

# Sistema de riego automatizado por aspersión utilizando un aerogenerador

*Autores: Luis Miguel Rodríguez Borja 23551919044*

*Carlos Andrés Arzuza Olivares 23551925943*

*Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.*

*Programa Académico Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial*

*Universidad Antonio Nariño*

*Sede puerto Colombia*

*Luirodriguez78@uan.edu.co*

*Carzuza61@uan.edu.co*

*Director*

*Wilman Orozco*

*Wilman.orozco@uan.edu.co*

**RESUMEN:** La finalidad de este proyecto de grado es implementar en el municipio de San Cristóbal Bolívar, un sistema de riego novedoso que sea amigable con el medio ambiente, que permita prevalecer la seguridad por la vida y la integridad física tanto de animales (fauna) como de seres humanos, con el mayor porcentaje de efectividad posible.

Este funcionará mediante una tecnología que utilizará un mecanismo de control equipado con sensores y un microcontrolador de modo que pueda trabajarse de forma automática. Para el caso en que no haya alguien al frente de la operación del sistema tendrá como mecanismo de emergencia los sensores mencionados anteriormente, este nos permitirá controlar el modo y los tiempos de riego para el cultivo; no obstante el mecanismo podrá ser operado manualmente un número determinado de horas de acuerdo a aquellos momentos del día en que se requiera, de modo que dicho sistema podrá ser operado tanto de forma manual como automático, logrando con ello proteger los cultivos y mejorar los riegos en las zonas de difícil suministro de agua.

Como fuente de generación se hará uso de energía eléctrica producida por aerogeneradores, para el suministro del sistema.

**PALABRAS CLAVE:** *Aerogenerador, agricultura, aspersión, automatización, efectividad, medio ambiente, novedoso, proyecto, seguridad, sistema, tecnología.*

## I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El riego es uno de los procedimientos que permiten la distribución eficiente del agua, por ello la agricultura ha desarrollado diversas técnicas con el fin de optimizar el consumo de este preciado líquido y a la vez obtener rentabilidad en los cultivos.

Dada al menester en la agricultura y sobre todo la constancia que esta conlleva a permanecer en los lugares donde se necesita un riego constante y controlado, para que los productos del agro no se dañen o lo que es peor se pierdan en su totalidad surge la necesidad de recurrir a la automatización para facilitar la labor de riego agrícola.

Esta alternativa puede ayudar a las personas en el campo al no tener la necesidad de permanecer personalmente y así poder realizar tareas adicionales o paralelas al mismo tiempo. [1]

En el ámbito de la agricultura existen diferentes formas de reguío las cuales a medida que pasa el tiempo se van creando más y mejores tecnologías en busca de un manejo óptimo del agua, buscando así darle el mejor uso posible, algo que hay que tener en cuenta es el hecho de que los cultivos requieren de ciertos nutrientes que son proporcionados tanto por el suelo como por el agua de tal modo que debe haber un equilibrio entre estos, partiendo de aquí, se han implementado muchos tipos de reguío entre los cuales tenemos los

siguientes: cajetas, melgas, surcos, aspersión, goteo, entre otros.

Para el estudio de este proyecto el sistema de reguío que se ha escogido es el de aspersión ya que hasta el momento es uno de los más eficientes que se ha logrado, cabe destacar que si bien no es el mejor sistema si está por encima de otros debido a que permite un gran ahorro de agua sobre todo si el sistema se encuentra automatizado de una forma correcta. [2]

El riego en Colombia ha sido una parte integral del desarrollo agrícola y rural del país en el siglo XX.

Como es bien sabido para muchos, en Colombia contamos con una riqueza hídrica la cual nos ha permitido gozar de diversidades de beneficios dentro de los cuales se ubica también la agricultura.

Como tema principal de este enfoque y a pesar de mucha controversia que se ha generado en algunos sectores por las diferentes necesidades del agua, se busca trabajar en la forma en que el consumo de esta se pueda optimizar de la mejor manera posible buscando la manera en que el abastecimiento sea para todos de manera equilibrada.

