



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 833790

Visto el Informe N° 091-2025-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 087-2025

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN DEL PARQUE DE LOS ANILLOS PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA, DISTRITO ATE – LIMA 2023”

Presentado por:

MAYURI CAHUA, NESTOR ANTONIO

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de TRECE POR CIENTO (13%), por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 03 de Abril del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. José Luis Donayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA



Implementación del Sistema de Riego por Aspersión del Parque
de los Anillos para Reducir el consumo de agua, Distrito Ate –
Lima 2023

Línea de investigación

Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

INFORME FINAL DE TESIS

Autor:

NESTOR ANTONIO MAYURI CAHUA

Ica, Perú

2025

Dedicatoria a mi madre ,esposa y
a mi querido hermano Pablo Cesar
Mayuri Cahua por su apoyo
durante todas las etapas de mi vida.

Agradecimientos

A mis padres por su apoyo incondicional,

A mi esposa por su paciencia.

A mi hijas por ser un motivo más para crecer.

A mi hermano Pablo Cesar Mayuri Cahua.

A mis queridos hermanos.

Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos	iii
Índice.....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. Introducción.....	11
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Antecedentes de la investigación	12
1.2.1. Antecedentes internacionales	12
1.2.2. Antecedente nacional	13
1.3. Marco Teórico y Conceptual	14
II. Estrategia metodológica	31
2.1. Tipo, nivel y diseño de la Investigación.....	31
2.2. Parámetros de Diseño.....	31
2.3. Población y Muestra.....	32
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información de Campo.....	32
2.5. Análisis y Procesamiento de Información.....	32
III. Resultados	33
3.1. Etapas del Diseño.....	33
3.2. Ingeniería de Detalle	39
IV. Discusión	57
V. Conclusiones	58
VI. Recomendaciones	59

VII. Referencias bibliográficas	60
VIII. Anexo	61

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla N° I Propiedades del Tipo de Suelo
- Tabla N° II Parámetros Disponibles de Diseño de la Parcela
- Tabla N° III Coeficiente de Rugosidad Absoluta, E Para Tuberías
- Tabla N° IV Coeficiente “A”, para Cálculo de Perdidas Primarias en Tuberías
- Tabla N° V Cálculo de la Evapotranspiración de referencia mediante Cropwat
- Tabla N° VI Coeficiente de Cultivo para el Césped
- Tabla N° VII Resultados del Coeficiente del Jardín
- Tabla N° VIII Evapotranspiración del parque
- Tabla N° IX Datos Utilizados en el Diseño Agronómico
- Tabla N° X Lámina Neta y Lamina Bruta
- Tabla N° XI Resultados de Diseño Agronómico
- Tabla N° XII Aspersor Metálico a Impacto de Círculo Completo y Parcial
- Tabla N° XIII Consumo mensual en un solo riego

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1 Componentes de un sistema de riego por aspersión
- Fig. 2 Clasificación de bombas: centrífugas y volumétricas
- Fig. 3 Punto de funcionamiento de una bomba
- Fig. 4 Componentes de un aspersor
- Fig. 5 Características para el cálculo de la ET_o
- Fig. 6 Software Cropwat 8.0
- Fig. 7 Pantalla Principal Del Software Cropwat 8.0
- Fig. 8 Agua en exceso en los riegos
- Fig. 9 Gráfico de las alturas de sistema
- Fig. 10 Etapas del diseño agronómico
- Fig. 11 Diagrama de MOODY
- Fig. 12 Componentes para automatizar el sistema de riego
- Fig. 13 Esquema del diseño detallado
- Fig. 14 Distribución seleccionado de los aspersores para el sistema de riego tecnificado
- Fig. 15 Esquema de posición de aspersores y su funcionamiento
- Fig. 16 Separación de aspersores
- Fig. 17 Esquema de Succión del Sistema
- Fig. 18 Esquema de descarga en el sistema
- Fig. 19 Curva del sistema vs curva del fabricante
- Fig. 20 Circuito de mando de arranque directo de la bomba
- Fig. 21 Circuito de potencia del arranque de la bomba
- Fig. 22 Diagrama del sistema automatizado para el riego

Resumen

El parque de los Anillos cuenta con un sistema de riego por aspersión para zonas verdes, situado en la provincia de Lima, departamento de Lima, en el distrito de Ate Vitarte.

El parque cuenta con un área total de 12 ha. Se tomaron en cuenta 5 ha para el diseño del sistema de riego por aspersión. La elaboración del sistema de riego incluye los siguientes procedimientos: Recopilación de información acerca del lugar (clase del terreno, clima y clase de vegetación). Diseño agronómico, realizado con el programa Cropwat 8.0; implica su cálculo de necesidad del agua y definición del parámetro de riego. Diseño hidráulico que incluye el cálculo de demanda del sistema, las pérdidas de carga, la dimensión de tuberías y elección de su bomba hidráulica a emplear. Además, su diseño eléctrico y programación implica la automatización del parámetro logrado en el diseño, para la automatización se emplean temporizador y programador.

Se proyectó para cubrir la necesidad de 208.4 m^3 y el flujo máximo de $22,332 \text{ m}^3/\text{h}$. Se adquirieron las tuberías de la red 1000, con 25 metros de diámetro para 110, 90 mm respectivamente. Se optó por una bomba de 20 HP de la marca Hidrostral, modelo 40-200, con potencia nominal de 20. Mediante el uso del sistema de riego se registró un uso de 19.5 m^3 , lo que resultó en un ahorro considerable.

PALABRAS CLAVES: diseño hidráulico, Riego aspersión, diseño agronómico, presión, caudal.

ABSTRACT

The Parque de los Anillos has a sprinkler irrigation system for green areas, located in the province of Lima, department of Lima, in the district of Ate Vitarte. The park has a total area of 12 ha. 5 ha were taken into account for the design of the sprinkler irrigation system. The development of the irrigation system includes the following procedures: Compilation of information about the site (type of terrain, climate and type of vegetation). Agronomic design, carried out with the Cropwat 8.0 program; it involves calculating the need for water and defining the irrigation parameter. Hydraulic design that includes the calculation of system demand, pressure losses, pipe size and choice of your hydraulic pump to use. In addition, its electrical design and programming involves the automation of the parameter achieved in the design, for automation a timer and programmer are used.

It was projected to cover the need of 208.4 m³ and the maximum flow of 22,332 m³/h. The pipes of the 1000 network were acquired, with 25 meters in diameter for 110, 90 mm respectively. A 20 HP pump of the Hidrostal brand, model 40-200, with a nominal power of 20, was chosen. Through the use of the irrigation system, a use of 19.5 m³ was recorded, which resulted in considerable savings.

KEY WORDS: Sprinkler irrigation, hydraulic design, agronomic design, flow rate, pressure.

I. INTRODUCCIÓN

Las zonas verdes proporcionan aire a los distritos de Lima, neutralizan impacto de los gases contaminantes generados por vehículos y brindan un bienestar a la población. No obstante, al uso no regulado del recurso hídrico para el riego en dicha zona, se produce un gasto innecesario que muchas municipalidades no quieren asumir, lo que provoca la necesidad de utilizar un uso lógico del agua.

Actualmente, el parque de los anillos utiliza el sistema de riego por inundación en el área que la conforman, lo que provoca la utilización del agua no sea la correcta. Por lo tanto, se propone el sistema de riego que reduzca el empleo del agua a través de la utilización del aspersor impulsado por electroválvulas con temporizadores para la regulación de los tiempos adecuados de riego.

En el estudio del problema, se consigue su definición, así como sus objetivos generales del trabajo. Se llevó a cabo la justificación y delimitación, además se abordan los antecedentes utilizados para su desarrollo; evaluaciones de trabajos efectuados de otras localidades y resultados alcanzados; concluye con el marco teórico que respalda los cálculos efectuados y los resultados alcanzados; concluye este capítulo con el marco teórico que respalda los cálculos realizados y los resultados logrados.

El capítulo II aborda la metodología utilizada, detallando las fases y procedimientos a seguir para realizar cálculos. Además, se obtiene resultado de diseños propuestos; se determinó la demanda de agua del suelo, se llevó a cabo el cálculo de la demanda del sistema y se realizó el dimensionamiento de los elementos a emplear, se establecen las propiedades de la bomba, concluyendo este capítulo con el diseño eléctrico.

El capítulo IV expone los hallazgos de la tesis, abarcando desde el tipo de cobertura vegetal presente en el parque hasta los periodos e intervalos de riego determinados, las medidas de las tuberías, el tipo de aspersor, la bomba elegida y el funcionamiento del sistema de riego automatizado.

Finalmente, en el capítulo V se lleva a cabo el debate de resultados, en el que se comparan los resultados con las hipótesis propuestas al comienzo del trabajo. Además, se lleva a cabo un debate sobre los antecedentes, sobre los trabajos que han hecho contribuciones relevantes para la ejecución de la tesis.

1.1 Realidad problemática.

El agua utilizada para el riego en los parques municipales suele llegar a través de cisternas o canales de regadío, que utilizan de forma irregular el agua; se gestiona de forma inadecuada y se gasta de manera incorrecta. Emplean un sistema de riego por inundación y a menudo, el personal municipal, utilizando plásticos, reparte el agua a lo largo de todo el parque.

Así pues, el proyecto de tesis propone la implementación de un sistema automatizado de riego por aspersión para conseguir un ahorro considerable a través del uso uniforme y regulado del agua utilizada.

Para llevar a cabo este trabajo, se llevó a cabo un estudio de campo para confirmar el problema identificado. Después, se llevó a cabo la recolección de información esencial como el área total, los datos climáticos del lugar, así como los principales recursos de agua y el personal responsable de dicho laboratorio.

Tras la recolección de todos los datos, se llevaron a cabo los cálculos de la disposición de las tuberías, el flujo utilizado, el dimensionamiento y las características de los equipos como los aspersores, accesorios, bomba y las tuberías.

El trabajo que se está llevando a cabo favorece principalmente a la comunidad próxima a dicho parque, además de generar un ahorro de agua que se convertirá en un beneficio económico para la Municipalidad de Ate. Los sistemas modernos de riego siempre son un gran interés para las personas, lo que favorecerá al distrito.

1.2 Antecedentes internacional y nacional

1.2.1 Antecedente de estudio internacional

Martha Cárdenas (2011), Obtención de Resultados: El área de Cerecita cuenta con las condiciones agroclimáticas óptimas de temperatura, humedad relativa y luminosidad para el crecimiento de la Palma Africana. Se determinó la dosis de riego para cada tipo de terreno, con una medida de 25mm para arcilloso, 21mm para franco arcilloso y 13.33mm para franco arcilloso arenoso, con un intervalo de riego máximo de 5, 4 y 3 días, respectivamente. Se diseñó y calculó la tubería principal en circuito cerrado, lo que permitió reducir el diámetro de la tubería y evitar pérdidas debido a la fricción en el sistema. El sistema de riego requiere de 900 gpm y un TDH de 195 pies a 1750 RPM de la bomba centrífuga elegida. El monto estimado para los gastos de operación anual fue de \$41 388.00, considerando estos gastos el combustible, el agua y el personal.

1.2.2 Antecedentes de estudio nacionales

Freddy Matheus (2011) en su tesis, el resultado obtenido del estudio del terreno de la finca muestran una textura media dominada por terrenos Franco-Arenosos, con infiltraciones básicas de 0.79 cm/hr, 3.18 cm/hr y 3.50 cm/hr, siendo la infiltración de 3.5 cm/hr la elegida para el diseño. El análisis de la demanda de agua en la región a través del balance hídrico permite observar que durante los meses de junio, julio y diciembre se presenta un déficit para el cultivo de la patata. No obstante, se planeará el riego durante todo el año dado que las precipitaciones son un fenómeno variable.

El diseño hidráulico se condensa en la determinación de los parámetros siguientes: Aspersor Costa RC 160 de 27,6 metros de diámetro de mojado. En los sectores 01 y

02, la separación entre las tuberías laterales es de 18m y entre los aspersores de 12m. 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), de su trabajo se obtuvo el resultado, la zona regulable a la que se aplicó el sistema de aspersión es de 11012m². Esta requiere una lámina de 52mm, con un intervalo de aplicación de 9 días. Se llevará a cabo el riego utilizando el aspersor MEGANET TM 650 lit/hr, que conforme al diseño de distribución de riego, operará con 4 módulos de riego de forma individual. Se requerirán 8 horas por cada módulo, lo que equivale a 32 horas para el riego completo de la zona instalada. La bomba de 3 HP proporciona un flujo de 18.2m³/hora (5.05 lit/seg.). Los 37.7m de altura de bombeo y un 85% de eficiencia en el orden.

1.3 Marco teórico y conceptual

1.3.1. Marco Teórico

EL RIEGO

El riego puede definirse como la aplicación de agua de manera artificial, no como resultado de las precipitaciones, a un terreno específico con el objetivo de recuperar un nivel de humedad que sea beneficioso para las plantas que se encuentran en él, facilitándoles su vida y crecimiento.

