

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN
AUTOMATIZADO DE 22 m³/h PARA AHORRAR
CONSUMO DE AGUA EN EL PARQUE DE AVENIDA
SEPARADORA INDUSTRIAL – VITARTE

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO

LLATAS DELGADO ENRIQUE JUSMAN

Callao, 2018
PERÚ

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre, quien me apoyo en todo momento en el desarrollo de mi carrera.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su infinito amor.

A mi padre y hermanos, por estar siempre a mi lado con su perseverante e incondicional apoyo.

A mi estimado asesor, por depositar toda su confianza en mí, por su constante preocupación porque todo marche de la mejor manera.

A mis profesores, por brindarme sus conocimientos, por su paciencia incondicional apoyo y confianza en todo momento.

INDICE

INDICE DE FIGURAS	4
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE ANEXOS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.2.1. Problema general	12
1.2.2. Problemas específicos.....	12
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Limitación de la investigación.....	13
1.5. Justificación.....	13
CAPITULO II MARCO TEORICO.....	14
2.1. Antecedentes internacional y nacional	14
2.1.1. Antecedente de estudio internacional.....	14
2.1.2. Antecedentes de estudio nacionales	15
2.2. Marco teórico y conceptual	16
2.2.1. Marco Teórico.....	16

2.2.2. Marco Conceptual.....	38
2.3. Definición de términos básicos.....	40
CAPITULO III HIPOTESIS Y VARIABLES	42
3.1. Hipótesis	42
3.1.1. Hipótesis general	42
3.1.2. Hipótesis específica	42
3.2. Definición de variables	42
3.1.1. Variable independiente	42
3.1.2. Variable dependiente.....	42
3.3. Operacionalización de variables	43
CAPITULO IV METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	44
4.1. Tipo y diseño de la investigación	44
4.1.1. Parámetros de diseño.....	45
4.1.2. Etapas del diseño	45
4.1.3. Ingeniería de detalle	55
4.1.4. Análisis de costos	¡Error! Marcador no definido.
4.2. Población y muestra.....	57
4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de la información documental.....	57
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de la información de campo	57
4.5. Análisis y procesamiento de datos.....	57
4.5.1. Diseño y construcción del sistema de riego tecnificado por aspersión	57
4.5.2. Parámetros de diseño topográfico y climático de la parcela	58
4.5.3. Diseño agronómico.....	59
4.5.4. Diseño hidráulico	64
4.1.1. Diseño eléctrico y de programación.....	78

CAPITULO V RESULTADOS.....	82
1. Cobertura Vegetal	82
2. Fuente de energía	82
3. Evapotranspiración de referencia	82
4. Selección del aspersor	82
5. Dosis, frecuencia y tiempo de riego.....	83
6. Numero de aspersores	83
7. Sistema hidráulico, red y conducción.	83
8. Consumo de agua	84
9. Sistema eléctrico y automatización	84
CAPITULO VI DISCUSION DE RESULTADOS.....	85
6.1. Contratación de la hipótesis	85
6.2. Contratación de los resultados con estudios similares	85
6.3. Responsabilidad ética	86
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	89
ANEXOS	91

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN....	19
Figura 2. 2	CLASIFICACIÓN DE BOMBAS: CENTRIFUGAS Y VOLUMÉTRICAS	20
Figura 2. 3	PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA	22
Figura 2. 4	COMPONENTES DE UN ASPERSOR.....	24
Figura 2. 5	CARACTERÍSTICAS PARA EL CÁLCULO DE LA ET ₀	28
Figura 2. 6	PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE CROPWAT 8.0.....	35
Figura 2. 7	PANTALLA PRINCIPAL DEL SOFTWARE CROPWAT 8.0	36
Figura 2. 8	AGUA EN EXCESO EN LOS RIEGOS.....	37
Figura 2. 9	GRÁFICO DE LAS ALTURAS DE SISTEMA	39
Figura 4. 1	ETAPAS DEL DISEÑO AGRONÓMICO.....	47
Figura 4. 2	DIAGRAMA DE “MOODY”.....	51
Figura 4. 3	COMPONENTES PARA AUTOMATIZAR EL SISTEMA DE RIEGO...	53
Figura 4. 4	ESQUEMA DEL DISEÑO DETALLADO.....	56
Figura 4. 5	DISTRIBUCIÓN SELECCIONADO DE LOS ASPERSORES PARA EL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO.....	65
Figura 4. 6	ESQUEMA DE POSICIÓN DE ASPERSORES Y SU FUNCIONAMIENTO.....	66
Figura 4. 7	SEPARACIÓN DE ASPERSORES	67
Figura 4. 8	ESQUEMA DE SUCCIÓN DEL SISTEMA.....	68
Figura 4. 9	ESQUEMA DE DESCARGA EN EL SISTEMA.....	72
Figura 4. 10	CURVA DEL SISTEMA VS CURVA DEL FABRICANTE.....	77
Figura 4. 11	CIRCUITO DE MANDO DE ARRANQUE DIRECTO DE LA BOMBA	79
Figura 4. 12	CIRCUITO DE POTENCIA DEL ARRANQUE DE LA BOMBA.....	80
Figura 4. 13	DIAGRAMA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL RIEGO.....	81

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2. 1	PROPIEDADES DEL TIPO DE SUELO	32
Tabla N° 3. 1	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	43
Tabla N° 4. 1	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD ABSOLUTA, E PARA TUBERÍAS	49
Tabla N° 4. 2	COEFICIENTE “λ”, PARA CÁLCULO DE PERDIDAS PRIMARIAS EN TUBERÍAS	50
Tabla N° 4. 3	PARÁMETROS DISPONIBLES DE DISEÑO DE LA PARCELA.....	57
Tabla N° 4. 4	CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS DE LA PARCELA.....	58
Tabla N° 4. 5	DATOS DEL CLIMA DEL AÑO 2017	59
Tabla N° 4. 6	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA MEDIANTE CROPWAT.....	60
Tabla N° 4. 7	COEFICIENTE DE CULTIVO PARA EL CÉSPED	61
Tabla N° 4. 8	RESULTADOS DEL COEFICIENTE DEL JARDÍN	61
Tabla N° 4. 9	EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL PARQUE	62
Tabla N° 4. 10	DATOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO AGRONÓMICO.....	62
Tabla N° 4. 11	LÁMINA NETA Y LAMINA BRUTA	63
Tabla N° 4. 12	RESULTADOS DE DISEÑO AGRONÓMICO	63
Tabla N° 4. 13	ASPERSOR METÁLICO A IMPACTO DE CÍRCULO COMPLETO Y PARCIAL.....	64
Tabla N° 4. 14	CONSUMO MENSUAL EN UN SOLO RIEGO.....	78

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I MATRIZ DE CONSISTENCIA	92
ANEXO II DIÁMETRO DE TUBERIAS Y PERDIDA DE CARGA	93
ANEXO III PARAMETROS DEL AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS .	94
ANEXO IV COEFICIENTE DE PERDIDAS PARA ACCESORIOS	95
ANEXO V COEFICIENTE DE PERDIDAS PARA ACCESORIOS N° 2	96
ANEXO VI CARACTERISTICAS DE LA BOMBA SELECCIONADA	97
ANEXO VII CARACTERISTICAS DEL ASPERSOR SELECCIONADO	98
ANEXO VIII PRESION ATOMOSFERICA VS ALTITUD	99
ANEXO IX SEPARACION ENTRE ASPERSORES	100
ANEXO X MANUAL O GUIA PARA REQUERIMIENTO DE AGUA DE CULTIVO – FAO	101

RESUMEN

Se diseñó un sistema de riego por aspersión para áreas verdes en el parque de Separadora Industrial, el cual se encuentra ubicado en la provincia de Lima, departamento de Lima, distrito de Vitarte, latitud sur de 12°00'37" y longitud oeste de 76°52'12", con la altitud media de 450 msnm.

El parque tiene una extensión total de 12 ha. Para el diseño del sistema de riego por aspersión se consideró 5 ha. El diseño del sistema de riego comprende los siguientes procesos: Recolección de datos sobre el lugar (clima, tipo de suelo y tipo de vegetación). Diseño agronómico, para el cual se utilizó el software Cropwat 8.0; comprende el cálculo de las necesidades hídricas y la determinación de los parámetros de riego. Diseño hidráulico que comprende el cálculo de la demanda del sistema, pérdidas de carga, el dimensionamiento de las tuberías y la selección de la bomba hidráulica a utilizar y el diseño eléctrico y de programación que consiste en la automatización de todos los parámetros obtenidos en los dos diseños anteriores, para la automatización se utiliza temporizadores y programadores. Se diseñó para satisfacer la demanda de 208.4 metros cúbicos y un caudal máximo de 22,332 m³/h. Se obtuvieron las tuberías de la red 1000, 25 metros para los diámetros de 110, 90 mm respectivamente, se seleccionó una bomba marca Hidrostral modelo 40-200 de 20 HP de potencia nominal. Empleando el sistema de riego se obtuvo un consumo de 19.5 m³ generando un ahorro significativo en el agua empleada para el riego.

PALABRAS CLAVES:

Riego aspersión, diseño hidráulico, diseño agronómico, caudal, presión.

ABSTRACT

A sprinkler irrigation system was designed for green areas in the Separadora Industrial park, which is located in the province of Lima, department of Lima, district of Vitarte, south latitude of $12^{\circ}00'37''$ and west longitude of $76^{\circ}52'12''$, with an average altitude of 450 meters above sea level.

The park has a total extension of 12 ha. For the design of the sprinkler irrigation system, 5 ha were considered. The design of the irrigation system includes the following processes: Collection of data on the place (climate, type of soil and type of vegetation). Agronomic design, for which the Cropwat 8.0 software was used; It includes the calculation of water needs and the determination of irrigation parameters. Hydraulic design that includes the calculation of the system's demand, load losses, the sizing of the pipes and the selection of the hydraulic pump to be used and the electrical and programming design that consists of the automation of all the parameters obtained in the two Previous designs, for automation is used timers and programmers. It was designed to satisfy the demand of 208.4 cubic meters and a maximum flow of 22.332 m³ / h. The pipes of the network 1000, 25 meters for the diameters of 110, 90 mm respectively, were obtained, a Hydrostal model pump model 40-200 of 20 HP of nominal power was selected. Using the irrigation system, a consumption of 19.5 m³ was obtained, generating significant savings in the water used for irrigation.

KEY WORDS:

Sprinkler irrigation, hydraulic design, agronomic design, flow, pressure.

INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes son la fuente de aire de muchos distritos en Lima, contrarrestan el efecto de los gases contaminantes producidos por los vehículos y generan un bienestar a la población, sin embargo debido a un uso de manera no controlada del recurso hídrico para el riego de estas áreas, se genera un costo innecesario y que muchas municipalidades no desean efectuar, por lo tanto se genera una necesidad de emplear un uso racional del agua, es por ello que en el desarrollo de esta tesis se diseñó un sistema de riego por aspersión automatizado, el cual permite el ahorro de agua, ya que suministra la cantidad suficiente para satisfacer la demanda de agua necesaria para un riego eficiente, ahorrando los gastos elevados por consumos excesivos de agua por parte de las municipalidades.

En el parque de la avenida separadora industrial actualmente se emplea un sistema de riego por inundación en las 12 hectáreas que comprende el parque, lo que ocasiona que el uso del agua no sea el adecuado. Debido a esto se plantea un sistema de riego que disminuya el consumo de agua mediante el uso de aspersores que sean accionados por electroválvulas con temporizadores para el control de los correctos tiempos de regadío.

El capítulo I se desarrolla el análisis del problema, se obtiene la formulación del problema, los objetivos generales y específicos del trabajo. Se realizó la justificación y la delimitación del trabajo.

El capítulo II trata acerca de los antecedentes que se emplearon para el desarrollo del trabajo; evaluaciones de trabajos que se realizaron en otras localidades y los resultados obtenidos; finaliza este capítulo con el marco teórico que es el sustento de los cálculos realizados y los resultados obtenidos.

En el capítulo III se definieron e identificaron las variables del trabajo y la operacionalización de las mismas; además se plantearon las hipótesis del trabajo.

En el capítulo IV se hace referencia a la metodología empleada en el desarrollo del trabajo, se describió las etapas y procedimientos a seguir para obtener los cálculos, además se obtienen los resultados de los diseños planteados; se obtuvo la demanda hídrica del suelo, se realizó el cálculo de la demanda del sistema y se obtuvo el dimensionamiento de los elementos a utilizar, se determina las características de la bomba, finaliza este capítulo con el diseño eléctrico y la selección de componentes en el mercado nacional

En el capítulo V se presentan los resultados obtenidos de la tesis, se presentan desde el tipo de cobertura vegetal que se encuentra en el parque hasta los tiempos e intervalos de riego que se calcularon, las dimensiones de las tuberías, el tipo de aspersor, la bomba seleccionada y el modo de trabajo del sistema de riego automatizado.

Finalmente, en el capítulo VI se realiza la discusión de resultados donde se contrasta los resultados frente a las hipótesis planteadas en el inicio del trabajo, se realiza una discusión de los antecedentes, acerca de los trabajos que generaron aportes significativos para la realización de la tesis.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El agua empleada para el riego en los parques de las municipales es generalmente a través de cisternas o canales de regadío, estos utilizando de una manera irregular el consumo de agua; es mal administrada y malgastada. Utilizan un sistema de riego por inundación y muchas veces el propio personal de la municipalidad a través de plásticos distribuye el agua por todo el parque.

Por lo tanto, el proyecto de tesis plantea el uso de un sistema de riego por aspersión automatizado para obtener un ahorro significativo mediante el gasto de agua empleado de manera uniforme y controlada.

Para la realización de este trabajo se llevó a cabo una exploración de campo para verificar el problema encontrado, luego se realizó la recopilación de datos necesarios como el área total, los datos climáticos del lugar y los principales suministros de agua y personal que se encarga de dicha labor.

Una vez obtenida toda la información se procedió a realizar los cálculos de la distribución de las tuberías, el caudal empleado, el dimensionamiento y características de los equipos como los aspersores, accesorios, bomba y las tuberías.

Con el trabajo que se está realizando se beneficia principalmente a la comunidad cercana a dicho parque, se genera un ahorro de agua que se transformara en un ahorro económico para la Municipalidad de Ate. Los sistemas de riego modernos siempre son una gran atracción de las personas, lo cual beneficiara al distrito.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo un diseño de sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m³/h permite ahorrar consumo de agua en el parque de la Avenida Separadora Industrial en el distrito de Vitarte?

1.2.2. Problemas específicos

- **P1:** ¿Cómo determinar el caudal del sistema para seleccionar los equipos necesarios de riego?
- **P2:** ¿De qué manera se puede calcular la pérdida de presión en el sistema para seleccionar la bomba adecuada?
- **P3:** ¿Cómo automatizar el sistema de riego por aspersión para reducir el consumo de agua?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m³/h que permita ahorrar consumo de agua en el parque de la Avenida Separadora Industrial en el distrito de Vitarte

1.3.2. Objetivos específicos

- **O1:** Determinar el caudal del sistema para seleccionar los equipos necesarios y adecuados de riego.
- **O2:** Calcular la pérdida de presión en el sistema para seleccionar la bomba adecuada.
- **O3:** Automatizar el sistema de riego por aspersión para reducir el consumo de agua

1.4. Limitación de la investigación

El trabajo se centrará en 5 hectáreas del parque de la Avenida Separadora Industrial en el distrito de Ate Vitarte y el diseño del sistema de riego se desarrollará con componentes del mercado nacional.

1.5. Justificación

El desarrollo del presente trabajo se encuentra avalado dentro de una “justificación social”, apoyada en la modalidad del proyecto factible, estudio técnico que justificara la realización del diseño y generara un beneficio a la sociedad.

- **Justificación económica:** El uso de agua se optimizará y se reducirá el gasto directo para el traslado y regadío de este parque.
- **Justificación tecnológica:** Debido a que se diseñara usando componentes del mercado nacional, por la compatibilidad para el repuesto de los mismos. Con el diseño propuesto se reducirá el consumo y ayudará a que se implemente en otros parques.
- **Justificación social:** Porque la municipalidad podrá aprovechar el trabajo para evaluar el costo de la implementación de este sistema y beneficiará a largo plazo económicamente y generará diversas oportunidades al distrito.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Existe una variada lista de investigaciones internacionales y nacionales en relación al problema objeto de estudio que sirvieron de soporte teórico en la realización del presente trabajo de investigación; las mismas que permitieron orientar el desarrollo de la tesis, a continuación, se detallan:

2.1. Antecedentes internacional y nacional

2.1.1. Antecedente de estudio internacional

Cárdenas Martha (2011) de la escuela superior politécnica del litoral (ESPOL) – Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción en su proyecto de fin de carrera **“Diseño e Instalación de un Sistema de Riego por Aspersión para 50 Ha. De Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Provincia del Guayas”**

Resultados Obtenidos:

- El sector de Cerecita presenta condiciones agroclimáticas ideales de temperatura, humedad relativa y luminosidad para el desarrollo de la Palma Africana.
- La dosis de riego se calculó para cada tipo de suelo, siendo para arcilloso de 25mm, franco arcilloso 21mm y franco arcilloso arenoso 13.33mm con un intervalo máximo de riego de 5, 4 y 3 días respectivamente.
- La tubería principal se diseñó y cálculo en circuito cerrado logrando disminuir diámetro de tubería y pérdidas por fricción en el sistema.
- La bomba centrífuga seleccionada para el sistema de riego suministra 900 gpm y un TDH de 195 pies a 1750 RPM.
- El valor calculado para costos de funcionamiento anual fue de \$41 388.00, incluyendo en estos costos combustible, agua y personal.

2.1.2. Antecedentes de estudio nacionales

Freddy Matheus (2011) en su trabajo de grado para el título de Ingeniero Agrícola de la Universidad de los Andes **“Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en un sector de la finca “Estapape”, parroquia La Quebrada, Municipio Urdaneta, Estado Trujillo “**

Resultados Obtenidos:

- Los análisis de suelo de la finca presentan una textura media predominando suelos Franco-Arenosos, con unas infiltraciones básicas de 0.79 cm/hr, 3.18 cm/hr y 3.50 cm/hr, seleccionado para el diseño la de 3.5 cm/hr.
- El estudio de la demanda hídrica de la zona mediante el balance hídrico, se logra apreciar que para el cultivo de la papa existe déficit durante los meses de junio, julio y diciembre, sin embargo, el riego se programará para todo el año debido a que la precipitación es un fenómeno variable.
- El diseño hidráulico se resume en el cálculo de los siguientes parámetros: Aspersor Costa RC 160 con un diámetro de mojado de 27,6 m. Tanto para el Sector 01 como para el sector 02 la separación entre laterales es de 18m y entre aspersores es de 12 m, el diámetro de las tuberías laterales es de 50 mm y el de las tuberías secundarias es de 75 mm.

Verónica Rocío Macías Solorzano (2011) en su tesis de grado para el título de Ingeniero Agrícola de la Universidad de los Andes **“Adaptación e Instalación de un Sistema de Riego por Aspersión, para Cultivos Comerciales Establecidos en la Comunidad El Milagro de Cantón Portoviejo”**

Resultados Obtenidos:

- El área regable a la que se le implemento el sistema por aspersión es de $11012m^2$. La misma que necesita una lámina de 52mm, con una frecuencia de aplicación de 9 días.
- El riego se lo hará con el aspersor MEGANET TM 650 lit/hr que acuerdo al diseño de distribución de riego, funcionara con 4 módulos de riego de manera individual, necesitándose un tiempo de 8 horas por módulo, es decir 32 horas para el riego total del área instalada.
- El sistema de bombeo es de 3 HP, entrega un caudal de $18.2m^3/hr$ (5.05 lit/seg.). Siendo la altura de bombeo de 37.7m y una eficiencia del orden del 85%.

2.2. Marco teórico y conceptual

2.2.1. Marco Teórico

➤ El Riego

El Riego se puede definir como la aplicación de agua en forma artificial, no por el producto de la lluvia, a un determinado terreno con el fin de que este recupere un nivel de humedad que sea aprovechable por las plantas que en el están arraigadas permitiéndoles vivir y desarrollarse.

En un sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Asegurar las cosechas contra sequias de corta duración.
- Refrescar la temperatura del suelo y la atmosfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para su desarrollo vegetal.
- Disolver sales contenidas en el suelo.
- Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
- Dar las características óptimas de humedad de suelo.

En términos generales el objetivo que se persigue con el riego es aplicar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua en el momento adecuado y en la cantidad necesaria para lograr un crecimiento óptimo.

➤ **Riego por aspersión**

Para García et al. (1997), el sistema de riego por aspersión del agua en forma de lluvia, puede ser controlada tanto en el tiempo como en su intensidad, mediante una amplia gama de aspersores diseñados para operar a diferentes presiones, espaciamientos y tamaños. Con los que se logra una variada distribución y diversas características de flujo que permiten elegir el aspersor adecuado según las condiciones del suelo y la planta.

➤ **Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión**

Estas son algunas de las ventajas:

- Según Tarjuelo (2005), el sistema de riego por aspersión es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 30 mm.h-1) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas. Esto permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Puede conseguir altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, a costa normalmente de una mayor inversión.
- Permite trabajar contra heladas.
- Es el método más eficaz para el lavado de sales por originar un movimiento de agua en el suelo en subsaturación, obligándola a circular por los poros más pequeños y por lo tanto más en contacto con la solución del suelo.
- Permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios.
- Un control efectivo sobre la cantidad y tasa de aplicación de agua.
- Para García et al. (1997) se tiene un control efectivo sobre la cantidad y tasa de aplicación de agua.