Por otra parte, estudios realizados han demostrado que la temperatura del suelo es afectada directamente por la temperatura del agua de riego, lo que influye en el desarrollo del cultivo. Se han detectado efectos negativos relacionados con el riego en el suelo tales como:

- ✓ Incremento de algunas enfermedades en riego con aspersión.
- ✓ Retención de fósforo en el suelo.
- ✓ Un incremento de la falta de oxígeno en la atmósfera del suelo cuando hay exceso de agua.

El riego manual puede ocasionar el uso excesivo de agua o, por el contrario, que la cantidad suministrada no sea suficiente. Adicionalmente suele hacerse en horarios habituales sin tener en cuenta las condiciones del cultivo día a día, lo que nos lleva a pensar en una solución que nos permita la mayor efectividad posible con respecto a la relación consumo hídrico – productividad agrícola. [3]

Un tema que es muy visto en muchas zonas del mundo y para este caso en específico zona rural de municipio de San Cristóbal Bolívar (Colombia), es

el caso de difícil acceso de redes de energía eléctrica de una electrificadora que permitan el suministro eléctrico a estos sitios, por lo cual se ha optado por recurrir a las nuevas tecnologías que se ha venido desarrollando como lo es el tipo de generación por energía eólica o aerogeneradores, los cuales nos brindan una buena alternativa para el suministro de energía en dichas zonas.

Lo que se busca con la implementación de este sistema es poder generar energía eléctrica para poner en funcionamiento un método de reguío por aspersores el cual se abastezca de manera autosuficiente. [4]

Para el uso de una energía renovable es preciso tener en cuenta una serie de factores que deben cumplirse para que sea posible su aplicación, como por ejemplo la ubicación geográfica, el tipo de clima, características del medio ambiente entre otras.

En el caso de la energía eólica en la cual nos hemos enfocado como objeto de estudio se tendrán en cuenta aspectos muy relevantes siendo uno de los más importantes las características del viento y el terreno donde se desee implementar dicho sistema. Otro aspecto fundamental tiene que ver con la importancia que estos adquieren al ser amigables con el medio ambiente y permitir al mismo tiempo una economía sostenible con respecto al tema de inversión. [5]

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este proyecto se da cuando se detecta la necesidad que tienen los agricultores de San Cristóbal Bolívar de conservar su cosecha, por las diferentes anomalías que a diario se presentan por no tener un sistema de riego que les permita mantener sus cultivos en óptimas condiciones, disminuyendo así pérdidas y manteniendo en buen estado todos sus productos.

Dado a que se han generado grandes pérdidas por la falta de cuidado que necesitan los cultivos se requiere implementar un sistema de riego automático, que les permita rentabilidad y a la vez también mantener sus cultivos en óptimas condiciones y minimizar los costos por pérdidas.

### III. JUSTIFICACIÓN

Se desea implementar un sistema de riego automatizado con el fin de controlar con mayor exactitud cuándo es conveniente regar los cultivos, gracias a que estos estarán codificados por tiempos, mediante un microprocesador asistido por sensores y así minimizar gastos innecesarios, al igual que en los tiempos de lluvia.

Con este sistema de aspersión alimentado por medio de un aerogenerador, no será necesario utilizar energía eléctrica de terceros, sino que esta será proporcionada por sí mismo, esto se debe a que en estos lugares no es accesible la energía de electrificadoras de sectores aledaños y es por eso que mediante este recurso buscamos mejorar la calidad de los cultivos.

Este proyecto se plantea dada las necesidades que radican en este tipo de sistema de riego que no son inteligentes o automatizados, y los que son presentan costos muy elevados sobre todo para una población de bajos recursos económicos como son los agricultores de San Cristóbal Bolívar.

Con este sistema se pretende lograr la protección de los cultivos y mejorar el riego en los lugares de difícil acceso para evitar pérdidas.

### IV. OBJETIVOS

#### A. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de riego automatizado, utilizando un aerogenerador, que convierta la energía cinética del viento en energía eléctrica para el suministro de energía del mismo.

#### B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Determinar las características de funcionamiento y potencia requerida de un aerogenerador a través de una metodología investigativa de tipo procedimental.
- ✓ Implementar el sistema con base a los factores ambientales y geográficos.
- ✓ Evaluar el desempeño del sistema para verificar que este cumpla todas las expectativas del proyecto.
- ✓ Realizar capacitaciones a todas las personas involucradas en el proceso, para el uso adecuado de este sistema.