En un contexto más general, la irrigación se puede definir como el uso de agua en el suelo con los siguientes propósitos:

- Suministrar la humedad requerida para que los cultivos puedan florecer.
- Proteger las cosechas frente a sequías de corto tiempo.
- Elevar la temperatura del suelo y la atmósfera para mejorar las condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las plantas.
- Disolver las sales presentes en el terreno.
- Disminuir la posibilidad de que se generen drenajes naturales.
- Proporcionar las características ideales de humedad al terreno.

Por lo general, el propósito del riego es proporcionar a los cultivos, de manera eficaz y sin modificar la fertilidad del suelo, el agua en el instante oportuno y en la cantidad requerida para alcanzar un crecimiento óptimo.

Riego por aspersión

Para García y colaboradores. (1997), el sistema de riego por aspersión del agua en forma de precipitación, puede ser regulado tanto en términos de tiempo como en su intensidad, a través de una extensa variedad de aspersores diseñados para funcionar a distintas presiones, espaciamientos y dimensiones. Se consigue una distribución diversa y variadas características de flujo que facilitan la elección del aspersor correcto de acuerdo a las condiciones del suelo y la planta.

Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión Estas son algunas de las ventajas:

- De acuerdo con Tarjuelo (2005), el método de riego por aspersión tiene la capacidad de ajustarse a suelos muy permeables (superiores a 30 mm.h-1) o extremadamente impermeables, e incluso a suelos con propiedades variadas.
- No requiere nivelación, adaptándose a topografía ondulada. Esto hace conservar la fertilidad natural del suelo.
- Puede conseguir un grado alto de automatización, con el ahorro de mano de obra.
- Permite trabajar contra heladas.
- Es la técnica más efectiva para el lavado de sales al provocar un movimiento de agua en el suelo durante la subfacturación, forzándola a moverse por los poros más reducidos y, por ende, estar más en contacto con la solución del suelo.
- Un control efectivo sobre la cantidad y tasa de aplicación de agua.

Desventajas del riego por aspersión

- De acuerdo con Tarjuelo (2005), existe una uniformidad en la distribución del agua debido a la influencia de vientos intensos.
- Interferencia en los tratamientos, causada por la eliminación de productos fitosanitarios que resguardan la zona aérea de las plantas.
- Gran cantidad de inversiones iniciales y alto costo de mantenimiento y operación (economía).

Lugares ventosos y extremadamente secos provocan notables pérdidas de eficiencia.

- El efecto en ciertas zonas del área de cultivo puede provocar perjuicios.
- Necesita de presiones elevadas para su operación.

De acuerdo con García et al. (1997), puede causar perjuicios en el florecimiento de las plantas.

Según Rodríguez et al. (2004), el riego con agua salina puede causar quemaduras en las hojas y flores debido a la acumulación de sales.

La manera de proporcionar agua puede tener consecuencias perjudiciales para ciertas plantas, dado que al humedecerse su parte aérea se incrementa la probabilidad de que desarrollen enfermedades.

Componentes que integran un equipo de riego por aspersión

Según Peña (2010), un sistema de riego se compone de: el cabezal de riego, la red de distribución, los dispositivos de control, la automatización y los emisores de riego por aspersión. (véase figura 2.1).

SISTEMA DE BOMBEO

Es el aparato o sistema (bomba) responsable de impulsar el flujo a través de las distintas conexiones de tuberías hasta alcanzar el emisor. Según Rázuri (2015), las bombas son dispositivos hidráulicos que absorben energía potencial (Fuerza de un motor o turbina), y convierten una porción de dicha energía en energía cinética (movimiento) y energía de presión (fuerza), transmitiendo ambas energías al flujo bombeado, con el fin de redirigirlo o trasladarlo de un lugar a otro.

Dado el amplio abanico de bombas disponibles, se puede utilizar una clasificación resumida, segmentándolas en dos grandes categorías. (véase figura 2.2).

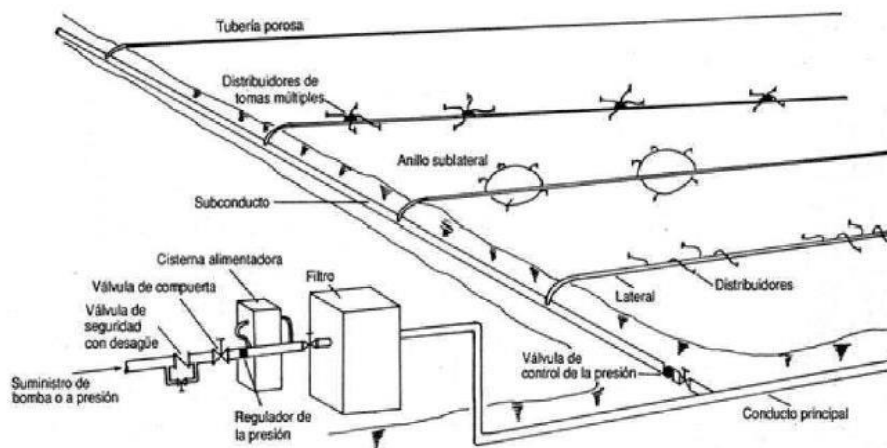


Fig. 1 Componentes de un sistema de riego por aspersión


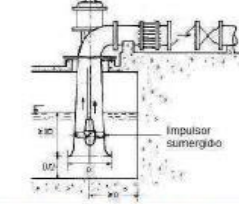

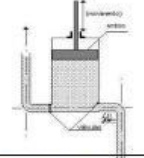



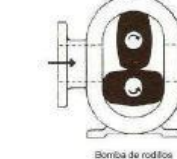
BOMBAS CENTRIFUGAS		
Centrifugas radiales (puras)	Centrifugas de flujo axial (propulsora)	Centrifugas de flujo mixto
		
BOMBAS VOLUMÉTRICAS		
Embolo o alternativas (pistón, diafragma, membrana)		
		
Rotativas (Engranajes, lóbulos, paletas, helicoidales, husos, pernos, etc.)		
		
Bomba de paletas	Bomba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

Fig. 2 Clasificación de bombas: centrifugas y volumétricas

Bombas centrífugas, también denominadas turbo-bombas o hidrodinámicas.

El desplazamiento del líquido se produce debido a la acción de fuerzas que se originan en su masa, a raíz de la rotación de un eje que se vincula a un disco (rotor o impulsor) equipado con alabes (paletas, hélices). Este último recibe el líquido en su centro y lo expulsa en su periferia, debido a la fuerza centrífuga. Son las más utilizadas en el proceso de irrigación.

Bombas de desplazamiento positivo, también denominadas volumétricas. Son aparatos que proporcionan energía al líquido, en forma de pistón. Poseen un uso directo en ingeniería de riego, métodos para administrar fertilizante a la red. Se distinguen por su caudal reducido (<1000 l.h-1) y presión elevadas.

Curvas del sistema

Se aplica la ecuación de Bernoulli de conservación de energía al sistema de bomba tubería, se logra la siguiente ecuación:

Según la Figura 2.3, H_m representa la presión de descarga, H_g representa la presión de succión, h_r representa la presión de conducción, h_m representa la presión dinámica y v representa la velocidad del fluido.

Esto permite determinar su presión necesaria del cabezal, utilizando los datos de flujo, puede elaborar su curva del sistema para elegir el equipo de bombeo.

Punto de Operación

Como se ha señalado previamente, las bombas poseen curva específica de operación que refleja la relación entre el flujo de agua y la altura manométrica. El productor establece de manera experimental, calculando la altura manométrica para diversos flujos. Las fluctuaciones en el flujo se consiguen alterando la resistencia aplicada al rodete de la bomba.

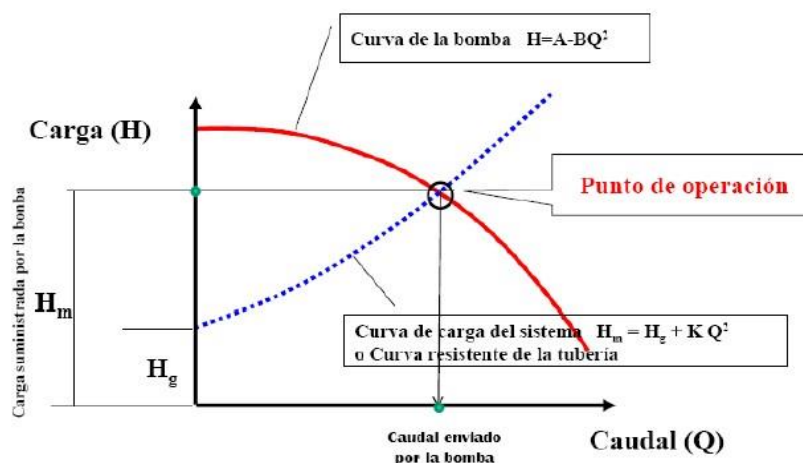


Fig. 3 Punto de funcionamiento de una bomba

Tuberías

Los conductos fijos suelen ser de metal, plástico, asbesto, cemento o de hormigón reforzado con una junta especial. Por otro lado, las tuberías móviles son de aluminio o de acero soldado a fuego. Se distinguen por su peso reducido para facilitar su traslado con el mínimo esfuerzo y se componen de segmentos de 6-9 o 12 m de longitud, con un diámetro que varía entre 2" y 8".

Cada segmento se vincula a través de un sistema especial de acoplamiento rápido. Al ser angulable, 30° en algunos modelos y 12° en otros, el acoplamiento facilita la adaptación de la tubería a las irregularidades del suelo. Se utilizan varios sistemas de acoplamiento: algunos de tipo de palanca (Sistema Europeo) y otros de tipo hidráulico automático (Sistema Americano).

Tuberías PVC

Dentro de los plásticos más habituales (PVC ABS PE EXPOXY), existen considerables variaciones en sus características físicas y químicas, lo que resulta en diferentes clases y niveles para cada plástico. El PVC se divide en cuatro clases, cada una con varios grados. Por lo tanto, el Tipo I posee una resistencia excepcional a la tracción y una resistencia química excelente, aunque su resistencia al impacto es inferior a la del Tipo II. Este, por otro lado, no posee una resistencia adecuada a la tracción y a los elementos químicos (corrosión) como el tipo I, pero muestra una mayor resistencia al impacto.

Entre todas estas variantes, el PVC tipo I Grado I posee las propiedades físicas y químicas más apropiadas para la producción de tuberías destinadas al suministro de agua.

Aspersores o regadores

Los aspersores existen de carácter estacionario y rotatorio. Hoy en día, la mayoría de los aspersores comercializados para uso agrícola son giratorios; esta rotación se produce, ya sea debido al impacto, a la acción del derrame de agua sobre una rueda o por reacción. El giro puede ser completo o puede ser ajustado para cubrir un área circular, y los aspersores también pueden poseer una o dos tuberías o boquillas.

El guía de AMES (1962) categoriza los aspersores en las siguientes categorías:

- Aspersor de baja presión de 1 a 2 atm, especialmente concebidos para el riego de los árboles frutales bajo la copa; o para cultivos anuales o permanentes, cuando se disponga de una presión reducida. Estos aspersores poseen una radio de influencia restringida.
- Aspersor de presión media de 2 a 4 atm. Usualmente se fabrican con una o dos toberas y se ajustan a todas las clases de terreno y cultivos. Circunferencia del círculo húmedo oscila entre 21m y 39m.

- Aspersor de alta presión, de 4 a 7 atm. Aspersor gigante diseñados especialmente para cultivos de gran tamaño, como el maíz y la caña de azúcar. El tamaño de un círculo humedecido puede oscilar entre 60 y 150 metros.

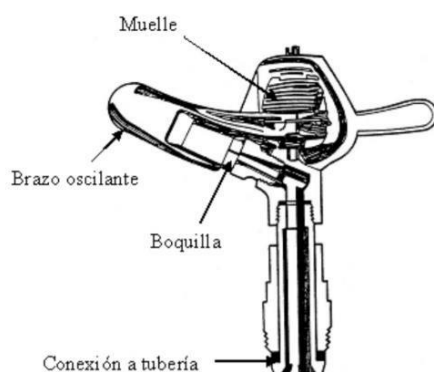


Fig. 4 Componentes de un aspersor

Elementos de seguridad y control

Ramos et al. (2013) señalan que en cualquier sistema de riego va ser imprescindible instalar diversas clases de válvulas y dispositivos de control en asegurar el correcto funcionamiento. De acuerdo con sus funciones, hay diversos tipos de válvulas:

- Manómetros

Aparatos que facilitan la comprobación de las disminuciones de presión en la entrada y salida de los filtros. Normalmente también se coloca un manómetro al comienzo de la tubería primaria para confirmar que la presión de suministro se ajuste a la determinada en el diseño. (Meza 2014).

- Válvulas de corte o aislamiento

Son las válvulas responsables de cortar o permitir el flujo del agua durante el trayecto de conducción. Las válvulas de corte son esenciales en cualquier sistema de irrigación, requiriéndose al menos una en cada cabezal de riego y otra en el suministro de agua. Existen diversas clases, categorizándose en función del mecanismo de cierre. Las válvulas de corte se producen en una variedad de materiales, siendo los más comunes acero, latón, PVC y fundición (De la Fuente et al. 2013). Ejemplos (válvula de movimiento rotatorio, válvula de esfera, válvula de puertas)

- Válvula reductora de presión

Son las reductoras de presión de aguas bajas, destinadas a salvaguardar la instalación. En áreas de altas presiones, las válvulas de reducción de presión son esenciales para salvaguardar todo el sistema de riego, incluyendo las tuberías. (De la Fuente et al. 2013).

