qué cultivos se debe considerar para el diseño del sistema de riego?

Maíz y Maní

2. Datos climáticos del sector:

2.1. Indique cuales son los meses en los que se presentan las lluvias con mayor frecuencia:

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	X	X	X								

2.2. Indique cuales son los meses en los que las lluvias son escasas o nulas según su experiencia personal.



unl

Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA



Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
X				X	X	X	X	X	X	X	X

3. Datos de los cultivos:

3.1. ¿Qué variedades de maíz se desea cultivar en el sector analizado?:

Maíz híbrido DK 708B y DAS 3385

3.2. ¿Qué variedades de maní se desea cultivar en el sector analizado?:

Maní negro

3.3. ¿Cuántos días comprende el periodo del cultivo de maíz desde la siembra hasta la cosecha, según su experiencia personal?:

135 días

3.4. ¿Cuántos días comprende el periodo del cultivo de maní desde la siembra hasta la cosecha, según su experiencia personal?:

125 días

Agradezco encarecidamente su colaboración por la información otorgada.

Firma del colaborador:

1104903859

Nombre: Magaly del Carmen Vera C.



Entrevista I

Como estudiante de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, en busca de su vinculación académica con la sociedad y como parte del proceso para la culminación de mi formación profesional; hago llegar a usted la presente entrevista la cuál ha sido desarrollada con la finalidad de obtener mayor información sobre el proceso de cultivo de maíz y maní en este sector; por tal motivo se pide que sea leída detenidamente y contestada con información verídica.

Datos generales de la propiedad

1. Datos Generales:

1.1. ¿Cuáles son los propietarios del sector donde se desea realizar el diseño del sistema de riego?

Barbariano Uña, Rosa Cardona

1.2. ¿Qué extensión se desea abastecer con el sistema de riego a diseñar?

Tres hectáreas

1.3. ¿Desde qué año se adecuaron los terrenos para el cultivo?

2005

1.4. ¿Qué cultivos se debe considerar para el diseño del sistema de riego?

Maíz maní

2. Datos climáticos del sector:

2.1. Indique cuales son los meses en los que se presentan las lluvias con mayor frecuencia:

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	/	/	/								

2.2. Indique cuales son los meses en los que las lluvias son escasas o nulas según su experiencia personal.



unl

Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA



enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
				/	/	/	/	/	/	/	/

3. Datos de los cultivos:

3.1. ¿Qué variedades de maíz se desea cultivar en el sector analizado?:

Maíz híbrido, DK 7088, Dax 3388

3.2. ¿Qué variedades de maní se desea cultivar en el sector analizado?:

Maní negro

3.3. ¿Cuántos días comprende el periodo del cultivo de maíz desde la siembra hasta la cosecha, según su experiencia personal?:

140 días

3.4. ¿Cuántos días comprende el periodo del cultivo de maní desde la siembra hasta la cosecha, según su experiencia personal?:

125 días

Agradezco encarecidamente su colaboración por la información otorgada.

Firma del colaborador:

Rosa Cordova

Nombre: Rosa Luzmila Cordova

Anexo 2. Fichas técnicas de la variedad de maíz sembradas por los dueños del predio.

VENTAJAS

DK 7088

MAÍZ HÍBRIDO

SU EXCELENCIA

- Extraordinario Rendimiento.
- Excelente tolerancia a enfermedades Helminthosporium, Mancha de Asfalto, Cinta Roja, Roya.
- Excelente calidad de grano amarillo cristalino - semidentado profundo.
- Excelente relación grano / tuza








ANTECEDENTES:
Este híbrido simple fué desarrollado para clima tropical por MONSANTO. Su adaptación ha sido comprobada para condiciones del litoral ecuatoriano, producido en Brasil, Importado y distribuido en forma exclusiva por ECUAQUIMICA.

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE DK 7088

Días a Floración	54
Días a Cosecha	135
Altura de Planta	2.32
Altura de inserción a Mazorca	1.45
Cobertura a Mazorca	BUENA
Helminthosporium	Tolerante
Cinta Roja	Muy Tolerante
Mancha de Asfalto	Tolerante
Putridión de Mazorcas	Muy Tolerante
Número de Hileras por Mazorca	16 - 20
Color de Grano	Amarillo Anaranjado
Textura de Grano	Cristalino ligera capa harino
Relación Tuza/Grano	81/19
Potencia de Rendimiento	280 qq/ha

FERTILIZACIÓN INVIERNO

PRODUCTO	CANTIDAD qq/ha	ÉPOCA
EQ1	4	SIEMBRA
Ureas	2	20 DÍAS
Ureas	4	40 DÍAS

FERTILIZACIÓN VERANO

Producto	Cantidad	Época
OPCIÓN 1		
EQ 2	10	SIEMBRA
OPCIÓN 2		
EQ 1	4	SIEMBRA
Ureas	2	20 DÍAS
NITROGRAN	4	40 DÍAS

GUAYAQUIL: Av. José Santiago Castillo y Av. Juan Tanco Marengo Km. 1.8 / Telf: (04) 682090 - 2682230 Fax: 2682065 - 2682242 / **BABAHoyo:** Av. 6 de Octubre entre haisa Chopina y 18 de Mayo. / Telefax: (05) 2736369 - 2736370 / **MACHALA:** Km. 1 1/2 Vía a Pasaje. / Telf: (07) 2982777 - 2982778 Fax: (07) 2982780 / **MILAGRO:** Av. 17 de Septiembre Km. 1 Vía al Km. 26 / Telf: (04) 2974232 - 2974235 Fax: (04) 2974234 / **PORTOVIEJO:** Paso lateral Manabí Guillén diagonal a Solca. / Telf: (05) 2440003 - 2440004 - 2440005 - 2440006 Fax: Ext. 135 / **QUEVEDO:** Km. 4 1/2 Vía Valencia. / Telefax: (05) 2764094 - 2764095 - 2750091 / **CUENCA:** Av. España N° 1409 y Turubuyaco. / Telefax: (07) 2801661 (07) 2867902 (07) 2807897 / **SANTO DOMINGO:** Km. 3 1/2 Vía Chone. / Telf: (02) 3751462 - 3751463 - 3751464 Fax: (02) 3751467 / **MACARA:** Av. Daniel Mora y Carlos Jaramilla. / Telf: 07 2694770.



ECUADOR

LÍNEA COMERCIAL
DE PRODUCTOS 2020

	Zonas recomendadas	Manabí
	Población en miles de plantas/hectárea a una distancia entre surcos de 80 - 85 cm	62,500 mil/ha
	Ciclo	Invierno y Verano
	Días para floración	53 - 55
	Días para cosecha	120
	Altura de planta	2.25 - 2.35 m
	Altura de mazorca	1.15 - 1.25 m

Anexo 3. Tabla de resultados de la velocidad del viento en relación con la altura para todos los meses del año.

Mes	Velocidad del viento (m/s)	u2 (m/s)
Enero	2,50	1,870
Febrero	1,90	1,420
Marzo	1,90	1,420
Abril	2,00	1,498
Mayo	2,20	1,645
Junio	2,40	1,792
Julio	2,60	1,948
Agosto	2,50	1,870
Septiembre	2,60	1,948
Octubre	2,80	2,095
Noviembre	2,70	2,017
Diciembre	2,60	1,948

Anexo 4. Evapotranspiración de referencia para los meses del año en análisis.

Mes	Evapotranspiración ETo (mm/día)
Enero	4,46
Febrero	3,44
Marzo	3,10
Abril	3,59
Mayo	3,72
Junio	4,37
Julio	4,93
Agosto	5,03
Septiembre	5,48
Octubre	5,73
Noviembre	5,56
Diciembre	5,27
Promedio	4,56

Anexo 5. Estudio de suelo del lugar de análisis.