Desventajas del riego por aspersión

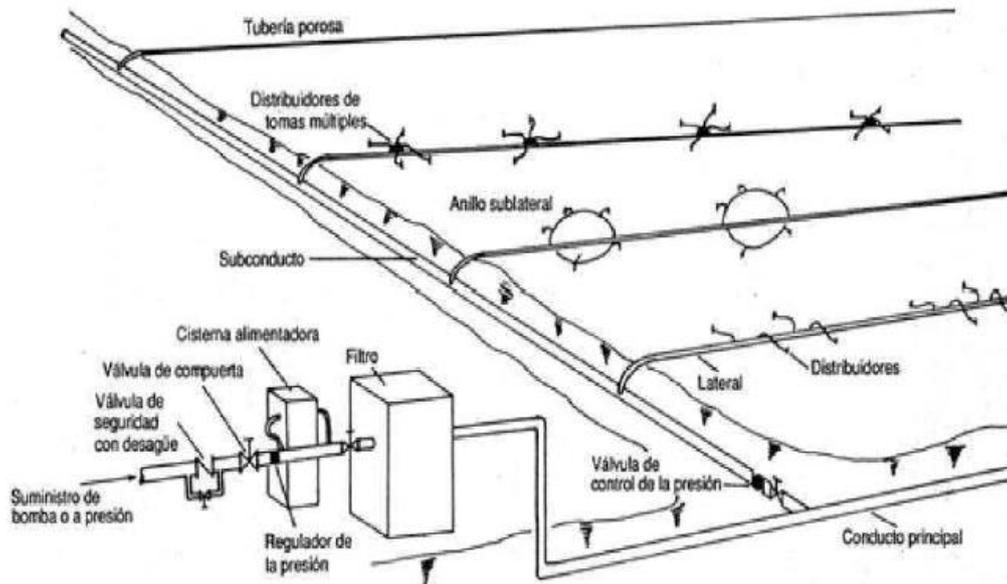
- Según Tarjuelo (2005) hay una uniformidad en el reparto de agua por la acción de fuertes vientos.
- Interferencia sobre los tratamientos, por el lavado de productos fitosanitarios que protegen la parte aérea de las plantas.
- Altas inversiones iniciales y elevado costo de mantenimiento y funcionamiento (energía).
- Lugares ventosos y excesivamente secos causan pérdidas de eficiencia apreciables.
- El impacto en algunas partes del área del cultivo puede causar daños.
- Requiere de altas presiones para el funcionamiento.
- Según García et al. (1997) puede producir daño en la floración de las plantas.
- Para Rodríguez et al. (2004) en caso de regar con agua salina puede producir quemadura en las hojas y flores por acumulación de sales.
- La forma de aportar el agua puede tener efectos negativos sobre algunas plantas, ya que al humedecerse la parte aérea de las mismas aumenta el riesgo de desarrollo de enfermedades.

➤ **Componentes que integran un equipo de riego por aspersión**

Para Peña (2010), una instalación de sistema de riego está constituida por: el cabezal de riego, red de distribución, aparatos de control, automatización y emisores de riego por aspersión (véase figura 2.1).

Figura 2. 1

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN



Fuente: Tomado de Ramos et al. (2013)

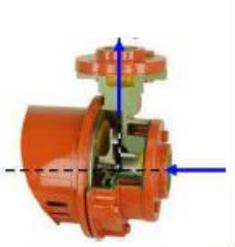
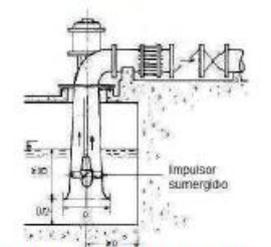
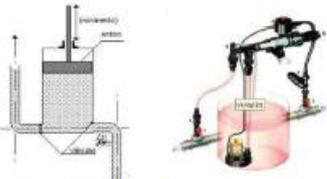
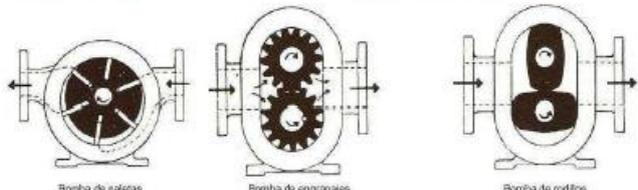
✓ **Sistema de bombeo**

Es el sistema o equipo (bomba) que se encarga de impulsar el flujo por las diferentes distribuciones de tuberías hasta llegar al emisor. Para Rázuri (2015) las bombas son máquinas hidráulicas que reciben energía potencial (Fuerza de un motor o turbina), y transforman parte de esta potencia en energía cinética (movimiento) y energía de presión (fuerza), cediendo estas dos energías al flujo bombeado, de forma de recircularlo o transportarlo de un punto a otro.

Debido a la gran diversidad de bombas existentes, se puede adoptar una clasificación resumida, dividiéndolas en dos grandes grupos, (véase figura 2.2).

Figura 2. 2

CLASIFICACIÓN DE BOMBAS: CENTRIFUGAS Y VOLUMÉTRICAS

BOMBAS CENTRIFUGAS		
Centrifugas radiales (puras)	Centrifugas de flujo axial (propulsora)	Centrifugas de flujo mixto
		
BOMBAS VOLUMÉTRICAS		
Embolo o alternativos (pistón, diafragma, membrana)		
		
Rotativas (Engranajes, lóbulos, paletas, helicoidales, husos, pernos, etc.)		
		

Fuente: Información de Razuri (2015)

Bombas centrífugas o turbo-bombas, también conocidas como hidrodinámicas o rotodinámicas.

El movimiento del fluido ocurre por la acción de fuerzas que se desarrollan en la masa del mismo, a consecuencia de la rotación de un eje el cual es acoplado a un disco (rotor o impulsor) dotado de alabes (paletas, hélices), el cual recibe el fluido por su centro y lo expulsa por la periferia, por la acción de la fuerza centrífuga. Son las de mayor aplicación en la irrigación.

Bombas volumétricas, también conocidas como de desplazamiento positivo. Son dispositivos en los que el elemento impulsor aporta energía al líquido, en forma de pistón. Tienen una aplicación directa en la ingeniería del riego como sistemas de inyectar fertilizantes a la

red. Se caracterizan por caudales bajos (<1000 l.h-1) y altas presiones.

▪ **Curvas del sistema**

Si se utiliza la conservación de energía (o ecuación de Bernoulli) para el sistema bomba tubería, se obtiene la siguiente ecuación:

Donde H_m es la presión de descarga, H_g es la presión de succión, h_r es la presión de conducción, h_m es la presión dinámica y v es la velocidad del fluido como se muestra en la Figura 2.3

Con esto se obtiene la presión requerida en el cabezal, y con la información de caudal se puede construir la curva del sistema para seleccionar el equipo de bombeo.

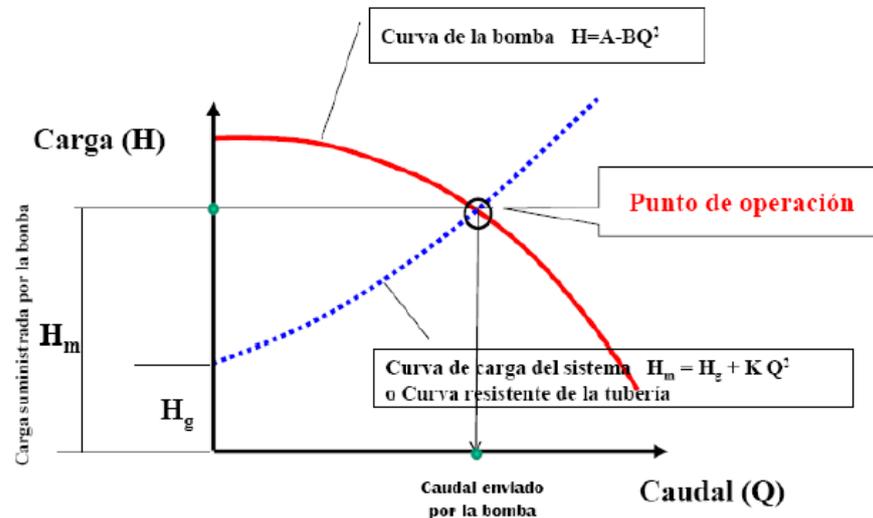
▪ **Punto de Operación**

Como se ha mencionado, las bombas tienen una curva característica de funcionamiento que expresa la relación entre el caudal y la altura manométrica. El fabricante determina de forma experimental, midiendo la altura manométrica para diferentes caudales. Las variaciones de caudal se obtienen modificando la resistencia ejercida sobre el rodete de la bomba. (Guillermo Martín Reina (2012) Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización. Sevilla, España. Recuperado de:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091>)

Figura 2. 3

PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA



Fuente: Información de Razuri (2015)

✓ **Tuberías**

Las tuberías fijas son comúnmente metálicas, de plástico, de asbesto, cemento o de concreto reforzado con junta especial. Las tuberías móviles en cambio, son de aluminio o de acero cincado a fuego. Se caracterizan por reducido peso a fin de que se puedan trasladar con facilidad y con el mínimo esfuerzo y se integran por tramos de 6-9 o 12 m de largo y diámetro variable entre 2"y 8".

Cada tramo se une por medio de un sistema especial de rápido acoplamiento. El acoplamiento al ser angulable, 30° en algunos tipos y 12° en otros, permite adaptar la tubería a las irregularidades del terreno. Se emplean diferentes sistemas de acoplamiento: unos a palanca (Sistema Europeo y otro hidráulico automático (sistema americano)).

✓ **Tuberías PVC**

Entre los plásticos más comunes (PVC ABS PE EXPOXY) hay grandes diferencias en sus propiedades físicas y químicas dando lugar esto a diversos tipos y grados para cada plástico. El PVC tiene cuatro tipos, los cuales a su vez pueden tener varios grados, de esta forma el Tipo I tiene excelente resistencia a la tracción y buena resistencia química, aunque su resistencia al impacto es menor a la del tipo II. Este a su vez no tiene buena resistencia a la tracción y a los agentes químicos (corrosión) como el tipo I pero presenta mayor resistencia al impacto.

De todas estas variedades el PVC tipo I Grado I, es el que reúne las características físicas y químicas más adecuadas para la fabricación de tuberías para abastecimiento de agua.

La aceptación de las tuberías PVC se debe a sus ventajas económicas y técnicas algunas de estas propiedades son:

- Grandes resistencias a la corrosión-
- Alta resistencia química.
- Alta resistencia al envejecimiento.
- Bajo coeficiente de elasticidad.
- Bajo coeficiente de fricción
- Bajo peso
- Fácil instalación
- Gran resistencia al golpe de ariete.

✓ **Aspersores o regadores**

Los aspersores se contribuyen de tipo estacionario y de tipo rotatorio. La mayor parte de los aspersores existe en la actualidad en el comercio para uso en la agricultura son giratorios; produciéndose dicha rotación, ya sea por efecto del impacto, por acción del chorro

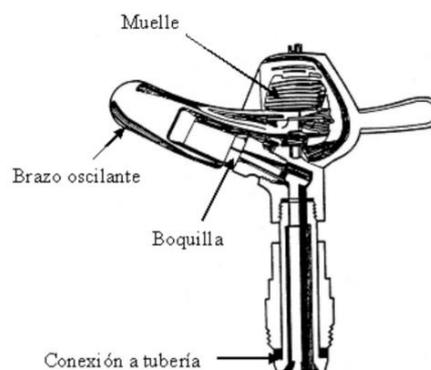
de agua sobre una rueda o por reacción. El giro puede ser total o puede ser regulable para cubrir un sector circular y los aspersores pueden asimismo tener una o dos tuberías o boquillas.

El manual de AMES (1962) clasifica los aspersores en los tipos siguientes:

- Aspersores de baja presión entre 1 y 2 atm. Especialmente diseñados para riego de los árboles frutales debajo de la copa; o para cultivos anuales o permanentes, en los casos en que se cuenta con reducida presión. Estos aspersores tienen limitado radio de influencia.
- Aspersores de presión intermedia entre 2 y 4 atm. Comúnmente se diseñan con una o dos toberas y se adaptan a todos los tipos de suelo y cultivos. Diámetro de círculo humedecido entre 21m y 39m.
- Aspersores de alta presión, entre 4 y 7 atm. Aspersores “gigantes” especialmente adaptados para cultivos de elevado tamaño, tales como maíz y caña de azúcar. El diámetro de círculo humedecido varía entre 60 y 150 m.

Figura 2. 4

COMPONENTES DE UN ASPERSOR



Fuente: www.interssa.com

➤ **Elementos de seguridad y control**

Ramos et al. (2013) indica que en todo sistema de riego es necesario instalar distintos tipos de válvulas y aparatos de control para garantizar su funcionamiento adecuado. Según estas funciones existen diferentes tipos de válvulas:

a) Manómetros

Son equipos que permiten verificar las caídas de presión a la entrada y salida de los filtros. Usualmente también se instala un manómetro al inicio de la tubería primaria para verificar que la presión de entrega corresponda a la establecida en el diseño (Meza 2014).

b) Válvulas de corte o aislamiento

Son aquellas válvulas que se encargan de cortar o permitir el paso del agua en la conducción. Las válvulas de corte son imprescindibles en toda instalación de riego, siendo necesaria al menos una en cada cabezal de riego y otra en la acometida de agua. Las hay de varios tipos, clasificándose según el mecanismo de cierre. Los materiales en los que se fabrican las válvulas de corte son muy diversos, los más usuales son acero, latón, PVC y fundición (De la Fuente et al. 2013). Ejemplos (válvula mariposa, válvula de esfera, válvula de compuerta)

c) Válvula reductora de presión

Son las reductoras de la presión aguas abajo, para la protección de la instalación. Las válvulas reductoras de presión son imprescindibles en zonas de altas presiones para proteger todo el sistema de riego, incluidas las tuberías (De la Fuente et al. 2013).

d) Válvula anti retorno o de retención

Estas válvulas obligan a que la circulación del agua sea en un único sentido, es decir, el agua no podrá retroceder a partir de ese punto (De la Fuente et al. 2013). Se emplea en zonas con grandes desniveles, para evitar desplomes en columna de agua (pozos), evitar escorrentías en zonas de goteo. También en grupos de

presión ya que evita el regreso del agua a la bomba y al depósito, así como en grupos y acometidas de la red de distribución o varias redes de agua, para evitar la mezcla de aguas de diferente procedencia, y para evitar los efectos del golpe de ariete.

e) Válvula de seguridad

Es particularmente importante para eliminar sobrepresiones en grupos de presión (De la Fuente et al. 2013). El funcionamiento es relativamente sencillo; al producirse la sobrepresión, la válvula libera agua hasta que se reduce la presión a un nivel admisible.

f) Válvula de llenado

La función de estas válvulas es permitir el llenado de depósitos cuando el nivel de agua baje de un nivel prefijado. Esta caída de nivel es detectada mediante una boya flotante unida a la válvula mediante un mecanismo de apertura (De la Fuente et al. 2013).

g) Válvula hidráulica

Las válvulas hidráulicas son válvulas configurables para desempeñar diversas funciones.

El punto común de las válvulas hidráulicas es que son válvulas automáticas que obtienen la energía para funcionar de la energía presente en el agua (presión). Suelen ser de fundición y estar recubiertas por una capa protectora epoxi.

h) Regulador de Presión

Tiene la función de mantener la presión aguas arriba y/o aguas abajo de la subunidad de riego (AECID 2009).

➤ **Automatización**

• **Electroválvulas**

Para De la Fuente et al. (2013), se trata de una válvula hidráulica muy especializada (adaptada en tamaño y materiales) que permite la automatización de la instalación. La apertura y cierre del flujo lo realiza tras una señal eléctrica que recibe desde un programador. Contiene los siguientes elementos:

- Solenoide: recibe las órdenes del programador a través de una señal eléctrica que le llega por cable.
- Cuerpo de electroválvula: es la carcasa de la electroválvula.
- Membrana de electroválvula: es la encargada de la apertura hidráulica de la electroválvula.
- Tornillo purgador: permite la salida de aire y despresurización de la cámara de la membrana.
- Regulador de caudal: gracias a él se puede disminuir o aumentar el caudal en función de las necesidades del sector de riego de tal forma que tengan el caudal que necesitan para su correcto funcionamiento.

- Programadores

La automatización de los sistemas de riego permite, por un bajo costo, regular los tiempos de riego, reduciendo la mano de obra y limitando el consumo de agua (De la Fuente et al.2013). Existen dos tipos de sistema de automatización:

- Sistema de automatización por volúmenes: se basa en la programación de riego según el volumen de agua que se quiere aportar. Se utiliza apenas debido al requerimiento de un programador muy complejo y a la necesidad de utilización de válvulas volumétricas (en desuso).
- Sistema de automatización por tiempos: es el más extendido, por ser mucho más cómodo y fácil de manejar. El encargado de la programación simplemente debe elegir la hora de inicio y el tiempo de riego.

- **Evapotranspiración de referencia (ET_o)**

La complejidad que presentan los métodos directos de estimación de la evapotranspiración real, ha llevado al desarrollo de una metodología basada en cálculos matemáticos. Basada en la evapotranspiración de referencia.

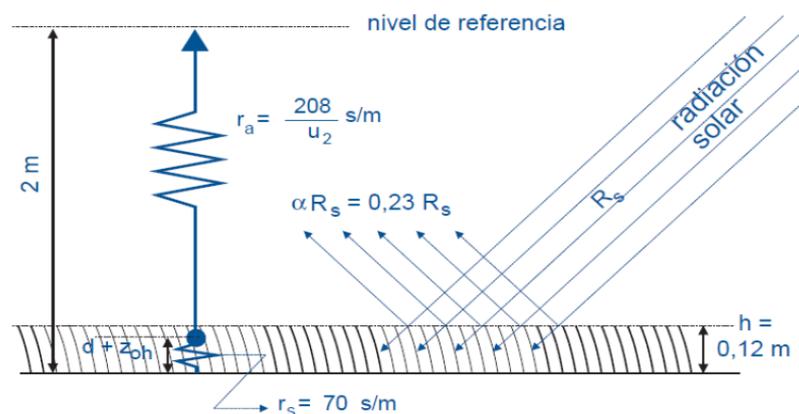
La ecuación de FAO Penman-Monteith es una representación clara, precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración.

➤ **Ecuación de Penman-Monteith**

El método de FAO Penman-Monteith para estimar ETo puede ser derivado de la ecuación original de Penman-Monteith, este método reduce las imprecisiones del método anterior, produciendo globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos. Este método fue desarrollado haciendo la definición de cultivo de referencia como un cultivo hipotético (Figura 2.5).

Figura 2. 5

CARACTERÍSTICAS PARA EL CÁLCULO DE LA ET.



Fuente: Tomado de Allen et al. (2006)

En la determinación del ETo se utiliza la fórmula de evapotranspiración de referencia según el método de la FAO Penman-Monteith. Esta ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a dos metros de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde,

cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua, se representa mediante la siguiente ecuación.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2.1)$$

Donde ETo es la evapotranspiración de referencia ($mm \text{ día}^{-1}$), Rn es la radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); G es el Flujo de calor del suelo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), T es la temperatura media del aire a dos metros de altura ($^{\circ}C$), u_2 es la velocidad del viento a dos metros de altura ($m \text{ s}^{-1}$), e_s es la presión de vapor de saturación (KPa), e_n es la presión real de vapor (Kpa), Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$) y γ es la constante psicrométrica ($kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$).

➤ Necesidad de cálculo de la demanda de agua

Según Muncharaz Pou M. (2005) un buen cálculo de las necesidades de agua, es la base para el diseño del sistema de riego y a su vez para dar una respuesta adecuada a las necesidades hídricas de las plantas, lo que se reflejará finalmente en las propiedades visuales que exhibirá la zona afectada.

El método de cálculo denominado el coeficiente de jardín (CJ), se utiliza para determinar las necesidades de agua de jardinería de una forma más precisa de lo que se hacía con anterioridad, al objeto de optimizar las dosis de riego, lo cual es muy importante desde tres puntos de vista:

Ahorro de un bien escaso como el agua

Optimización del coste de aplicación que también es paralelo al ahorro de agua.

Mejora en la calidad paisajística, al aplicar las cantidades adecuadas de agua, sin exceso ni defecto, pues tanto en un sentido como en otro podemos perjudicar el crecimiento del material vegetal.

La fórmula que determina la evapotranspiración del cultivo:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (2.2)$$

ET_c = Evapotranspiración de cultivo

K_c = Coeficiente para cada cultivo

ET_o = Evapotranspiración de un cultivo de referencia

Modificaciones introducidas en el método del coeficiente de jardín

El fundamento para determinar los cálculos de agua en el método del CJ (Coeficiente de Jardín), es el mismo que el del sistema expuesto con anterioridad, pero incluye unas modificaciones que recogen con mayor precisión las pérdidas que se producen en las áreas ajardinadas. Así en lugar utilizar el coeficiente de cultivo, se emplea el denominado coeficiente de jardín (K_j), siendo las pérdidas del jardín las de la evapotranspiración que se produce en el mismo (ET_j) y que se pueden determinar con la fórmula:

$$ET_j = K_j \times ET_o \quad (2.3)$$

Con el coeficiente de cultivo no es posible realizar los cálculos correctamente, ya que en un jardín se dan unas condiciones diferente a las existentes en un campo de cultivo.

Los jardines siempre están compuestos por más de una especie, cada uno con sus necesidades específicas de riego.

La densidad de vegetación no es igual en todos los lugares del jardín. A mayor densidad de vegetación hay más transpiración foliar y por lo tanto mayores pérdidas de agua.

Dentro del jardín existen diferentes microclimas originados por la exposición, sombreadamiento, situación respecto a los edificios, áreas pavimentadas, etc.