- **Válvula anti retorno o de retención**
Estas válvulas impiden el flujo del agua en un solo sentido, lo que significa que el agua no podrá volver a ese lugar (De la Fuente et al. 2013). Se utiliza en áreas con elevados desniveles, con el fin de prevenir derrumbes en la columna de agua (pozos), y prevenir escorrentías en áreas de precipitación. Además, en grupos de presión, ya que impide que el agua vuelva a la bomba y al depósito, así como en grupos y acometos de la red de distribución o diversas redes de agua, para prevenir la combinación de aguas de distintas fuentes, y para prevenir los impactos del golpe de ariete.
- **Válvula de seguridad**
Es especialmente crucial para erradicar sobrepresiones en los grupos de presión (De la Fuente et al. 2013) La operación es bastante simple; cuando se produce una sobrepresión, la válvula expulsa agua hasta que la presión se disminuye a un nivel aceptable.
- **Válvula de llenado**
El papel de estas válvulas es facilitar el llenado de reservorios cuando el nivel de agua disminuya de un nivel establecido previamente. Esta disminución del nivel se identifica a través de una boya flotante vinculada a la válvula a través de un mecanismo de apertura (De la Fuente et al. 2013).
- **Válvula hidráulica**
Las válvulas hidráulicas son válvulas que pueden ser modificadas para realizar varias funciones.
El rasgo principal de las válvulas hidráulicas es que son válvulas automáticas que se nutren de la energía que se encuentra en el agua (presión). Normalmente son de fundición y están revestidas con una capa de protección epoxi.
- **Regulador de Presión**
Cumple su función de mantener su presión de agua arriba y/o agua abajo de la subunidad de riego (AECID 2009).

Automatización

- **Electroválvula**
 - Según De la Fuente et al. (2013), es una válvula hidráulica altamente especializada (modificada en dimensiones y materiales) que facilita la automatización de la instalación. La apertura y cierre del flujo se lleva a cabo después de recibir una señal eléctrica desde un programador. Incluye los siguientes componentes:

- Solenoide: recibe las instrucciones del programador mediante una señal eléctrica transmitida a él por medio de un cable.
 - Cuerpo de electroválvula: se refiere a la carcasa de la misma.
 - Membrana de electroválvula: se encarga de abrir la válvula a través de la apertura hidráulica.
 - Purgador de tornillo: facilita la expulsión de aire y la liberación de la cámara de la membrana.
 - Regulador de caudal: este dispositivo permite ajustar o incrementar el caudal según las demandas del sector de riego, de manera que obtengan el caudal que requieren para su adecuado funcionamiento.
- Programadores

La automatización del sistema de riego posibilita un costo reducido, regular los periodos de riego, disminuyendo la labor humana y restringiendo el uso de agua (De la Fuente et al.2013). Hay dos clases de sistemas automatizados:

 - a) Sistema de automatización por volumen: se fundamenta en la planificación del riego en función del volumen de agua que se desea proporcionar. Se emplea únicamente debido a la necesidad de un programador sumamente sofisticado y al uso de válvulas volumétricas (en desuso).
 - b) Sistema de automatización por tiempo: es el más utilizado, debido a su mayor comodidad y facilidad de gestión. El responsable de la planificación solo debe seleccionar la hora de comienzo y la duración del riego.

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La complejidad de los métodos directos para estimar la evapotranspiración real ha propiciado la creación de una metodología fundamentada en cálculos matemáticos. Fundamentada en la evapotranspiración usual.

La ecuación Penman-Monteith de FAO es una ilustración nítida, exacta y sencilla de los elementos físicos y fisiológicos que controlan el proceso de evapotranspiración.

Correspondencia de Penman-Montheit

El método de FAO Penman-Monteith para calcular ET_o puede derivarse de la ecuación original de Penman-Montheit. Este método disminuye las inexactitudes del método previo, generando a nivel mundial valores más coherentes con datos reales de consumo de agua de diferentes cultivos. Este procedimiento se desarrolló estableciendo el cultivo de referencia como un cultivo hipotético (Figura 2.5).

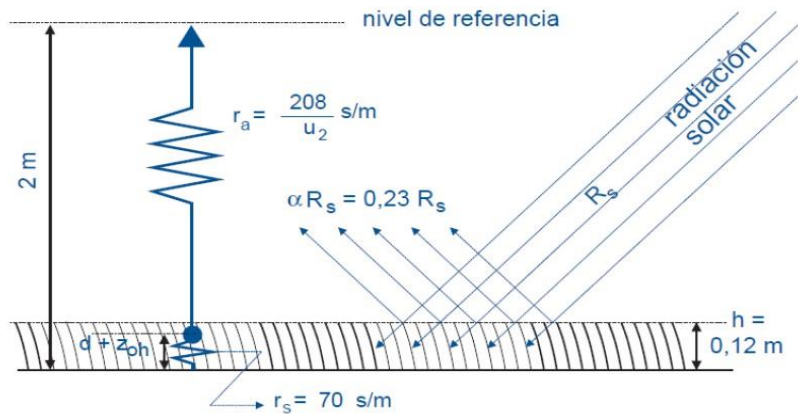


Fig. 5 Características para el cálculo de la ET_0

Para calcular el ET, se emplea la fórmula de evapotranspiración de referencia, basada en el método Penman-Monteith de la FAO. Esta fórmula emplea información climática de la radiación solar, la temperatura atmosférica, la humedad y la velocidad del viento. Para garantizar la exactitud del cálculo, es necesario medir o transformar los datos climáticos a dos metros de altura, en una amplia superficie de pasto verde que cubra totalmente el suelo y sin restricciones de agua. Esto se ilustra a través de la siguiente ecuación.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu 2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2.1)$$

En donde ET_0 se refiere a la evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}), Rn se refiere a la radiación neta en su superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2}\text{día}^{-1}$); G se refiere al flujo de calor del suelo ($\text{MJ m}^{-2}\text{día}^{-1}$), T se refiere a la temperatura media del aire a dos metros de altura ($^{\circ}\text{C}$), u_2 se refiere a la velocidad del viento a dos metros de altura (m s^{-1}), e se refiere a la presión

Requisito para calcular la demanda de agua

De acuerdo con Muncharaz Pou M. (2005), un adecuado cálculo de las necesidades de agua constituye el fundamento para el diseño del sistema de riego y, en consecuencia, para proporcionar una respuesta apropiada a las demandas de agua de las plantas. Esto se manifestará finalmente en las características visuales que mostrará la región impactada.

El cálculo conocido como coeficiente de jardín (CJ), se emplea para calcular las demandas de agua para jardinería de manera más exacta de lo que se realizaba anteriormente, con el fin de optimizar las dosis de riego, lo que resulta crucial desde tres perspectivas

Ahorro de un bien escaso como el agua

Aumento del costo de la aplicación que también se sincroniza con el ahorro de agua. Optimización de la calidad del paisaje al utilizar las dosis correctas de agua, sin exceso ni anomalía, ya que tanto en un sentido como en otro se puede dañar el desarrollo del material vegetal.

La ecuación que establece 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

Modificación introducida en el método del coeficiente de jardín

La base para calcular los cálculos de agua utilizando el método del CJ (Coeficiente de Jardín), es idéntica a la del sistema mostrado previamente, aunque incorpora algunas modificaciones que registran con mayor exactitud las pérdidas que ocurren en las zonas ajardinadas. Por lo tanto, en vez de utilizar el coeficiente de cultivo, se utiliza el coeficiente de jardín (K_j), considerando que las pérdidas del jardín son resultado de la evapotranspiración que ocurre en este (ET_j), las cuales se pueden calcular mediante la fórmula:

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

El coeficiente de cultivo no permite efectuar los cálculos de manera adecuada, dado que las condiciones en un jardín difieren de las que se presentan en un campo de cultivo.

Los jardines siempre se componen de más de una especie, cada una con sus requerimientos particulares de irrigación.

La densidad de vegetación en cada área del jardín no es uniforme. A mayor densidad vegetal se produce una mayor transpiración de las flores, lo que conlleva a una mayor pérdida de agua.

En el jardín se presentan diversos microclimas provocados por la exposición, el sombreado, la ubicación en relación a los edificios, las zonas pavimentadas, entre otros factores.

Con todo lo anterior en mente, resulta lógico implementar unos factores de corrección para cada uno de los condicionantes mencionados. Así se generan los coeficientes de especie (K_s), densidad (K_d) y microclima (K_m), lo que resulta en el coeficiente de jardín:

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

Parámetros de riego

Tarjuelo (2005), señala que para conseguir los parámetros de riego para el diseño y dimensionamiento del equipo de riego se requiere de datos agrotécnicos que comprenden:

- CC= porcentaje de humedad del terreno (en términos de peso).
- PM= Humedad del terreno (porcentaje en peso).
- Da = Densidad visible (t.m-3).
- Z= Profundidad efectiva de la raíz (m).
- DT= disminución tolerada, déficit tolerable de gestión o nivel de agotamiento tolerable del agua en el suelo para generar un balance económico más favorable (%).
- Ea=Estimada eficiencia de aplicación.
- A=Zona total a inundar.
- Trd=periodo de riego disponible diariamente.
- DL=Días sin irrigación durante un ciclo de irrigación.

Basándonos en esos datos, podemos establecer los parámetros de riego.

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

Matheus (2011) señala que la lámina neta se establece en base a las propiedades físicas del terreno, las cuales definen su habilidad para almacenar hasta la profundidad de las raíces de las plantas.

Para calcular la lámina, se necesitan datos de capacidad de campo y punto de marchitez que se señalan en la Tabla 2.1.

Tabla N° I 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

Se calcula mediante la siguiente expresión:

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

b) Lámina bruta (Lb)

La lámina bruta representa la cantidad de agua necesaria para cada riego, teniendo en cuenta la gestión del agua en el terreno, teniendo en cuenta la lámina neta y la necesidad de evapotranspiración durante el periodo de mayor demanda.

c) Intervalo o frecuencia de riegos

La frecuencia de riego simboliza el intervalo más largo entre dos riegos sucesivos, se establece a través de la expresión siguiente::

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

d) Tiempo de riego

La duración del riego dependerá de la dosis bruta que se quiere proporcionar (Lb) y de la pluviométrica del sistema (Pms), de manera que, de esta manera, el tiempo de riego dependerá de la dosis de precipitación (Pms):

$$Tr = \frac{Lb (mm)}{Pms (mm. h^{-1})} \quad (2.7)$$

e) Caudal del sistema (Qs)

El flujo es el volumen del agua que atraviesa la tubería o se desprende de un emisor en un periodo de tiempo específico. Es crucial tener conocimiento del caudal en la captación de agua del sistema de riego, ya que esta información, sumada a la superficie del jardín y a las necesidades de agua de las especies cultivadas, va a determinar la cantidad de emisores requeridos y la distribución del sistema de riego (Torres 2016).

La dotación definitiva del sistema (Q), se determinará una vez que todos los aspersores en la zona queden estables, se calcula mediante la sumatoria de los aspersores agrupados, resultando en la sumatoria de los aspersores agrupados:

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

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

f) Programación de turnos de riego

La Organización de los turnos implica determinar las válvulas que se van a abrir o las parcelas que se van a regar al mismo tiempo durante un ciclo de riego. Normalmente, se establece esta secuencia de apertura de válvulas en el diseño del sistema de riego, si se riega toda la zona del proyecto o si todas las válvulas están sujetas a funcionamiento. Es verdaderamente crucial examinar esta programación de forma técnica para asegurar el correcto funcionamiento hidráulico del sistema,

ya que, de lo contrario, podría haber zonas del proyecto con bajas presión, lo que podría impactar la uniformidad en la utilización del agua. (USAC 2011).

Cropwat 8.0.

De acuerdo con el manual del software, la FAO desarrolló el sistema Cropwat (Véase la figura 2.6). Es un software diseñado para establecer las necesidades de riego para diferentes cultivos. Además, con él se pueden determinar tendencias numéricas o grados de adaptabilidad en función de la reducción en la productividad de los cultivos al implementar diferentes combinaciones o cambios en el suelo, el clima y las fechas de plantación. En esencia, Cropwat representa un modelo de equilibrio hídrico. Contrasta la presencia de agua con la necesidad del cultivo. Se fundamenta en los coeficientes de evapotranspiración de los cultivos (K_c) durante cuatro fases de crecimiento. La reducción del desempeño se determina de manera empírica, basándose en un coeficiente que vincula la pérdida de rendimiento por cada unidad de evapotranspiración no completada.