Provincia:	Loja	Fecha de ingreso:	14-12-2021
Cantón:	Celica	Fecha de egreso:	10-01-2022
Sector:	Cardopamba	Responsable:	Lenin Aníbal Vera Córdova

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	Análisis Mecánico			Textura
		% TFSA			
		Arena	Limo	Arcilla	
2888	Sector 1	22,72	33,64	43,64	Ac
2889	Sector 2	22,72	31,64	45,64	Ac
2890	Sector 3	22,72	35,64	41,64	Ac

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

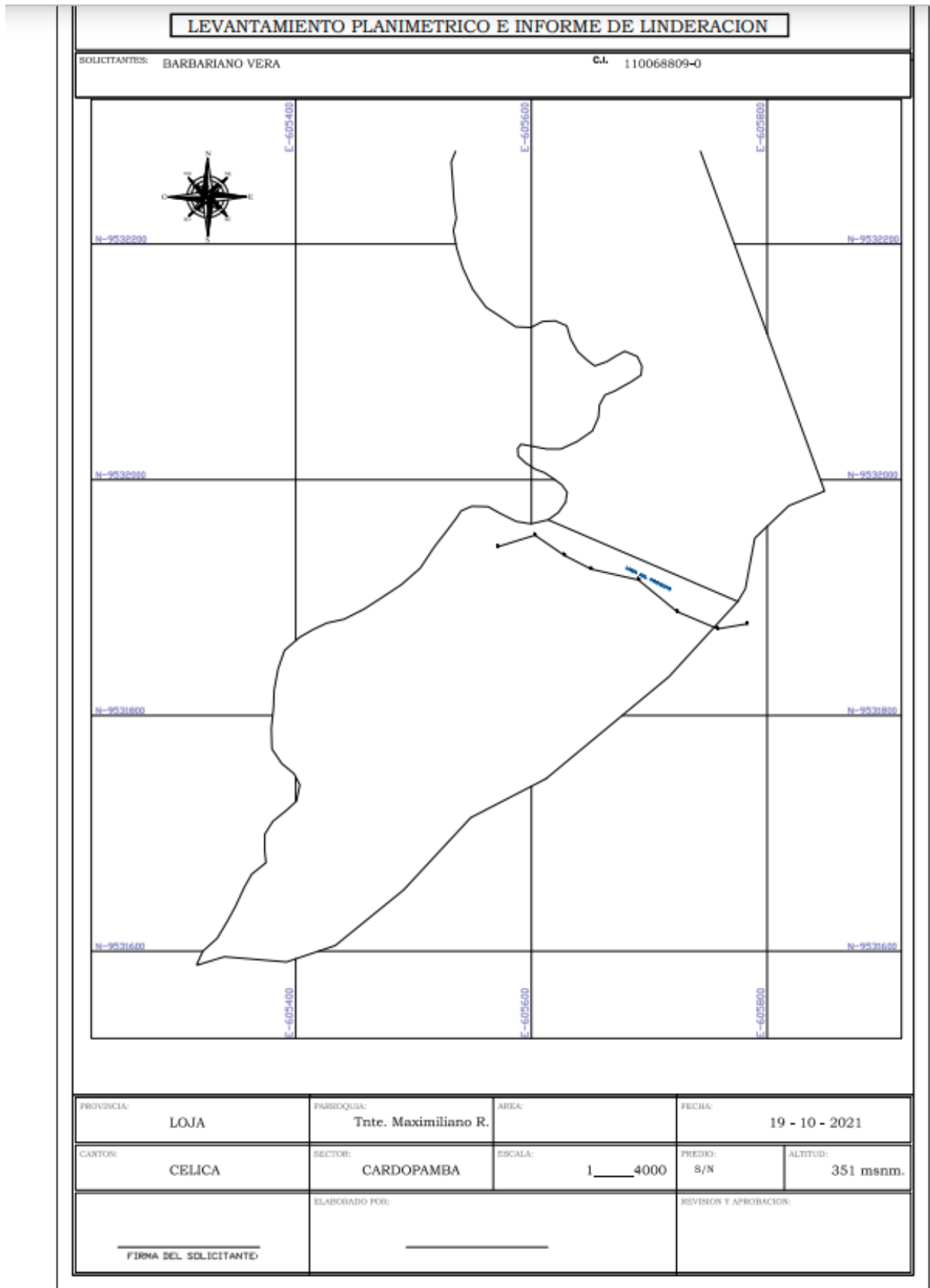
Cód. Lab.	Cód. Campo	Textura
2888	Sector 1	Arcilloso
2889	Sector 2	Arcilloso
2890	Sector 3	Arcilloso



DIANA PAULINA
INIGUEZ
ORDÓÑEZ

Ing. Diana Iníiguez Ordóñez
TÉCNICA DE LABORATORIO

Anexo 6. Estudio topográfico.



Anexo 7. Ficha técnica aspersor.

Sistema de riego por aspersión

7025 RD - 2 - 1"

MINI CAÑONES



- Menor costo que aspersores metálicos.
- Grandes volúmenes y diámetro de mojado.
- Su doble boquilla incrementa la distribución y mejora la uniformidad.
- Ángulo de 25°.
- Conexión a rosca macho de 1".

7025 - 2 - RM 1" Boq # 20 x 10	PRESIÓN EN LA BOQUILLA (PSI)							
	35	40	45	50	55	60	65	70
Caudal (gpm)	19.60	20.90	22.20	23.40	24.60	25.70	26.70	27.70
Diámetro a 0.50 m	37.80	40.00	40.90	41.80	43.33	44.56	45.80	46.70
Diámetro a 2.00 m	40.50	41.80	42.70	43.60	44.90	46.10	47.00	47.30

8025 RD - 2 - 1 1/4 "

MINI CAÑONES



- Diseñado para obtener una máxima eficiencia con altos rangos de caudales.
- Su doble boquilla incrementa la distribución y mejora la uniformidad.
- Ángulo de 25°.
- Conexión a rosca macho de 1 - 1/4".

8025 - 2 - RM 1 1/4" Boq # 26 x 14	PRESIÓN EN LA BOQUILLA (PSI)								
	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Caudal (gpm)	36.80	39.40	41.80	44.00	46.20	48.20	50.20	52.10	53.90
Diámetro a 0.50 m	41.50	43.40	44.90	46.40	47.90	49.10	50.00	50.70	51.30
Diámetro a 2.00 m	46.40	47.90	49.10	50.00	51.00	51.60	52.20	52.80	53.40

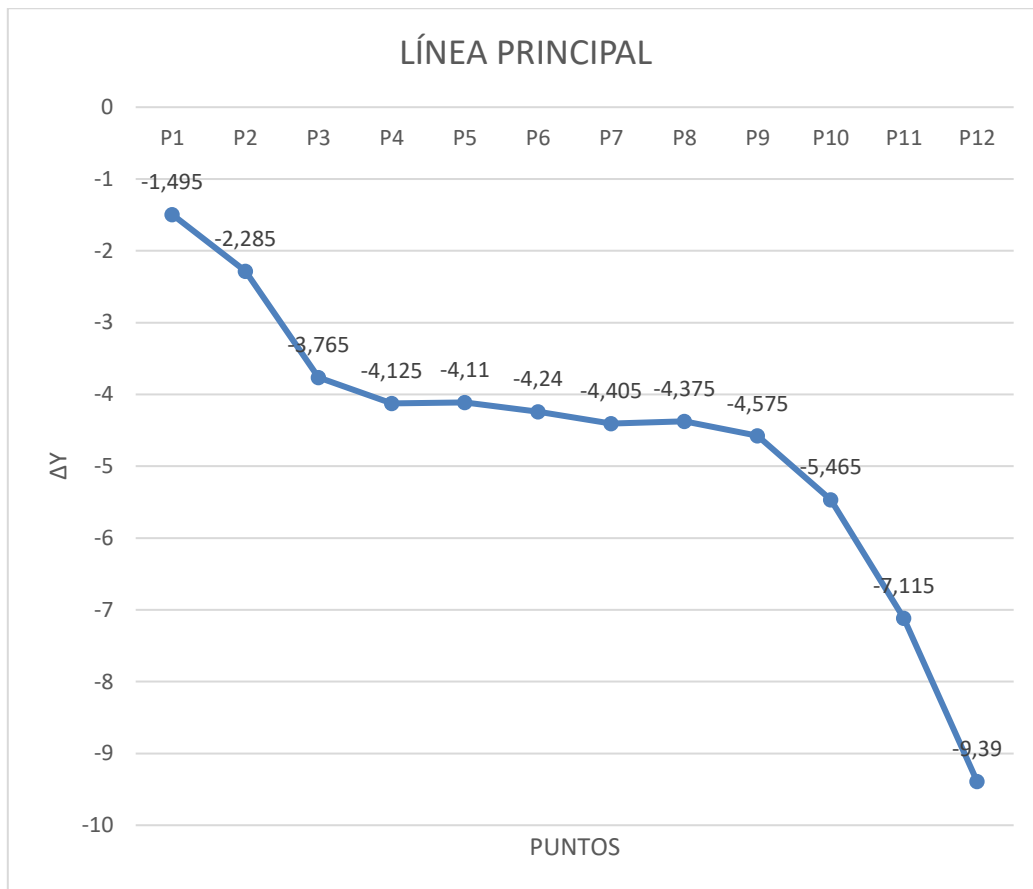


PROPIEDADES DEL AGUA

TABLA A.1 Unidades del SI [101 kPa (abs)]

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}

Anexo 9. Curva de desnivel para la línea principal.



Anexo 10. Ficha técnica PLASTIGAMA para mangueras de polietileno (PE)

VENTAJAS

PE de baja y media densidad

Fabricada con materia prima 100% virgen, sin material de reciclaje.

Excelente resistencia química.

No se produce corrosión química ni galvánica, evitando la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores, conservando inalterable su sección.

Resistente.

Resultado de una cuidadosa selección de materia prima y formulación de compuestos de PE, resistente al ataque de aguas y suelos agresivos.

Rendimiento.

Por su presentación en rollos de hasta 100m de acuerdo al diámetro, disminuye el uso de accesorios y aumenta el rendimiento en la instalación.