En base a todo ello, parece razonable introducir unos factores de corrección para cada uno de los condicionantes comentados. De esta

forma surgen los coeficientes de especie (K_s), densidad (K_d) y microclima (K_m), de manera que el coeficiente de jardín es:

$$K_j = K_s \times K_d \times K_m \quad (2.4)$$

(Muncharaz Pou M. (2005). Las necesidades de agua en jardinería. Calculo por el método del coeficiente del jardín. Universidad de España Jaume I de Castellon Recuperado de: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/65/686/65686.pdf>)

➤ **Parámetros de riego**

Tarjuelo (2005), indica que para la obtención de los parámetros de riego con fines de diseño y dimensionamiento del equipo de riego es necesaria una información agrotécnica que incluye:

- CC= contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (% en peso).
- PM= Contenido de humedad del suelo en el punto de marchitamiento (% en peso).
- Da= Densidad aparente ($t.m^{-3}$).
- Z= Profundidad radicular efectiva (m).
- DT= descenso tolerable, déficit permisible de manejo o nivel de agotamiento permisible del agua en el suelo para producir un mejor balance económico (%).
- Ea=Eficiencia de aplicación estimada.
- A=Área total a regar.
- Trd=tiempo disponible de riego al día.
- DL=Días libres de riego durante un ciclo de riego.

A partir de esos datos se pueden determinar los parámetros de riego.

a) Lámina neta de riego o dosis neta de riego (Ln)

Matheus (2011) indica que la lámina neta viene dada en función de las características físicas del suelo, que determinan su capacidad de almacenamiento hasta la profundidad radicular de las plantas.

Para el cálculo de la lámina se requiere de los datos de capacidad de campo y punto de marchitez indicados en la Tabla 2.1.

Tabla N° 2. 1

PROPIEDADES DEL TIPO DE SUELO

Textura del suelo	Cc (%)	Pm (%)	Agua útil (%)
Arcilloso	48	19	29
Arcillo - Limoso	45	18	27
Franco - Arcilloso	41	17	24
Franco - Limoso	38	16	22
Limoso	36	15	21
Franco	31	13	18
Limo - Arenoso	27	11	16
Areno - Limoso	18	8	10
Franco - Arenoso	16	7	9
Arenoso - Franco	14	6	8
Arenoso	12	5	7

Fuente: Información de Arapa (2009)

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Ln = \left(\frac{\varphi_{cc} - \varphi_{pm}}{100} \right) \times h \times n \times 1000 \quad (2.5)$$

Siendo: CC la capacidad de campo del suelo (%), PM el Punto de marchitez (%), h la profundidad de raíz (m) y n el coeficiente de agotamiento (%).

b) Lámina bruta (Lb)

La lámina bruta es la lámina de agua a reponer en cada riego, considerando el manejo del agua en el suelo considerando la lámina

neta y la demanda de evapotranspiración para el periodo de máxima demanda.

c) Intervalo o frecuencia de riegos

La frecuencia de riego representa el máximo intervalo entre dos riegos consecutivos, se determina mediante la expresión:

$$I(\text{días}) = \frac{Ln(mm)}{Et_c(mm. \text{d}^{-1})} \quad (2.6)$$

d) Tiempo de riego

La duración del riego del riego será función de la dosis bruta que pretenda dar (L_b) y de la pluviométrica del sistema (P_{ms}), de modo que:

$$Tr = \frac{L_b (mm)}{P_{ms}(mm. h^{-1})} \quad (2.7)$$

e) Caudal del sistema (Q_s)

El caudal es el volumen de agua que pasa por una tubería o sale de un emisor en un tiempo determinado. Es fundamental conocer el caudal en la toma de agua del sistema de riego, pues este dato junto a la superficie de jardín y de necesidades hídricas de las especies cultivadas, va a indicar el número de emisores que se necesitan y la zonificación de riego (Torres 2016).

La dotación definitiva del sistema (Q), será calculada una vez que queden fijos todos los aspersores en dicha área, se determina por la sumatoria de los aspersores agrupados resultando:

$$Q = N \times q_a \quad (2.8)$$

Siendo N el número de aspersores en funcionamiento en una área o postura y q_a el caudal nominal del aspersor.

f) Programación de turnos de riego

La Programación de los turnos consiste en definir las válvulas a abrir o parcelas a regar simultáneamente durante un turno de riego. Esta secuencia de abertura de válvulas normalmente se define en el diseño del sistema de riego, si se riega toda el área del proyecto o todas las válvulas están sujetas a operación. Esta programación es realmente importante analizarla de manera técnica para mantener en correcto funcionamiento hidráulico del sistema, pues de lo contrario, puede ser que algunas áreas del proyecto estén con bajas presiones afectando la uniformidad en la aplicación del agua (USAC 2011).

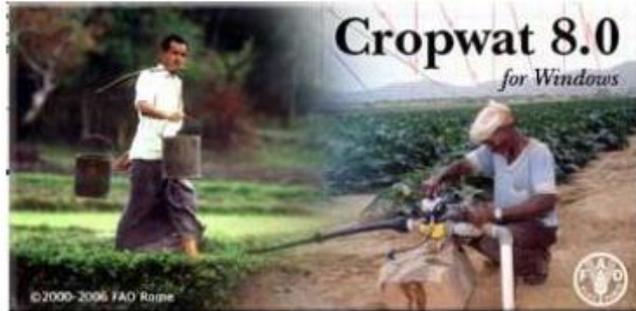
➤ ***Cropwat 8.0.***

Según el manual del software el sistema Cropwat (Véase figura 2.6) fue desarrollado por la FAO. Es un programa de computación diseñado para la determinación de requerimientos de riego para diversos cultivos. Adicionalmente, con él es posible establecer tendencias cuantitativas o niveles de adaptabilidad según la disminución en el rendimiento de los cultivos cuando se introducen diversas combinaciones o variaciones de suelo, clima y fechas de siembra.

Básicamente, Cropwat es un modelo de balance hídrico. Compara la disponibilidad de agua con el requerimiento del cultivo. Se basa en los coeficientes de evapotranspiración de los cultivos (K_c) a lo largo de cuatro etapas de desarrollo. La disminución del rendimiento la calcula empíricamente, sobre la base de un coeficiente que relaciona la pérdida de rendimiento por cada unidad de evapotranspiración no satisfecha.

Figura 2. 6

PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE CROPWAT 8.0



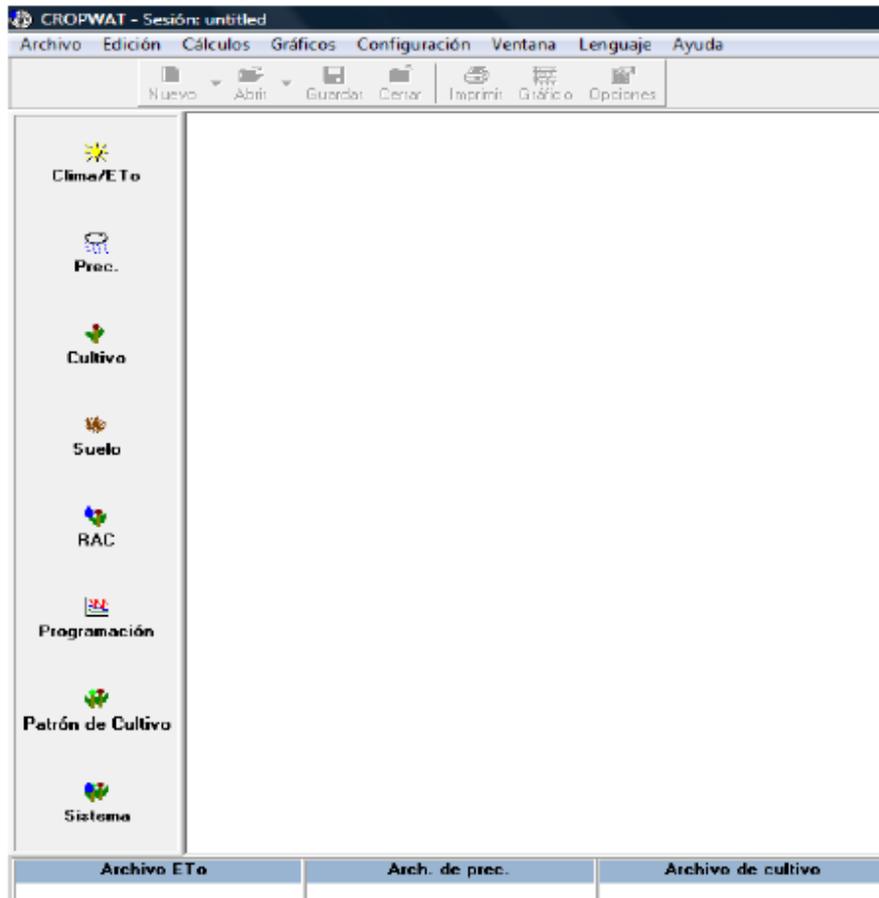
Fuente: Cropwat 8.0

• Estructura del programa.

Según el manual del software el programa Cropwat se organiza en 8 módulos diferentes, de los cuales 5 son módulos de datos de entrada y 3 son módulos de cálculo. Estos módulos son accesibles a través del menú principal, pero se pueden acceder más fácilmente a través de la Barra de módulos que está permanentemente visible en la parte izquierda de la ventana principal. Esto permite al usuario combinar fácilmente diferentes datos climáticos, de cultivo y de suelo para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos, la programación de riego y la entrega de agua en esquemas multicultivos.

Figura 2. 7

PANTALLA PRINCIPAL DEL SOFTWARE CROPWAT 8.0



Fuente: Cropwat 8.0

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

- Clima/ETo: para ingresar datos medidos de ETo o datos climáticos que permitan el cálculo de la ETo Penman-Monteith
- Precipitación: para ingresar datos de precipitación y el cálculo de la precipitación efectiva;
- Cultivo (cultivos no inundados o arroz): para ingresar datos del cultivo y de la fecha de siembra
- Patrón de cultivo: para ingresar un patrón de cultivos para calcular el esquema de entrega de agua

- 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

➤ **Consumo de agua**

Un buen sistema de riego es aquel que proporciona una cobertura totalmente uniforme en el sistema radicular, sin provocar que parte del agua se pierda por filtración en el terreno y se genere exceso de agua.

Figura 2. 8

AGUA EN EXCESO EN LOS RIEGOS



Fuente: <https://www.parcsijardinscatalunya.com>

Para el riego de las áreas verdes, solo en enero de este año, las municipalidades de Lima y Callao destinaron 1'010.396 metros cúbicos, es decir, unos mil millones de litros de agua apta para el consumo humano. Es la cantidad que a diario podría abastecer a dos millones de personas.

El ordenamiento jurídico peruano no prohíbe el uso de agua potable para el riego de parques y jardines. Sin embargo, la Ley General de Servicios de Saneamiento del 2005 señala que “debe preferirse el uso

de aguas residuales tratadas”, ya que el agua potable es escasa en una ciudad desértica como Lima

Las municipalidades pagan una tarifa de 7,28 soles por cada metro cubico si el área es menor a 1000 metros cúbicos y paga 7,81 soles si es mayor.

Para el especialista de Sedapal Gustavo Maldonado, hay dos factores que grafican la mala gestión hídrica en la capital. El primero es que en Lima se siembra más césped que árboles, pese a que los primeros necesitan más agua y no absorben las emisiones tóxicas. El segundo es que se riega básicamente por inundación, entonces cada m2 de césped está recibiendo 25 litros de agua cuando en realidad necesita solo cuatro. Información tomada del diario el Comercio (Oscar Paz Campusano (Diario Comercio) – marzo 2017).

2.2.2. Marco Conceptual

➤ Sistema de bombeo de agua

Los sistemas de bombeo comprenden tuberías, accesorios y demás elementos que posibilitan el transporte del fluido desde el depósito hasta el sitio de utilización del mismo, pudiendo dividirse en el subsistema de succión y el de descarga como se aprecia en la siguiente figura 2.7.

$$H_T = h_s + h_d \text{ (m)} \quad (2.9)$$

Donde:

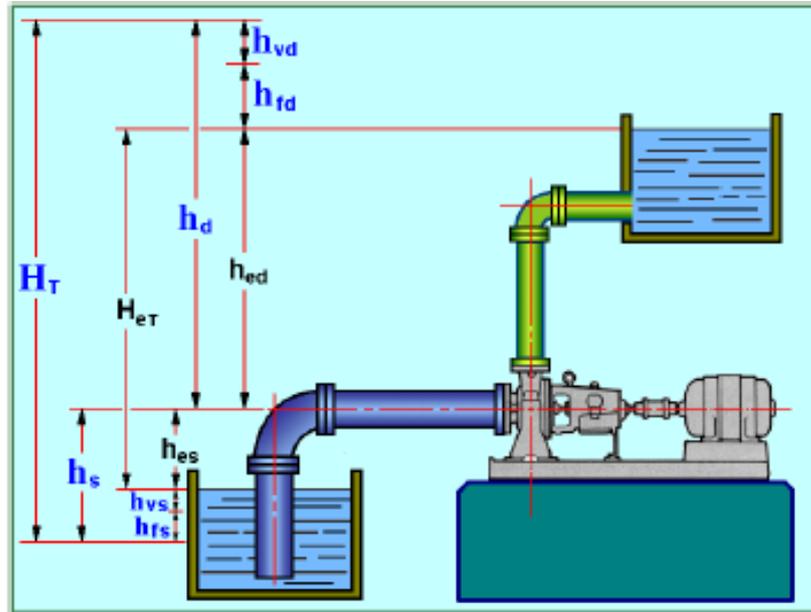
H_T = columna total, altura util o efectiva (m)

h_s = columna dinamica de succión (m)

h_d = columna dinamica de descarga (m)

Figura 2. 9

GRÁFICO DE LAS ALTURAS DE SISTEMA



Fuente: Ramirez, A. Texto de Fluidos.

➤ **Diagrama de Moody**

Es la gráfica empleada para determinar el factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad de una tubería.

➤ **Numero de Reynold**

Numero adimensional empleado para verificar el movimiento de las partículas de un fluido.

➤ **Perdidas en el sistema**

Son las pérdidas que se presentan por todos los aspectos del sistema (perdidas por descarga, perdidas por succión)

➤ **Evapotranspiración potencial**

Determina las pérdidas de agua desde una superficie de suelo de condiciones definidas.

➤ **Precipitación Efectiva**

Es la fracción de precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua de cultivo

➤ **Datos del cultivo**

Es una serie de datos y estadísticas que se tiene acerca del cultivo, nos indica sus coeficientes de cultivo y la fecha de cosecha.

➤ **Requerimiento de agua de cultivo**

Es la cantidad de agua que se requiere para satisfacer la tasa de evapotranspiración, de modo que los cultivos puedan prosperar.

➤ **Programación de riego del cultivo y caudal requerido**

Se refiere a: cuanto, cuando, y como regar los cultivos para obtener la máxima eficiencia y productividad del agua.

➤ **Disposición de los aspersores**

Determina el espacio entre los círculos mojados por los aspersores contiguos para lograr una buena uniformidad de reparto de agua.

2.3. Definición de términos básicos

Acometida: Instalación por la que se deriva parte de un fluido que circula por un conducto principal.

Aspersión: Esparcir un líquido en gotas muy finas.

Calibre: Diámetro interior de objetos huecos; como tubos, conductos, cañerías.

Consumo: Gasto irrecuperable de agua inducido por lo usos. En sentido estricto, el consumo producido durante la gestión del sistema de riego.

Descarga: Sobrantes procedentes de operaciones de riego.

Dosis: Cantidad o porción de agua que se aplica a una unidad de superficie de cultivo en cada operación de riego.

Estructura: Organización en un cuerpo o sustancia mediante la distribución o disposición de sus elementos.

Evaporación: Es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor).

Evapotranspiración: Es la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Hidráulica: Hace referencia a la capacidad de una acequia para transportar agua, en función del radio hidráulico.

Infiltración: Proceso por el cual el agua entra en los poros o intersticios del suelo, a través de su horizonte superficial, desplazando el aire de los mismos.

Malla: Cada uno de los cuadriláteros que, formados por conductos de una red, constituyen su estructura en circuito cerrado.

NPSH: Las siglas significan “Net Positive Suction Head” en hidráulica; es un término empleado para saber la altura neta positiva de la aspiración.

Perdidas (hídricas): Agua que sale del dominio hidrográfico de un sistema de riego sin cumplir el objetivo para el que fue allí aportada. En parte se desperdicia como consumo por evaporación o transpiración y en parte escapa por filtraciones, fugas y descargas fuera del dominio considerado.

Ramal: Tubería sobre la que se disponen (aspersores), dispuesta a su vez sobre la tubería de alimentación.

Transpiración: Es la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas y su posterior remoción hacia la atmósfera.

CAPITULO III

HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Si se diseña un sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m³/h en el parque de la Avenida Separadora Industrial en Vitarte, entonces se genera un ahorro en el consumo de agua empleado para el regadío.

3.1.2. Hipótesis específica

H1: Con los cálculos obtenidos para el desarrollo del sistema hidráulico se obtiene el caudal necesario.

H2: Si determinamos la pérdida de presión en el sistema, entonces se podrá seleccionar la bomba adecuada.

3.2. Definición de variables

El informe de tesis, titulado “Diseño de un sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m³/h para ahorrar consumo de agua en el parque de avenida separadora industrial” cuenta con las siguientes variables

3.1.1. Variable independiente

X = Sistema de riego por aspersión automatizado:

Es una forma de riego mediante el cual el agua cae en forma de lluvia sobre las plantas.

3.1.2. Variable dependiente

Y = Ahorro de agua:

Disminuir el consumo de agua empleado para el riego.

Por lo que la ecuación funcional correspondiente a la tesis es:

$$Y = f(x)$$

Disgregando la variable independiente en dimensiones se tiene:

X1 = Calculo del sistema hidráulico para obtener el caudal necesario de riego.

X2 = Determinar la perdida de presión para seleccionar la bomba adecuada.

La ecuación funcional queda definida como:

$$Y = f(X1,X2)$$

3.3. Operacionalización de variables

Tabla N° 3. 1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VI Sistema de riego por aspersión automatizado	Caudal del sistema Perdida de presión Automatización	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de tuberías • Número de ramales • Área del terreno • Número de aspersores • Separación entre aspersores • Intervalo de regadío • Flujo volumétrico
VD Ahorro de agua	Selección de equipos Selección de bomba Consumo de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia • Pérdidas totales • Voltaje • Potencia • Frecuencia de riego • Tiempo de riego

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

DISEÑO METODOLOGICO

4.1. Tipo y diseño de la investigación

Para el diseño metodológico se empleó el libro metodología de la investigación del autor Ciro Espinoza.

Según el objeto de estudio el tipo de investigación es aplicada ya que mediante el estudio se realiza la resolución de un problema o problemas específicos.

Según los medios de detención de datos el tipo de investigación es bibliográfica – documental ya que, mediante un proceso sistemático y secuencial de recolección, selección y clasificación, evaluación y análisis de contenido del material empírico impreso y gráfico, servirá de fuente para la investigación que se desarrolla.

Según el nivel de conocimiento y manipulación de variables el tipo de investigación es no experimental ya que se realiza una investigación en base a desarrollos y cálculos y no lo contrastamos con la realidad.

Según el nivel de medición y naturaleza de la información es de tipo cuantitativa, ya que mediante magnitudes numéricas obtenemos la resolución a los problemas planteados.

Según el tiempo el tipo de investigación es sincrónica ya que se analiza el problema propuesto en un corto periodo de tiempo.

Por ser una investigación de diseño, el presente trabajo se basa en un **Diseño de soluciones** que tiene como propósito transformar los conocimientos o modelos existentes en objetivos útiles a la sociedad.

4.1.1. Parámetros de diseño

A continuación, se muestran los parámetros empleados para el diseño del sistema de riego por aspersión.

Parámetros para cálculo del diseño agronómico.

- Ubicación geográfica
- Condiciones climatológicas
- Características del lugar.

Parámetros para el diseño hidráulico

- Caudal necesario para el riego
- Separación y cantidad de aspersores
- Caída de presión en el sistema de red de tuberías
- Punto de operación de la bomba

Parámetros para el diseño eléctrico y de programación

- Intervalos de riego
- Frecuencia de riego
- Sistema de accionamiento de electroválvulas
- Sistema de arranque de la bomba

4.1.2. Etapas del diseño

▪ Diseño agronómico

Son las necesidades hídricas del cultivo, lo que se calcula es la cantidad de agua que necesita para el cultivo o la especie que predomina en el parque para la tesis; de tal manera que el agua no afecte su normal desarrollo y pueda ocasionar un déficit hídrico, dependiendo primordialmente de factores edafológicos y climatológicos básicamente y otros propios del cultivo. Para iniciar el diseño agronómico se debe tener conocimiento de las

condiciones topográficas, agronómicas, hidrológicas y climáticas de la zona de estudio.