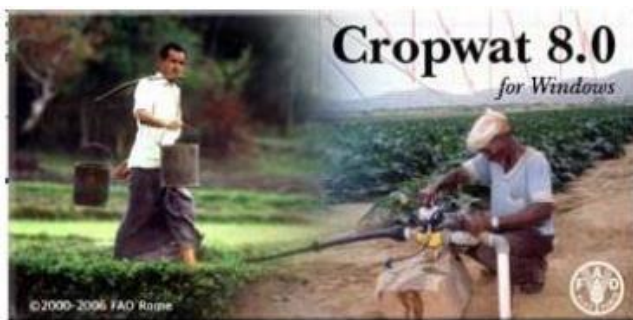


Fig. 6 Software Cropwat 8.0

- **Estructura del programa.**

De acuerdo con el manual del software, el programa Cropwat se estructura en 8 módulos distintos, siendo 5 módulos de entrada de datos y 3 módulos de cálculo. Estos módulos están disponibles en el menú principal, pero su acceso es más sencillo mediante la Barra de módulos, que se encuentra de manera constante en la esquina izquierda de la ventana principal. Esto posibilita que el usuario mezcle de manera sencilla diversos datos climáticos, de cultivo y de terreno para determinar las necesidades de agua de los cultivos, planificar el riego y proporcionar agua en sistemas multicultivos.

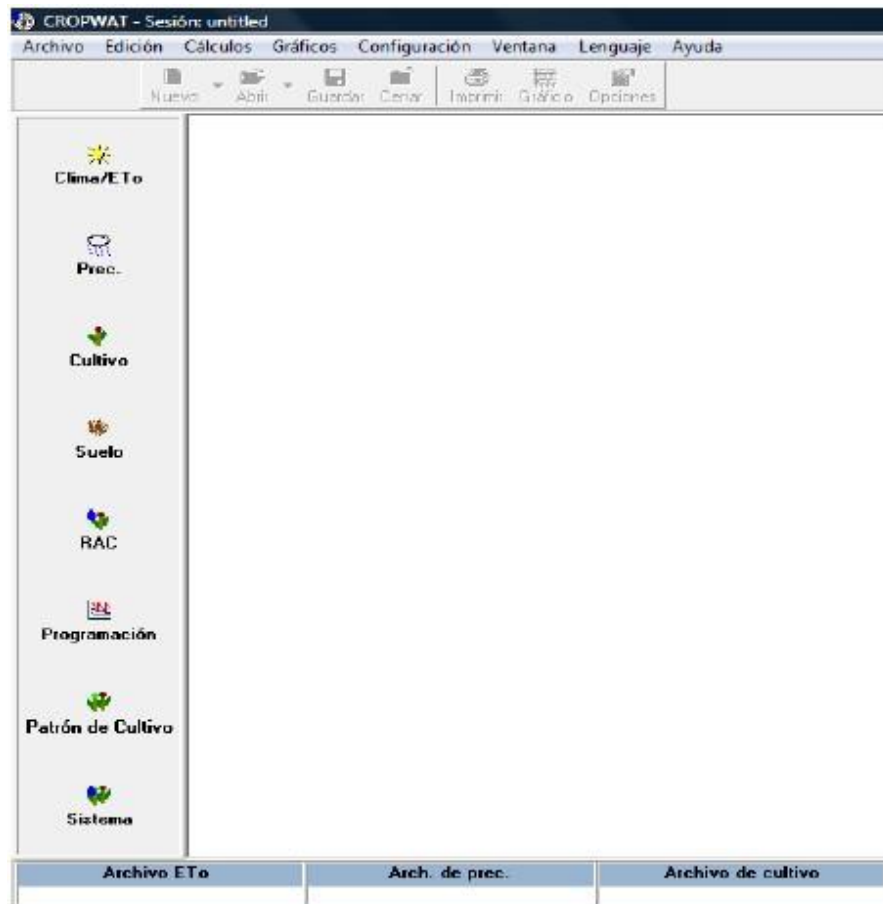


Fig. 7 Pantalla Principal Del Software Cropwat 8.0

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

- Clima/ETo: para proporcionar datos de ETo medidos o información climática que facilite la determinación de la ETo PenmanMonteith.
- Precipitación: para introducir información sobre la precipitación y calcular la precipitación real;
- Cultivo (cultivos sin inundación o arroz): se requiere proporcionar información del cultivo y de la fecha de plantación.
- Patrón de cultivo: se requiere introducir un patrón de cultivos para determinar el plan de distribución de agua.
- No solo se utilizan los módulos Clima/ETo y Precipitación para introducir datos, sino que también se calculan otros datos, como la radiación/ETo y la precipitación efectiva, respectivamente.

Consumo de agua

Un sistema de riego adecuado es aquel que ofrece una cobertura completamente homogénea en el sistema radicular, evitando que una porción del agua se pierda debido a la filtración del suelo y se produzca un exceso de agua.



Fig. 8 Agua en exceso en los riegos

Solo en enero de este año, las municipalidades de Lima y Callao asignaron 1'010.396 metros cúbicos de agua, lo que equivale a aproximadamente mil millones de litros de agua adecuada para el consumo humano. Es la cantidad que diariamente podría suministrar alimentos a dos millones de individuos.

La legislación peruana no impide el empleo de agua potable para la irrigación de parques y jardines. No obstante, la Ley General de Servicios de Saneamiento de 2005 establece que "se debe privilegiar el empleo de aguas residuales tratadas", dado que el agua para consumo es limitada en una ciudad desértica como Lima.

Las entidades municipales abonan una tasa de 7,28 soles por cada metro cúbico si la superficie es inferior a 1000 metros cúbicos y de 7,81 soles si es superior.

Según el experto de Sedapal, existen dos elementos que ilustran la deficiente administración del agua en la capital. El primer problema radica en que en Lima se planta más césped que árboles, aunque los primeros requieren más agua y no absorben las emisiones perjudiciales. El segundo es que se riega principalmente por inundación, por lo que cada m² de césped recibe 25 litros de agua cuando en realidad solo requiere cuatro.

1.3.2. Marco Conceptual

Sistema de bombeo de agua

Los sistemas de bombeo incluyen tuberías, accesorios y otros componentes que facilitan el traslado del fluido desde el depósito hasta el lugar de uso, pudiendo ser segmentados en el subsistema de succión y el subsistema de descarga, tal como se muestra en la figura 2.7 a continuación.

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

Donde:

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

h_s = columna dinamica de succión (m)

h_d = columna dinamica de descarga (m)

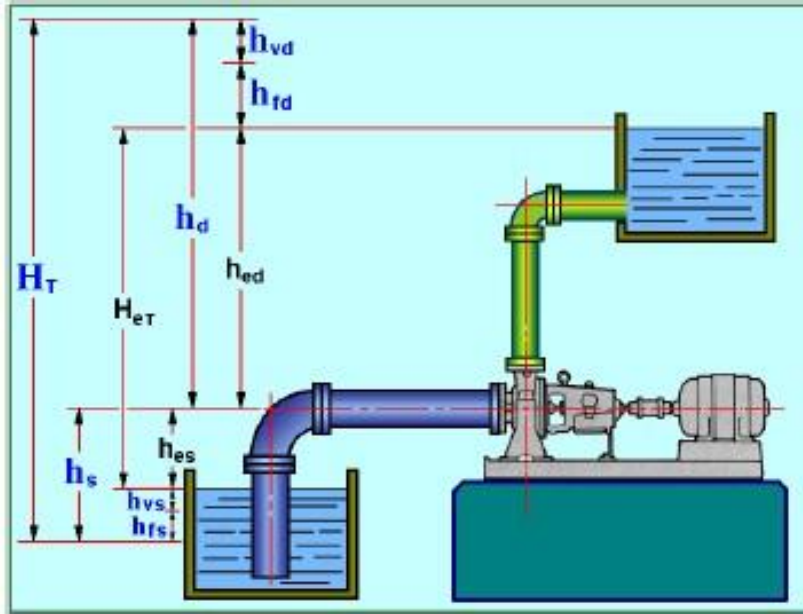


Fig. 9 Gráfico de las alturas de sistema

Diagrama de Moody

Se trata del diagrama utilizado para calcular el factor de fricción basándose en el número de Reynolds y la textura de una tubería.

Identificación de Reynold

Numeración adimensional utilizada para comprobar el desplazamiento de las partículas en un fluido.

Desaparecen en el sistema

Se refiere a las pérdidas que surgen de todos los elementos del sistema. (disminuidas por la descarga, disminuidas por la succión)

Potencial evapotranspiración

Establece las pérdidas de agua desde una superficie de terreno bajo condiciones establecidas.

Precipitación Resultante

Es la proporción de las precipitaciones totales empleada para cubrir las demandas de agua para el cultivo.

Información del cultivo

Se trata de un conjunto de información y estadísticas relacionadas con el cultivo, nos señala sus coeficientes de cultivo y la fecha de recolección.

Requerimiento de agua de cultivo

Volumen del agua necesario para cubrir el ritmo de evapotranspiración, de manera que los cultivos puedan florecer.

Programación de riego del cultivo y caudal requerido

Hace referencia a: cuánto, cuándo y cómo regar los cultivos para lograr la máxima eficacia y rendimiento del agua.

Disposición de los aspersores

Establece el espacio entre los círculos inundados por los aspersores próximos para garantizar un reparto de agua homogéneo.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Tipo, Nivel y Diseño de Investigación.

Se utilizó el libro Metodología de la Investigación de Ciro Espinoza para el diseño metodológico.

De acuerdo con el estudio, el tipo de investigación se aplica, dado que a través de la investigación se logra resolver un problema o problemas concretos. De acuerdo con los medios de recolección de datos, la investigación es bibliográfica - documental. Esto se debe a que, a través de un procedimiento sistemático y secuencial de recopilación, elección y categorización, evaluación y análisis del contenido del material empírico impreso y gráfico, se utilizará como recurso para la investigación en curso. De acuerdo con el grado de entendimiento y manejo de variables, la investigación se clasifica como no experimental, dado que se lleva a cabo a través de desarrollos y cálculos, evitando contrastarlo con la realidad.

De acuerdo con el grado de medición y la naturaleza de información, esta es de carácter cuantitativo, dado que a través de números obtenemos la solución a los problemas propuestos.

De acuerdo con el tiempo, la investigación es sincrónica, puesto que se examina el problema planteado en un breve lapso de tiempo.

Como investigación de diseño, este trabajo se fundamenta en un Diseño de soluciones cuyo objetivo es convertir los conocimientos o modelos existentes en metas beneficiosas para la sociedad.

2.2. Parámetros de diseño

Los parámetros usados para su diseño del sistema de riego por aspersión.

Parámetro del cálculo del diseño agronómico.

- Localización geográfica
- Condición climatológica
- Característica del sitio.

Parámetro del diseño hidráulico

- Caudal del riego
- Cantidad de cantidad y separación del aspersor
- Caída de presión del sistema de red de tubería
- Punto de operación de la bomba

Parámetro del diseño eléctrico y programación

- Intervalos del riego
- Frecuencia del riego
- Sistema de accionamiento de la electroválvula

- Sistema de arranque de la bomba

2.3. Población y muestra

El parque de los Anillos, situado en el distrito de Ate Vitarte, se encuentra regado por canales y por el sistema de riego por inundación, el cual es similar al de la muestra

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

La información será recopilada a través del método documental, mediante la recolección cualitativa y cuantitativa de varios documentos de empresas que documenten datos estadísticos de su operación, empleando herramientas como ficha bibliográfica, videográfica, cibergráfica, ficha de trabajo, registro del sistema de administración, entre otros.

2.5. Análisis y procesamiento de datos

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

Tabla N° II 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	<u>Césped</u>
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)

III. RESULTADOS

3.1 Etapas del diseño

Diseño agronómico

Se refiere a las necesidades de agua del cultivo, lo que se determina a partir del cálculo de la cantidad de agua requerida para el cultivo o la especie predominante en el parque para la tesis; de manera que el agua no perjudique su desarrollo normal y pueda provocar un déficit de agua, basándose principalmente en factores edafológicos y climatológicos y otros relacionados con el cultivo. Para comenzar el diseño agronómico, es necesario conocer las condiciones topográficas, agronómicas, hidrológicas y climáticas de la región de análisis. De manera general, el diseño agronómico contempla:

- Estimación de los requerimientos de agua para los cultivos • Determinación de las demandas de agua de las cosechas
- Establecimiento de los parámetros para el riego: Frecuencias y periodos de riego regulares.

Cuando se busca planificar el sistema de riego, es necesario establecer su necesidad del agua, ya que es un elemento de mayor relevancia y también es vinculada con la demanda de riego del cultivo bajo determinadas condiciones de lluvia y tipo de terreno. Para estimar las demandas de irrigación de los cultivos, se requiere establecer la evapotranspiración de referencia para cada mes (ET_o). Usando los valores de los coeficientes de los cultivos (k_c) para las distintas fases de crecimiento vegetal, se determina la evapotranspiración real o presente del cultivo (ET_c), y se vinculan estos valores con la lluvia para determinar las necesidades netas de irrigación del cultivo. Hoy en día, existen una variedad de programas informáticos para calcular estos parámetros, como es el caso del software CropWAT, que proporcionará los valores necesarios para el desarrollo agronómico del proyecto.