### V. ALCANCE

Gente de la comunidad de San Cristóbal Bolívar que son los encargados de darle vida a la siembra y el cuidado que esta requiere para su crecimiento.

### VI. METODOLOGIA

Para el diseño e implementación del sistema de riego, se utilizará una metodología experimental, la cual nos ayudara a evaluar los factores ambientales sobre los cultivos y así obtener información de los rangos de humedad y demás parámetros que serán necesarios para realizar los ajustes a los que haya lugar y poder así efectuar el reguío del cultivo de la manera más óptima posible.

Para llevar a cabo esta metodología será necesaria la consulta de diferentes fuentes de información como se describe a continuación:

#### 1. Tipo de estudio

Para el desarrollo de este proyecto se tendrá en cuenta los sistemas de riego, así como las fuentes de generación de energía eléctrica dispuestos en el mercado, para ello se hará uso de una metodología investiga, comparativa y procedimental que permita obtener parámetros que ayuden en la toma de decisiones al momento de escoger el sistema que mejor se adapte a las necesidades del mercado.

#### 2. Fuentes y técnicas de recolección de la información

##### 2.1 Fuentes primarias

Dentro de este tipo de fuentes se tiene en cuenta los actores de primer grado presentes como apoyo a dicho proceso como lo son, el cuerpo de docentes de la facultad, los lugareños del sitio en mención los cuales serán de gran aporte con sus experiencias personales y recursos adicionales que permitan estudiar más afondo todo lo relacionado con el tema para obtener información clara confiable.

Dichas técnicas pueden ser las siguientes:

✓ **Entrevistas:**

Estas se realizan al cuerpo de docentes de la institución universitaria y a las personas implicadas en el proceso como forma de acompañamiento investigativo.

✓ **Observación científica:** en este caso se tendrán en cuenta las fuentes oficiales de comunicación para evitar de caer en información errónea.

✓ **Revistas:** estas deben ser de tipo científico de modo que permita hacer comparativos de modelos actualizados lanzados al mercado que permitan estar al tanto de las nuevas tendencias.

## 2.2 Fuentes secundarias

Estas se usan como modo complementario de la información recopilada por los medios primarios.

✓ **Libros:** en este caso nos apoyamos con la biblioteca dispuesta por la universidad tanto en medio físico como virtual, así como también se puede recurrir a buscar por medios alternos con tal de recopilar la información que sea necesaria.

✓ **Bases de Datos:** teniendo en cuenta que hay infinidad de bases de datos dispuestas para brindar una mejor fluidez de la información se puede recurrir a base de datos ya sea propias de la institución o de terceros, o inclusive recurriendo a las redes de internet.

## Alcance y limitaciones en el proyecto de investigación

Este va destinado a la universidad para que repose en sus registros bibliográficos y está dirigido al público en general, en especial a la población estudiantil con el objetivo que sirva como un precedente para estudios futuros que permitan hallar nuevas mejoras futuras y de este modo contribuir con el desarrollo del planeta en busca de hacer cada vez más y mejores fuentes de generación

y producción, que estas sean amigables con el medio ambiente y que a la vez permitan a la sociedad tener una productividad eficiente sin que ello represente daño o peligro a la sociedad ni al ecosistema.

## VII. RESULTADOS ESPERADOS

La fabricación de un sistema de riego con aspersores alimentado por un aerogenerador que sea amigable con el medio ambiente.

### a. ubicación dentro de las líneas de trabajo del programa

El proyecto va encaminado a las líneas de innovación y desarrollo tecnológico constante, utilizando como fuente de generación principal, generadores a base de energías renovables.

### b. usuarios directos y formas de utilización de los resultados del proyecto

El sistema está propuesto para la comunidad de municipio de San Cristóbal Bolívar, para mejorar la calidad de vida de los agricultores de la región sin desmejorar las condiciones de un ecosistema sano.

## VIII. MARCO DE REFERENCIA

### A. Marco Conceptual

Para que el lector de este artículo tenga una imagen clara del tema aquí planteado, se hace referencia a alguno de los términos que se manejan para que de este modo el lector se familiarice con más facilidad con el mismo.

✓ **Agricultura:** son aquellas actividades desarrolladas por el hombre, gracias a su conocimiento, cuyo destino es cultivar la tierra con el fin de obtener productos vegetales, como frutas y hortalizas, para el consumo humano y de algunos animales.