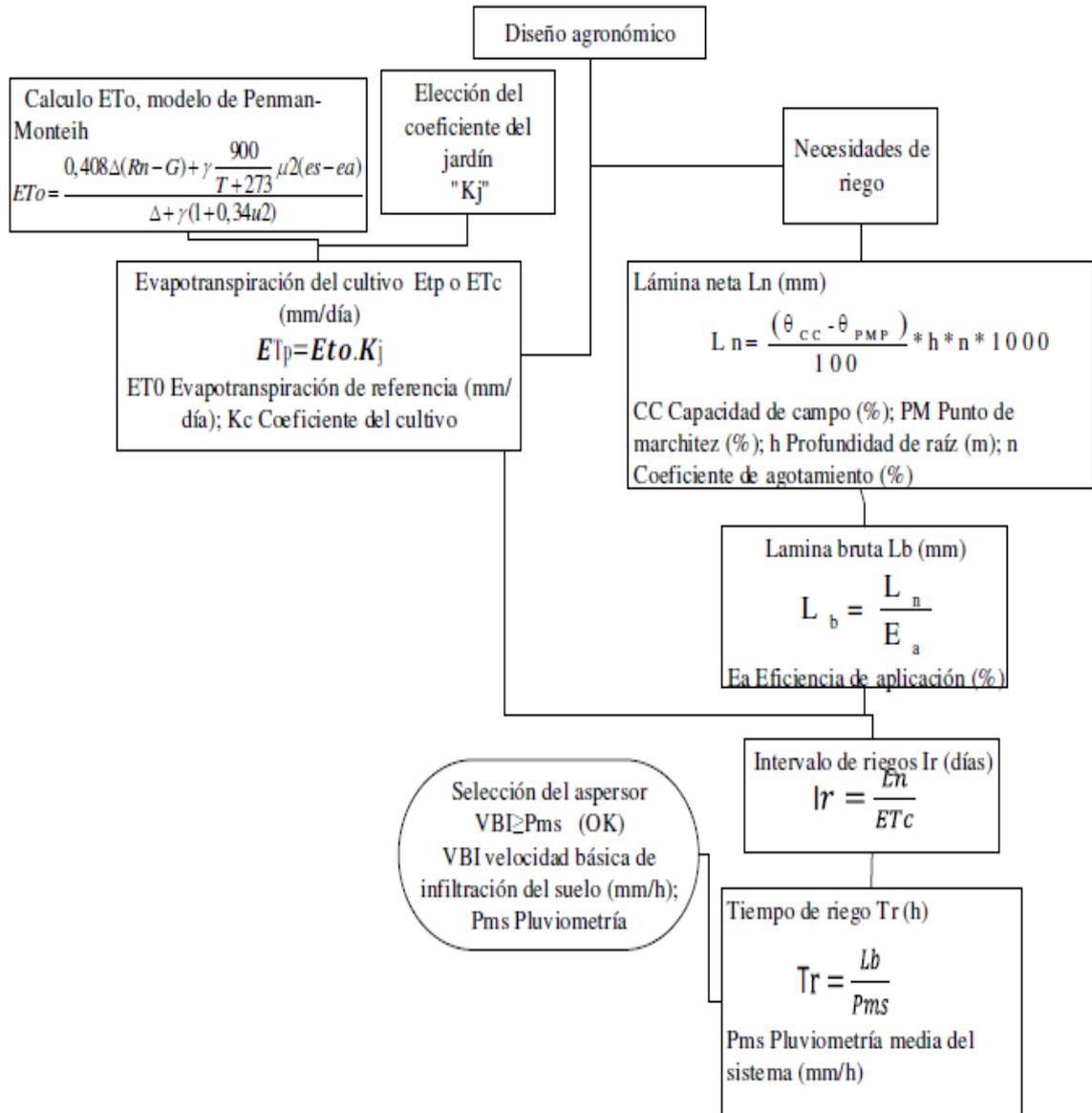
El diseño agronómico contempla de forma general:

- Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos
- Determinación de los parámetros de riego: Láminas, frecuencias y tiempos de riego.

Cuando se desea diseñar un sistema de riego, se debe determinar la demanda de agua porque es uno de los factores de mayor importancia y además está relacionada con las necesidades de riego de los cultivos bajo ciertas condiciones de precipitación y tipo de suelo. Para calcular las necesidades de riego de los cultivos, es necesario determinar la evapotranspiración de referencia para cada mes (ET_o), utilizando los valores de los coeficientes de los cultivos (k_c) para las diferentes etapas de desarrollo vegetativo, se calcula la evapotranspiración real o actual del cultivo (ET_c) y se relacionan estos valores con la lluvia para obtener los requerimientos netos de riego del cultivo. El cálculo de estos parámetros existe en la actualidad una gama de programas informáticos como es el caso del software CropWAT con el cual se obtendrá los valores pertinentes para el desarrollo agronómico del proyecto.

Figura 4. 1

ETAPAS DEL DISEÑO AGRONÓMICO



Fuente: Elaborado con base en Pizarro (1996), Tarjuelo (2005)

▪ **Diseño hidráulico**

La hidrodinámica se encarga el estudio de un fluido en el interior de un contorno (tubería, accesorios, canal, etc).

El estudio de la hidrodinámica es:

- Interesante en la técnica: proyecto de oleoductos, redes de distribución de agua, conducto de los sistemas de refrigeración y engrase de las maquinas, flujo de agua y de vapor por una central térmica, etc.
- El problema central de la mecánica de fluidos.

Caudal: Es la cantidad de líquido que pasa en un cierto tiempo. Concretamente, el caudal es el volumen de líquido que circula en un determinado tiempo.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.1)$$

Dónde:

Q= Caudal

V= Volumen del liquido

T= tiempo que tarda en salir el liquido

Numero de Reynolds. El número de Reynolds es quizá uno de los números adimensionales más utilizados. La importancia radica en el régimen con que circula un fluido, lo que es fundamental para el estudio del mismo.

$$Re = \frac{\rho v D_i}{\mu} \quad (4.2)$$

Dónde:

v = velocidad medial del fluido

D= Diámetro del ducto

ρ = Densidad del fluido

μ = Viscosidad cinemática

Rugosidad relativa. Complementariamente, la consideración de Re obliga a tomar en cuenta los obstáculos que encuentra el fluido en su camino. Llamaremos rugosidad absoluta (K) a la altura máxima de las asperezas del conductor, medida en unidades de longitud.

$$Rr = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4.3)$$

Dónde:

ε = Rugosidad absoluta (tabla)

D = diámetro interno de la tubería

Tabla N° 4. 1

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD ABSOLUTA, E PARA TUBERÍAS

TIPO DE TUBERÍA	RUGOSIDAD ABSOLUTA “ ε ”	
	Mm	Pies
Vidrio, plástico, cobre, o latón estirado	< 0.001 (o lisa)	< 0.0000033 (o lisa)
Latón industrial	0.025	0.000082
Acero laminado nuevo	0.05	0.00016
Acero laminado oxidado	0.05 a 0.25	0.0005 a 0.00082
Acero laminado con incrustaciones	1.5 a 3	0.005 a 0.0098
Acero asfaltado	0.015	0.00005
Acero roblonado	0.03 a 0.1	0.000098 a 0.00033
Hierro galvanizado	0.15 a 0.20	0.0005 a 0.00066
Fundición corriente nueva	0.25	0.00082
Fundición corriente oxidada	1 a 1.5	0.0033 a 0.005
Fundición asfaltada	0.1	0.00033
Cemento alisado	0.3 a 0.8	0.00098 a 0.0026
Cemento bruto	Hasta 3	Hasta 0.0098
Acero roblonado	0.9 a 9	0.003 a 0.03
Duela de madera	0.183 a 0.9	0.06 .03

Fuente: fluidos.eia.edu.co/hidráulica/confinado/rugosidadabsoluta.html

Más usada es la denominada rugosidad relativa (Rr), que responde a la expresión, también en unidades de longitud.

Viscosidad cinemática. Se refiere a la división entre la viscosidad dinámica y la densidad. En los fluidos la medida de su viscosidad absoluta necesita de una alta habilidad experimental e instrumentos adecuados para realizar su medición.

El factor “λ” llamado factor de fricción, es adimensional y en función de dos variables: el número de Reynolds y la rugosidad relativa. En la práctica se emplean varias ecuaciones que integramos en el cuadro siguiente:

Tabla N° 4. 2

COEFICIENTE “λ”, PARA CÁLCULO DE PERDIDAS PRIMARIAS EN TUBERÍAS

TUBERÍAS	RÉGIMEN	FÓRMULA	AUTOR
Lisas	Laminar	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Poiseulle
Lisas y rugosas	Turbulento $5 \cdot 10^{-3} \leq Re \leq 10^8$ $10^{-6} \leq Rr \leq 10^{-2}$	$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{Rr}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$	Fanno
Lisas	Turbulento $Re < 100.000$	$\lambda = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$	Blasius
Lisas	Turbulento (zona de transición)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10}(Re\sqrt{\lambda}) - 0.8$	Karman-Prandtl (1 ^{era} ecuación)
Rugosas	Turbulento (zona final)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Colebrook
Rugosas		$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \frac{D}{\varepsilon} + 1.74$	Karman-Prandtl (2 ^{da} ecuación)

Fuente: C. Matalx, Mecánico de fluidos y maquinas hidráulicas.

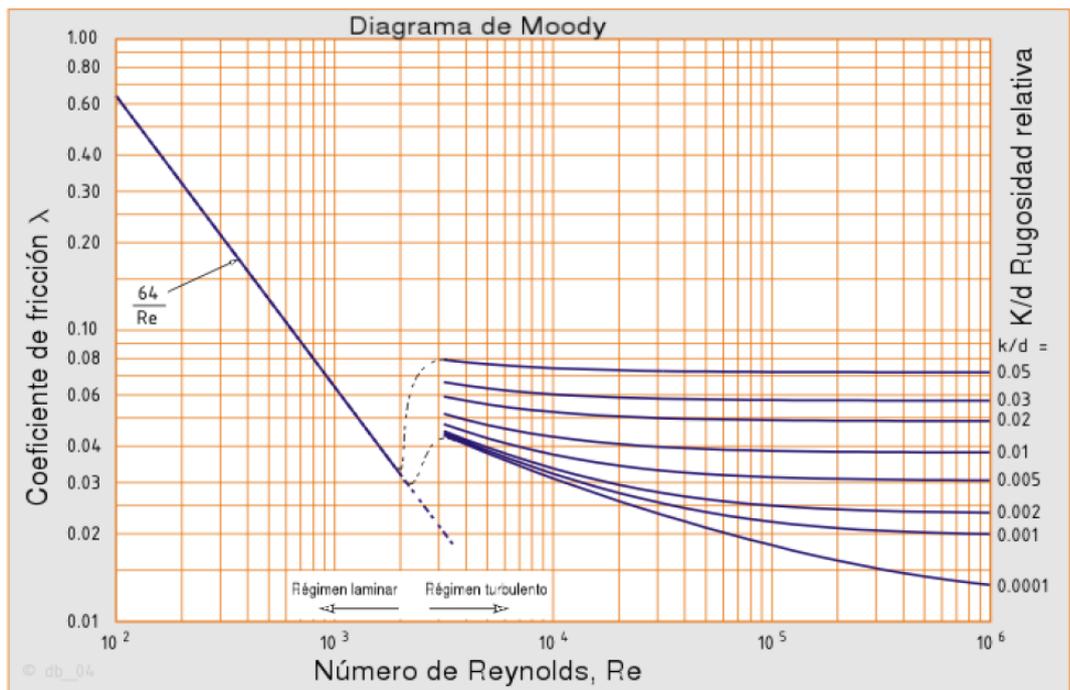
Este coeficiente “ λ ” también puede ser determinado por una carta llamada Diagrama de “Moody” que expresa el factor de fricción como función de la rugosidad relativa (ϵ/D) y el número de Reynolds (Re).

Entre algunas características importantes de esta tabla podemos mencionar:

- Resuelve todos los problemas de pérdidas de carga primarias en tuberías con cualquier diámetro, cualquier material de tuberías y cualquier caudal.
- Puede emplearse con tuberías de sección no circular sustituyendo el diámetro D por el radio hidráulico R_h .
- Se usa para determinar el coeficiente “ λ ”, el cual luego se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach.

Figura 4. 2

DIAGRAMA DE “MOODY”



Fuente: www.wikipedia.org

Perdidas primarias y secundarias en las tuberías. Las pérdidas de carga en las tuberías se dividen en 2 clases: pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

Las pérdidas primarias son las pérdidas que genera la superficie en contacto con el fluido en la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en un flujo uniforme, por lo tanto, en los tramos de tuberías de sección constante.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (angostamientos, ensanchamientos, etc.), codos, válvulas, elementos de medición y toda clase de accesorios y elementos adicionales de las tuberías.

- **Ecuación general de las pérdidas primarias.** Es la pérdida de carga directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente al diámetro de la misma.

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4.4)$$

Dónde:

h_f = coeficiente de pérdida de carga primaria

L = Longitud de la tubería

D = Diámetro interno de la tubería

V = Velocidad media del fluido

La fórmula fundamental que representa lo anterior es la ecuación de Darcy-Weisbach, según la ecuación 4.4

- **Ecuación general de las pérdidas secundarias.** De uso universal en el mundo entero en los libros y formulario de hidráulica y análoga a la fórmula de Darcy-Weisbach para las pérdidas secundarias, según la ecuación 4.6

$$h_{pa} = k \frac{V^2}{2g} \quad (4.5)$$

Dónde:

h_{pa} = pérdida de carga secundaria

k = coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

V = velocidad media en la tubería, codos, válvulas, etc.

Factor k de la ecuación de pérdidas secundarias. EL coeficiente k depende del tipo de accesorio. Del número de Reynolds, de la rugosidad de la configuración de la corriente antes del accesorio. Los coeficientes que se utilizaran en el desarrollo son mencionados y mostrados en los anexos.

➤ **Automatización del riego**

Automatización convencional. Es posible automatizar cualquier sistema de riego instalado, sea cual sea la dimensión de éste, no obstante, su uso está más extendido en riegos por aspersión y difusión y en riegos localizados, sistemas estos que son los más utilizados.

Hay muchos componentes que se utilizan para la automatización los sistemas de riego, sin embargo, los elementos que más se usan de son las electroválvulas, programadores y los sensores.

Figura 4. 3

COMPONENTES PARA AUTOMATIZAR EL SISTEMA DE RIEGO



Fuente: www.rregar.com

La automatización del riego se puede realizar de muchas maneras, se puede emplear sensores, se puede realizar con sistemas automáticos modernos pero el sistema más económico y de fácil acceso es la automatización por tiempos, dado que se conoce el tiempo de riego, el volumen de agua a emplear y el agotamiento del agua en el suelo

Los sistemas de automatización por tiempos se basan en la determinación y programación del tiempo de duración del riego, para que el sistema suministre el volumen de agua necesario para el adecuado estado de las plantas.

Para la programación de este método de automatización de riego se utiliza las necesidades de las plantas, el área del aspersor en trabajo y el caudal necesario para que estos funcionen, transcurrido el tiempo determinado, el riego se detiene automáticamente.

Para automatizar un riego por aspersión podríamos hacerlo de la siguiente manera:

- Siempre se debe considerar un pulsador de arranque y de parada de emergencia de la bomba. Los tiempos que se

calculen en el diseño agronomico servirán para ingresar a los relojes de los temporizadores y poder programarlos. Además se debe tener en cuenta algún mecanismo de seguridad básico, como aquellos que paran la bomba si hay una sobrepresión (señal de que no se han abierto las electroválvulas) o si hay ausencia de presión en la red (señal de alguna rotura).

Lo óptimo sería tener controlado el grupo de bombeo con un variador de frecuencia, que hace arrancar el motor en la medida y proporción de la demanda de agua.

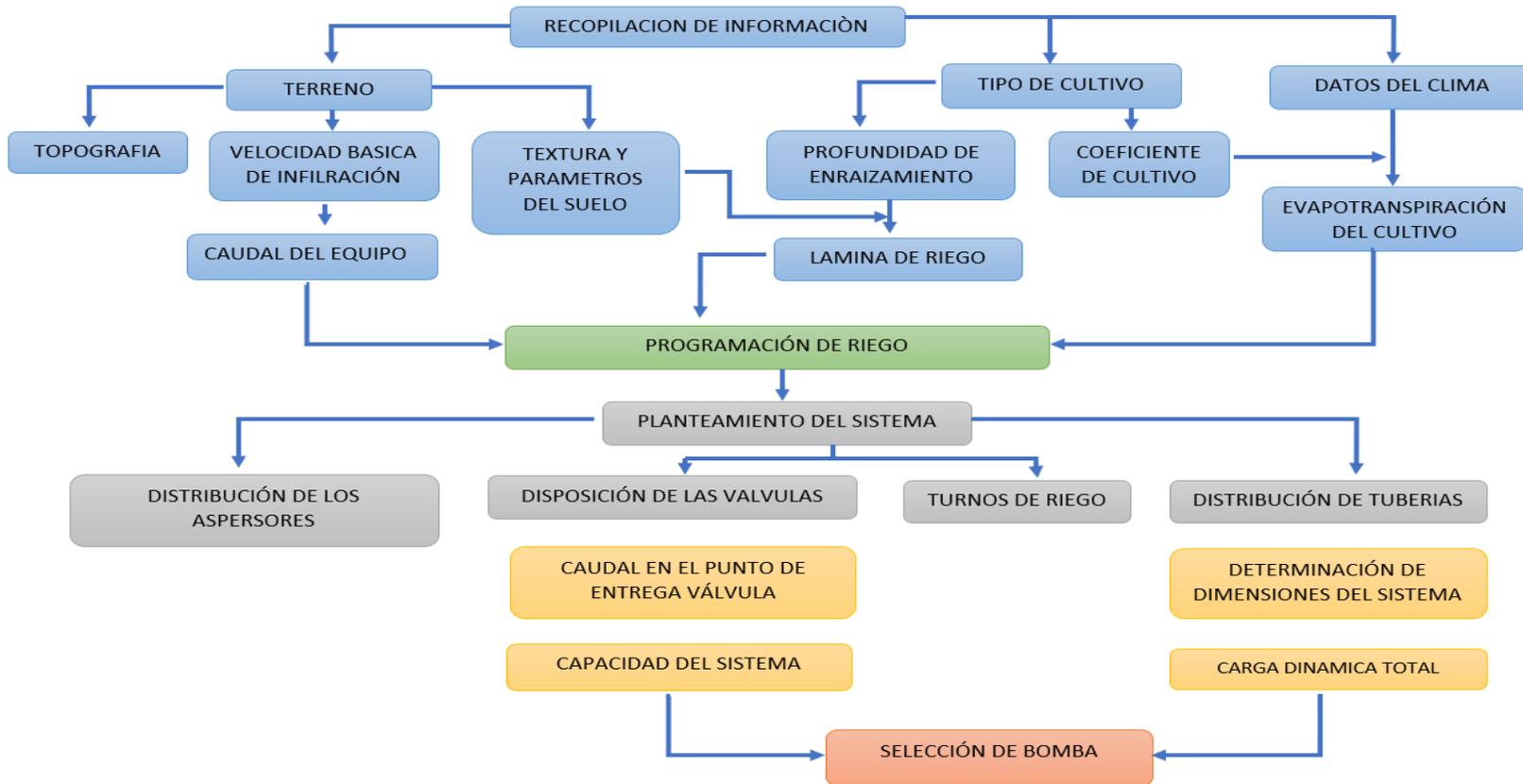
- Organizar nuestro sistema de tuberías generales de forma que tengamos una toma de la tubería general por cada bloque de riego.
- Instalar una red de electroválvulas que, para evitar tirar cableado, podemos hacerlas funcionar con pilas y programarlas vía radio con un programador manual.

Con este sistema podemos programar que las electroválvulas vayan abriendo y cerrando de acuerdo a las necesidades de aplicar los riegos.

4.1.3. Ingeniería de detalle

En la Figura 4.4 se realiza un bosquejo o esquema de los procesos y pasos que se necesita para realizar el diseño agronómico y el diseño hidráulico del diseño del sistema de riego por aspersión automatizado, el esquema termina con la selección de la bomba el cual es el equipo fundamental para el funcionamiento del sistema.

Figura 4. 4
ESQUEMA DEL DISEÑO DETALLADO



Fuente: Elaboración propia

4.2. Población y muestra

Población: Es el parque en Lima en la zona Av. Separadora Industrial en el distrito de Ate Vitarte regados por sistema de canales y el método de riego por inundación; el cual viene a ser la misma que la muestra.

4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de la información documental

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de la información de campo

Los datos serán recolectados mediante la técnica documental a través de la recopilación cuantitativa y cualitativa de diferentes documentos de empresas e instituciones que registren datos e información estadística de su funcionamiento (libros, revistas, memorias, actas, etc.) utilizando instrumentos como fichas bibliográficas, videográficas, cibergráficas, fichas de trabajo, registros de sistemas de gestión, etcétera.

4.5. Análisis y procesamiento de datos

4.5.1. Diseño y construcción del sistema de riego tecnificado por aspersión

Tabla N° 4. 3

PARÁMETROS DISPONIBLES DE DISEÑO DE LA PARCELA

PARAMETROS DISPONIBLES DE DISEÑO DE LA PARCELA	
PARAMETRO	DESCRIPCION
Ubicación	Lima – Ate Vitarte
Clima	Templado
Tipo de suelo	
Tipo de cultivo	Césped
Forma del terrero	Rectangular
Sistema de riego actual	Por inundación
Sistema de riego a implementar	Por aspersión
Operación del sistema	Automatizado
Disponibilidad de energía	Si (eléctrica monofásica 220V)

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Parámetros de diseño topográfico y climático de la parcela

Algunas características de diseño pueden ser obtenidas mediante mediciones breves o datos estadísticos, las mismas que nos serán de gran utilidad.

Entre algunas de las características medibles y disponibles para nuestro diseño tenemos las siguientes:

Tabla N° 4. 4

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS DE LA PARCELA

CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS Y CLIMATICAS DE LA PARCELA				
DESCRIPCION	SIMBOLO	CANT.	UNIDAD	OBSERVACION
LARGO	L	1000	m	-
ANCHO	A	50	m	-
SUPERFICIE	S	50 000	m ²	S = LxA
PENDIENTE	M	2	%	-
ALTITUD MEDIA	h_{snm}	247	msnm	Anexo
LATITUD	Lat	35	°S	Anexo
LONGITUD	Long	71	°O	Anexo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4. 5**DATOS DEL CLIMA DEL AÑO 2017**

MES	TEMPERATURA MINIMA	TEMPERATURA MAXIMA	HUMEDAD	VELOCIDAD DEL VIENTO
Enero	21,3 °C	28,8°C	70 %	0
Febrero	20,7 °C	30,7 °C	60 %	220 km/dia
Marzo	22,4 °C	29,9 °C	73 %	190 km/dia
Abril	18,4 °C	29.1 °C	73 %	229 km/dia
Mayo	18,0 °C	25,8 °C	79 %	131 km/dia
Junio	15,4 °C	22,2 °C	80 %	250 km/dia
Julio	14,9 °C	21,3 °C	77 %	250 km/dia
Agosto	13,7 °C	20,0 °C	78 %	228 km/dia
Septiembre	13,1 °C	16,5 °C	87 %	149 km/dia
Octubre	14,3 °C	23,2 °C	77 %	330 km/dia
Noviembre	15,5 °C	23,0 °C	69 %	35 km/dia
Diciembre	17,9 °C	24,1 °C	77 %	386 km/dia

Fuente: Datos del SENAMHI según latitud y longitud (Año 2017)

4.5.3. Diseño agronómico

Para la realización del diseño agronómico, emplearemos el programa Cropwat 8.0 (Software libre disponible en internet), mismo que ayudará en el cálculo de parámetros importantes en la tecnificación del riego, en base a datos conocidos e ingresados.