Más ventajas de Flex de PE:

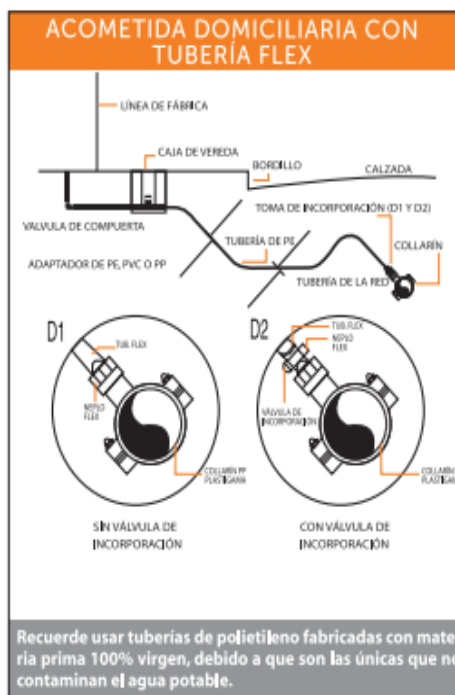
No transmiten olor ni sabor al agua potable u otros fluidos de consumo humano.

Fácil de cortar con herramientas manuales.

Facilita su instalación, manipuleo y transporte en obra.

Mediante su unión por inserción se pueden unir:

Tubos Flex entre sí, con accesorios de PVC, con PVC rígido y valvulería mecánica.



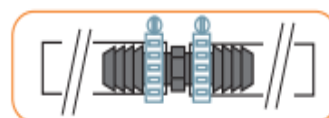
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS DE POLIETILENO USO EN PRESIÓN DIÁMETRO INTERIOR CONTROLADO SEGÚN NORMA ASTM D2239								
Diámetro nominal	Diámetro interior promedio	Tipo de PE	Espesor nominal	Diámetro exterior promedio	Presión de trabajo			Longitud del rollo
					psi	MPa	Kgf/cm ²	
1/2	15.80	BD	1.75	22.25	80	0.55	5.63	100
		BD	2.97		125	0.86	8.80	100
3/4	20.93	BD	2.34	26.74	80	0.55	5.63	100
		BD	3.94		125	0.86	8.80	100
1	26.64	BD	2.64	32.39	72	0.50	5.07	100
1 1/2	40.89	BD	3.14	47.69	57	0.39	4.01	100
2	52.50	BD	4.57	62.30	64	0.44	4.50	100
3	77.93	BD	5.99	90.71	57	0.39	4.04	50
4	102.26	BD	7.85	118.95	57	0.39	4.01	25

Para otras presiones comuníquese con el Departamento Técnico de Plastigama.

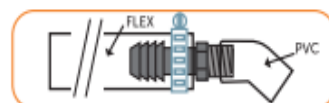
UNIONES PARA TUBERÍAS DE POLIETILENO

Unión Flex - Flex



Para hacer esta unión necesita contar con uniones estriadas, que deben cumplir con la norma ASTM-D-2609.

Unión FLEX - PVC



Esta unión se hace generalmente con un niple que tiene un extremo roscado y el otro estriado (niple-flex), la entrada roscada macho es para unir con el PVC y en la espiga estriada (ASTM-D-2609), se inserta el tubo FLEX y se sujeta con una abrazadera de acero inoxidable que coincide con la parte estriada del accesorio.

Rev.: 2020 - 01 - 31

MEXICHEM ECUADOR S.A.

Durán: Km. 4.5 Vía Durán - Tambo PBX: 3716900

Quito: Av. Siena 2-14 y Miguel Ángel.

Sector La Primavera-Cumbayá Telf.: 3934420

www.plastigamawavin.com

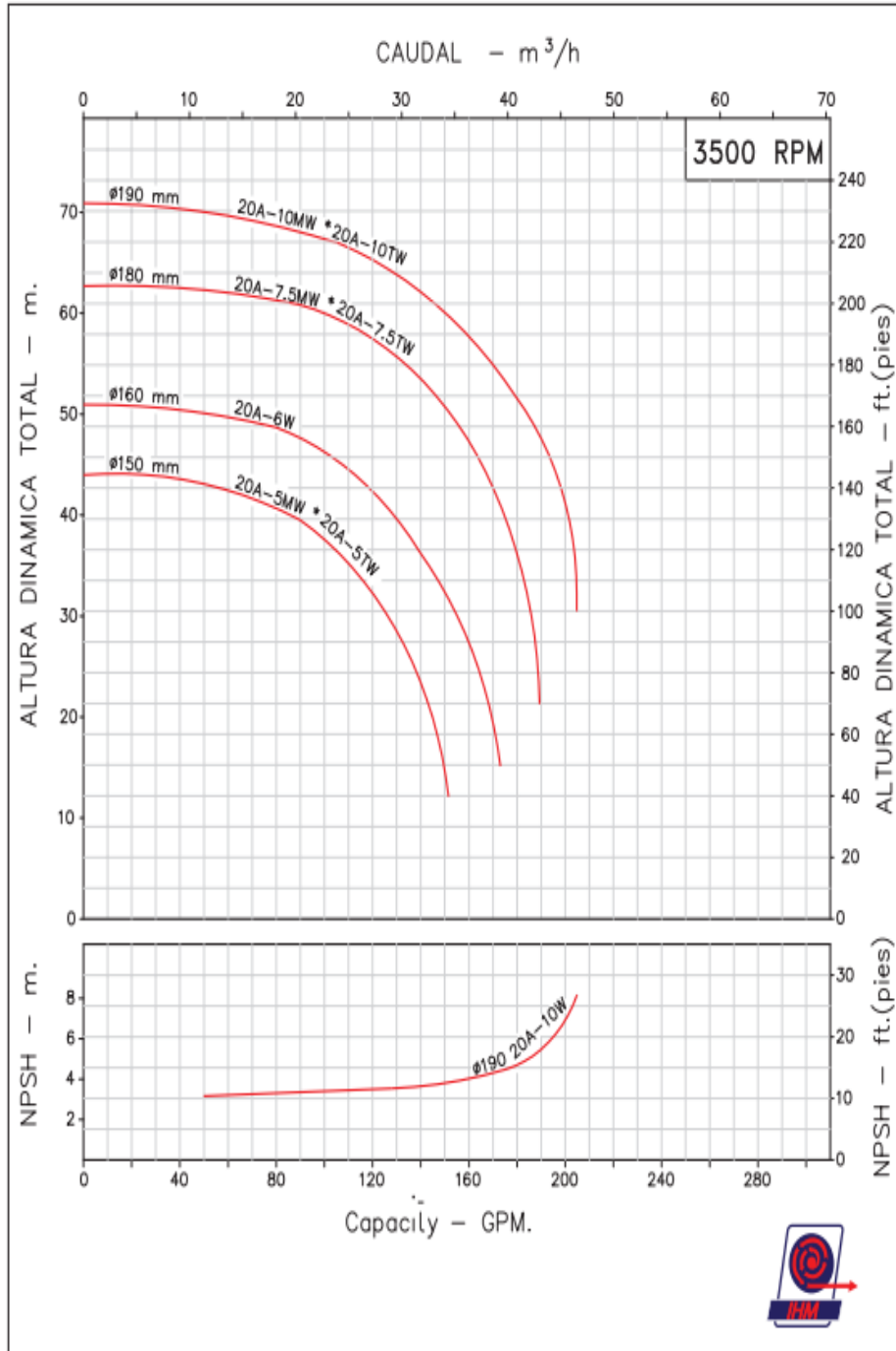


Anexo 11. Catálogo de selección para bombas IHM y curva de rendimiento.

► Modelo: 20A - 5 MW / 20A - 7.5 TW

Datos Generales	Conexión	Notas
Versión: Sello Mecánico. ø Rotor: Variable ø Máx Partículas: 5 mm Motor: Monof. 5, 7.5 y 10 HP / Trif. 5, 6, 7.5 y 10 HP. Voltaje: Monof. 220V-60 Hz / Trif. 220/440V-60Hz	Roscado: NPT Succión: 2" Descarga: 2"	1.- Densidad del agua a 4 °C; 1 gr/cm ³ . 2.- Curvas desarrolladas a nivel del mar. Caudal máx: gpm Altura máx: ft Eficiencia máx: %