✓ **Reguío:** es aquella actividad consistente en suministrar agua a los cultivos para suplir aquellos periodos de tiempo en los que no se ha obtenido por precipitación

(lluvias), o en aquellos lugares donde el terreno es muy seco y carece de humedad.

- ✓ **Aspersión:** en agricultura, es un sistema diseñado para abastecer los cultivos de agua, este se realiza por medio de una tubería en la cual fluye el líquido a presión por las bombas que abastecen el suministro.
- ✓ **Energía:** La energía no se crea ni se destruye solo puede ser transformada, y es aquella propiedad que tiene un organismo de llevar a cabo un trabajo ya se de manera dinámica, mecánica, eléctrica o de más.
- ✓ **Energía eléctrica:** Es aquella generada por el movimiento o flujo de electrones dentro de un conductor eléctrico, esta tiene muchas formas de ser generada y transportada, una vez descubierta ha sido de gran utilidad para la humanidad, pero se requiere de mucho cuidado para su operación.
- ✓ **Energía cinética:** Esta se refiere a la energía que posee un cuerpo en movimiento y se obtiene con el simple hecho de tener masa, es decir que un objeto tiene energía cinética por tener masa y por entrar en movimiento y dicha energía será mayor entre más grande sea su masa y mayor sea su movimiento.
- ✓ **Energía mecánica:** Esta es conformada por la energía cinética y energía potencial, la cinética como se mencionó en el apartado anterior hace referencia a un cuerpo con masa en movimiento, mientras que la potencial se refiere a la energía que almacena un cuerpo en estado de reposo y que puede ser transformada en otro tipo de energía.
- ✓ **Energía eólica:** Es una de las fuentes de energía más limpias que hay y se produce aprovechando la energía que transmite el viento adaptando un sistema que permita aprovechar dicha energía, esta, por lo general es utilizada para transformarla en otros tipos de energías, como la energía cinética, la mecánica, la eléctrica, entre otras.
- ✓ **Generación eléctrica:** Es el proceso que se lleva a cabo en la transformación de un tipo de energía ya sea renovable o no renovable, a energía eléctrica, esta puede ser producida por medios físico o químicos dependiendo cual sea el caso y es utilizada en la sociedad como medio

de sostenibilidad, en especial en la industria como medio principal de producción.

## B. Marco Teórico

En este apartado no se hará énfasis especial en cuanto a sistema de diseño del aerogenerador, dado que el estudio no va concentrado en este, sino en el sistema de riego que se ha puesto en estudio.

Este solo será la fuente de energía que se utilizara para el manejo de dicho sistema, pero como ya sabemos ya son equipos constituidos y acá solo se adaptará como herramienta para dar funcionamiento al proyecto como tal, sin embargo, cabe destacar que se tendrán en cuenta las dimensiones y características requeridas de acuerdo al suministro de energía que sea necesario para dicho sistema.

### 1. EL PROCESO DE DISEÑO EN INGENIERÍA.

En este se tienen en cuenta las cualidades del individuo como fundamento principal de un método investigativo el cual tiene la importancia de contar hoy en día con una gran variedad de herramientas gracias al avance de la tecnología que nos permite obtener un trabajo de alta calidad, precisión e innovador, un ejemplo de ello son los sistemas automatizados que son hoy por hoy la gran revelación a nivel general y en especial en el campo de la industria.

#### PARA EL DISEÑO DE ESTE PROYECTO SE TENDRAN EN CUENTA LOS SIGUIENTES ITEM'S:

- ✓ Identificar el tema de estudio.
- ✓ Investigar toda la temática relacionada con el mismo.
- ✓ modelación del tipo de sistema seleccionado.
- ✓ Sintetización de dicho sistema.
- ✓ Etapa de fabricación del sistema seleccionado.
- ✓ Pruebas de ensayo del modelo.
- ✓ Publicación del proyecto una vez terminado.