• **Evapotranspiración de referencia (ETo)**

Los datos climáticos obtenidos del SENAMHI según la tabla 4.3 fueron recopilados de la estación Von Humboldt del año 2017. Como se muestra en la siguiente tabla al ingresar los datos se obtiene una evapotranspiración promedio de 2.87 mm.dia⁻¹.

Sin embargo, se puede observar que para el mes de Febrero se obtiene la máxima evapotranspiración que es el dato que se usara para calcular la máxima demanda del sistema de riego.

Tabla N° 4. 6

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA MEDIANTE CROPWAT

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	21.3	28.8	70	0	5.4	19.1	3.69
February	20.7	30.7	60	220	5.3	17.5	5.01
March	22.4	29.9	73	190	0.0	8.1	2.89
April	18.4	29.1	73	229	5.1	11.9	3.24
May	18.0	25.8	79	131	5.2	9.4	1.91
June	15.4	22.2	80	250	5.3	8.3	1.75
July	14.9	21.3	77	250	5.3	8.8	1.89
August	13.7	20.0	78	228	0.3	5.8	1.80
September	13.1	16.5	87	149	3.5	11.7	1.80
October	14.3	23.2	77	330	3.7	14.4	3.24
November	15.5	23.0	69	35	4.4	17.1	3.16
December	17.9	24.1	77	386	5.3	19.2	4.10
Average	17.1	24.6	75	200	4.1	12.6	2.87

Fuente: Elaboración propia

• **Datos del cultivo (césped)**

La información sobre los coeficientes para especies de jardín es muy escasa, lo que dificulta el cálculo. Utilizando el manual de Serie de Riego y Drenaje de la FAO N°24 se presenta los siguientes datos.

Tabla N° 4. 7
COEFICIENTE DE CULTIVO PARA EL CÉSPED

Cultivo	$K_{c\text{ int}}^1$	$K_{c\text{ mod}}$	$K_{c\text{ fin}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
Pastos (césped, turfgrass)				
– época fría ¹⁵	0,90	0,95	0,95	0,10
– época caliente ¹⁵	0,80	0,85	0,85	0,10

Fuente: Manual de Serie de Riego y Drenaje de la FAO N°24 Pg 133

Tabla N° 4. 8
RESULTADOS DEL COEFICIENTE DEL JARDÍN

Tipo de vegetación	Coeficiente de jardín (Kj)			
	Ke	Kd	Km	Kj
Arboles	0.5	1.0	1.0	0.5
Arbustos	0.5	1.0	1.0	0.5
Herbáceas y flores	0.5	1.1	1.0	0.55
Césped	0.90	1.0	1.0	0.90

Fuente: Elaboración propia

El Kd (coeficiente de densidad) está en función de las especies que se encuentran en el parque; para el caso de Arboles el Kd = 1.0, de la misma manera para el caso de herbáceas y flores por tener una densidad alta el valor es de Kd = 1.1. Para el caso del Km (Coeficiente del microclima), el parque al tener zonas cercanas a infraestructuras y carreteras, se estima unas condiciones de microclima medias para el parque, por tanto, Km = 1.

Se observa en la tabla 4.8 los resultados del coeficiente de jardín para cada tipo de vegetación. Siendo el de mayor valor el del césped.

Evapotranspiración real

Se calculó la evapotranspiración, por lo tanto, se consideró el máximo requerimiento hídrico correspondiente al mes de febrero, resultado el césped el que tiene mayor consumo de agua.

Tabla N° 4. 9

EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL PARQUE

Tipo de vegetación	Kj	ET _o (mm/día ⁻¹)	ET _p (mm/día ⁻¹)
Arboles	0.5	5.01	2.505
Arbustos	0.5	5.01	2.505
Herbáceas y flores	0.55	5.01	2.7555
Césped	0.90	5.01	4.509

Fuente: Elaboración propia

Dosis, frecuencia y tiempo de riego

Considerando las características físicas del suelo y la profundidad de la planta, se determinaron los parámetros que caracterizan el riego.

Tabla N° 4. 10

DATOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO AGRONÓMICO

Datos	Unidad	Cantidad
Kc césped	-	0.90
Salinidad	Mg l ⁻¹ sales solubles	640
Velocidad del viento	Ms ⁻¹	
Humedad a capacidad de campo	%	18
Humedad punto de marchitez perm.	%	8
Profundidad radicular (z)	M	0.2
Eficiencia de aplicación	%	80%
Coeficiente de agotamiento	%	40%
Velocidad de infiltración básica (Vi)	mm.hr ⁻¹	18
Jornada de trabajo	Hr.día ⁻¹	10
Densidad aparente (Da)	Ton.m ³	1.58

Fuente: Elaboración propia

Lamina neta y lamina bruta de riego

Con los datos ingresados obtenidos se procedió a calcular la lámina bruta y neta en función al tipo de cubierta vegetal, en este caso el césped; para ello se consideró como porcentaje de agotamiento del 40 por ciento (Allen et al. 2006).

Tabla N° 4. 11
LÁMINA NETA Y LAMINA BRUTA

CC (%)	PM (%)	da (g/cm ³)	DT (%)	Pr (cm)	Ln (mm)	Lb (mm)
18	8	1.58	40	20	12.64	15.8

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo una lámina neta de 12.64 mm.día⁻¹, dividido entre la eficiencia de aplicación 80 por ciento se obtuvo una lámina bruta 15.80 mm.día⁻¹.

En el caso de los árboles se recomienda un riego pesado cada 15 días o semanal para profundizar el agua y evitar que las raíces se desarrollen de manera superficial.

Frecuencia y tiempo de riego

Como se puede apreciar en la tabla 4.12 para los meses de invierno el intervalo de riego es cada siete días con un promedio de cuarenta minutos de tiempo de riego, mientras que para para verano el intervalo de riego es de cuatro días con cincuenta minutos de riego y el mes que presenta un mayor tiempo de riego es en junio.

Tabla N° 4. 12
RESULTADOS DE DISEÑO AGRONÓMICO

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Eto (mm.dia ⁻¹)	3.69	5.01	2.89	3.24	1.91	1.75	1.89	1.80	1.80	3.24	3.16	4.10
Precip. efectiva (mm.dia ⁻¹)	0.2	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0
Kc	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Etc (mm.dia ⁻¹)	3.32	4.51	2.60	2.91	1.72	1.57	1.70	1.62	1.64	2.92	2.84	3.7
Lamina neta (mm.dia ⁻¹)	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64
Eficiencia de aplicación	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Lamina bruta (mm.dia ⁻¹)	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80
Intervalo entre riegos (días)	3.81	2.80	4.86	4.34	7.35	8.05	7.43	7.80	7.70	4.33	4.45	3.41
Tiempo de riego (hrs)	0.69	0.63	0.72	0.81	0.83	0.87	0.82	0.79	0.79	0.81	0.79	0.77

Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Diseño hidráulico

Elección del aspersor a utilizar

Para la elección del aspersor consideraremos como base principal la gama disponible en el mercado, ya que en la actualidad existen diversas marcas que nos ofrecen una amplia variedad de aspersores de acuerdo a las necesidades del cultivo y del dimensionamiento del terreno. El alcance de un aspersor es generalmente el primer criterio de selección, seguido del caudal de agua requerido para el cultivo.

Tabla N° 4. 13

ASPERSOR METÁLICO A IMPACTO DE CÍRCULO COMPLETO Y PARCIAL

Tabla de rendimiento				Tabla de rendimiento			
Boquilla mm	P bar	Q m ³ /h	D m	Boquilla mm	P bar	Q ₂ m ³ /h	D m
5.0 x 3.2	4.0	2.580	35	5.0	4.0	1.900	35
	5.0	2.660	38		5.0	2.090	38
	6.0	3.110	40		6.0	2.270	40
5.5 x 3.2	4.0	2.850	37	5.5	4.0	2.270	37
	5.0	3.190	39		5.0	2.510	39
	6.0	3.350	41		6.0	2.730	41
6.0 x 3.2	4.0	3.360	37	6.0	4.0	2.670	37
	5.0	3.730	40		5.0	2.980	40
	6.0	4.070	42		6.0	3.230	42
6.3 x 3.2*	4.0	3.560	39	6.3*	4.0	2.890	39
	5.0	3.960	42		5.0	3.210	42
	6.0	4.310	45		6.0	3.490	45
7.0 x 4.2	4.0	4.560	40	7.0	4.0	3.530	40
	5.0	5.050	44		5.0	3.910	44
	6.0	5.500	48		6.0	4.260	48
7.5 x 4.2	4.0	5.090	41	7.5	4.0	4.070	41
	5.0	5.670	46		5.0	4.530	46
	6.0	6.150	50		6.0	4.860	50
8.5 x 4.2	4.0	6.180	43	8.5	4.0	5.210	43
	5.0	6.820	47		5.0	5.810	47
	6.0	7.440	51		6.0	6.310	51

* Boquilla standard

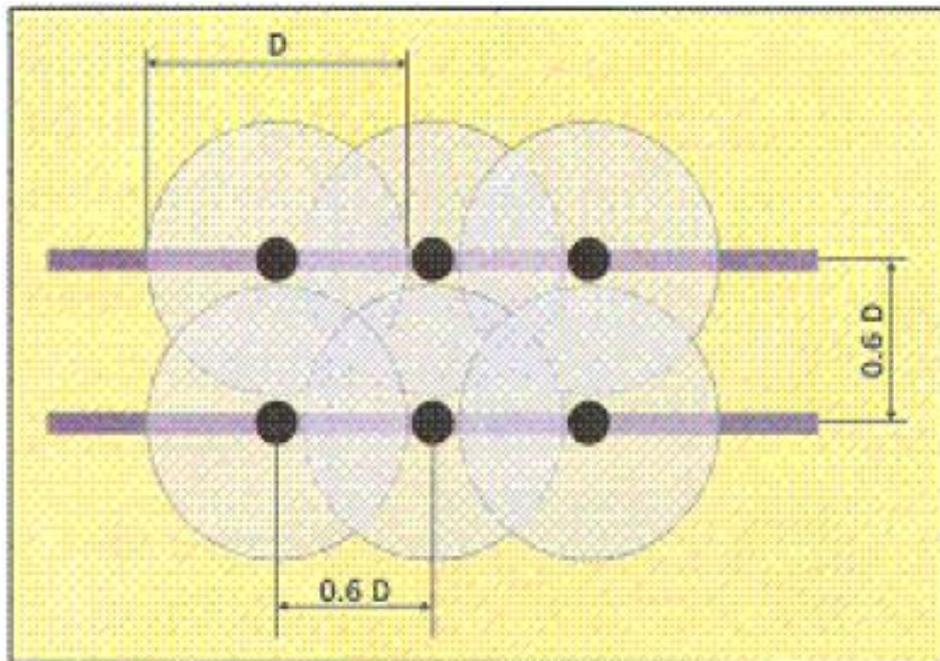
Fuente: Catalogo de aspersor "Cultivo de campo" Pg 16

Disposición de aspersores en el cultivo

La distribución de los aspersores en la parcela fue determinada en base a la eficiencia de riego obtenida por el marco de riego, siendo la más ventajosa la distribución cuadrangular, desde el punto de vista de distribución de la lluvia y los efectos del viento.

Figura 4. 5

DISTRIBUCIÓN SELECCIONADO DE LOS ASPERSORES PARA EL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO

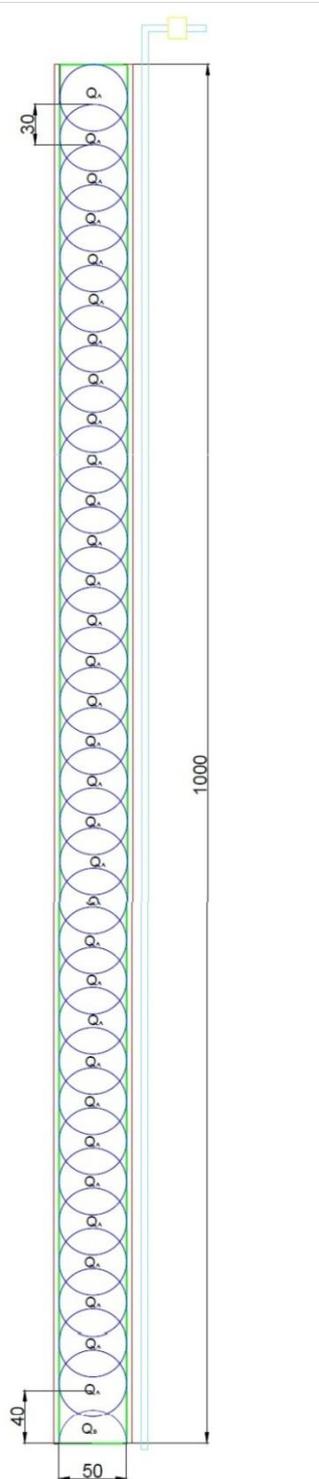


Fuente: www.ingenieriarural.com

En base a dicha distribución, y con el alcance circular del aspersor seleccionado obtenemos la ubicación respectiva de los aspersores, así como el número de ramales para su respectiva alimentación.

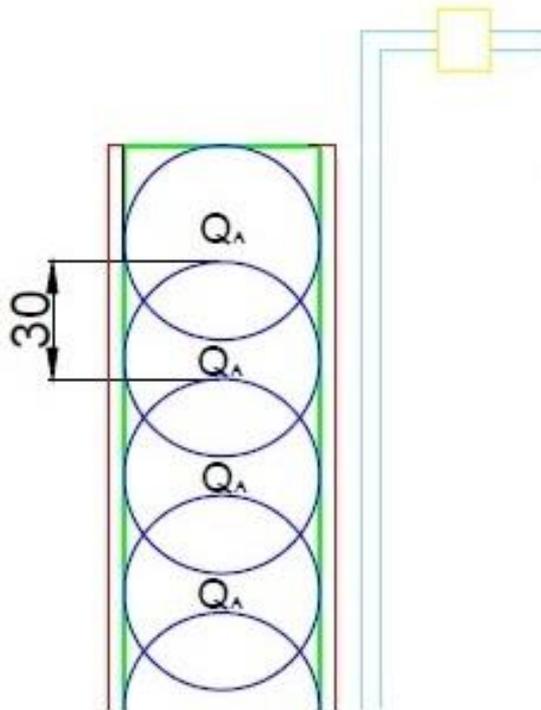
Figura 4. 6

ESQUEMA DE POSICIÓN DE ASPERSORES Y SU FUNCIONAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 7
SEPARACIÓN DE ASPERSORES



Fuente: Elaboración propia

Calculo del caudal requerido

Caudal requerido

Para obtener este dato sumamos los caudales de los aspersores que van a trabajar en el primer accionamiento al arranque, como el sistema va consistir en una secuencia de tres electroválvulas energizadas entonces consideramos tres aspersores para el caculo del caudal requerido, como resultado tendremos los galones por minuto necesarios que el equipo de bombeo tendrá que entregar al sistema.

$$Q_T = 3Q_{ASP} = 3 \times 7,440 \text{ m}^3/\text{h} = 22,332 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{264,2 \text{ gl}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 98,335 \text{ GPM}$$

De la Tabla obtenemos (Anexo 2)

$$D = 110\text{mm}$$

$$P_c = 0.50$$

$$V = 0.74 \text{ m/s}$$

$$Q = 103 \text{ GPM}$$

$$Q = V \times A$$

$$22,332 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} = V \times \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$22,332 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} = V \times \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{110}{1000}\right)^2$$

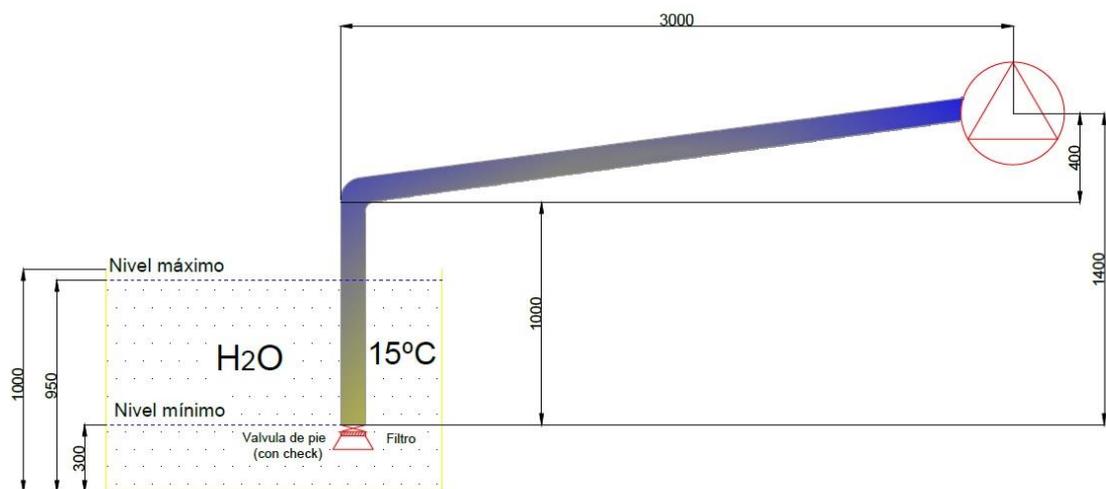
$$V = 0,6527 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Altura estática de succión

Para el cálculo de la altura de succión se va considerar el lugar donde se encuentra la boquilla y el filtro de sedimentos hasta la posición donde se encuentra el equipo de bombeo, además es necesario analizar diferentes factores como la cantidad de accesorios (tees, codos, válvulas, tipo de tubería). Se calcula las pérdidas que se van a generar en la succión y que mas adelante sumadas a las pérdidas de descarga nos ayudaran a seleccionar el equipo adecuado.

Figura 4. 8

ESQUEMA DE SUCCIÓN DEL SISTEMA



Fuente: Elaboración propia

Calculo de las pérdidas por succión:

Es aquella altura que viene de la suma de la separación que hay entre el líquido y la tubería que conecta al sistema o la entrada del fluido a la bomba.

$$h_{es} = 1,4m$$

Rugosidad

$$\varepsilon = 0,0001 \text{ mm} \quad \varepsilon = 10^{-6}m \text{ (Tabla 4.1)}$$

Viscosidad cinemática "θ". Es aquel calculo que se obtiene de tablas, se podrá relacionar la temperatura que circula por el ambiente con el fluido propiamente dicho, para determinar cuál es la variación y resistencia que presenta el flujo a fluir por los conductos y accesorios.

$$\text{Anexo 3} \quad T = 15 \text{ }^\circ\text{C} \quad \theta = 1,146 \times 10^{-6}m$$

Rugosidad relativa "R_r". La rugosidad relativa es un parámetro adimensional que obtendremos al dividir la rugosidad absoluta del material utilizado en la tubería y el diámetro obtenido en procedimientos anteriores, como sigue a continuación:

$$R_r = \frac{\varepsilon}{ds} = \frac{10^{-6}m}{110 \times 10^{-3}m} = 9,090 \times 10^{-6}$$

Número de Reynolds "Re". Se hace referencia a este cálculo ya que con este dato podremos determinar mediante la fórmula de Swamee-Jain o por medio del diagrama de Moody el coeficiente de fricción presente:

Calculo del Reynold

$$R_e = \frac{Vs \times ds}{\theta} = \frac{0,6527 \frac{m}{s} \times 110 \times 10^{-3}m}{1,146 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$R_e = 6,26 \times 10^4$$

Coefficiente de fricción "λ". Según lo mencionado en el marco teórico y las formulas que se muestran en el capítulo cuatro, utilizaremos la ecuación de Fanno que nos ayudara a obtener el coeficiente de fricción como se muestra a continuación.

Ecuación de Fanno:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{Rr}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{9,090 \times 10^{-6}}{3,7} + \frac{5,74}{(6,26 \times 10^4)^{0,9}}\right)\right]^2} = 0,01978$$

Pérdidas de carga por fricción "h_{fS}". Utilizando la conocida fórmula de Darcy-Weisbach y utilizando los datos que hemos obtenido con anticipación, procedemos de la siguiente manera:

$$h_{fS} = \frac{\lambda L V_S^2}{ds 2g} = \frac{0,01978 \times 4,4m \times (0,6527 \frac{m}{s})^2}{(110 \times 10^{-3}) 2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,01717965 m$$

Pérdidas de carga por velocidad "h_{vs}" (carga cinética). Los regímenes de velocidad del fluido son tomados en cuenta arrojando el siguiente resultado:

$$h_{vs} = \frac{V_S^2}{2g} = \frac{(0,6527 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,02171$$

Pérdida de carga por accesorios "has". Las pérdidas por accesorios son aquellas generadas a lo largo del sistema por cada tramo por donde circula el fluido y va presentado resistencia, con la ayuda de tablas (Anexo 4 y 5) estos valores son normados y tomando aquellos diagramas se obtiene:

Válvula de pie	K = 0,8	
Unión universal	K = 0,08	
Codo 90°	K = 0,6	∑ K = 3,98
Reducción	K = 1	

Filtro

$$K = 1,5$$

$$h_{as} = \sum K \left(\frac{V_s^2}{2g} \right) = \sum K h_{vs} = 3,98x(0,02171)$$

$$h_{as} = 0,0864$$

Pérdidas totales en la succión “ h_s ”. Es la sumatoria de las perdidas calculadas anteriormente, no muestra la cantidad perdidas que tiene el sistema solo al momento de succionar el líquido, presentara una resistencia en metros de columna de agua como se muestra a continuación.