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.

$$Q = \frac{v}{t}$$

Dónde:

Q= Caudal

V= Volumen del liquido

T= tiempo que tarda en salir el liquido

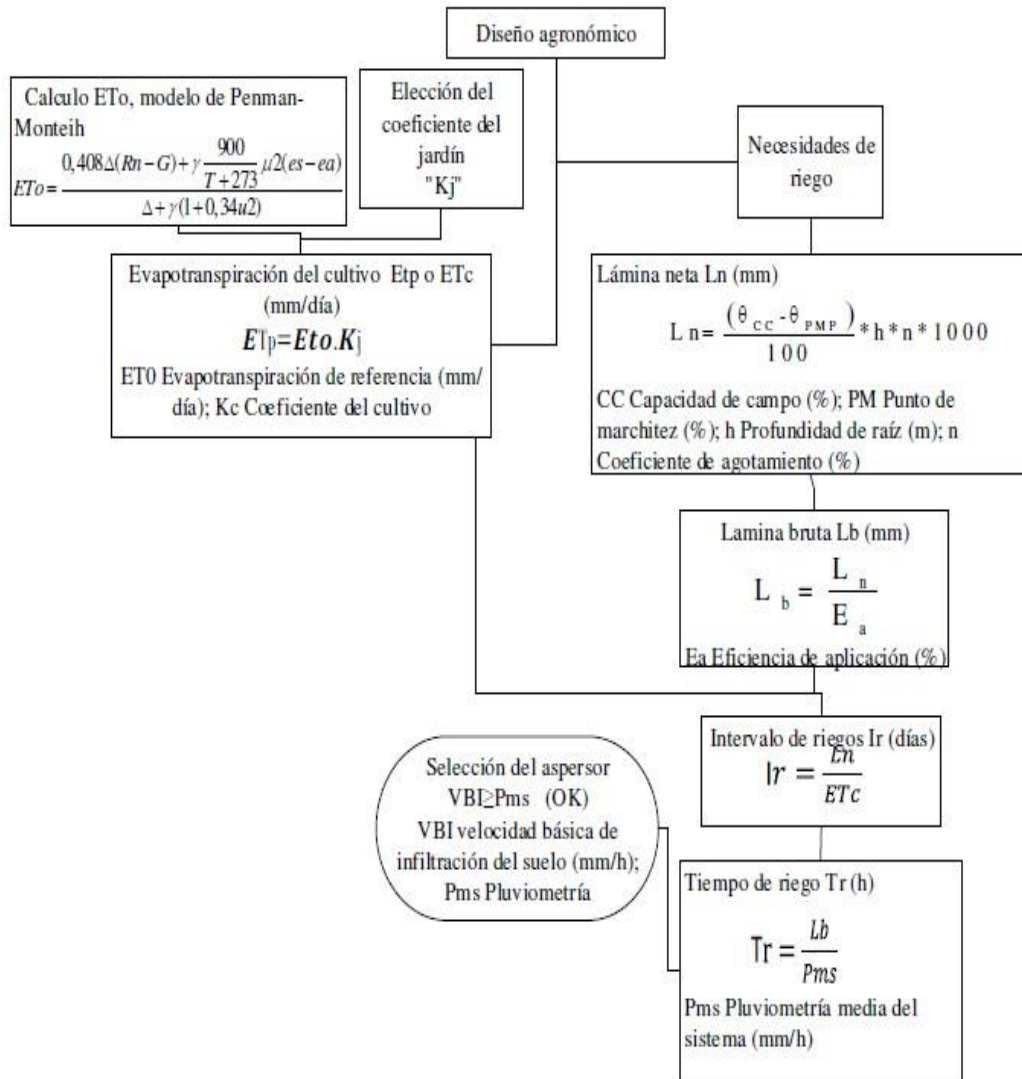


Fig. 10 Etapas del diseño agronómico

Numero de Reynolds. Es posible que el número de Reynolds sea uno de los números adimensionales más empleados. La relevancia reside en el modo en que un fluido fluye, lo cual es crucial para el análisis del mismo.

$$Re = \frac{\rho v D_i}{\mu}$$

Dónde:

v = velocidad medial del fluido

D= Diámetro del ducto

ρ = Densidad del fluido

μ = Viscosidad cinemática

Rugosidad relativa. Además, la evaluación de Re requiere considerar los impedimentos que el fluido encuentra en su trayecto. Se denomina rugosidad absoluta (K) a la altura máxima de las asperezas del conductor, expresada en longitud por unidad.

$$Rr = \frac{\varepsilon}{D}$$

Tabla N° III 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)	< 0.000033 (o lisa)
Latón industrial	0.025	0.00082
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

La rugosidad relativa, también conocida como Rr, es la que responde a la expresión, también expresada en unidades de longitud.

Viscosidad en el cine. Hace referencia a la distinción existente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el caso de los fluidos, la determinación de su viscosidad absoluta requiere de una alta habilidad experimental e instrumentos apropiados para llevar a cabo su medición. El factor denominado "λ", también conocido como factor de fricción, es adimensional y depende de dos variables: el número de Reynolds y la rugosidad relativa. En el ejercicio se utilizan diversas ecuaciones que se presentan en el cuadro subsiguiente.

Tabla N° IV Coeficiente "λ", para Cálculo de Perdidas Primarias en Tuberías

TUBERÍAS	RÉGIMEN	FÓRMULA	AUTOR
Lisas	Laminar	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Paiseulle
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)

Dicho coeficiente "λ" puede igualmente ser establecido por una carta denominada Diagrama de "Moody", la cual representa el factor de fricción en función de la rugosidad relativa (ε/D) y el número de Reynolds (Re).

Entre los aspectos significativos de la tabla se puede destacar:

Solventar todos los problemas relacionados con las pérdidas de carga primarias en tuberías de cualquier diámetro, material de tuberías y caudal.

Se puede utilizar con tuberías de sección no circular mediante la sustitución del diámetro D por el radio hidráulico Rh.

Se emplea para calcular el coeficiente "λ", que posteriormente se incorpora a la ecuación de Darcy-Weisbach.

Reducción de pérdidas primarias y secundarias en las tuberías. Las pérdidas en las tuberías se clasifican en dos categorías: pérdidas primarias y pérdidas secundarias. Las pérdidas primarias hacen referencia a las pérdidas provocadas por la superficie que interactúa con el líquido en la tubería (capa de límite), la fricción entre capas de líquido (régimen laminar) o la interacción entre partículas de líquido (régimen turbulento). Ocurren en un flujo uniforme, por ende, en los segmentos de tuberías de sección constante.

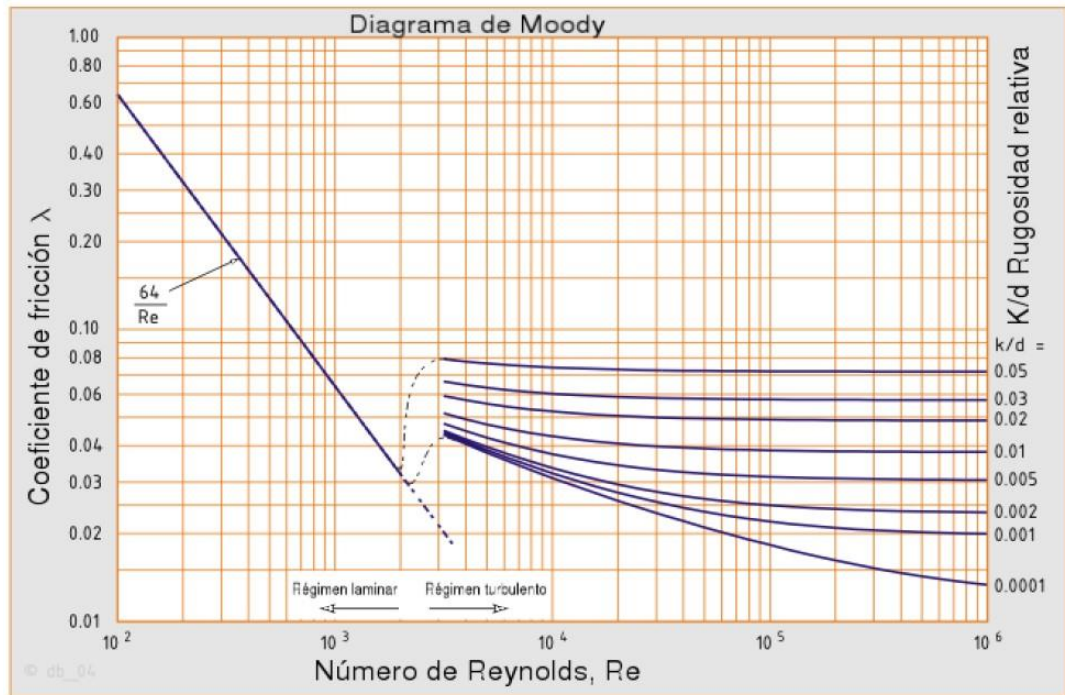


Fig. 11 Diagrama de MOODY

La pérdida secundaria se refieren a pérdidas de forma que se producen en sus transiciones (como los angostamientos y ensanchamiento), codo, válvula, elemento de medición y todas las demás piezas y componentes adicionales.

- **Ecuación general de las pérdidas primarias.**

Es la pérdida de carga que es proporcional al cuadrado de su velocidad media en la tubería y longitud de la tubería e inversamente al diámetro de la misma.

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

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

- **Ecuación general de las pérdidas secundarias.**

De empleo universal en libros y formulario de hidráulica, análoga a la fórmula de Darcy-Weisbach para pérdidas secundarias, según la ecuación

$$h_{pa} = k \frac{v^2}{2g}$$

El coeficiente k está influenciado por la categoría de accesorio. De la cifra de Reynolds y de la textura de la disposición de la corriente antes del dispositivo accesorio. Se mencionan y exhiben los coeficientes que se emplearán en el desarrollo.

- **Automatización del riego**

Automatización convencional. Es factible automatizar cualquier sistema de riego instalado, independientemente de su tamaño. Sin embargo, su uso se ha incrementado en

sistemas de riego por aspersión y difusión, los cuales son los más empleados. Existen numerosos elementos empleados para la automatización de sistemas de riego. No obstante, los componentes más utilizados son las electroválvulas, los programadores y los sensores.



Fig. 12 Componentes para automatizar el sistema de riego

La automatización del riego puede llevarse a cabo de diversas formas. Se pueden emplear sensores o sistemas automáticos contemporáneos. Sin embargo, el sistema más económico y de fácil acceso es la automatización por tiempos. Esto se debe a que se conoce el tiempo de riego, el volumen de agua requerido y el agotamiento del agua en el suelo.

Los sistemas de automatización temporal se fundamentan en su determinación y planificación del tiempo de duración del riego, con el fin de que el sistema proporcione el volumen de agua requerido para el correcto estado de las plantas. Para la programación de este método de automatización de riego, se consideran las necesidades de las plantas, el área del aspersor en funcionamiento y el caudal requerido para su correcto funcionamiento. Tras el tiempo establecido, el riego se interrumpe de manera automática.

Para automatizar un sistema de riego por aspersión, podríamos proceder de la siguiente forma:

Es imperativo tener en cuenta un interruptor de arranque y parada de emergencia en la bomba. Los tiempos determinados en el diseño agronomico serán utilizados para ingresar a los relojes de los temporizadores y permitir su programación. Además, es necesario considerar algunos mecanismos de seguridad fundamentales, tales como aquellos que paran la bomba en caso de una sobrepresión (indicando que las electroválvulas no han sido abiertas) o en caso de una ausencia de presión en la red (indicando una rotura).

Lo ideal sería tener controlado el grupo de bombeo mediante un variador de frecuencia, que habilita el motor en función de la demanda de agua.

- Ordenar nuestro sistema de tuberías generales de tal manera que dispongamos de un punto de conexión para la tubería general en cada bloque de riego.
- Implementar una red de electroválvulas que, para prevenir la pérdida de cable, podamos ponerlas en marcha con baterías y programarlas a través de radio mediante un programador manual.

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

3.2 Ingeniería de detalle

En la Figura 14 se presenta un esquema detallado de los procedimientos y etapas requeridas para llevar a cabo el diseño agronómico y el diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión automatizado. El esquema concluye con la elección de la bomba, que es el equipo esencial para el funcionamiento del sistema.

3.2.1. Diseño agronómico

Para la ejecución del diseño agronómico, utilizaremos el software libre Cropwat 8.0, que se encuentra disponible en la red. Este software facilitará el cálculo de parámetros cruciales en la tecnificación del riego, basándose en datos previamente conocidos e ingresados. Referencia de la Evapotranspiración (ET_o)

Según la tabla 4.3, los datos climáticos obtenidos del SENAMHI se recopilieron de la estación Von Humboldt del año 2023. Al ingresar los datos en la tabla siguiente, se obtiene una evapotranspiración promedio de 2.87 mm.día⁻¹. No obstante, para el mes de febrero se registra la máxima evapotranspiración, la cual será el dato utilizado para calcular la demanda máxima del sistema de riego.