## 2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

### SISTEMAS DE RIEGO

La necesidad de agua en las plantas es una de las necesidades a tener en cuenta en la producción agrícola, sin este recurso natural las plantas y las frutas no se desarrollarían adecuadamente, en las plantas la circulación del agua comienza cuando las raíces absorben ese líquido y lo llevan hacia las hojas, a este movimiento del agua se le llama potencial hídrico el riego es una actividad que consiste en aportar al suelo y a las plantas el agua para favorecer su crecimiento desarrollo y alimentación.

En las diferentes explotaciones agrícolas es necesario utilizar el agua y su riego sobre las plantas, para esto se han implementado los sistemas de riego, una estructura de tuberías o mangueras que respaldadas por una motobomba o electrobomba pueden surtir de agua un cultivo, ahora gracias a las ventajas de la tecnología se puede contar con bombas hidráulicas potenciadas con un motor de combustión o un motor eléctrico permitiéndonos según la necesidad transportar el líquido necesario para el desarrollo de un cultivo, galpón ganadería o construcción.

El riego para las plantas es necesario debido a que estas extraen agua del suelo por factores como la temperatura del ambiente, el clima la intensidad de la luz, el viento y el grado de humedad de la atmósfera, igualmente la calidad del suelo en el que se esté plantando influye sobre la necesidad por agua de las plantas, la porosidad y el contenido de arcillas y arena determinan la permanencia de agua en la zona radicular de las plantas así mismo el tamaño de las plantas nos determinan que tipo de riego debemos utilizar, no se necesita la misma cantidad de agua para una planta que empieza a crecer que para una ya desarrollada. Entre los métodos más comunes que encontramos para los sistemas de riego encontramos los siguientes: [6]

**El riego por surcos:** que se encarga de mover el agua por gravitación, no requiere energía extra para mover el agua gracias a la pendiente del surco, dicha agua es tomada de la cabecera de la fuente de abastecimiento principal que exista en el sitio, algo muy importante a tener en cuenta es que los surcos elaborados deben ser realizados de forma sistemáticas para que el agua no provoque erosión dentro del cultivo, los surcos deben construirse de forma uniforme con el fin que el reguío se desarrolle de una forma eficiente. Este tipo de reguío se utiliza

en cultivos como el maíz, la caña de azúcar o similares. En la Fig. N° 1 podemos apreciar el sistema de riego por surcos. [7]



Fig. N° 1 sistema de riego por surcos.

**El riego por inundación:** un método bastante primitivo que se ha dejado de utilizar debido al gran gasto de agua que demanda, para la implementación de este método de reguío es importante tener en cuenta el contenido volumétrico del campo para poder optimizar la aplicación en el uso del mismo, con el fin de tratar de disminuir el desperdicio de agua en la mejor medida en la que sea posible. La imagen de la figura Fig. N° 2 ilustra este sistema de riego. [8]



Fig. N° 2 sistema de riego por inundación.

**El riego por aspersión:** en el que se aplica el agua en forma de lluvia se utilizan en áreas descubiertas sobre todo en pastos hortalizas, se utiliza mucho para maíz y otros tipos de granos. A continuación, tenemos la imagen del riego por aspersión en la Fig. N° 3.



Fig. N° 3 riego por aspersión.

Con el sistema de riego por aspersión se genera un chorro de agua pulverizada en gotas, el líquido sale de los aspersores a presión la cual es generada por la bomba y la cual es transportada por un sistema de tuberías. En este sistema es muy importante contar con el trabajo y dotar el agua de presión hidráulica gracias a la potencia de dicha bomba.

Este sistema es indicado para aplicar en los cultivos en los que no hay problema en regar follajes o grandes áreas, se puede regar pastos, bananos, plátano, stevia, zanahoria, repoyo, entre otras hortalizas.

Son los más económicos para instalar en cualquier tipo de cultivo porque requieren de menos tubería y son más fáciles de trabajar, aunque cabe destacar que no siempre lo más económico es lo más viable para un cultivo, una desventaja de este sistema es que el chorro de agua por ser muy fuerte puede tumbar la flor del cultivo y al tumbar la flor ya no hay fruto por lo cual hay que buscar el tipo de riego adecuado no tan solo en la parte económica sino también el más funcional para el cultivo.