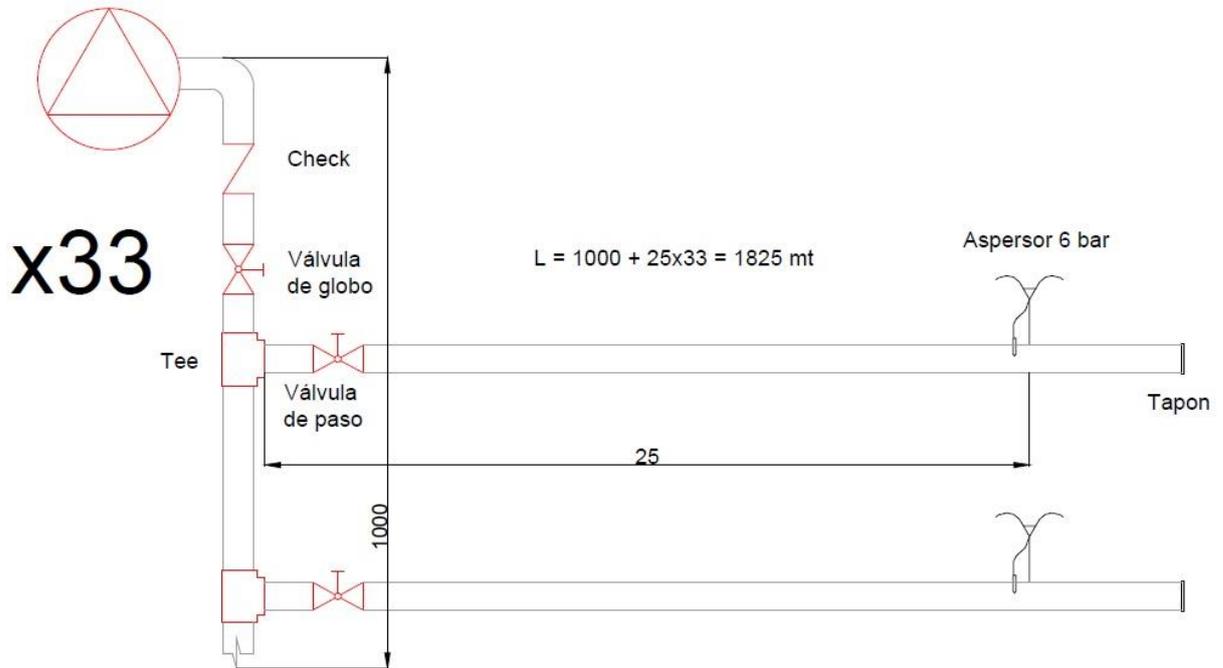
$$h_s = h_{es} + h_{fs} + h_{vs} + h_{as}$$

$$h_s = 1,4m + 0,01717965m + 0,02171m + 0,0869m$$

$$h_s = 1,52529m$$

Cálculo de las pérdidas en la descarga. Se utilizara el mismo modelo y las mismas ecuaciones para hallar las perdidas en la descarga, nuevamente utilizaremos los mismos anexos y la ecuación de fanno para hallar el coeficiente de fricción, y se tomara que para esta parte del sistema se tiene una mayor resistencia debido a la cantidad de accesorios presentes en el mismo según lo detalla la siguiente figura 4.9 como se muestra a continuación.

Figura 4. 9
ESQUEMA DE DESCARGA EN EL SISTEMA



Fuente: Elaboración propia

$$Q = 22,332 \frac{m^3}{h}$$

Tabla $D = 90mm$

$P_c = 1,40$

$V = 1,13 \text{ m/s}$

$$Q = VxA$$

$$22,332 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600 s} = V \times \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$22,332 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600 s} = V \times \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{90}{1000}\right)^2$$

$$V = 0,975102 \frac{m}{s}$$

Rugosidad

$\epsilon = 0,0001 \text{ mm}$

$\epsilon = 10^{-6}m$ (Tabla 4.1)

Viscosidad cinemática

$$R_r = \frac{\varepsilon}{d_D} = \frac{10^{-6}m}{90 \times 10^{-3}m} = 1,1111 \times 10^{-5}$$

Reynold

$$R_e = \frac{V_s \times d_D}{\theta} = \frac{0,975102 \frac{m}{s} \times 90 \times 10^{-3}m}{1,146 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$R_e = 7,6 \times 10^4$$

Coefficiente fricción

$$\lambda = \frac{0,25}{[\log(\frac{R_r}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}})]^2} = \frac{0,25}{[\log(\frac{1,1111 \times 10^{-5}}{3,7} + \frac{5,74}{(7,6 \times 10^4)^{0,9}})]^2} = 0,01896$$

Perdidas por fricción

$$h_{fs} = \frac{\lambda L V_s^2}{ds 2g} = \frac{0,01896 \times (1000+25 \times 3)m \times (0,975102 \frac{m}{s})^2}{(90 \times 10^{-3}) 2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 10,975021 m$$

Perdidas de carga por velocidad

$$h_{vs} = \frac{V_s^2}{2g} = \frac{(0,97510 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,048462m$$

Perdida por accesorios

Ampliación

$$K = 1$$

Codo 90°

$$K = 0,6$$

Válvula check

$$K = 2,4$$

$$\sum K = 99$$

Válvula globo

$$K = 18$$

Válvula paso (35) $K = 0,2 \times 33 = 6.6$

Tee $K = 2 \times 33 = 66$

$$h_{aD} = \sum K h_{vs} = 94,6 \times (0,048462)$$

$$h_{aD} = 4,5845 \text{ m}$$

Altura estática de descarga

$$P_{asp} = 6 \text{ bar} \times \frac{10,197 \text{ mmH}_2\text{O}}{1 \text{ bar}} = 61,182 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$h_{eD} = 1,5 \text{ m} + 61,182 \text{ m} = 62,682 \text{ m}$$

Pérdidas totales en la descarga h_D

$$h_D = h_{eD} + h_{fD} + h_{vD} + h_{aD}$$

$$h_D = 62,682 + 10,975021 + 0,048462 + 4,5845$$

$$h_D = 78,28998 \text{ m}$$

Cálculo de la altura total de trabajo de la bomba "H". Es el valor obtenido de la sumatoria de todas las perdidas, con este dato podremos seleccionar el equipo adecuado para que el sistema trabaje satisfactoriamente.

$$H = h_D + h_s = 78,28998 + 1,52529$$

$$H = 80,02845 \text{ m}$$

Potencia de la bomba

$$n = 75\% = 0,75$$

$$Q = 22,332 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Y = 1,001 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P_B = \rho g Q H_B$$

$$P_B = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times \frac{1h}{3600 s} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 22,332 \frac{m^3}{h} \times 80,02845 m$$

$$P_B = 4870,107316 w$$

$$P_B = \frac{4870,107316 w}{0,75} \times \frac{1,3402 HP}{1w}$$

$$P_B = 8,71663 HP$$

Con el dato de la potencia obtenida se procede a realizar la selección de la bomba a utilizar, para poder encontrar el adecuado en los catálogos del fabricante se procede a calcular el NPSH disponible (Altura neta positiva en la aspiración)

Calculo del NPSH

Para una temperatura promedio de la localidad (Según SENAMHI con latitud y longitud)

Para T=15°C

Presión de Vapor

$$P_V = 1,666 P_a \frac{0,101974 m}{10^3 Pa}$$

$$P_V = 0,169889 m$$

Presión barométrica

Según tabla (Anexo 8) $P_{B(450 m.s.n.m)} = 720 mmHg$

$$P_B = 9,7951 m.c.a$$

$$NPSH_{(d)} = P_B - (h_{es} + h_{fs} + h_{VS} + P_V)$$

$$NPSH_{(d)} = 9,7951 - (h_s + P_V)$$

$$NPSH_{(d)} = 9,7951 - (1,52529 + 0,169889)$$

$$NPSH_{(d)} = 8,1026 \text{ m}$$

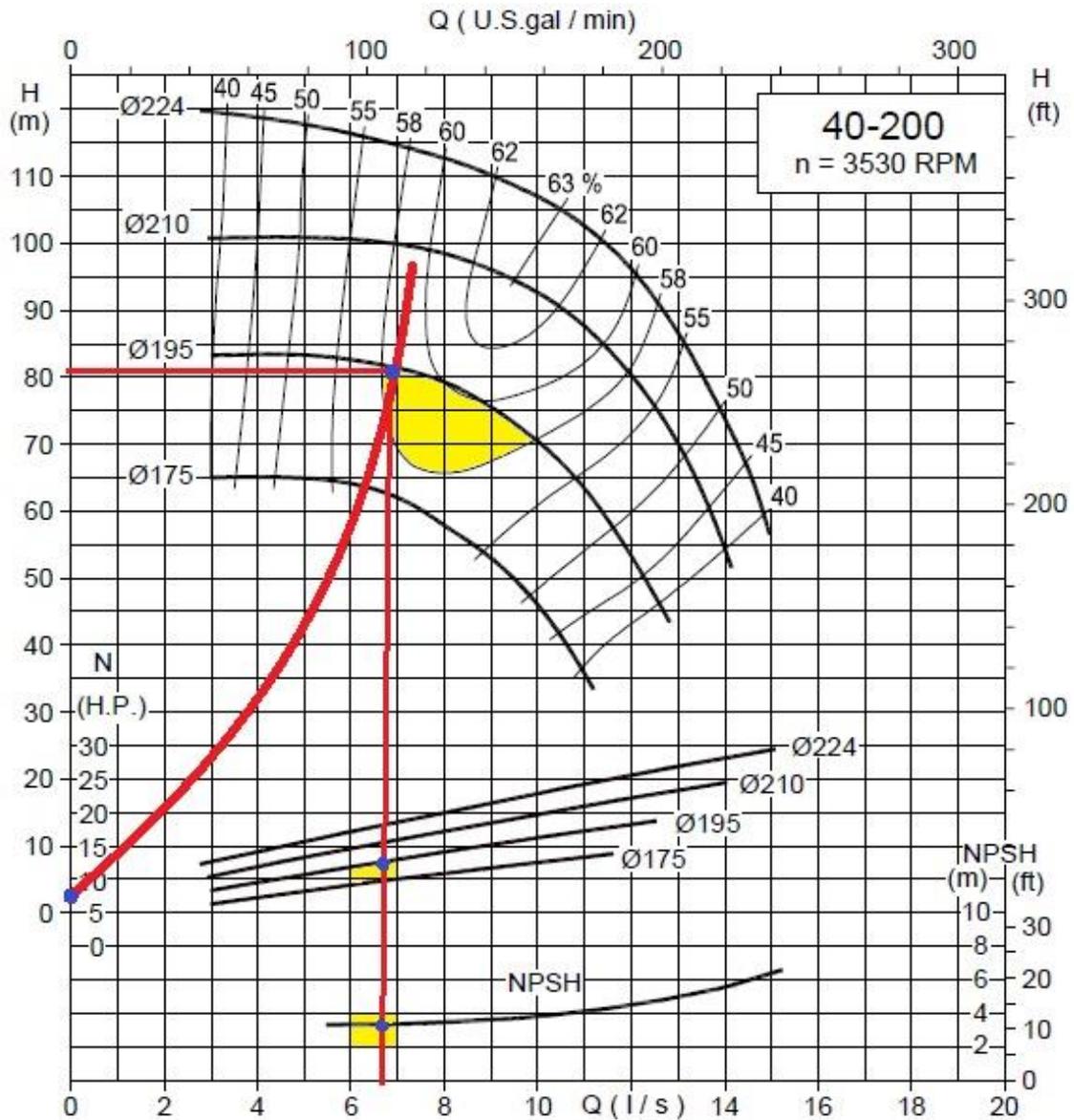
Se grafica la curva del sistema y la interceptamos con la curva del fabricante y obtenemos la Figura 4.10, donde se puede observar la intersección de los la curva con los datos del catálogo.

Se obtiene que para un caudal de 22,332 m³/h y una altura de la bomba de 80,02845 m.

- Caudal 6.5 L/s
- Altura 80 m
- Eficiencia 58%
- Potencia máxima 13 HP
- Velocidad 3530 RPM
- $NPSH_{(r)} = 3.5 \text{ m}$

Figura 4. 10

CURVA DEL SISTEMA VS CURVA DEL FABRICANTE



Fuente: Catalogo bombas marca: Hidrostral, interceptado con las curvas obtenidas del sistema.

Cálculo de agua empleada para riego actual:

Área total = Largo x Ancho

Area total = 1000 m x 50 m = 50 000 m²

Consumo de agua por metro cuadrado:

Según (Oscar Paz Campusano (Diario Comercio) – Marzo 2017).

$$\text{Consumo} = 4 \text{ L/m}^2$$

Cantidad de agua total empleada para riego

$$\text{Volumen} = \text{Consumo} \times \text{Área}$$

$$\text{Volumen} = 4 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} \times 50\,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen} = 200\,000 \text{ Litros} = 200 \text{ m}^3$$

Calculo de agua empleada con el sistema de riego:

Tabla N° 4. 14

CONSUMO MENSUAL EN UN SOLO RIEGO

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tiempo (hrs)	0.69	0.63	0.72	0.81	0.84	0.88	0.83	0.78	0.79	0.81	0.79	0.77
Volumen (m ³)	15.4	14.0	16.1	18.1	18.7	19.5	18.5	17.6	17.6	18.1	17.6	17.2

Fuente: Elaboración propia

El máximo consumo por el riego realizado con el sistema es en el mes de junio, se obtuvo 19,5 m³ de consumo de agua para riego.

4.1.1. Diseño eléctrico y de programación

Para el planteamiento del diseño eléctrico y en cuanto a la parte eléctrica se refiere, se resumió a específicamente el accionamiento o forma de operar del sistema de aspersión.

El proceso de automatización se desarrolló mediante un mando manual y un automático que realizaran las tareas de riego de forma lógica y además permitirá que el usuario pueda operarlo cuando lo desee.

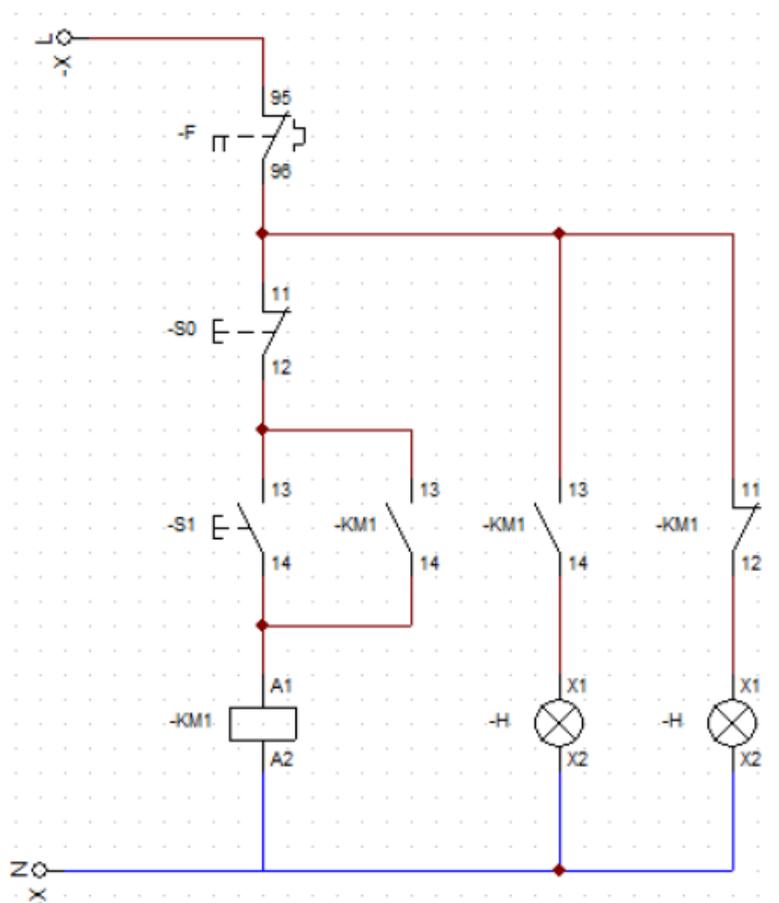
Las tareas y la programación corresponden al diseño agronómico y a los datos obtenidos anteriormente.

Accionamiento manual.

Se realizó el arranque directo de una bomba, de tal manera que cuando se presione el pulsador S1 N/A (normalmente abierto) active a un contactor KM1 y que permanezca encendido, luego para apagar el sistema se utilizó un pulsado S0 N/C que desactive la bomba, cada pulsador tiene sus respectivas luces piloto indicadores de posición, rojo en estado OFF y verde en estado ON.

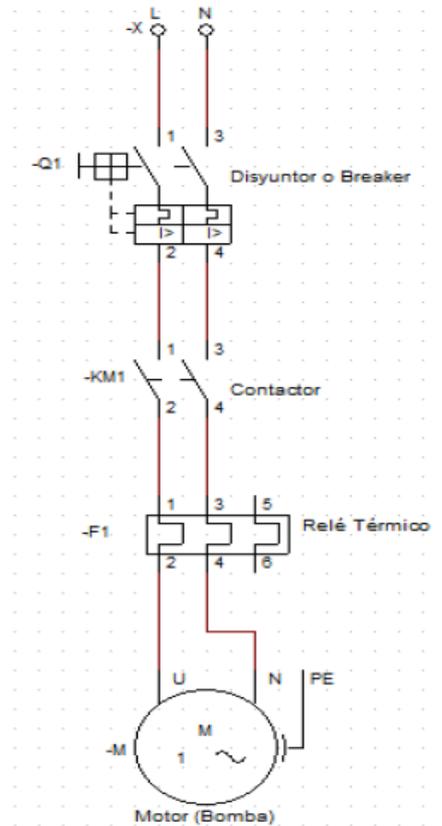
Figura 4. 11

CIRCUITO DE MANDO DE ARRANQUE DIRECTO DE LA BOMBA



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 12
CIRCUITO DE POTENCIA DEL ARRANQUE DE LA BOMBA



Fuente: Elaboración propia

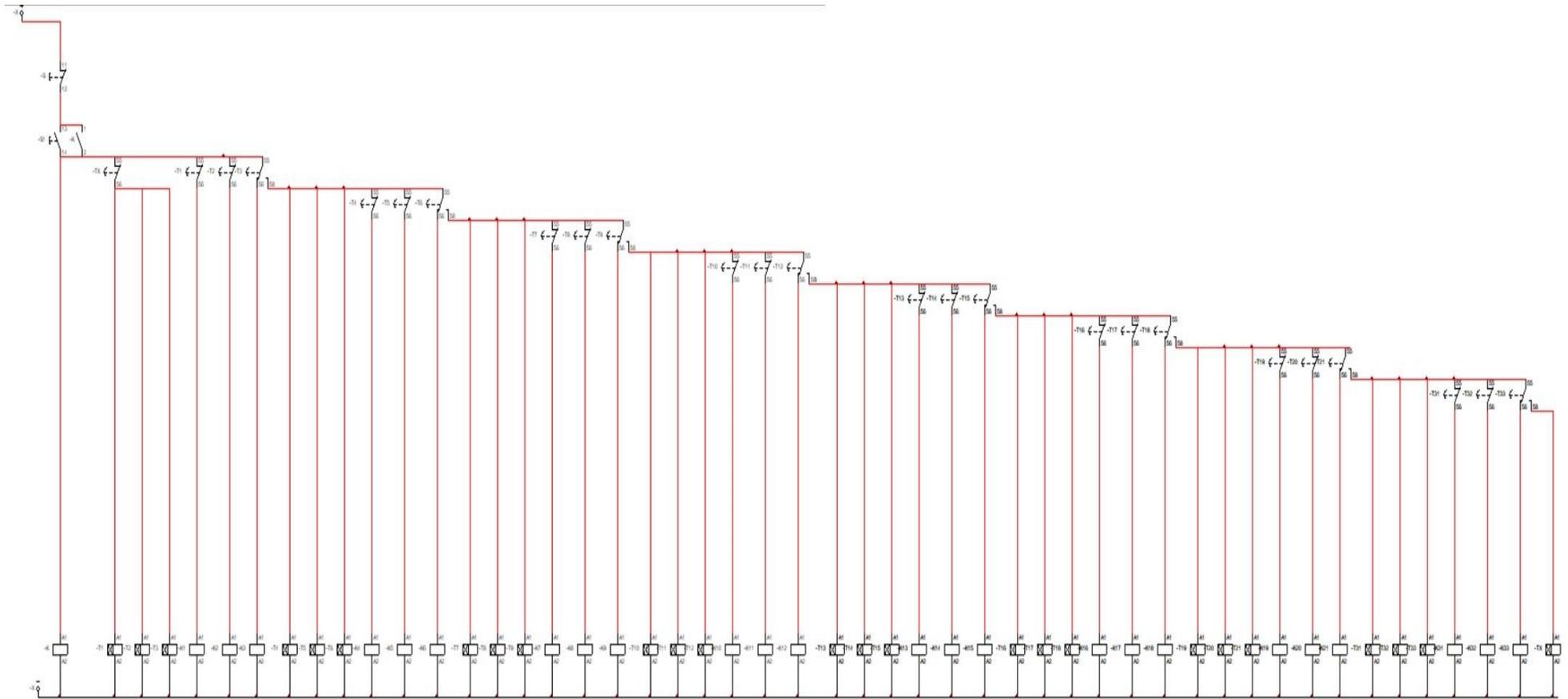
Accionamiento automático

Se desea un arranque directo automático de una bomba, de tal manera que encienda según el cronograma de la tabla 4.10, el pulsador S1 N/A energiza el sistema y activa las primeras salidas, alimentando de energía las tres primeras bobinas K1,K2 y K3, transcurrido el tiempo de los tres primeros ramales estos se desenergizaran y accionaran las tres bobinas siguientes K4,K5 y K6 , así sucesivamente hasta cumplir la totalidad de los treinta y tres ramales, este encendido puede detenerse al accionar el pulsador S N/C como una medida de paro premeditado o para activar voluntariamente el mando manual del sistema, si se desea al pulsar nuevamente S1 el sistema volverá a su funcionamiento nuevamente.