Curva de rendimiento

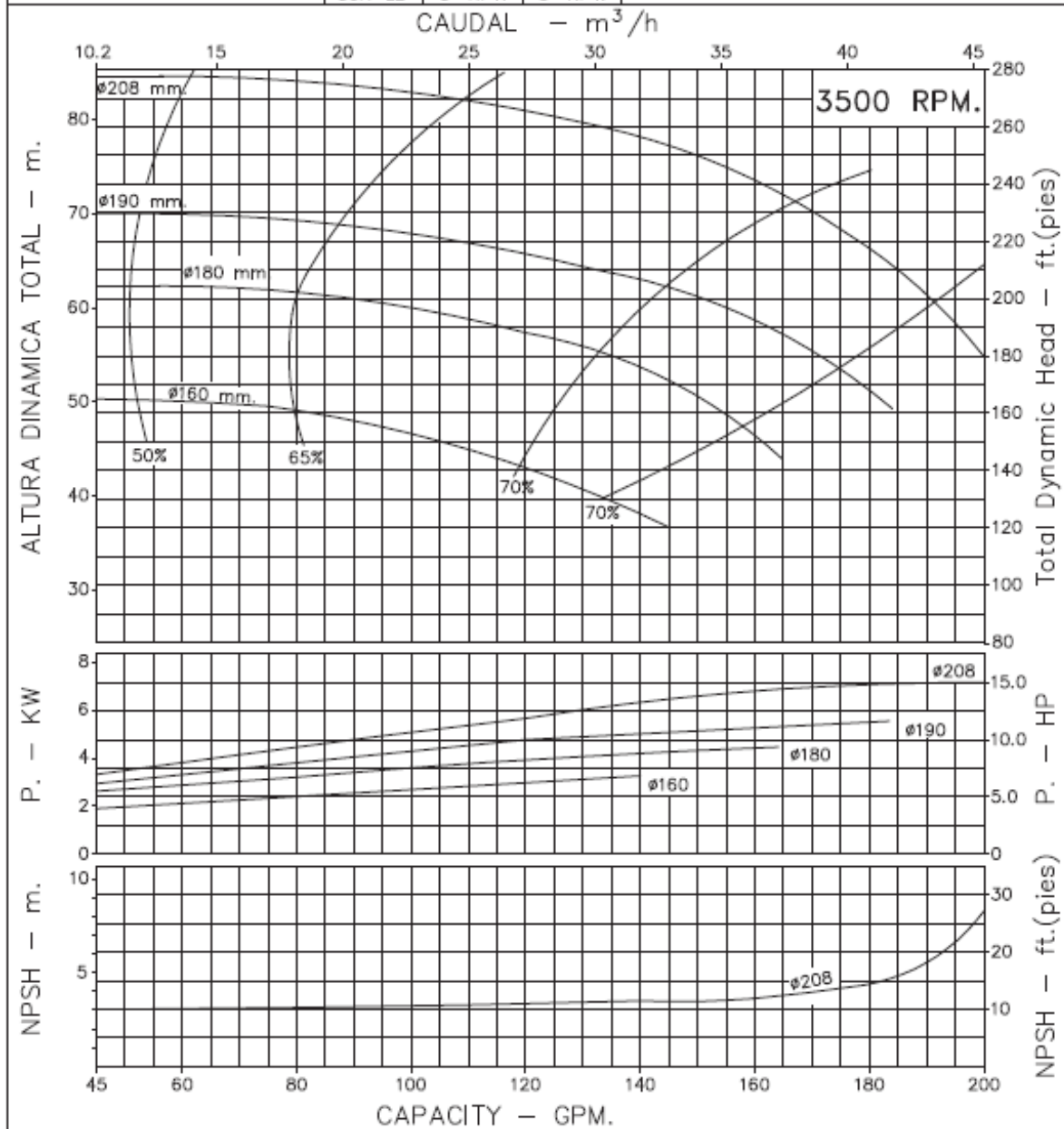


BOMBAS CENTRIFUGAS USO GENERAL "LINEA HY-FLO" EJE LIBRE



Version: Sello Mecanico.
 Ø Rotor: Variable
 Ø Max. Partículas: 5mm.
 Motor: Potencia Variable
 Marca:

MODELOS:		
	20A-L2	
	30A-L2	
CONEXIONES:		
Modelo	Succion	Descarga
20A-L2	2" NPT.	2" NPT.
30A-L2	3" NPT.	3" NPT.



Codigo: **950280CU**
 Revision: RO
 Fecha : NOV-05-99
 Reemp :

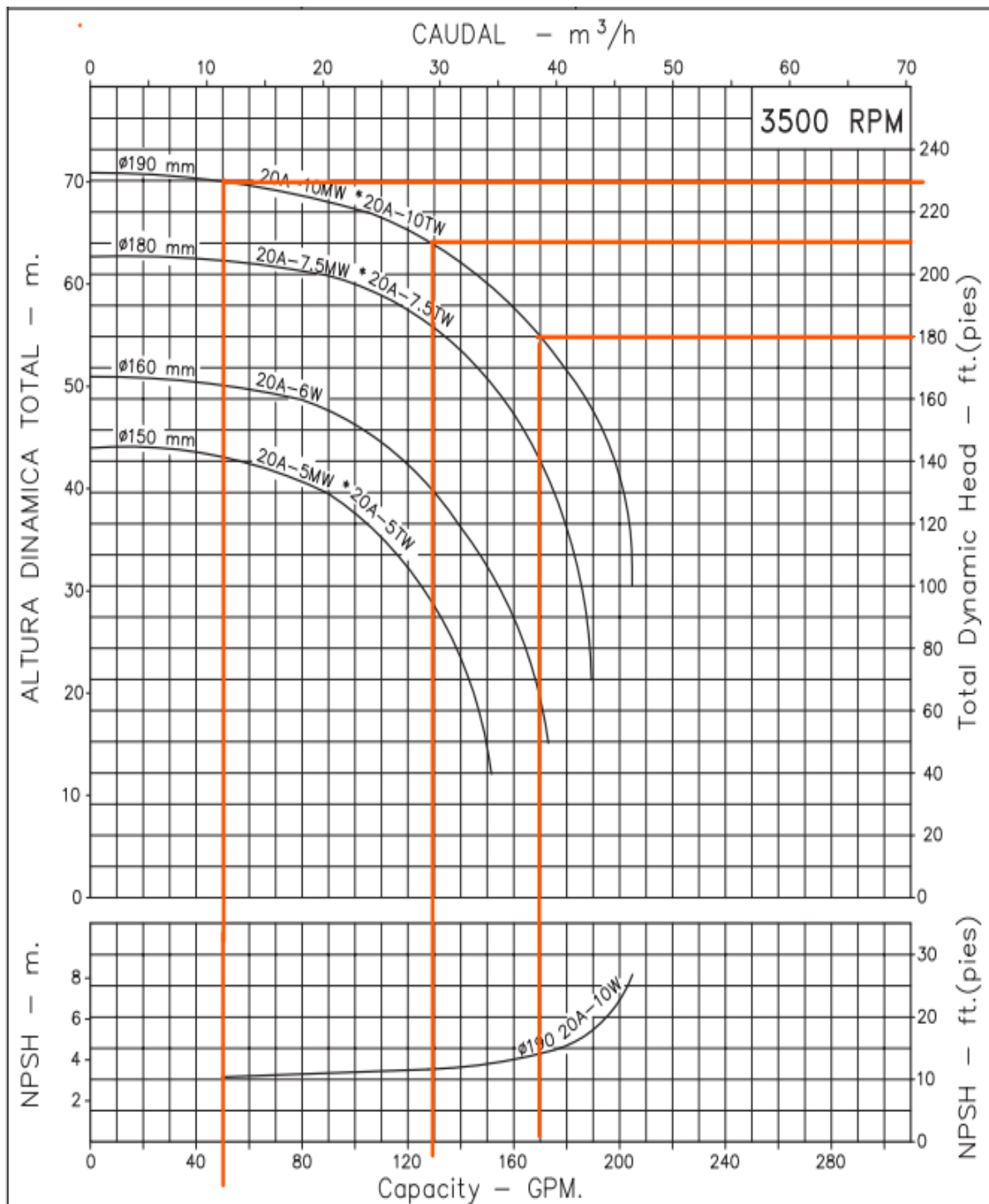
NOTAS:
 1. Densidad del agua a 4°C : 1 gr/cm³
 2. Curvas desarrolladas a Nivel del Mar

Caudal Max.	gpm
Altura Max.	ft
Eficiencia Max.	%

Anexo 12. Presión de vapor y carga de presión de vapor para el agua.

Presión de vapor y carga de la presión de vapor para el agua			
Temperatura (°C)	Presión de vapor (kPa) abs	Peso específico (kN/m³)	Carga de la presión de vapor (m)
0	0,6105	9,806	0,06226
5	0,8722	9,807	0,08894
10	1,228	9,804	0,1253
20	2,338	9,789	0,2388
30	4,243	9,765	0,4345
40	7,376	9,731	0,758
50	12,33	9,69	1,272
60	19,92	9,642	2,066
70	31,16	9,589	3,25
80	47,34	9,53	4,967
90	70,1	9,467	7,405

Anexo 13. Selección de los puntos para la obtención de la curva de la bomba.



Anexo 14. Elementos que componen el sistema hidráulico de alimentación.