La presión del agua en el sistema de riego por aspersión es muy necesaria pues la red de distribución se multiplica en proporción a la superficie que debemos regar también para que el agua llegue al mismo tiempo y a la misma presión a todos los aspersores por lo que es necesario de donde se va a tomar el agua para alimentar la bomba y por consiguiente surtir el cultivo, esta vendrá por una tubería madre desde la bomba o el tanque donde se tenga el agua evitando de tal modo que se evite colocar la instalación de la misma por las calles o surcos, luego partiendo de esta tubería se reparten las mangueras secundarias que son las que llegaran hasta las plantas. Estos puntos pueden ser móviles y se ubica de acuerdo a la necesidad del cultivo la distancia entre estos pueden ser de entre cincuenta o cien metros. [9]

**Sistema de cañones:** Este cuenta con un mecanismo diseñado de tal forma que le permita tener un movimiento giratorio de 360° aprovechando la misma fuerza del agua por medio de un alabe en la cual golpea el fluido y lo hace girar, a la vez que utiliza una boquilla y un diseño dispuesto de tal forma que el chorro de agua tenga un gran alcance radial logrando así regar grandes distancias de hasta unos 25 m<sup>3</sup>/h. se utiliza en grandes extensiones como en sorgos, pastos y maíz también se utiliza para regar la porquinaza o en su defecto agua limpia para regar pastos de corte, y otro tipo de granos. Fig. N° 4 nos muestra el Sistema de cañones. [10]



Fig. N° 4 sistema de cañones.

**Riego por goteo o localizado:** este se aplica en invernaderos y la ventaja de este sistema es que aplica el agua justo a la raíz donde se necesita en la planta, no aplica en follajes con lo cual se evitan muchas enfermedades, es el riego que mayor economía de agua permite porque el gasto es mínimo y también se puede apoyar con el fertilriego, en cuestiones de inversión es el tipo más costoso por su costo de montaje de la estructura, pero es el sistema que más agua economiza. se caracteriza por optimizar los recursos y utilizar pequeños caudales a baja presión, se utiliza mucho en riegos bajo invernaderos y grandes extensiones es una forma excelente de economizar el agua se puede utilizar en cítricos, en aguacates, en stevia entre otros. La siguiente imagen nos enseña Riego por goteo o localizado en la Fig. N° 5.



Fig. N° 5 riego por goteo o localizado.

Este sistema es el más costoso en costo de construcción, pero es el que más nos economiza, como primera medida en mano de obra ya que es totalmente automático lo que hace que no sea necesario tener un operario que este controlando el riego ya que este se puede prender o apagar de forma automática y al aplicar el agua directamente a la raíz de la planta esta no se evapora y en sectores donde el agua es escasa, lo ideal sería regar por goteo.

La ubicación de las tuberías en este sistema se ubica de tal manera que quede una tubería central en el cultivo de donde se hacen las derivaciones hacia las laderas o camas, estas deben ir en la parte superior a la planta para que el agua le llegue justamente a la raíz por lo que el agua siempre tiende al punto más bajo y si es en un terreno plano se deben ubicar las mangueras justo al lado del tallo. Algo que también hay que tener en cuenta es que el agua debe estar bien filtrada para evitar taponamientos con alguna partícula de tierra para esto desde que se extrae el agua hacia la bomba se debe colocar la válvula de pie con la que se comenzara a filtrar el agua. [11]

**Sistema de riego por nebulización:** es utilizada en invernaderos, como parte de germinación y algo de especies menores debido a que produce un chorro débil, no muy fuerte lo cual evita que se golpee la semilla en el momento en el que se está germinando o en algunos casos sirve para refrescar algunos ambientes, algunas de las ventajas que este ofrece es que es muy economizante en el consumo de agua, permite ahorrar agua y fertilizante por su forma de consumo mínimo, no se producen zonas de calor dentro del ambiente y es muy eficaz en todas las etapas del cultivo entre otras. se utiliza también en caracoles. La Fig. N° 6 muestra el Sistema de riego por nebulización. [12]



Fig. N° 6 sistema de riego por nebulización

**La micro aspersión:** este sistema produce una gota muy fina se utiliza mucho en cultivos de flores como la hortensia, los pompones, entre otras o

alguna clase de hortalizas delicadas como pueden ser lechugas o hierbas aromáticas ya que estas evitan golpear el follaje en los cultivos. En la imagen que sigue a continuación podemos apreciar este sistema en la Fig. N° 7 La micro aspersión.