Al final del circuito se coloca un temporizador que estará programado para volver a iniciar el sistema nuevamente de manera automática.

Figura 4. 13

DIAGRAMA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL RIEGO



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

RESULTADOS

1. Cobertura Vegetal

El parque cuenta con 5 hectáreas donde se encuentra la especie más predominante que es el césped, se puede apreciar una cobertura de Grass americano, grama común, árboles, arbustos y herbáceas. El parque no cuenta con estructura definida en su diseño; es por ello que se selecciona la cobertura de diseño de grass americano.

2. Fuente de energía

El parque tiene una red de energía cerca disponible, que satisface la demanda de energía del sistema de riego e 20,9 KVA por el sistema de bombeo. Este sistema se utilizará en los horarios de menos consumo del parque de 6 pm a 5am.

3. Evapotranspiración de referencia

Los datos climáticos (temperatura, radiación, humedad, insolación y viento) fueron recopilados de la estación Von Humboldt para el periodo del 2017, luego se calculó la evapotranspiración con el software Cropwat. Según la tabla 4.5 podemos apreciar que la mayor evapotranspiración de referencia tiene un valor de 5.01 mm/día, dato usado para calcular la máxima demanda del sistema de riego. Además, la evapotranspiración potencial anual obtenida es 2,87 mm/día; lo que significa que se necesita 2,87 L/día por cada metro cuadrado para satisfacer la pérdida de humedad de la superficie.

4. Selección del aspersor

El equipo de aspersion seleccionado fue un aspersor metálico a impacto. El equipo es totalmente manufacturado en aleación de bronce para una óptima durabilidad. Tiene un mecanismo plástico de direccionamiento a prueba de taponamiento para mayor alcance y emisión de gotitas resistentes al viento. Además de una protección integral contra riesgo de arena y polvo.

5. Dosis, frecuencia y tiempo de riego.

Según la tabla 4.10 para los meses de enero el sistema regara durante 41,5 minutos cada 3 días, en el mes de febrero el sistema regara durante 37,5 minutos cada 2 días, en el mes de marzo el sistema regara durante 43,3 minutos cada 4 días, en el mes de abril el sistema regara durante 48,6 minutos cada 4 días, en el mes de mayo el sistema regara durante 50,1 minutos cada 7 días, en el mes de junio el sistema regara durante 52,5 minutos cada 8 días, en el mes de julio el sistema regara durante 49,6 minutos cada 7 días, en el mes de agosto el sistema regara durante 47,2 minutos cada 7 días, en el mes de septiembre el sistema regara durante 47,2 minutos cada 7 días, en el mes de octubre el sistema regara durante 48,6 minutos cada 4 días, en el mes de noviembre el sistema regara durante 47,4 minutos cada 4 días, en el mes de diciembre el sistema regara durante 46,1 minutos cada 10 días.

6. Numero de aspersores

Según el esquema de la figura 4.8, la cantidad de aspersores que se utilizó para el diseño es de treinta y tres equipos, que se distribuyeron como se aprecia en el esquema.

7. Sistema hidráulico, red y conducción.

El caudal total a emplear el sistema es de $22,332 \frac{m^3}{h}$, la altura total de la bomba considerando todas las perdidas en el sistema es de 80,02845 m. Con estos datos se calculó la potencia de la bomba necesaria se obtuvo 8,71663 HP, además de un $NPSH_{(a)}$ disponible de 8,1026 m; por lo tanto, debemos seleccionar una bomba de mayor potencia mencionada líneas arriba y que el $NPSH_{(r)}$ por el fabricante sea menor que el calculado.

Las tuberías que se seleccionaron fueron de PVC de diámetros de 110 mm para la red principal y 90 mm para los ramales.

8. Consumo de agua

Con el consumo de agua actual empleado para el riego de parque se utiliza una cantidad de agua equivalente a 200 m³ y si se emplea el sistema de riego por aspersión automatizado el máximo consumo según la tabla 4.12 es de 19.5 m³

9. Sistema eléctrico y automatización

Se utilizó un diseño mediante el uso de temporizadores (Temporizador On Delay y Off Delay), el sistema iniciara al pulsar el botón de encendido y se accionarán las tres primeras electroválvulas dejando ingresar el caudal a los tres primeros aspersores, luego seguirán los tres siguientes y así sucesivamente hasta llegar a completar el riego total de las 5 hectáreas del parque e iniciando nuevamente de acuerdo al tiempo de programación según tabla 4.10 programación.

CAPITULO VI

DISCUSION DE RESULTADOS

De la exposición de resultados, podemos deducir que los resultados obtenidos presentan un noventa por ciento de ahorro en el consumo de agua con el sistema de riego por aspersión automatizado y controlado con intervalos y tiempos de riego.

6.1. Contrastación de la hipótesis

Diseñando un sistema de riego por aspersión automatizado mediante etapas y parámetros de diseño, entonces si se podrá obtener un ahorro en el consumo de agua en el riego del parque de la Avenida Separadora Industrial - Vitarte

6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

Dentro del marco de la investigación del ingeniero Cárdenas Martha (2011) de la escuela superior politécnica del litoral (ESPOL) – Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción en su proyecto de fin de carrera **“Diseño e Instalación de un Sistema de Riego por Aspersión para 50 Ha. De Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Provincia del Guayas”** para el cálculo y selección de la tubería y del equipo de bombeo a utilizar se tuvieron en cuenta los diferentes parámetros hidráulicos determinantes de los resultados y, en definitiva, de la calidad de la instalación proyectada y realizada por lo tanto se puede aseverar que el desarrollo del trabajo y los cálculos empleados en el trabajo tienen un alto grado de validez.

Dentro del marco de la investigación del ingeniero Freddy Matheus (2011) en su trabajo de grado para el título de Ingeniero Agrícola de la Universidad de los Andes **“Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en un sector de la finca “Estapape”, parroquia La Quebrada, Municipio Urdaneta, Estado Trujillo“** para el diseño hidráulico utilizo dos áreas diferentes de la parcela, obteniendo así un mejor rendimiento y

una menor capacidad de bomba para suministrar el caudal, por lo tanto se puede aseverar que en el desarrollo del trabajo se utilizó el mismo esquema de una separación de cada tres ramales, para uniformizar y emplear un riego por etapas para reducir el caudal necesario y obtener menores diámetros en la red de tubería.

6.3. Responsabilidad ética

El presente trabajo se encuentra dentro del marco normativo del Ministerio del Ambiente, la cual mediante una resolución ministerial N.º 072-2017-MINAM indica lo siguiente "El Estándar de Calidad Ambiental debe asegurar que los ecosistemas funcionen, y el Gobierno debe velar porque se respeten los parámetros a fin de mejorar la calidad ambiental, eliminando los riesgos para la salud de las personas y el ambiente. La norma mejorará la aplicación de dichos parámetros"

Por lo tanto, mi trabajo cumple con las necesidades indicadas, preservando el consumo de agua empleada para el riego, además de mejorar la calidad ambiental.

Además, todas las bases teóricas presentes en este trabajo esta referenciada para el consentimiento informado apropiado y se utiliza los mejores métodos para el desarrollo de los cálculos y el planteamiento del diseño.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de riego por aspersión automatizado que satisface las necesidades hídricas del parque de la Avenida Separadora Industrial y además reduce el consumo de agua empleada para el riego en un noventa por ciento debido a que se emplea el agua de manera controlada con tiempos de operación establecidos y automatizados.
- Se obtuvo un caudal de 22,332 m³/h para todo el sistema, de esta manera se pudo seleccionar las tuberías principales y los ramales del diseño; para este caso se utilizó tubería de PVC de los siguientes diámetros 110 mm y 90 mm respectivamente. Además, el aspersor a utilizar es uno metálico de impacto de 6 bar y un caudal de 7,44 m³/h.
- La caída de presión o altura total del sistema es de 80,028 m y se necesita una potencia de 8.72 HP. Entonces en el catálogo de bombas de la marca Hidrostral se seleccionó el modelo 40-200 de 20 HP de potencia nominal. La cual abastece en su totalidad el caudal necesario para el riego.
- El sistema de riego por aspersión se automatizo de manera que los ramales que funcionen sean consecutivamente de grupos de tres, para así aligerar el caudal suministrado y además poder asegurar un mayor control en el accionamiento de las electroválvulas. Se realizó un diseño con el uso de temporizadores y con el cálculo de los parámetros de riego (frecuencia y dosis de riego)

RECOMENDACIONES

1. El diseño del sistema de riego es parte de una serie de medidas a tomar para optimizar el uso del recurso hídrico. En el caso del riego de cactáceas, arbustos y otras especies de menor consumo de agua comparada con el grass, habría un exceso de agua por lo cual se recomienda planificar la distribución de las plantas bajo el criterio de hidrozonas, con la finalidad de sectorizar las áreas por necesidades de agua. Otras medidas son el uso de especies xerófilas que permitan el ahorro de agua, en algunos hasta del 70 por ciento. Para ello también es menester conocer las necesidades hídricas del jardín de una manera más precisa, por ello se requieren los valores del coeficiente de especie ajustados a la realidad de la zona.
2. Para garantizar un mejor funcionamiento, se recomienda un análisis de transitorios para determinar la variación de presión por el cierre brusco de las válvulas, y con ello ubicar las válvulas necesarias para evitar el golpe de ariete.
3. El agua y la energía son recursos cada vez más preciados. Por tanto, es muy importante aumentar la eficiencia energética en los elementos que consumen energía. Es por ello se recomienda realizar un estudio de optimización energética del sistema de riego con el objetivo de valorar la disminución del consumo energético evaluando otras alternativas de operación.
4. Analizar las ventajas y desventajas que caracterizan a cada una de las diversas posibilidades, puesto que todas ellas han sido diseñadas con el fin de optimizar los recursos disponibles de acuerdo a las necesidades agronómicas, antes de realizar una implementación de riego tecnificado.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- AECID (Agencia Española de Cooperación internacional para el Desarrollo). 2009.
- Allen, R.G.;Pereira, L,: Raes, D,: Smith M. 2006.**Evapotranspiración de cultivo, Guías para la determinación de agua de los cultivos. Riego y Drenaje. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.** Roma. 323 p.
- Arapa, Q. J-B. 2009. **Sistema de riego a presión**, Teoría y problemas. Universidad Nacional Agraria la Molina. 196 p.
- Campos, JC; Lora, E; Meriño, L; Tovar, I; Navarro, Alfredo. **Ahorro de energía en sistemas de bombas centrifugas.** Colombia. 34 p. Consultado el 15 de Diciembre. 2017. Disponible en el siguiente link <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/bombas.pdf>
- Cranne, L. d. (s.f.). **Tablas factores k de fricción.** Obtenido de http://www.cepes.org.pe/legisla/Legislacion_aguas_general.htm
- De la Fuente, I.; Calleja, F. 2013. **Instalación de sistemas de riego en parques y jardines.** Bogotá Colombia. 1 Ed. 254 p.
- Franco, A.; Pérez, L. 2008. Hidráulica y riegos (en línea). Sevilla. Universidad de Sevilla. Consultado noviembre del 2015. Disponible en <http://ocwus.us.es/ingenieriaagroforestal/hidraulica-y-riegos>
- García, I.; Briones, G. 1997. **Sistemas de riego por aspersión y goteo.** 263 p.
- Hispavista, G. (s.f.). **Alturas de aspiracion minimas.** Obtenido de <http://galeon.com/elregante2/npsh.html>
- Ignacio Garcia Casillasc (2007). **Sistema de riego por aspersión y goteo**
- Jose Maria Tarjuelo Martin – Benito (2005). **El riego por aspersión y su tecnología**
- Keller, J., and A.W MacCullogh. 1962. **Ames Irrigation Handbook.** W. R. Ames Company Milpitas. California.

- Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema de riego por goteo. España P., F. U. (2008). ***Mecánica de Fluidos II***. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Matheus, F.2011. **Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de papa (*solanum tuberosum*) en un sector de la finca “ESTAPAPE”, sector estapape, parroquia la quebrada, municipio Urdaneta, estado Trujillo**. Tesis ing. Agrícola. Universidad de los Andes. Trujillo, 94 p.
- Meza, C., K-B. 2014. **Planeamiento, diseño y evaluación técnico económico del sistema de riego del programa de frutales-fundo en la universidad nacional agraria la molina**. Lima, Perú, 199 p.
- Muncharaz, P., M. 2013. **Proyecto y diseño de áreas verdes**. Mundi Prensa. Madrid-España.470 p.
- Ramos, R. M.; Báez, R. D. 2013. Tesis. **Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el cantón Cevallos**. Tesis ing. de mantenimiento. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba Ecuador. 133 p.
- Peña, A. M. 2010. **Diagnóstico, diseño y evaluación económica del sistema de riego por aspersión del bosque el olivar**. Tesis ing. Agrícola. Lima-Perú, Unalm,136
- Pizarro, F.1996. **Riesgos Localizados de alta frecuencia (RLAF)**.510p
- Rázuri, R. L. 2015. Curso: **Selección de equipos de bombeo para sistemas de riego**. Universidad Nacional agraria la molina. 382 p.
- Torres, R. L. 2016. **Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque “Los bomberos” en el distrito de Cieneguilla-Lima**. Tesina Ing, Agrícola. Lima, Perú. 97 p.

ANEXOS

ANEXO I

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		VARIABLES E HIPOTESIS		DISEÑO METODOLÓGICO		
REALIDAD PROBLEMÁTICA	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN
<p>El agua empleada para el riego en los parques de las municipalidades es generalmente suministrada a través de sistemas o canales de riego, estos utilizando de una manera irregular el consumo de agua; es mal administrada y malgastada. Utilizan un sistema de riego por inundación y muchas veces el propio personal de la municipalidad a través de plásticos distribuyen el agua por todo el parque.</p> <p>Las Municipalidades y su planteamiento de un sistema de riego para los parques en muchos casos solo está orientada a medidas que generen beneficios a corto plazo en el sentido económico.</p> <p>Este trabajo tiene como finalidad realizar el diseño de un sistema de riego por aspersión automatizado para ser instalado en el parque ubicado en la Avenida Separadora Industrial, distrito de Vitarte.</p> <p>Con el trabajo que se está realizando se beneficiara principalmente a la comunidad cercana a dicho parque, se generara un ahorro de agua que se transformara en un ahorro económico para la Municipalidad de Ate. Los sistemas de riego modernos siempre son una gran atracción de las personas; lo cual beneficiara al distrito.</p>	<p>Problema general:</p> <p>¿Cómo un diseño de sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m³/h permite ahorrar consumo de agua en el parque de la Avenida Separadora Industrial en el distrito de Vitarte?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>PE1: ¿Cómo calcular el sistema hidráulico para obtener el caudal necesario de riego?</p> <p>PE2: ¿De qué manera se puede determinar la pérdida de presión para seleccionar la bomba adecuada?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Demostrar como un diseño de sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m³/h permite ahorrar consumo de agua en el parque de la Avenida Separadora Industrial en el distrito de Vitarte</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>OE1: Calcular el sistema hidráulico para obtener el caudal necesario de riego.</p> <p>OE2: Determinar la pérdida de presión en el sistema de red de tuberías para seleccionar la bomba adecuada.</p>	<p>Hipotesis general:</p> <p>Si se diseña un sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m³/h en el parque de la Avenida Separadora Industrial en Vitarte se generará un ahorro en el consumo de agua empleado para el riego.</p> <p>Hipotesis específicas</p> <p>HE1: Con los cálculos obtenidos para el desarrollo del sistema hidráulico se obtendrá el caudal necesario.</p> <p>HE2: Si determinamos la pérdida de presión en el sistema, entonces se seleccionará la bomba adecuada.</p>	<p>VI: Sistema de riego por aspersión automatizado mediante el cual el agua cae en forma de lluvia sobre las plantas.</p> <p>VD: Ahorro de agua Disminuir el consumo de agua empleado para el riego.</p> <p>Dimensiones</p> <p>Sistema hidráulico Dimensionamiento y distribución de las tuberías y equipos a utilizar.</p> <p>Caudal de riego Cantidad de agua suministrada para el riego.</p> <p>Pérdida de presión Cauda de presión debido a la fricción.</p> <p>Selección de bomba Equipo adecuado de acuerdo a las necesidades</p>	<p>Recopilación de información, tesis nacionales, bibliografía, documentos de empresas. Software Cropwat 8.0</p> <p>Bibliografía sobre diseño hidráulico y cálculo de consumo de agua (Hidrodinámica, caudal) Libro sobre mecánica de fluidos.</p> <p>Caudalímetro, flujómetro. Historial solicitado de registro de consumo a la entidad.</p> <p>Catálogo de tuberías, Catálogo de pérdidas por fricción, Catálogo de aspersores.</p> <p>Información solicitada a la entidad (caudal). Libro sobre mecánica de fluidos.</p> <p>Cálculos y teorías sobre pérdidas por fricción en tuberías.</p> <p>Manual de equipo, Catálogo de bombas. Teorías sobre selección de bombas.</p>	<p>Según el objeto de estudio el tipo de investigación es APLICADA TECNOLÓGICA, ya que mediante el estudio se realiza la resolución de un problema o problemas específicos. Según los medios de detención de datos el tipo de investigación es BIBLIOGRÁFICA DOCUMENTAL, ya que, mediante recolección y selección de material empírico impreso y gráfico, servirá de fuente para la investigación que se desarrolla.</p> <p>Según el nivel de conocimiento y manipulación de variables el tipo de investigación es EXPERIMENTAL SIMULADO, ya que se realiza una investigación en base a desarrollos y cálculos y no lo contrastamos con la realidad.</p> <p>Según el nivel de medición y naturaleza de la información es de tipo CUANTITATIVA, ya que mediante magnitudes numéricas obtenemos la resolución a los problemas planteados.</p> <p>Según el tiempo el tipo de investigación es SINCROÓNICA, ya que se analiza el problema concurrentemente en un corto periodo de tiempo.</p> <p style="text-align: center;">PARAMETROS DEL DISEÑO</p> <p>Parámetros de diseño:</p> <p>Caudal GPM</p> <p>Diámetro de tuberías (M)</p> <p>Número de ramales</p> <p>Número de aspersores</p> <p>Intervalo de riego (DÍAS)</p> <p>Potencia (HP)</p> <p>Tiempo de riego, (MIN)</p> <p>Pérdidas totales (M)</p> <p>Etapas de diseño:</p> <p>Análisis de problema: Se realiza una exploración de campo para verificar la situación y realizar el planteamiento del problema.</p> <p>Recopilación de información: Una vez definido nuestras variables procedemos a recolectar la información de nuestra unidad de análisis.</p> <p>Realizar los cálculos: Empezamos a revisar los marcos teóricos y conceptuales que nos ayudaran en el desarrollo de nuestros objetivos y procedemos a calcular los parámetros en cuestión.</p> <p>Selección de componentes: Una vez hallado las características de los materiales a utilizar, seleccionamos los componentes de acuerdo a las necesidades del mercado nacional.</p>

Fuente: Elaboración propia

ANEXO II

DIÁMETRO DE TUBERIAS Y PERDIDA DE CARGA

PÉRDIDAS DE CARGA PARA TUBERÍAS DE PVC

Cálculos de la pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

D. Nominal (mm)		75		90		110		125		140		160	
Caudal		Pc	V										
lps	gpm												
3.0	48	0.81	0.75	0.33	0.52								
3.5	55	1.07	0.87	0.44	0.61								
4.0	63	1.37	1.00	0.57	0.70								
4.5	71	1.71	1.12	0.71	0.78								
5.0	79	2.08	1.25	0.86	0.87								
5.5	87	2.48	1.37	1.02	0.96	0.37	0.63						
6.0	95	2.91	1.50	1.20	1.04	0.43	0.69						
6.5	103	3.38	1.62	1.40	1.13	0.50	0.74						
7.0	111	3.87	1.75	1.60	1.22	0.58	0.80	0.31	0.62				
7.5	119	4.40	1.87	1.82	1.30	0.65	0.86	0.35	0.66				
8.0	127	4.96	2.00	2.05	1.39	0.74	0.91	0.40	0.71				
8.5	135	5.55	2.12	2.29	1.48	0.83	0.97	0.44	0.75				
8.6	136	5.67	2.15	2.34	1.49	0.84	0.98	0.45	0.76	0.26	0.60		
8.7	138	5.79	2.17	2.40	1.51	0.86	0.99	0.46	0.77	0.26	0.61		
8.8	139	5.92	2.20	2.45	1.53	0.88	1.00	0.47	0.78	0.27	0.62		
9.0	143	6.17	2.25	2.55	1.56	0.92	1.03	0.49	0.80	0.28	0.63		
10.0	159			3.10	1.74	1.12	1.14	0.60	0.88	0.34	0.70		
11.0	174			3.70	1.91	1.33	1.26	0.71	0.97	0.41	0.77	0.21	0.59
12.0	190			4.35	2.09	1.56	1.37	0.84	1.06	0.48	0.84	0.25	0.65
13.0	206			5.04	2.26	1.81	1.48	0.97	1.15	0.56	0.91	0.29	0.70
14.0	222			5.78	2.43	2.08	1.60	1.12	1.24	0.64	0.98	0.34	0.76
15.0	238			6.57	2.61	2.36	1.71	1.27	1.33	0.72	1.05	0.38	0.81
16.0	254					2.66	1.83	1.43	1.41	0.82	1.12	0.43	0.86
18.0	285					3.31	2.06	1.78	1.59	1.02	1.27	0.53	0.97
20.0	317					4.03	2.28	2.16	1.77	1.23	1.41	0.65	1.08
22.0	349					4.80	2.51	2.58	1.95	1.47	1.55	0.77	1.19
24.0	380					5.64	2.74	3.03	2.12	1.73	1.69	0.91	1.30
26.0	412							3.51	2.30	2.01	1.83	1.06	1.40
28.0	444							4.03	2.48	2.30	1.97	1.21	1.51
30.0	476							4.58	2.65	2.62	2.11	1.38	1.62
32.0	507									2.95	2.25	1.55	1.73
34.0	539									3.30	2.39	1.73	1.83
36.0	571									3.67	2.53	1.93	1.94
38.0	602									4.05	2.67	2.13	2.05
40.0	634											2.34	2.16
42.0	666											2.56	2.27
44.0	697											2.80	2.37
46.0	729											3.04	2.48
48.0	761											3.28	2.59
50.0	793											3.54	2.70
52.0	824											3.81	2.81
54.0	856											4.09	2.91

PC: Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100m de tubería
 V: Velocidad en metros por segundo (m/s)
 C: 150 constante de H-W
 CÁLCULO EN BASE A DIÁMETROS INTERNOS DE TUBERÍA BAJA PRESIÓN
 lps: Litros por segundo
 gpm: Galones por minuto.