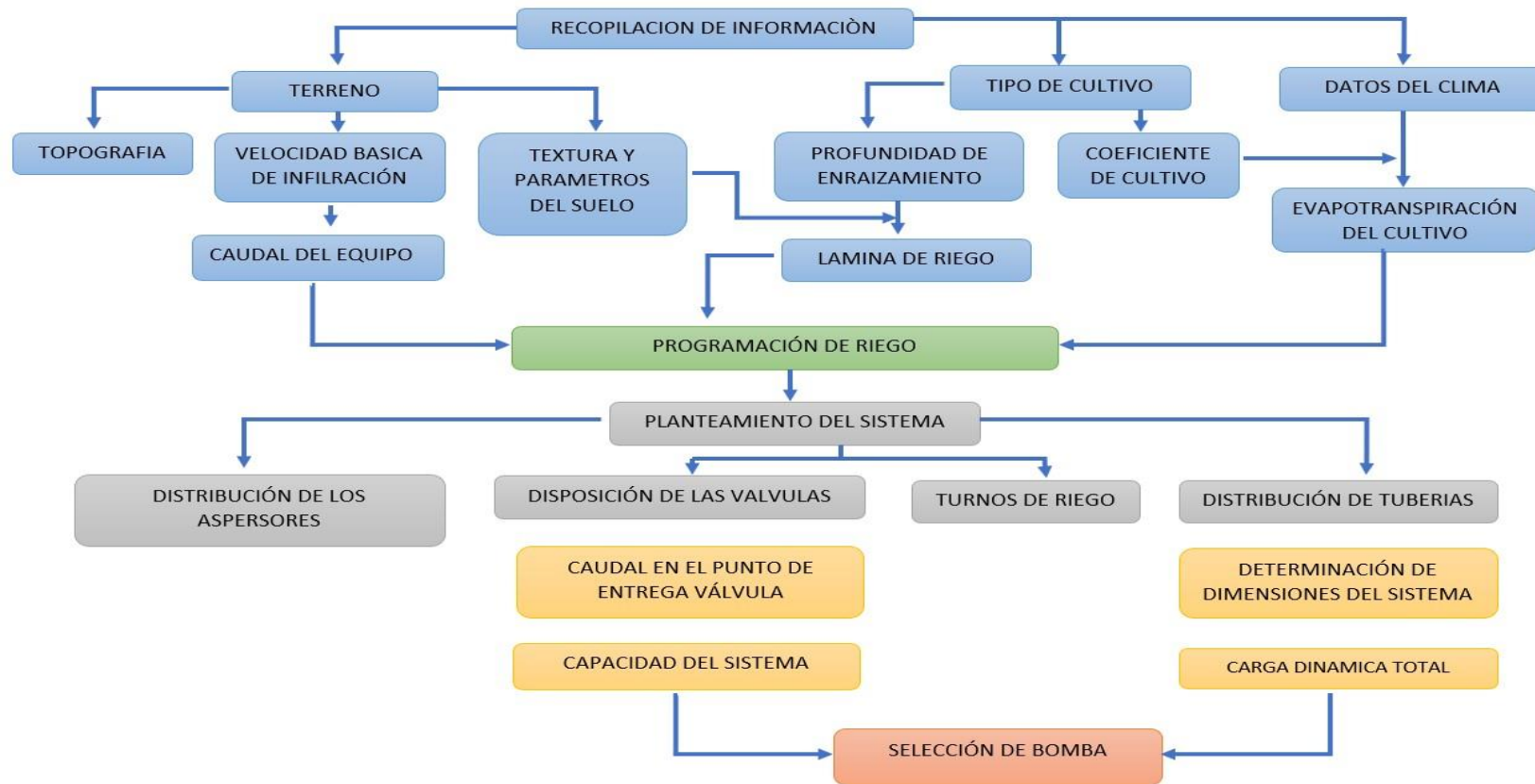


Fig. 13 Esquema del diseño detallado

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° V Cálculo de la Evapotranspiración de referencia mediante Cropwat

Monthly ETo Penman-Monteith - untitled

Country: Perú Station: Ate Vitarte

Altitude: 247 m. Latitude: 35.00 °S Longitude: 71.00 °W

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

Datos del cultivo (césped)

La información relativa al coeficiente para especies de jardín es extremadamente escasa, lo cual complica considerablemente el cálculo. Mediante la utilización del Manual de Serie de Riego y Drenaje de la FAO No24, se presentan los siguientes datos.

Tabla N° VI Coeficiente de Cultivo para el Césped

Cultivo		$K_{c_{int}}^1$	$K_{c_{med}}$	$K_{c_{fin}}$	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

Tabla N° VII 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

El coeficiente de densidad, también conocido como K_d , se determina en función de las especies presentes en el parque. En el caso de los árboles, el K_d es de 1.0, mientras que para las herbáceas y flores, debido a su elevada densidad, el K_d es de 1.1. En lo que respecta al Coeficiente del Microclima, el parque posee zonas próximas a infraestructuras y carreteras, lo que permite estimar unas condiciones de microclima promedio para el parque. Por consiguiente, $K_m = 1$. En la tabla 4.8 se presentan los resultados del coeficiente de jardín

Evapotranspiración real

Se realizó el cálculo de la evapotranspiración, por lo que se tomó en cuenta el máximo requerimiento hídrico correspondiente al mes de febrero, resultando en que el césped es el que consume el mayor volumen de agua.

Tabla N° VIII Evapotranspiración del parque

Tipo de vegetación	K_j	E_{To} (mm/día ⁻¹)	E_{Tp} (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

Dosis, frecuencia y tiempo de riego

Teniendo en cuenta las propiedades físicas del suelo y la profundidad de la planta, se establecieron los parámetros que definen la técnica de riego.

Tabla N° IX Datos Utilizados en el Diseño Agronómico

Datos	Unidad	Cantidad
K_c 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 <u>perm.</u>	%	8
Profundidad radicular (z)	M	0.2
Eficiencia de aplicación	%	80%
Coeficiente de agotamiento	%	40%
Velocidad de infiltración básica (V_i)	mm.hr ⁻¹	18
Jornada de trabajo	Hr.día ⁻¹	10
Densidad aparente (D_a)	Ton.m ³	1.58

Lamina neta y lamina bruta de riego

De los datos ingresados, se llevó a cabo el cálculo de la lámina bruta y neta en función del tipo de cubierta vegetal, en este caso el césped. Para ello, se tomó en cuenta el porcentaje de agotamiento del 40%. (Allen et al. 2006).

Tabla N° X 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

Se obtuvo una lámina neta de 12.64 mm.día⁻¹, que fue dividida entre la eficiencia de aplicación del 80 por ciento.

En lo que respecta a los árboles, se aconseja realizar un riego pesado cada quince días o semanalmente con el fin de profundizar el agua y prevenir el desarrollo superficial de las raíces.

Frecuencia y tiempo de riego

Como se puede apreciar en la tabla 4.12, durante los meses invernales, se define el intervalo de riego cada siete días, con un promedio de cuarenta minutos de irrigación. Durante el verano, se programa un intervalo de riego de cuatro días, con un tiempo medio de cincuenta minutos de irrigación. El mes con más tiempo de riego es junio, siendo junio el mes con más tiempo de riego.

Tabla N° XI Resultados de Diseño Agronómico

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Eto (mm.día ⁻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.día ⁻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.día ⁻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.día ⁻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.día ⁻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

3.2.2. Diseño hidráulico

Selección del aspersor a utilizar

Para la selección del aspersor, tomaremos en cuenta la variedad existente en el mercado. En la actualidad, existen numerosas marcas que nos proporcionan una extensa gama de aspersores que se ajustan a las necesidades del cultivo y al tamaño del terreno. La amplitud de un aspersor suele ser el primer criterio de selección, seguido del volumen de agua necesario para el cultivo, y finalmente el caudal de agua requerido para el cultivo.

Tabla N° XII Aspersor Metálico a Impacto de Círculo Completo y Parcial

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	3.360	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

Tabla de rendimiento			
Boquilla mm	P bar	Q ₂ 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	4.860	50
8.5	4.0	5.210	43
	5.0	5.810	47
	6.0	6.310	51

* Boquilla standard

Disposición de aspersores en el cultivo

La disposición del aspersor en parcela que ha sido determinada en función de la eficiencia de riego proporcionada. Su distribución cuadrangular resultó ser la más beneficiosa desde el punto de vista de distribución de la lluvia y efectos del viento.

De acuerdo con su distribución mencionada, y el alcance circular del aspersor, se obtiene su ubicación adecuada del aspersor, como el número de ramal para su correspondiente abastecimiento.

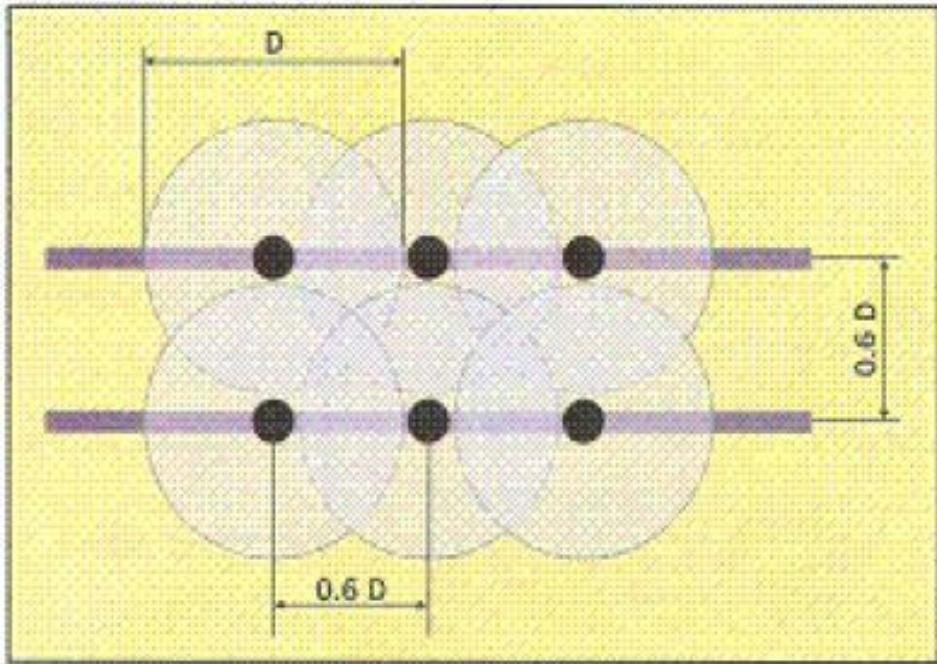


Fig. 14 Distribución seleccionado de los aspersores para el sistema de riego tecnificado

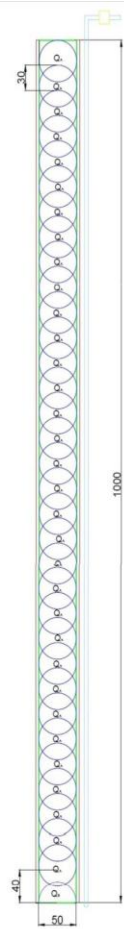


Fig. 15 Esquema de posición de aspersores y su funcionamiento

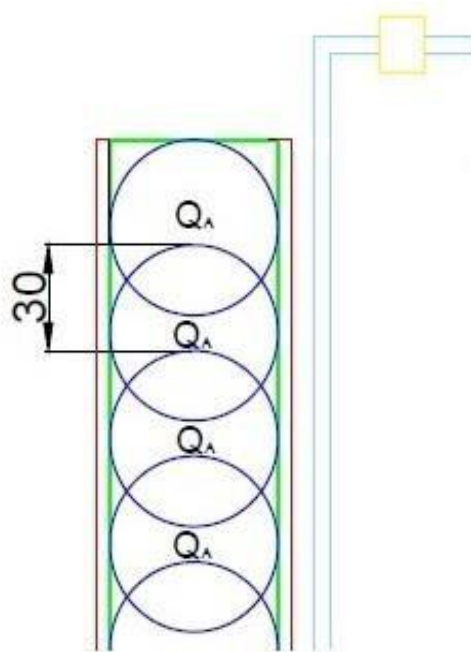


Fig. 16 Separación de aspersores

Cálculo del caudal requerido

Caudal requerido

Para obtener esta información, añadimos los flujos de los aspersores que funcionarán durante el primer arranque. Como el sistema incluye tres electroválvulas energizadas, tomamos en cuenta tres aspersores para determinar el caudal necesario. En consecuencia, obtendremos los galones por minuto necesarios que el equipo de bombeo debe proporcionar al sistema.

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

De la Tabla obtenemos

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

$$P_c = 0.50$$

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

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

$$Q = V \times A$$

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

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

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

Altura estática de succión

La determinación de la altura de succión, se tomará en cuenta la ubicación de la boquilla y filtro de sedimentos, así como la ubicación del equipo de bombeo. Es necesario examinar diversos factores como cantidad de accesorios (teas, codos,

válvulas, tipo de tubería). Se determinan la pérdida que se producirán durante la succión, las cuales posteriormente serán sumadas a la pérdida de descarga. Esto nos permitirá seleccionar el equipo apropiado.