ELEMENTOS DEL SISTEMA HDRÁULICO DE ALIMENTACIÓN						
CÓDIGO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MARCA	CANTIDAD	LONGITUD	DIÁMETRO
SRA-H-01	Sistema hidráulico de alimentación	Tubería de succión – Abastecimiento		1	8 m	80 mm
SRA-H-02	Sistema hidráulico de alimentación	Codo 90°		4		80 mm
SRA-H-03	Sistema hidráulico de alimentación	Codo 45°		4		80 mm
SRA-H-04	Sistema hidráulico de alimentación	Válvulas Compactas		1		80 mm
SRA-H-05	Sistema hidráulico de alimentación	Uniones		6		80 mm
SRA-H-06	Sistema hidráulico de alimentación	Manguera de PE – línea principal		5	45 m x rollo	80 mm
SRA-H-07	Sistema hidráulico de alimentación	Bomba hidráulica 10 HP	IHM	1		

Anexo 15. Elementos que componen el sistema hidráulico de distribución.

ELEMENTOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE DISTRIBUCIÓN						
CÓDIGO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MARCA	CANTIDAD	LONGITUD	DIÁMETRO
SRD-H-01	Sistema hidráulico de distribución	Tubería de succión – Distribución		1	3 m	150 mm
SRD-H-02	Sistema hidráulico de distribución	Codo 90° - línea principal		7		110 mm
SRD-H-03	Sistema hidráulico de distribución	Té estándar – 4 in		9		110 mm
SRD-H-04	Sistema hidráulico de distribución	Válvulas Compactas		4		110 mm
SRD-H-05	Sistema hidráulico de distribución	Reductores		12		110 mm x 90 mm
SRD-H-06	Sistema hidráulico de distribución	Manguera de PE – línea secundaria		14	45 m x rollo	80 mm
SRD-H-07	Sistema hidráulico de distribución	Manguera de PE – línea principal		9	25 m x rollo	110 mm
SRD-H-08	Sistema hidráulico de distribución	Aspersores 7025 RD-Senninger		18		
SRD-H-09	Sistema hidráulico de distribución	Uniones Flex		3		80 mm
SRD-H-11	Sistema hidráulico de distribución	Codo 90° - línea secundaria		12		80 mm
SRD-H-12	Sistema hidráulico de distribución	Té estándar – 3 in		6		80 mm
SRD-H-12	Sistema hidráulico de distribución	Bomba hidráulica 10 HP	IHM	1		

Anexo 16. Factor de caída de tensión [FDV], alimentadores primarios [kVA – KM].

Calibre Conductor Fase/Neutro	13 800 - 7 967 V								
	ACSR			6201			ASC		
	1F - 2C	2F - 3C	3F - 4C	1F - 2C	2F - 3C	3F - 4C	1F - 2C	2F - 3C	3F - 4C
4 (4)	215	863	1,292	211	844	1,263	210	842	1,260
2 (4)	261	1,046	1,565	255	1,024	1,532	254	1,021	1,527
2 (2)	330	1,323	1,977	323	1,297	1,938	322	1,291	1,930
1/0 (2)	397	1,593	2,379	389	1,562	2,333	387	1,555	2,323
2/0 (2)	427	1,716	2,562	419	1,684	2,514	417	1,677	2,504
2/0 (1/0)	544	2,187	3,261	534	2,147	3,202	532	2,138	3,188
3/0 (1/0)	583	2,346	3,498	579	2,330	3,473	577	2,321	3,460
3/0 (2/0)	649	2,615	3,895	646	2,602	3,876	644	2,594	3,863
4/0 (1/0)	632	2,546	3,793	621	2,499	3,724	618	2,489	3,709
4/0 (2/0)	711	2,865	4,265	699	2,815	4,191	696	2,805	4,176

Fuente. (EERSSA, 2012)

Anexo 17. Longitud entre vanos y denominación de los postes.

	Denominación entre postes	Longitud del vano (m)
1	P0#-98046 - P1p	140
2	P1p – P2p	280
3	P2p – P3p	350
4	P3p – P4p	350
5	P4p – P5p	245
6	P5p – P6p	70
7	P6p – P7p	375
	Longitud total de la red	1810

Anexo 18. Anotaciones del conductor Sparrow 2 (2).

CARACTERISTICAS DEL CONDUCTOR	Sparrow 2(2)	UNIDADES
Código	2	
Diámetro	8,02	mm
Sección total	33,62	mm ²
Peso Unitario	136,56	kg/km
Peso específico	$3,482 \times 10^{-3}$	kg/(m· mm ²)
Tensión de rotura	1265	kg
Carga unitaria de viento	98	kg/km
Módulo de elasticidad final	8000	kg/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	19,1	1/°C
Coefficiente de sobrecarga	1,23	

Anexo 19. Computo de caída de tensión red primaria.

A. PRIMARIO		PROYECTO: RED CARDOPAMBA COMPUTO DE CAIDA DE VOLTAJE REDES PRIMARIAS			ANEXO : 20 HOJA: 1 DE 1			
PROVINCIA: Loja	CANTÓN: Celica	PARROQUIA: Tnte. Maximiliano Rodriguez L.	BARRIO: Cardopamba	FECHA: 22/1/2023				
LONGITUD TOTAL (Km) : 1,810	NÚMERO DE ABONADOS : 1	PROYECTISTA: LENIN ANIBAL VERA C.						
VOLTAJE (KV) : 7,967	No. SECCIÓN SICAP : 0	RESPONSABLE: LENIN ANIBAL VERA C.						
NÚMERO DE FASES : 1	DV DE ARRANQUE : 0	REVISÓ:						
ESQUEMA:								
TRAMO	LONGITUD (Km)	CARGA (KVA)	No. FASE / No. CONDUC	TAMAÑO (AWG)	FDV (KVA x Km)	M.P. (KVA x Km)	DV % PARCIAL	DV % ACUMULADO
PO-98046 - PO-1	0,140	12,90	1F - 2C	2 (2)	330	1,807	0,005	0,005
PO-1 - PO-2	0,280	12,90	1F - 2C	2 (2)	330	3,613	0,011	0,016
PO-2 - PO-3	0,350	12,90	1F - 2C	2 (2)	330	4,516	0,014	0,030
PO-3 - PO-4	0,350	12,90	1F - 2C	2 (2)	330	4,516	0,014	0,019
PO-4 - PO-5	0,245	12,90	1F - 2C	2 (2)	330	3,162	0,010	0,029
PO-5 - PO-6	0,070	12,90	1F - 2C	2 (2)	330	0,903	0,003	0,022
PO-6 - PO-7	0,375	12,90	1F - 2C	2 (2)	330	4,839	0,015	0,020
NOTA:							DV% =	0,030

Anexo 20. Computo de caída de tensión red secundaria.

RED SECUNDARIA		PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN				ANEXO:	21			
		COMPUTO DE CAIDA DE VOLTAJE				HOJA:	1 DE 1			
PROVINCIA:	LOJA	CANTÓN:	CELICA	PARROQUIA:	Tnt. Maximilian	BARRIO:	CARDOPAMBA			
						FECHA:	19/01/2023			
C. TRANSFORMACIÓN No.:	1	CATEGORÍA ABONADO:	H		NÚMERO DE ABONADOS:	1				
DATOS DEL TRANSFORMADOR:	POTENCIA (KVA) : 15 kVA				PROYECTISTA :	LENIN VERA				
REFERENCIA :	TRT-1A15	V. NOMINAL A.T. (KV) :	7,967 kV		RESPONSABLE :	LENIN VERA				
NÚMERO DE FASES :	2F-3C	V. NOMINAL B.T. (V) :	120/240 V		REVISÓ :					
ESQUEMA:										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
REFEREN.	LONGITUD (m)	No. DE CONSUMID.	KVA DE AP/ICE	DMD (KVA)	No. FASE / No. COND.	TAMAÑO (AWG)	FDV (KVA x m)	M.P. (KVA x m)	DV % PARCIAL	DV % ACUMUL.
P7p - P1b	50	1	0,11	16,80	1F2C	2 (2) ACSR	308,00	845,37	2,745	2,745
P1b - P2b	60	1	0,11	16,80	1F2C	2 (2) ACSR	308,00	1014,44	3,294	3,294
P2b - P3b	56	1	0,11	16,80	1F2C	2 (2) ACSR	308,00	946,81	3,074	3,074
NOTAS:									DV MAXIMO%=	3,294

Anexo 21. Elementos de las redes eléctricas y accionamiento de las bombas hidráulicas.