ANEXO III

PARAMETROS DEL AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS

Valores a T= 15°C

	ρ	μ	ν	K	σ	ρ_v
°C	kg/m ³	N·s/m ² ·10 ⁻³	m ² /s·10 ⁻⁶	Pa·10 ⁷	N/m·10 ⁻²	Pa
0	999,9	1,792	1,792	204	7,62	588
1	999,9	1,732	1,732			
2	1000,0	1,674	1,674			
3	1000,0	1,619	1,619			
4	1000,0	1,568	1,568			
5	1000,0	1,519	1,519	206	7,54	882
6	1000,0	1,473	1,473			
7	999,9	1,429	1,429			
8	999,9	1,387	1,387			
9	999,8	1,348	1,348			
10	999,7	1,310	1,310	211	7,48	1.176
11	999,6	1,274	1,274			
12	999,5	1,239	1,240			
13	999,4	1,206	1,207			
14	999,3	1,175	1,176			
15	999,1	1,145	1,146	214	7,41	1.666
16	999,0	1,116	1,117			
17	998,8	1,088	1,089			
18	998,6	1,060	1,061			
19	998,4	1,034	1,036			
20	998,2	1,009	1,011	220	7,36	2.447
21	998,0	0,984	0,986			
22	997,8	0,961	0,963			
23	997,6	0,938	0,940			
24	997,5	0,916	0,918			
25	997,1	0,895	0,898	222	7,26	
26	996,8	0,875	0,878			
27	996,5	0,855	0,858			

ANEXO IV

COEFICIENTE DE PERDIDAS PARA ACCESORIOS

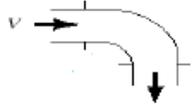
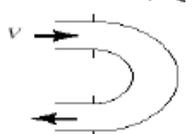
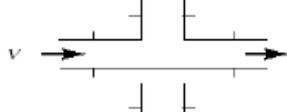
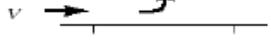
Coeficientes de pérdidas (Ks)

Válvula esférica, totalmente abierta	$K = 10$
Válvula de ángulo, totalmente abierta	$K = 5$
Válvula de retención de clapeta	$K = 2,5$
Válvula de pie con colador	$K = 0,8$
Válvula de compuerta, totalmente abierta	$K = 0,19$
Codo de retroceso	$K = 2,2$
Empalme en T normal	$K = 1,8$
Codo de 90° normal	$K = 0,9$
Codo de 90° de radio medio	$K = 0,75$
Codo de 90° de radio grande	$K = 0,60$
Codo de 45°	$K = 0,42$

ANEXO V

COEFICIENTE DE PERDIDAS PARA ACCESORIOS N° 2

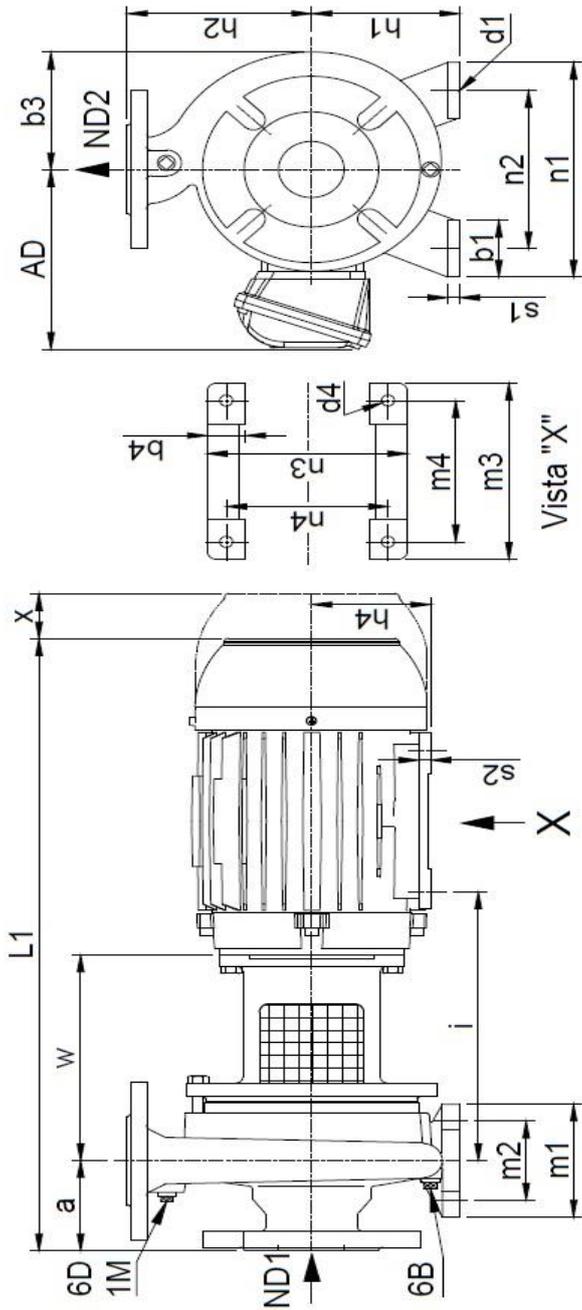
Coeficientes de pérdida para componentes de tubería $\left(h_L = K_L \frac{V^2}{2g}\right)$

Component	K_L	
a. TUBOS ACODADOS		
Regular de 90°, embridado	0.3	
Regular de 90°, roscado	1.5	
De 90° con gran radio, embridado	0.2	
De 90° con gran radio, roscado	0.7	
De 45° con gran radio, embridado	0.2	
Regular de 45°, roscado	0.4	
b. CODOS DE 180°		
Codo de 180°, embridado	0.2	
Codo de 180°, roscado	1.5	
c. CONEXIONES EN T		
Flujo de línea, embridado	0.2	
Flujo de línea, roscado	0.9	
Flujo derivado, embridado	1.0	
Flujo derivado, roscado	2.0	
d. UNION ROSCADA		
	0.08	
e. VALVULAS		
De globo, completamente abierta	18	
De ángulo, completamente abierta	2	
De compuerta, completamente abierta	0,15	
De compuerta, 1/4 cerrada	0,26	
De compuerta, 1/2 cerrada	2,1	
De compuerta, 3/4 cerrada	17	
De retención a bisagra, flujo hacia adelante	2	
De retención a bisagra, flujo hacia atrás	infinito	
De bola, completamene abierta	0,05	
De bola, 1/3 cerrada	5,5	
De bola, 2/3 cerrada	2,15	

ANEXO VI

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA SELECCIONADA

TABLA DE MEDIDAS - DIN MONOBLOCK



TIPO	FRAME IEC	HP	RPM	ND1	ND2	D2	a	b1	b3	b4	d1	d4	h1	h2	h4	i	L1	m1	m2	m3	m4	n1	n2	n3	n4	s1	s2	w	x	AD
40-200	90S	2	1730	65	40	190	100	50	145	36.5	15	10	160	180	90	238	536	100	70	131	100	265	212	164	140	10	9	182	100	157
	90L	3	1720	65	40	210	100	50	145	36.5	15	10	160	180	90	238	561	100	70	156	125	265	212	164	140	10	9	182	100	157
	100L	4	1710	65	40	224	100	50	145	40	15	12	160	180	100	245	598	100	70	173	140	265	212	188	160	10	10	182	100	167
	132M	15	3520	65	40	175	100	50	145	51	15	12	160	180	132	321	704	100	70	225	178	265	212	248	216	10	20	232	100	218
	160M	20	3530	65	40	195	100	50	145	64	15	14.5	160	180	160	340	820	100	70	254	210	265	212	308	254	10	22	232	100	264
	160M	25	3530	65	40	210	100	50	145	64	15	14.5	160	180	160	340	820	100	70	254	210	265	212	308	254	10	22	232	100	264
	160L	30	3535	65	40	217	100	50	145	64	15	14.5	160	180	160	340	864	100	70	298	254	265	212	308	254	10	22	232	100	264
	200M	40	3545	65	40	224	100	50	145	82	15	16.5	160	180	200	365	950	100	70	332	267	265	212	365	318	10	30	232	100	317

Notas: D2 = Diámetro del Impulsor 1M = Conexión para Manómetro. 6B = Tapón de Drenaje 6D = Llenado y Venteo del líquido manejado.

Fuente:

ANEXO VII

CARACTERISTICAS DEL ASPERSOR SELECCIONADO

254



254

Aspersor metalico a impacto, rosca hembra 1"

Principales aplicaciones: para todo tipo de irrigación por sobre follaje. Especialmente diseñado para sistemas de riego fijos o móviles en cultivos de caña de azúcar, remolacha azucarera, algodón, maíz, forrajes y cultivos similares

- Manufacturado totalmente en aleación de bronce para óptima durabilidad
- Excelente distribución del agua en espaciamentos de hasta 24 m
- Mecanismo plástico de direccionamiento a prueba de taponamiento para mayor alcance y emisión de gotitas resistentes al viento
- Protección integral contra ingreso de arena y polvo



254 PC (SECTORIAL)

254 PC

Aspersor plástico a impacto de círculo completo o parcial, de 1" con rosca hembra

Principales aplicaciones: para todo tipo de riego sobre el follaje. Especialmente diseñado para sistemas de riego fijos o móviles en cultivos de caña de azúcar, remolacha azucarera, algodón, maíz, forrajes y cultivos similares

- Manufacturado totalmente en aleación de bronce para óptima durabilidad
- Óptima distribución del agua en espaciamentos de hasta 24 m
- Mecanismo de direccionamiento plástico a prueba de taponamiento para mayor alcance y emisión de gotitas resistentes al viento
- Protección integral contra el ingreso de arena y polvo
- Para el riego eficiente de los bordes de campos de cultivo



Tabla de rendimiento

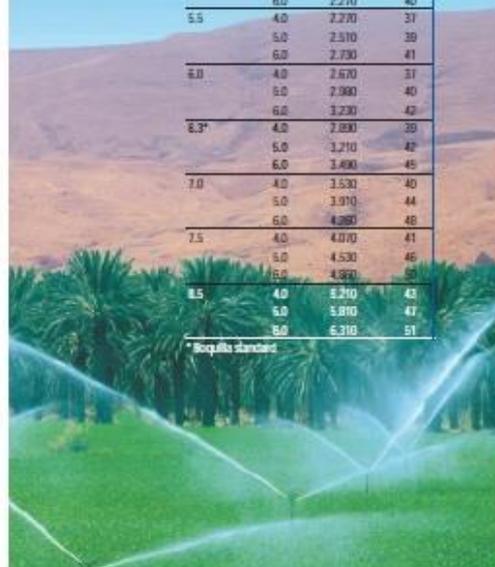
Boquilla mm	P bar	Q m ³ /h	D m
5.0 x 3.2	4.0	2.580	35
	5.0	2.660	38
	6.0	3.110	40
5.5 x 3.2	4.0	2.850	37
	5.0	3.190	39
	6.0	3.350	41
6.0 x 3.2	4.0	3.350	37
	5.0	3.730	40
	6.0	4.070	42
6.3 x 3.2*	4.0	3.560	39
	5.0	3.960	42
	6.0	4.310	45
7.0 x 4.2	4.0	4.560	40
	5.0	5.050	44
	6.0	5.500	48
7.5 x 4.2	4.0	5.090	41
	5.0	5.670	46
	6.0	6.150	50
8.5 x 4.2	4.0	6.180	43
	5.0	6.820	47
	6.0	7.440	51

*Boquilla standard

Tabla de rendimiento

Boquilla mm	P bar	Q ₁ m ³ /h	D m
5.0	4.0	1.900	35
	5.0	2.090	38
	6.0	2.270	40
5.5	4.0	2.270	37
	5.0	2.510	39
	6.0	2.730	41
6.0	4.0	2.670	37
	5.0	2.980	40
	6.0	3.230	42
6.3*	4.0	2.890	39
	5.0	3.210	42
	6.0	3.490	45
7.0	4.0	3.530	40
	5.0	3.910	44
	6.0	4.260	48
7.5	4.0	4.070	41
	5.0	4.530	46
	6.0	4.990	50
8.5	4.0	5.210	43
	5.0	5.810	47
	6.0	6.310	51

*Boquilla standard



ANEXO VIII

PRESION ATOMOSFERICA VS ALTITUD

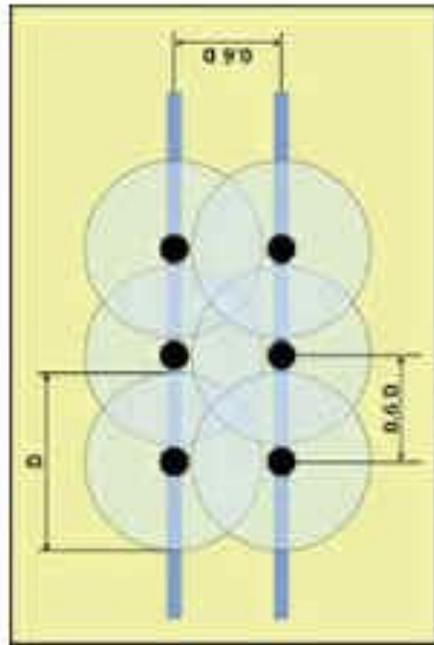
EQUIVALENCIAS DE PRESION ATOMOSFERICA SEGÚN LA ALTITUD

Altitud Metros	Presion Milibares	Altura en mm de Hg	Presion Atmosferica	Altitud Metros	Presion Milibares	Altura en mm de Hg	Presion Atmosferica
0	1013	760	1,000	3000	701	526	0,692
50	1007	756	0,994	3050	697	523	0,688
100	1001	751	0,988	3100	692	519	0,683
150	995	747	0,982	3150	688	516	0,679
200	989	742	0,977	3200	683	513	0,674
250	984	738	0,971	3250	679	509	0,670
300	978	733	0,965	3300	675	506	0,666
350	972	729	0,959	3350	670	503	0,662
400	966	725	0,953	3400	666	500	0,657
450	960	720	0,948	3450	662	496	0,653
500	955	716	0,942	3500	658	493	0,649
550	949	712	0,936	3550	653	490	0,645
600	943	707	0,931	3600	649	487	0,641
650	938	703	0,925	3650	645	484	0,637
700	932	699	0,920	3700	641	481	0,632
750	926	695	0,914	3750	637	478	0,628
800	921	691	0,909	3800	633	475	0,624
850	915	686	0,903	3850	629	471	0,620
900	910	682	0,898	3900	624	468	0,616
950	904	678	0,892	3950	620	465	0,612
1000	899	674	0,887	4000	616	462	0,608
1050	893	670	0,882	4050	612	459	0,604
1100	888	666	0,876	4100	608	456	0,600
1150	883	662	0,871	4150	604	453	0,597
1200	877	658	0,866	4200	600	450	0,593
1250	872	654	0,860	4250	597	447	0,589
1300	867	650	0,855	4300	593	445	0,585
1350	861	646	0,850	4350	589	442	0,581
1400	856	642	0,845	4400	585	439	0,577
1450	851	638	0,840	4450	581	436	0,573
1500	846	634	0,834	4500	577	433	0,570
1550	840	630	0,829	4550	573	430	0,566
1600	835	626	0,824	4600	570	427	0,562
1650	830	623	0,819	4650	566	424	0,559
1700	825	619	0,814	4700	562	422	0,555
1750	820	615	0,809	4750	558	419	0,551
1800	815	611	0,804	4800	555	416	0,548
1850	810	607	0,799	4850	551	413	0,544
1900	805	604	0,794	4900	547	411	0,540
1950	800	600	0,789	4950	544	408	0,537
2000	795	596	0,785	5000	540	405	0,533
2050	790	593	0,780	5050	537	402	0,530
2100	785	589	0,775	5100	533	400	0,526
2150	780	585	0,770	5150	529	397	0,523
2200	775	582	0,765	5200	526	394	0,519
2250	771	578	0,761	5250	522	392	0,516
2300	766	574	0,756	5300	519	389	0,512
2350	761	571	0,751	5350	515	387	0,509
2400	756	567	0,746	5400	512	384	0,505
2450	752	564	0,742	5450	508	381	0,502
2500	747	560	0,737	5500	505	379	0,498
2550	742	557	0,732	5550	502	376	0,495
2600	737	553	0,728	5600	498	374	0,492
2650	733	550	0,723	5650	495	371	0,488
2700	728	546	0,719	5700	492	369	0,485
2750	724	543	0,714	5750	488	366	0,482
2800	719	539	0,710	5800	485	364	0,479
2850	715	536	0,705	5850	482	361	0,475
2900	710	533	0,701	5900	478	359	0,472
2950	706	529	0,696	5950	475	356	0,469

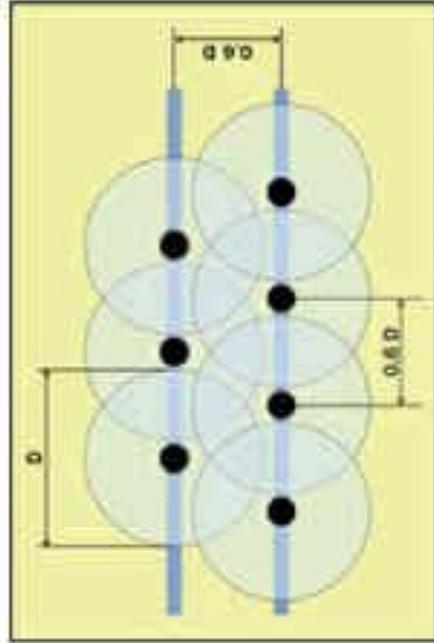
ANEXO IX

SEPARACION ENTRE ASPERSORES

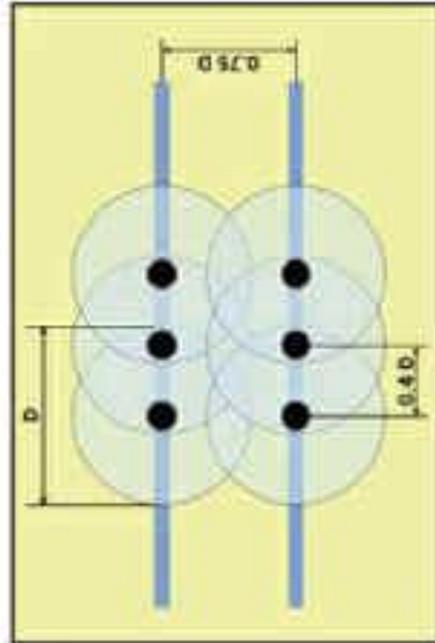
SEPARACIÓN ENTRE ASPERSORES Y RAMALES MÁS RECOMENDADAS



Marco cuadrado



Marco triangular



Marco rectangular



ANEXO X

MANUAL O GUIA PARA REQUERIMIENTO DE AGUA DE CULTIVO – FAO

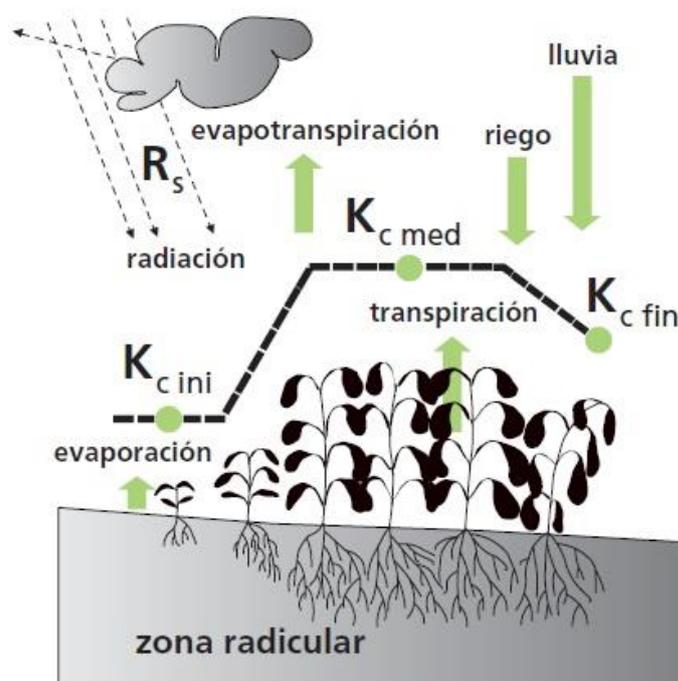
ESTUDIO FAO
RIEGO Y
DRENAJE

ESTADÍSTICAS

56

Evapotranspiración del cultivo

Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>