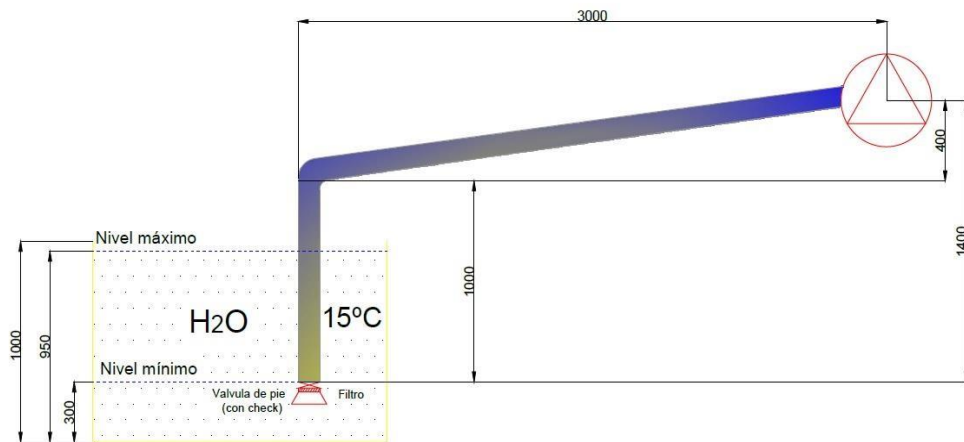


Fig. 17 Esquema de Succión del Sistema

Cálculo de las perdidas por succión:

Es la altura resultante de la multiplicación de la separación existente entre el líquido y la tubería que une al sistema o a la entrada del líquido en la bomba.

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

Rugosidad

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

Viscosidad cinemática denominada " θ ". Se trata de un cálculo basado en tablas, mediante el cual se puede vincular la temperatura que circula en el entorno con el fluido en sí, con el fin de determinar la variación y resistencia que presenta el flujo a fluir por los conductos y accesorios..

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

Relativa rugosidad " R_r ". La rugosidad relativa es un parámetro de naturaleza adimensional que se obtiene dividiendo la rugosidad absoluta del material empleado en la tubería por el diámetro obtenido en procedimientos previos, tal como se detalla a continuación.:

$$R_r = \frac{\epsilon}{ds} = \frac{10^{-6}m}{110 \times 10^{-2}m} = 9,090 \times 10^{-6}$$

Número de Reynolds denominado " Re ". Este cálculo se utiliza para determinar el coeficiente de fricción presente mediante la fórmula de Swamee-Jain o el diagrama de Moody.

Cálculo del Reynold

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

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

Coefficiente de fricción “λ”. Empleamos la ecuación de Fanno que ayuda en obtener el coeficiente de fricción, como se aprecia:

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

Pérdidas de carga por fricción “*h_{fs}*”. Mediante el uso de la famosa fórmula de Darcy-Weisbach y la información que hemos recopilado previamente, actuamos de la siguiente forma:

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

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

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

Reducción de carga debido a accesorios “*h_{as}*”. Las pérdidas por accesorios son aquellas producidas a lo largo del sistema por cada segmento en el que el fluido experimenta resistencia. Con la ayuda de las tablas (Anexo 4 y 5) se determinan estos valores y, mediante la utilización de estos diagramas, se pueden obtener los valores correspondientes.

Unión universal	K = 0,08	
Válvula de pie	K = 0,8	
Reducción	K = 1	
Codo 90°	K = 0,6	∑ K = 3,98
Filtro	K = 1,5	

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

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

Total, de pérdidas en la succión *h_s*. Se trata de la acumulación de las pérdidas previamente calculadas. No exhibe la cantidad de pérdidas que el sistema experimenta únicamente al succionar el líquido. Presentará una resistencia en metros de columna de agua, tal como se ilustra a continuación.

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

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

$$h_s = 1,52529m$$

Determinación de pérdidas durante la descarga. Se empleará el mismo modelo y misma ecuación en determinar pérdidas en su descarga. Se emplea la ecuación de Fanno para determinar su coeficiente de fricción. Se considerará que esta sección del sistema presenta una mayor resistencia debido a la cantidad de accesorios presentes en el mismo, tal como se ilustra en la siguiente figura..

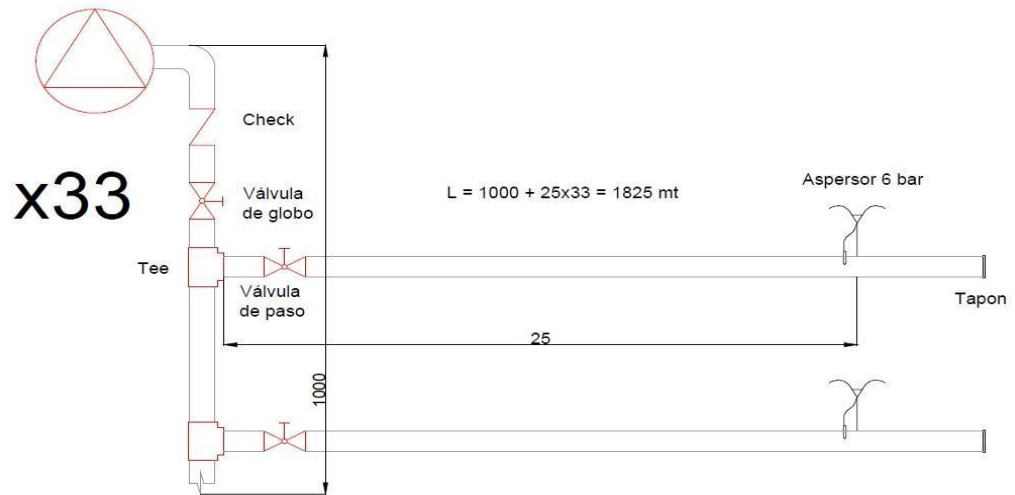


Fig. 18 Esquema de descarga en el sistema

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

Tabla

$$D = 90mm$$

$$Pc = 1,40$$

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

$$Q = V \times A$$

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

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

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

Rugosidad

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

$$\epsilon = 10^{-6}m$$

Viscosidad cinemática:

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

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:

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

Perdidas por fricción

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

Perdidas de carga por velocidad

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

Perdida por accesorios

Ampliación	K = 1
Codo 90°	K = 0,6
Válvula check	K = 2,4
Válvula globo	K = 18
Válvula paso (35)	K = 0,2 \times 33 = 6,6
Tee	K = 2 \times 33 = 66

$$\sum K = 99$$

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

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

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

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

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

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

Estimación de la altura de trabajo total de la bomba "H". Es el resultado de la sumatoria de todas las pérdidas, con esta información podremos elegir el equipo correcto para que el sistema funcione de manera óptima.

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

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

Potencia de la bomba $n = 75\% = 0,75$

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

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

$$P_B = \rho g Q H_B$$

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

$$P_B = 4870,107316 w$$

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

$$P_B = 8,71663 HP$$

Con la información de la potencia adquirida, se procede a elegir la bomba a emplear. Para identificar la correcta en los catálogos del fabricante, se realiza el cálculo del NPSH disponible (Altura neta positiva durante la aspiración).

Cálculo del NPSH

Para una temperatura media en la zona (De acuerdo con 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:

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

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

$$NPSH(d) = 9,7951 - (h_s + P_V)$$

$$NPSH(d) = 9,7951 - (1,52529 + 0,169889)$$

$$NPSH(d) = 8,1026 m$$

La curva del sistema se representa y la interceptamos con la curva del fabricante para obtener la Figura, en la que se puede apreciar la intersección de la curva con los datos del catálogo.

Se determina que para un flujo de 22,332 m³/h y una altura de 80,02845 m.

Se determina que para un flujo de 22,332 m³/h y una altura de 80,02845 m.

Caudal 6.5 L/s

- Altura 80 m
- Eficiencia 58%
- Potencia máxima 13 HP
- Velocidad 3530 RPM

- $NPSH_{(r)} = 3.5 \text{ m}$

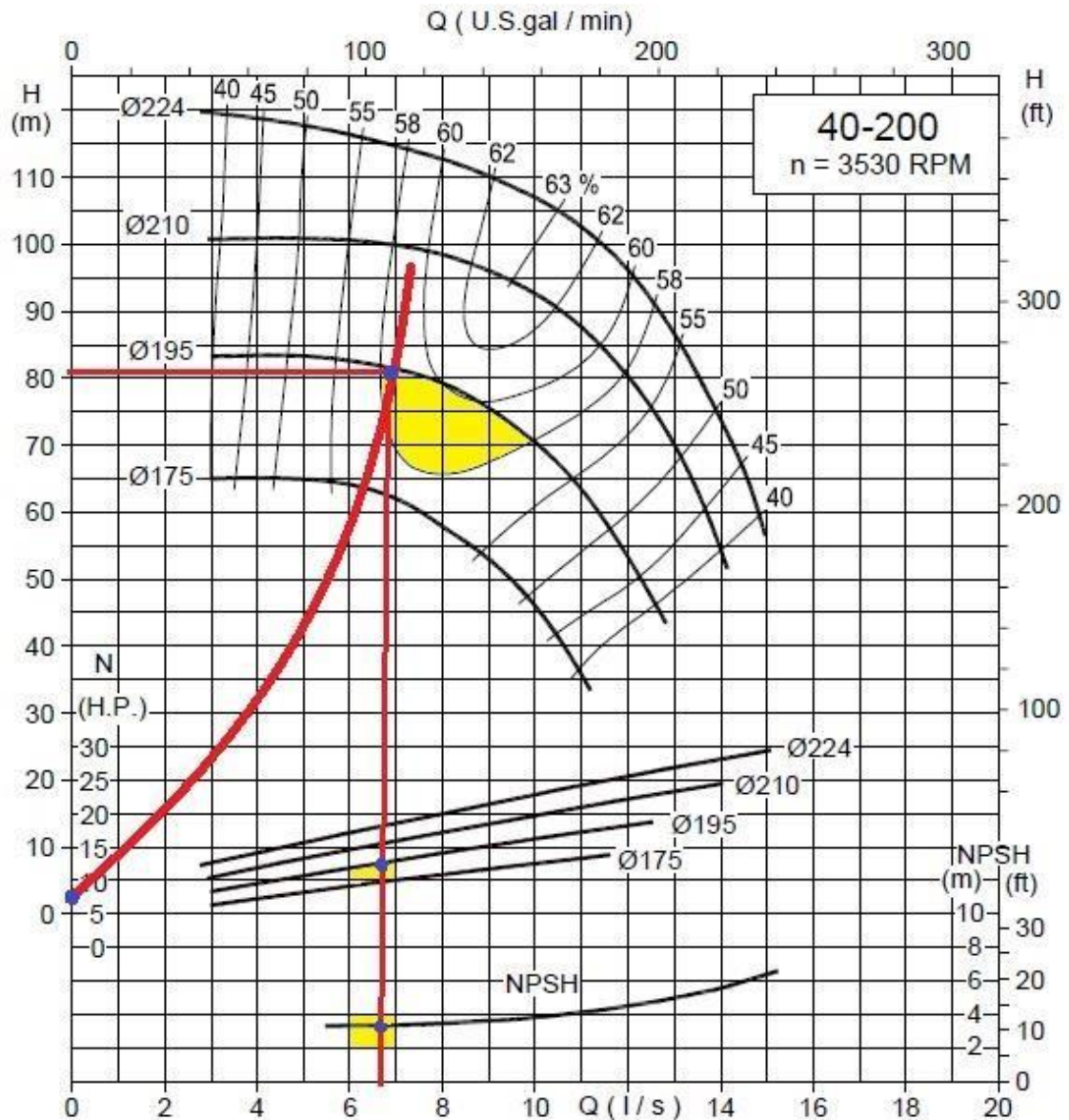


Fig. 19 Curva del sistema vs curva del fabricante

Cálculo de agua empleada del actual:

Área total = Largo x Ancho

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

Consumo del agua por m²:

Consumo = 4 L/m²

Cantidad del total de agua empleada en el riego

Volumen = Consumo x Área

Volumen = 4 L/ m² x 50 000 m²

Volumen = 200 000 Litros = 200 m³

Cálculo de agua empleada con el sistema de riego:

Tabla N° XIII 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

El máximo uso de agua para el riego realizado con el sistema se registró en junio, alcanzando un consumo de 19,5 m³ para el riego.

3.2.3 Diseño eléctrico y de programación

En lo que respecta al diseño eléctrico, se centró específicamente en el accionamiento o el modo de operación del sistema de aspersión. El procedimiento de automatización se llevó a cabo a través de un mando manual y un automático que llevarán a cabo las tareas de riego de manera lógica. Además, permitirá que el usuario pueda gestionarlo cuando lo requiera. Las tareas y la programación están vinculadas con el diseño agronómico y los datos previamente obtenidos.

Manual de accionamiento.

Se llevó a cabo el arranque directo de una bomba, de tal manera que al presionar el pulsador S1 N/A (comúnmente abierto), se activará un contactor KM1 y permanecerá en funcionamiento. Posteriormente, para desactivar el sistema, se empleó el pulsador S0 N/C que desactivará la bomba. Cada pulsador posee sus respectivas luces piloto indicadoras de posición, siendo el rojo en estado OFF y el verde en estado ON.