CÓDIGO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
PO0-0HC12_500	Red MT proyectada	Poste de hormigón armado de 12 m y carga de rotura de 500 kg	U	4
PO0-0HC10_400	Red BT proyectada	Poste de hormigón armado de 10 m y carga de rotura de 400 kg	U	3
PO0-0PC12_500	Red MT proyectada	Poste de fibra de vidrio de 12 m y carga de rotura de 500 kg	U	3
TRT-1A15	Red MT proyectada	Transformador monofásico autoprotegido para instalación en poste de 15 kV	U	1
CO0-0B1x2(2)	Red MT y BT proyectada	Conductor ACSR 2 (2)	U	
EST-1CD	Red MT proyectada	Monofásica – Centrada – Doble retención o doble terminal	U	7
EST-1CR	Red MT proyectada	Monofásica – Centrada – Retención o terminal	U	1
ESD-3EP	Red BT proyectada	Tres vías- Vertical - Pasante o Tangente, Angular 240/120 V	U	2
ESD-3ER	Red BT proyectada	Tres vías - Vertical - Retención o Terminal 240/120 V	U	1
APD-0PLCLAC	Red MT proyectada	Alumbrado público 240/120 V	U	1
PT0-0DC2_2	Red MT proyectada	Puesta a tierra en red desnuda	U	1

ELEMENTOS DE ACCINAMIENTO PARA LAS BOMBAS HIDRÁULICAS				
CÓDIGO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
C60N 2P 50A	Sistema de fuerza de las bombas	Interruptor termomagnético 50 A	U	2
C1-D50/220	Sistema de fuerza de las bombas	Contactores	U	2
R2-D3359	Sistema de fuerza de las bombas	Relé térmico	U	2
THHW	Sistema de fuerza y mando de las bombas	Conductor THHW, 6 AWG	U	
LPV	Sistema de mando de las bombas	Luces piloto color verde (240 V)	U	2
LPR	Sistema de mando de las bombas	Luces piloto color rojo (240 V)	U	2
S2P	Sistema de mando de las bombas	Selector de dos posiciones	U	2

Anexo 22. Plano de distribución de los aspersores.

Anexo 23. Plano del sistema de riego de alimentación.

Anexo 24. Plano del sistema de riego de distribución.

Anexo 25. Plano de la red de media y baja tensión.

Anexo 26. Plano del circuito de fuerza del sistema de riego de alimentación.

Anexo 27. Plano del circuito de mando del sistema de riego de alimentación.

Anexo 28. Plano del circuito de fuerza del sistema de riego de distribución.

Anexo 29. Plano del circuito de mando del sistema de riego de distribución.

Anexo 30. Hoja de cálculo de parámetros de diseño hidráulico sistema de riego de distribución.


Máquinas de fluidos		Sistemas de tuberías en serie clase I							
Objetivo: potencia de bomba	Eficiencia de la bomba (%) 49,5%	Puntos de referencia para la ecuación de la energía Punto 1: Superficie de depósito inferior Punto 2: Superficie del depósito superior							
Datos del sistema:		UNIDADES EN EL SISTEMA SI							
Flujo volumétrico LP Y Succión (m ³ /s)=	0,030	Elevación en el punto 1 (m)=	0,0						
Flujo volumétrico LS (m ³ /s)=	3,24E-03	Elevación en el punto 2 (m)=	-7,1						
Presión en el punto 1 (N/m ²)=	0,000	Carga de velocidad en el punto 1 (m)=	0,0						
Presión en el punto 2 (N/m ²)=	41885,000	Carga de velocidad en el punto 2 (m)=	1,28						
Velocidad en el punto 1 (m/s)=	0,000	Carga estática h ₀ (m)=	35,14						
Velocidad en el punto 2 (m/s)=	1,000								
Propiedades del Agua									
Seleccione temperatura del agua	Gravedad específica γ _s	Peso específico γ ($\frac{N}{m^3}$)	Densidad ρ ($\frac{kg}{m^3}$)	Viscosidad dinámica η (Pas)	Viscosidad cinemática ν ($\frac{m^2}{s}$)				
20		9790,00	998,00	1,02E-03	1,02E-06				
Propiedades de las tuberías									
Propiedades de Tubería de succión:			Propiedades de Tubería de descarga:						
Material de la tubería	Plástico	Material de la tubería	Plástico						
Tamaño nominal de la tubería- Manguera de succión	150	Tamaño nominal de la tubería primaria- Manguera PE	4						
Longitud L(m) =	3	Longitud: L(m) =	216,65						
Diámetro D (m)=	0,1524	Diámetro: D(m) =	0,1023						
Rugosidad de la tubería (m): E =	7,00E-06	Rugosidad de la pared (m):	7,00E-06						
Área A (m ²) =	0,0182	Área A (m ²) =	8,21E-03						
Rugosidad relativa $\frac{E}{r}$ =	2,18E+04	Rugosidad relativa $\frac{E}{r}$ =	1,46E+04						
L/D	19,68503957	L/D	2138,6192059						
Velocidad de flujo (m/s) =	0,534188034	Velocidad de flujo (m/s) =	1,183761157						
Carga de velocidad en tubería 1 (m)=	0,014544182	Carga de velocidad en tubería 2 (m)=	0,073421533						
Número de Reynolds =	7,97E+04	Número de Reynolds =	1,19E+05						
Factor de fricción: f =	0,0190	Factor de fricción: f =	0,0177						
Factor de fricción en la zona de turbulencia f _t	0,020	Factor de fricción en la zona de turbulencia f _t	0,0122						
		Material de la tubería	Plástico						
		Tamaño nominal de la tubería secundaria - Manguera de PE	3						
		Longitud: L(m) =	97,65						
		Diámetro: D(m) =	0,0779						
		Rugosidad de la pared (m):	7,00E-06						
		Área A (m ²) =	4,8E-03						
		Rugosidad relativa $\frac{E}{r}$ =	1,11E+04						
		L/D	1253,048						
		Velocidad de flujo (m/s) =	0,680						
		Carga de velocidad en tubería 2 (m)=	0,024						
		Número de Reynolds =	5,19E+04						
		Factor de fricción: f =	0,021						
		Factor de fricción en la zona de turbulencia f _t	0,012						
Análisis de la carga de pérdidas por fricción h_L									
Tubería de succión			Tubería de descarga						
Posición del elemento en el esquema hidráulico	Elegir tipo de elemento	K=	Cantidad	Pérdidas h _L (m)	Posición del elemento en el esquema hidráulico	Elegir tipo de elemento	K=	Cantidad	Pérdidas h _L (m)
1	Entrada con tubería que se proyecta al interior	0,78	1	0,0113445	4	Válvula de compuerta- totalmente abierta	0,089606296	2	0,013
3	Tubería	0,37	1	0,0054349	6	Te estándar- con flujo por la línea principal	0,224015741	2	0,032
						Codo de 90° y radio largo	0,224015741	7	0,112
2	Válvula de compuerta- totalmente	0,081516659	0	0	5	Tubería manguera 4 in	37,48851288	1	2,677
					9	Tubería manguera 3 in	26,29090187	1	0,618
					8	Te estándar- con flujo por la línea principal	0,235436587	2	0,011304197
					7	Contracción súbita	0,005185713	1	0,005185713
						Codo de 90° y radio largo	0,235436587	1	0,005552099
RESULTADOS				Pérdida de carga por fricción en tubería de succión	0,0168				
				Pérdida de carga por fricción en tubería principal y secundaria	3,48				
				Pérdida de carga por fricción en el sistema	3,49				
				Carga Dinámica Total (h _d)=	38,72				
				Potencia Hidráulica (W)	3685,03				
						PUNTO DE DISEÑO DEL SISTEMA			
			Carga Dinámica Total-h _d (m)	POTENCIA (HP)	Caudal de diseño Q _d (m ³ /h)				
			38,72	9,98	7450				
			Potencia de entrada a la bomba	7450					
			Eficiencia Mecánica de la bomba	0,495					

Anexo 31. Hoja de cálculo de parámetros de diseño hidráulico sistema de riego de alimentación.