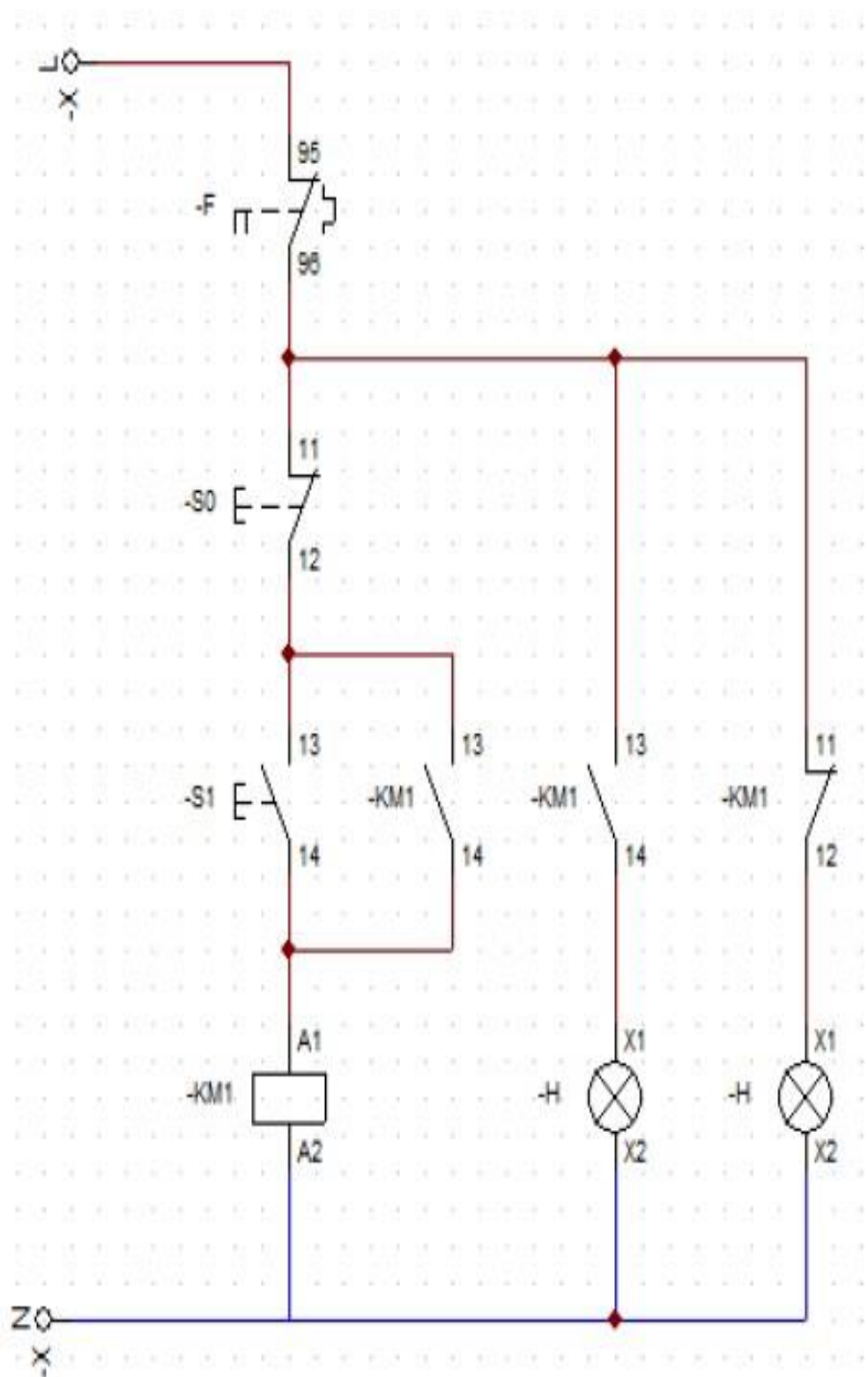


Fig. 20 Circuito de mando de arranque directo de la bomba

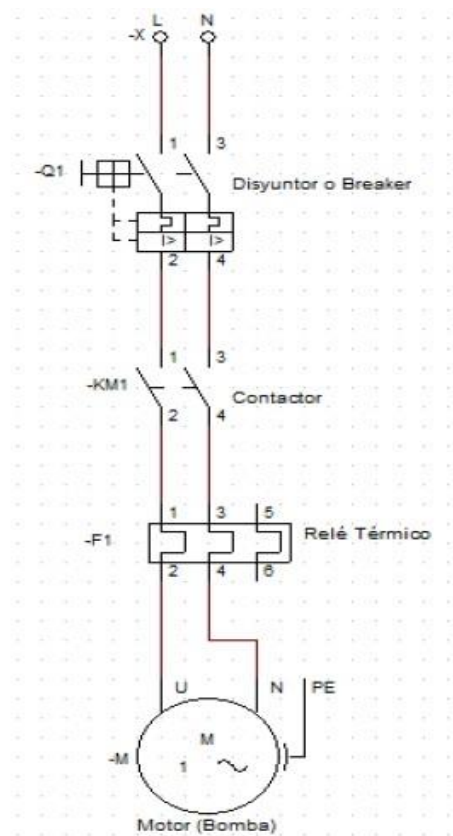


Fig. 21 Circuito de potencia del arranque de la bomba

Accionamiento automático

Se pretende el arranque automático de la bomba, de tal forma que se encienda conforme al cronograma. El pulsador S1 N/A activa el sistema y se activan las primeras salidas, alimentando de energía las 3 bobinas K1, K2 y K3. Tras el tiempo de los 3 primeros ramales, se desenergizan y se activan las 3 bobinas siguientes K4, K5 y K6, y así sucesivamente hasta alcanzar la totalidad de las 33 ramales. Este encendido puede ser interrumpido al accionar el pulsador S N/C como una medida de paro anticipado o para activar voluntariamente el mando manual del sistema. En caso de que se desee, al pulsar nuevamente S1, el sistema reanudará su funcionamiento.

Al concluir el circuito, se instala un temporizador que estará programado para reanudar el funcionamiento del sistema de forma automática.

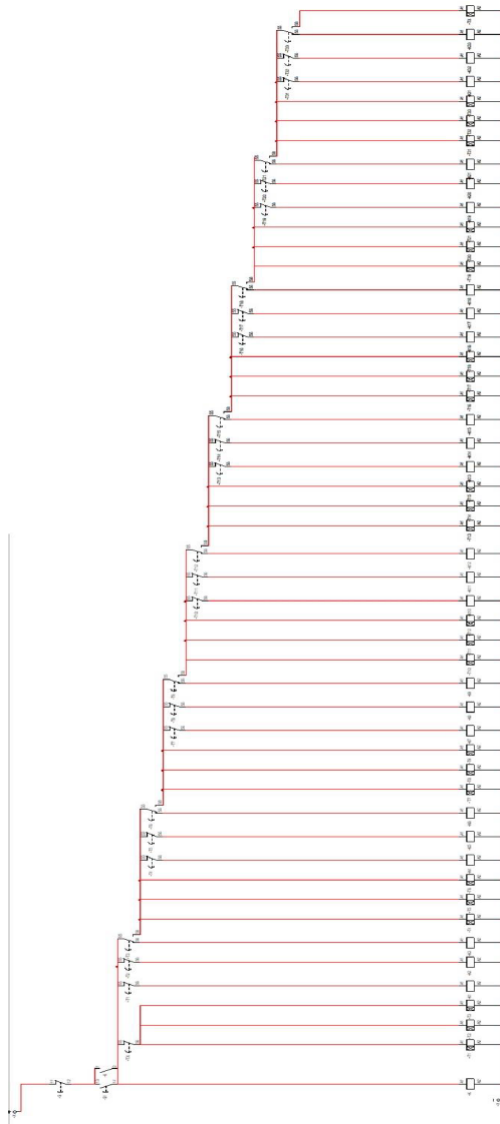


Fig. 22 Diagrama del sistema automatizado para el riego

IV. DISCUSIÓN

A partir de la exposición de los resultados, se puede inferir que el resultado obtenido indica el ahorro del 90 % del consumo del agua con dicho sistema del riego por aspersión automatizado y controlado con intervalo y tiempo de riego establecido.

Desarrollando el sistema automatizado del riego por aspersión mediante etapa y parámetro de diseño, debe de lograr un ahorro del consumo de agua para el riego del parque de los Anillos, en el distrito de Ate Vitarte.

En el contexto de la investigación realizada por el ingeniero Cárdenas Martha (2011) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en su proyecto de fin de carrera denominado "Diseño e Instalación de un Sistema de Riego por Aspersión para 50 Ha." En el proyecto "De Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Provincia del Guayas", se tomaron en consideración los diversos parámetros hidráulicos que determinan los resultados y, en última instancia, su calidad de instalación proyectada y realizada. Debe de afirmarse que el desarrollo del trabajo y cálculos empleados del trabajo posee un grado de validez alto

En el contexto de investigación realizada por el ingeniero Freddy Matheus (2011) para obtener el título de Ingeniero Agrícola de la Universidad de los Andes, titulada "Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en un sector de la finca Estapape, en la parroquia La Quebrada, en el Municipio Urdaneta, en el Estado Trujillo". Para el diseño hidráulico, se emplearon dos áreas distintas de la parcela con el fin de optimizar el rendimiento y reducir la capacidad del bomba para suministrar el caudal. Por lo tanto, se puede afirmar que durante el desarrollo de la investigación se empleó el mismo esquema de separación de cada tres ramales con el fin de uniformar y emplear un riego por etapas con el fin de reducir el caudal requerido y obtener diámetros reducidos en la red de tuberías

Este estudio se encuentra dentro del marco legal del Ministerio del Ambiente, que a través de una resolución ministerial N.o 072-2017-MINAM establece lo siguiente: "El Estándar de Calidad Ambiental debe garantizar el funcionamiento de los ecosistemas, y el Gobierno debe garantizar que se cumplan los parámetros con el objetivo de mejorar la calidad ambiental, eliminando los riesgos para la salud de las personas y el entorno". La normativa optimizará la implementación de estos parámetros.

En consecuencia, mi labor satisface las necesidades especificadas, preservando el consumo de agua utilizada para el riego y mejorando la calidad del medio ambiente. Además, todas las fundamentaciones teóricas presentes en este estudio están referenciadas para el consentimiento informado apropiado y se emplean los métodos más óptimos para la elaboración de los cálculos y la formulación del diseño.

V. CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado el sistema automatizado de riego por aspersión que cumple con la necesidad hídricas del parque de los Anillos. Además, este sistema reduce en un noventa por ciento el consumo de agua para el riego, gracias a que se utiliza el agua de manera controlada con tiempos de operación preestablecidos y automatizados.
- Se registró un caudal de 22,332 m³/h para todo el sistema, lo que permitió la selección de las tuberías principales y los ramales correspondientes al diseño. En este caso, se emplearon tuberías de PVC de los siguientes diámetros: 110 mm y 90 mm. Adicionalmente, el aspersor que será empleado es un aspersor metálico de impacto con una capacidad de 6 bar y un caudal de 7,44 m³/h.
- La caída total de presión o altura del sistema es de 80,028 metros, requiriendo una potencia de 8.72 HP. Por lo tanto, se seleccionó el modelo 40-200 de 20 HP en el catálogo de bombas de la marca Hidrostral. La cual proporciona de manera integral el caudal requerido para el riego.
- La automatización del sistema de riego por aspersión ha permitido que los ramales operen de manera consecutiva en grupos de tres, con el fin de minimizar el caudal proporcionado y garantizar un control más preciso en el accionamiento de las electroválvulas. Se llevó a cabo un diseño utilizando temporizadores y calculando los parámetros de riego, tales como la frecuencia y la dosis de riego.

VI. RECOMENDACIONES

- El modelo del sistema de riego constituye una medida a implementar con el fin de optimizar la utilización del recurso hídrico. En este caso del riego de arbustos y otras especies de consumo de agua reducido en comparación con el Grass, se podría presentar un exceso de agua.
- Se aconseja planificarse su distribución de las plantas con el criterio de hidrazonas, con el objetivo de segmentar las áreas en función de sus necesidades de agua. Otras estrategias incluyen la utilización de especies xerófilas que posibiliten la conservación del agua, en algunos casos hasta del 70 por ciento. Para lograr esto, es necesario conocer de manera más precisa las necesidades hídricas del jardín, por lo que se necesitan los valores del coeficiente de especie ajustado a su realidad de la zona.
- Para asegurar el funcionamiento óptimo, se aconseja llevar a cabo un análisis transitorio para identificar la variación de presión ocasionada por el cierre abrupto de las válvulas. Esto permitirá identificar las válvulas requeridas para prevenir el golpe de ariete.
- El agua y la energía constituyen recursos de creciente valor. En consecuencia, resulta esencial incrementar la eficiencia energética en los componentes que utilizan energía. Por consiguiente, se aconseja llevar a cabo un estudio de optimización energética del sistema de riego con el propósito de evaluar la reducción del consumo energético mediante la evaluación de otras alternativas de operación.
- Examinar las ventajas y desventajas de cada una de las posibilidades, dado que todas han sido diseñadas con el propósito de optimizar los recursos disponibles en función de las necesidades agronómicas, previo a la implementación de un sistema de riego tecnificado.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- 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 aspiración mínimas. Obtenido de <http://galeon.com/elregante2/npsh.html>
- Ignacio García Casillasc (2007). Sistema de riego por aspersión y goteo
- Jose María Tarjuelo Martín – 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.