Máquinas de fluidos			Sistemas de tuberías en serie clase I						
Objetivo: potencia de bomba	Eficiencia de la bomba (%)	56,0%	Puntos de referencia para la ecuación de la energía						
	Punto 1: Superficie de depósito inferior Punto 2: Superficie del depósito superior								
Datos del sistema:			UNIDADES EN EL SISTEMA INTERNACIONAL						
Flujo volumétrico (m ³ /s)=	0,01	Elevación en el punto 1 (m)=	0,0						
Presión en el punto 1 (Pa)=	0,00	Elevación en el punto 2 (m)=	56,8						
Presión en el punto 2 (Pa)=	0	Carga de velocidad en el punto 1 (m)=	0,0						
Velocidad en el punto 1 (m/s)=	0,00	Carga de velocidad en el punto 2 (m)=	0,0						
Velocidad en el punto 2 (m/s)=	0,00	Carga estática h ₀ (m)=	56,81						
Propiedades del fluido									
Selección temperatura del agua °C		Peso específico $\gamma \left(\frac{kN}{m^3} \right)$	Densidad $\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	Viscosidad dinámica $\eta \text{ (Pas)}$	Viscosidad cinemática $\nu \left(\frac{m^2}{s} \right)$				
20		9790,00	998,00	1,02E-03	1,02E-06				
Propiedades de las tuberías									
Propiedades de Tubería de succión:			Propiedades de Tubería de descarga:						
Material de la tubería	Plástico	Material de la tubería		Plástico					
Tamaño nominal de la tubería- Cédula 40 (DN)	125	Tamaño nominal de la tubería- Manguera PE		3					
Longitud L(m) =	8	Longitud L(m) =		180,00					
Dímetro D (m)=	0,1282	Dímetro D(m) =		0,0779					
Rugosidad de la tubería (m)=	7,00E-06	Rugosidad de la pared (m)=		7,00E-06					
Área A (m ²) =	1,28E-02	Área A (m ²) =		4,77E-03					
Rugosidad relativa =	18314,29	Rugosidad relativa =		11132,86					
L/D	6,24E+01	L/D		2309,77					
Velocidad de flujo (m/s) =	0,33791	Velocidad de flujo (m/s) =		1,43592					
Carga de velocidad en tubería 1 (m)=	0,0147	Carga de velocidad en tubería 2 (m)=		0,1080					
Número de Reynolds =	6,75E+04	Número de Reynolds =		111126,39					
Factor de fricción: f =	0,020	Factor de fricción: f =		0,0180					
Factor de fricción en la zona de turbulencia f _p	0,011	Factor de fricción en la zona de turbulencia f _p		0,012					
Análisis de la carga de pérdidas por fricción h _f									
Tubería de succión			Tubería de descarga						
Posición del elemento en el esquema hidráulico	Elegir tipo de elemento	K=	Cantidad	Pérdida: hL (m)	Posición del elemento en el esquema hidráulico	Elegir tipo de elemento	K=	Cantidad	Pérdida: hL (m)
1	Válvula de pie-tipo disco de válvula	0,807	1	0,012	3	Válvula de pie-tipo disco de válvula	0,883	0	0,000
2	Tubería	1,228	1	0,018	4	Codo estándar de 45°	0,188	0	0,000
3	Codo estándar de 90°	0,442	1	0,007	5	Tubería de descarga	41,866	1	4,502
					6	Salida	1,000	1	0,108
						Válvula de mariposa	0,530	0	0,000
RESULTADOS				Pérdida de carga por fricción en tubería 1				0,04	
				Pérdida de carga por fricción en tubería 2				4,61	
				Pérdida de carga por fricción en el sistema				4,65	
				Carga Dinámica Total (hA)=				61,46	
				Potencia hidráulica (W)				4178,16	
PUNTO DE DISEÑO DEL SISTEMA									
Carga Dinámica Total-h _d (m)			Potencia (HP)		Caudal de diseño Q _d (m ³ /s)				
61,46			10,00		0,0069				
Potencia de la bomba (W)			7457						
Eficiencia			0,56						

Anexo 32. Elementos de Accionamiento eléctrico.

BREAKERS PARA RIEL DIN "C60N" Y NC100H"

Tipo: termomagnético Curva "c" Norma: bs3871/iec 898
 Aprobación:  Voltaje: 1 polo 240 v, (2 y 3 polos 400 v)
 Especiales para circuitos de distribución / para aplicación en motores consultar



Descripción					
Imagen	Referencia	Corriente nominal	Cap. Ruptura 240 v (Icu)	Empaque	Precio USD
1 polo					
	C60N 1P 1A	1 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 2A	2 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 3A	3 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 4A	4 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 6A	6 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 10A	10 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 16A	16 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 20A	20 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 25A	25 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 32A	32 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 40A	40 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 50A	50 A.	6 KA	12	
	C60N 1P 63A	63 A.	6 KA	12	
2 polos					
	C60N 2P 1A	1 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 2A	2 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 3A	3 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 4A	4 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 6A	6 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 10A	10 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 16A	16 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 20A	20 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 25A	25 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 32A	32 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 40A	40 A.	6 KA	6	
	C60N 2P 50A	50 A. ✓	6 KA	6	
	C60N 2P 63A	63 A.	6 KA	6	
	NC-100H 2P 50A	50 A. (Tipo Grueso)	20 KA	1	
	NC-100H 2P 63A	63 A. (Tipo Grueso)	20 KA	1	
NC-100H 2P 80A	80 A. (Tipo Grueso)	20 KA	1		
NC-100H 2P 100A	100 A. (Tipo Grueso)	20 KA	1		

RELES TÉRMICOS TIPO "R2-D"

Botón de reset / perilla Auto - manual Contactos 1NA + 1NC
 Compensados y diferenciales Normas: IEC 292/947/VDE 0660/JEM 1356-5/BS 88



Descripción					
Imagen	Referencia	Regulación (amperios)	Para contactor	Empaque	Precio USD
	R2-D1314	7-10A.	C1-D09 C1-D32	1	
	R2-D1316	9-13A.	C1-D09 C1-D32	1	
	R2-D1321	12-18A.	C1-D09 C1-D32	1	
	R2-D1322	17-25A.	C1-D09 C1-D32	1	
	R2-D1353	23-32A. (pequeño)	C1-D09 C1-D32	1	
	R2-D3353	23-32A. (grande)	C1-D40 C1-D95	1	
	R2-D3355	30-40A.	C1-D40 C1-D95	1	
	R2-D3357	37-50A.	C1-D40 C1-D95	1	
	R2-D3359	48-65A.	C1-D40 C1-D95	1	
	R2-D3361	55-70A.	C1-D40 C1-D95	1	
	R2-D3363	63-80A.	C1-D40 C1-D95	1	
	R2-D3365	80-93A.	C1-D40 C1-D95	1	
	TH-120/80	72-96A.	Montaje independiente	1	
	TH-120/105	80-130A.	Montaje independiente	1	
	TH-120/130	100-160A.	Montaje independiente	1	

ARRANCADORES TIPO "C1-D"

CONTACTORES TRIFÁSICOS TIPO "C1-D" Y "F"



Categoría de uso AC3: motores AC1: resistencia

Normas: IEC-947/IEC 158-1/NF C 63110/DE 0660/BS 54

cargas estables /capacitivas

cargas resistivas

Imagen	Referencia	Descripción		Capacidad motor		Contactos	Empaque	Precio USD
		AC3	AC1	H.P.220V	H.P.440V			
	C1-D09/24V	9 A.	25 A.	3	5,5	1 NA	50	
	C1-D09/120V	9 A.	25 A.	3	5,5	1 NA	50	
	C1-D09/220V	9 A.	25 A.	3	5,5	1 NA	50	
	C1-D09/440V	9 A.	25 A.	3	5,5	1 NA	50	
	C1-D12/24V	12 A.	25 A.	4	7,5	1 NA	50	
	C1-D12/120V	12 A.	25 A.	4	7,5	1 NA	50	
	C1-D12/220V	12 A.	25 A.	4	7,5	1 NA	50	
	C1-D18/120V	18 A.	32 A.	5,5	12	1 NA	50	
	C1-D18/220V	18 A.	32 A.	5,5	12	1 NA	50	
	C1-D18/440V	18 A.	32 A.	5,5	12	1 NA	50	
	C1-D25/24V	25 A.	40 A.	7,5	15	1 NA	50	
	C1-D25/120V	25 A.	40 A.	7,5	15	1 NA	50	
	C1-D25/220V	25 A.	40 A.	7,5	15	1 NA	50	
	C1-D25/440V	25 A.	40 A.	7,5	15	1 NA	50	
	C1-D32/120V	32 A.	50 A.	10	20	1 NA	50	
	C1-D32/220V	32 A.	50 A.	10	20	1 NA	50	
	C1-D32/440V	32 A.	50 A.	10	20	1 NA	50	
	C1-D40/24V	40 A.	60 A.	15	30	1 NA - 1 NC	20	
	C1-D40/120V	40 A.	60 A.	15	30	1 NA - 1 NC	20	
	C1-D40/220V	40 A.	60 A.	15	30	1 NA - 1 NC	20	
	C1-D50/120V	50 A.	80 A.	20	40	1 NA - 1 NC	20	
	C1-D50/220V	50 A.	80 A.	20	40	1 NA - 1 NC	20	
	C1-D65/120V	65 A.	90 A.	25	50	1 NA - 1 NC	20	
	C1-D65/220V	65 A.	90 A.	25	50	1 NA - 1 NC	20	
	C1-D65/440V	65 A.	90 A.	25	50	1 NA - 1 NC	20	
	C1-D80/24V	80 A.	125 A.	30	60	1 NA - 1 NC	15	
	C1-D80/120V	80 A.	125 A.	30	60	1 NA - 1 NC	15	
	C1-D80/220V	80 A.	125 A.	30	60	1 NA - 1 NC	15	
	C1-D95/120V	95 A.	130 A.	35	70	1 NA - 1 NC	15	
	C1-D95/220V	95 A.	130 A.	35	70	1 NA - 1 NC	15	
	C1-D95/440V	95 A.	130 A.	35	70	1 NA - 1 NC	15	
	F-115/220V (*)	115 A.	200 A.	40	79	1 NA	4	
	F-150/220V (*)	150 A.	250 A.	54	107	1 NA	4	
	F-185/220V (*)	185 A.	275 A.	74	134	1 NA	4	
	F-225/220V (*)	225 A.	315 A.	85	148	1 NA	2	
	F-265/220V (*)	265 A.	350 A.	100	188	1 NA	2	
	F-330/220V (*)	330 A.	400 A.	134	268	1 NA	2	
	F-400/220V (*)	400 A.	500 A.	148	335	1 NA	2	

(*) Para cambio de bobina a 440 V AC consultar

RELÉS TÉRMICOS TIPO "R2-D"

Botón de reset / reseta

Auto - manual

Contactos 1NA + 1NC

Anexo 33. Cotizaciones realizadas a fin de obtener el presupuesto total de la obra.**Resumen de las cotizaciones realizadas.**

Presupuesto general de la obra			
Descripción	Cantidad	V.unitario (\$)	V.total (\$)
Elementos eléctricos			
Aislador polímero suspensión 15 kV multico	15	9,9484	149,226
Horquilla anclaje 15mm (eslabón U)	15	2,4035	36,0525
Tuerca ojo de 5/8	15	1,2535	18,8025
Aislador porcelana tipo esp PIN 55-5 TCI	7	3,9393	27,5751
Abrazadera de 38x4mm doble (140-160mm) 5 1/2	7	4,485	31,395
Abrazadera de 38x4mm simple (140-160mm) 5 1/2	1	4,2435	4,2435
Abrazadera de 38x4mm simple (160-190mm) 6 1/2	8	4,3585	34,868
Aislador rollo ansi 53-2 tci	9	0,5537	4,9833
Bastidor (rack) galvanizado 3 vía 38 x 4mm	3	8,7285	26,1855
Cable tensor acero galv 3/8" 9.51mm grado común	308	0,8773	270,2084
Retención preformada #3 /8 maclean	28	3,0947	86,6516
Guardacabo de 9.51mm 3/8	28	0,805	22,54
Varilla de anclaje 5/8 x 1.80 mts ar cuadrada	28	8,694	243,432
Bloque de anclaje de hormigón	28	6,0375	169,05
Transf. monof 15 kVA 13200grdy/76200 (1b) 120/240v	1	1420	1420
Cable ACSR sparrow # 2 awg	4300	0,628	2700,4
Postes de fibra de vidrio de 12 m de 500 kgf	3	582,4	1747,2
Poste circular de hormigón armado de 12 m y 500 kgf	4	247,87	991,48
Poste circular de hormigón armado de 10 m y 400 kgf	3	194,87	584,61
Puesta a tierra en redes de distribución	1	125,98	125,98
Subtotal Materiales Eléctricos		8694,8834	
Mano de obra			
Tendido de red monofásica de MT por km	2	14,22	28,44
Montaje de Estructura de media tensión monofásica EST-1CR	2	35,88	71,76
Montaje de Estructura de media tensión monofásica EST-1CD	7	35,88	251,16
Montaje de Estructura de baja tensión monofásica ESD-3ER	2	50	100
Montaje de Estructura de baja tensión monofásica ESD-3EP	2	5	10
Instalación de transformador monofásico de 15 kVA	1	76,3	76,3

Presupuesto general de la obra			
Tensores y anclajes para redes de media y baja tensión	28	30	840
TAT-0TD/OFS/OFD			
Montaje de postes de HA 12 m	10	85	850
Tendido de red secundaria de BT por km	0,5	14,22	7,11
Instalación hidráulica	1	500	500
Subtotal Mano de obra		2734,77	
Elementos hidráulicos			
Manguera de PE de 3 in 50 m por rollo	17	155,98	2651,66
Manguera de PE de 4 in 50 m por rollo	10	201,85	2018,5
Tee estándar Flex de 4 in	9	9,43	84,87
Codo Flex de 90° de 4 in	7	6,7	46,9
Válvula de compuerta de 4 in	4	151	604
Reductores Flex de 4 a 3 in	12	3,86	46,32
Aspersor 7025 RD - 2 de 1 in	18	9,61	172,98
Válvula de pie tipo vástago 3 in	2	84	168
Codo Flex de 45° de 3 in	4	6,18	24,72
Codo Flex de 90° de 3 in	4	6,18	24,72
Manguera de 4 in de succión, anillo verde por metro	10	28	280
Manguera de 6 in de succión, negra por 6 metros	1	310,88	310,88
Unión Flex de 3 in	17	2,23	37,91
Unión Flex de 4 in	5	2,23	11,15
Abrazadera 3 in	17	4,98	84,66
abrazadera 4 in	10	5,78	57,8
Subtotal materiales hidráulicos		6625,07	
Elementos de accionamiento eléctrico y bombas hidráulicas			
Bomba centrifuga IHM de 10 hp, monofásica	2	2952,78	5905,56
Elementos de accionamiento eléctrico	1	400	400
Subtotal de bombas hidráulicas y elementos de accionamiento		6305,56	
Costos de transporte de postes		2000	
Costos de transporte de elementos hidráulicos		600	
Costos de transporte de elementos eléctricos		1000	

Cotizaciones



RIEGO ECUADOR

Teléfono:
RUC: 1792630436001
ventas@riegoecuador.com

PROFORMA Numero: PRO - 00034825

Fecha: 2023.03.09	Ced./Ruc: A123456789
Ciente: CLIENTE A	
Dirección: SN	
Teléfono:	Código C.: (00000329)
Email: ventas@riegoecuador.com	Vendedor: OFICINA

Item	Código	Cantidad	Descripción	Iva	Precio	%Des	Des	P.Total
1	00002220	9.00	TEE 110 PVC PN16	T00	9.4300	0.00	0.0000	84.87
2	00003278	7.00	CODO 110 X 90 GR PVC PN16 TY IMP	T00	6.7000	0.00	0.0000	46.90
3	00001926	4.00	VALVULA 4" COMPUERTA HG DOUBLE LIN	T12	151.5789	0.00	0.0000	606.32
4	00000198	8.00	ADAPTADOR M 110 X 4" PVC R/G BLANCO	T00	6.8782	0.00	0.0000	55.03
5	00001232	12.00	REDUCTOR 110 X 75 PVC PN16	T00	3.8600	0.00	0.0000	46.32
6	00001618	135.00	TUBO TG P EC 75MM X 6M 0,63MPa (91psi)	T12	22.2600	0.00	0.0000	3,005.10
7	00001578	39.00	TUBO TG P EC 110MM X 6M 0,63MPa (91psi)	T12	33.5100	0.00	0.0000	1,306.89
8	00002981	18.00	ASPERSOR 1" AKONA TOTAL KA-4 BOQ 6 * 4.2	T00	9.6100	0.00	0.0000	172.98
9	00002658	1.00	VALVULA DE PIE 3" NPT HF C/ALUMINIO HELMAN	T00	84.0000	0.00	0.0000	84.00
10	00000707	4.00	CODO 75 X 45 GR PVC PN16	T00	2.9300	0.00	0.0000	11.72
11	00002995	4.00	CODO 75 X 90 GR PVC PN16 TY IMP	T00	2.8400	0.00	0.0000	11.36
12	00002208	10.00	UNION 75 MM PVC INYECTADA PN16	T00	1.7500	0.00	0.0000	17.50
13	00002702	10.00	MANGUERA 4" SUCCION CON ANILLO VERDE / METRO	T00	28.5263	0.00	0.0000	285.26
14	00002419	1.00	MANGUERA 6" X 6 MTS SUCCION NEGRA	T00	1,992.0800	0.00	0.0000	1,992.08

Total Items ==>> 262.00

Total Descuento ==>> 0.00

Aprobado Por	Preparado Por	Entregado por	Recbí Conforme

Imponible 0%:	2,808.02
Imponible 12%:	4,918.31
Subtotal:	7,726.33
Base Imponible:	7,726.33
I.V.A. 12%:	590.20
Total a Pagar:	8,316.53

SON: Ocho Mil Trescientos Dieciseis Con 53/100 Dolares

NOTA: Cuenta Corriente del Banco Pichincha a Nombre de Riego Ecuador # 2100114099 - ventas@riegoecuador.com

CONTA 2023.03.09 02:40:28 PM - Pág. 1

Validez de la oferta 7 días - Stock sujeto a disponibilidad
Cambios y/o devoluciones máximo 15 días de emitida la factura

Observación:

Anexo 34. Certificación de la traducción del resumen.

English Speak Up Center


Nosotros "*English Speak Up Center*"

CERTIFICAMOS que

La traducción del resumen de tesis titulada "DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVOS DE MAÍZ Y MANÍ, EN LA PROPIEDAD DEL SR. BARBARIANO VERA, UBICADA EN EL BARRIO CARDOPAMBA, CANTÓN CELICA." documento adjunto solicitado por el señor Lenin Anibal Vera Cordova con cédula de ciudadanía número 1105497802 ha sido realizada por el Centro Particular de Enseñanza de Idiomas "*English Speak Up Center*"

Esta es una traducción textual del documento adjunto. El traductor es competente y autorizado para realizar traducciones.

Loja, 16 de febrero de 2023


Mg. Sc. Elizabeth Sánchez Burneo
DIRECTORA ACADÉMICA



DIRECCIÓN: SUCRE 207-40 ENTRE AZUAY Y MIGUEL RIOFRIO

TELÉFONO: 099 5263 264