Fig. N° 7 la micro aspersión.

Es el más viable por ser un chorro de agua suave, el segundo más costoso en costo de construcción luego del sistema por goteo siendo un poco más costoso que el sistema de aspersión.

Para la instalación de la tubería para este sistema hay que hacer cubicación del terreno, por ejemplo, se dejan unos cuatro o cinco metros de separación entre punto y punto de derecha a izquierda y hacia todos los lados y se colocan un aspersor por punto y esto permite que se rieguen área como tal. [13]

## LOS TIEMPOS DE RIEGO

Los tiempos de riego son muy relativos ya que estos dependen de una serie de factores como; el tipo de cultivo, tipo de suelo y el dictamen del agrónomo, en los sistemas de riego por micro aspersión, aspersión o goteo hay que tener en cuenta la cantidad de agua que se va a aplicar para no entrar en un exceso y tener la cantidad de agua disponible, si en el momento no se cuenta con la cantidad de agua mínima requerida se puede realizar el riego por fases no es necesario hacerlo todo al mismo tiempo.

Lo ideal para realizar los riegos sería en las primeras horas de la mañana en horas entre las seis a nueve de la mañana o por la tarde noche a eso de cuatro de la tarde a siete de la noche más tardar, esto es debido a que estas son las horas donde hay menos calor y menos evaporación del agua.

La eficiencia en los sistemas de riego se debe garantizar por medio de un trabajo apropiado que nos brinde la bomba hidráulica manteniendo un equipo con especificaciones técnicas adecuadas para ello se debe contar con el apoyo de un



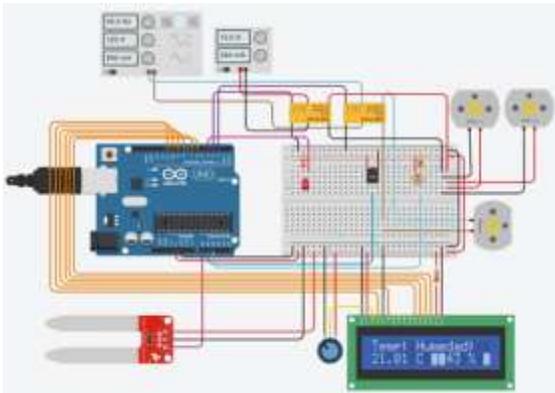


Fig. N° 10 Circuito lógico del sistema de riego.

Las pautas que se tuvieron en cuenta al momento de la fabricación del circuito electrónico para la automatización del sistema, son las siguientes:

Los cultivos en general conllevan a una serie de factores que son objeto de estudio, dichos valores pueden ser usados como parámetros de entrada que sean censados por medio de los dispositivos de entrada (sensores) con los que cuenta el sistema, una vez estos, envíen la información a la unidad de almacenamiento y procesamiento, esta como su nombre lo indica se encargará de procesar la información y enviar unas señales de salida que dependerán de la información de entrada que haya recibido, como lo habíamos mencionado antes, una vez esta información sea censada y procesada, será enviada como una señal de salida hacia los actuadores, que serán los que finalmente abrirán o cerrarán el flujo del caudal, de acuerdo a la señal que reciban.

Este circuito viene acompañado de relés cuya función es permitir o cerrar el paso de corriente hacia los actuadores de acuerdo a la señal que reciban, el sistema cuenta también con una pantalla LCD de dos canales para poder visualizar la información y que de esta manera se pueda monitorear que el sistema esté funcionando correctamente, los sensores con los que cuenta el sistema son; sensor de humedad, de temperatura y fotovoltaico, estos serán los encargados de recopilar las señales de como se encuentra el clima o las condiciones del suelo y la envían al procesador en forma de señales eléctricas que este luego procesara y enviara las señales de salidas al respecto, esta unidad de proceso o microprocesador, estará programado con ciertos parámetros de tal modo que se deben cumplir ciertas premisas programadas para que este pueda dar la señal de apertura a los actuadores así como también pueda emitir una señal de salida para que pueda tener señal de encendido

el equipo de bombeo del sistema.

La fuente de alimentación que tendrá dicho circuito para su funcionamiento, será a base de fuentes suministradoras de energía, proveniente directamente del aerogenerador con que cuenta el sistema.

El circuito está dotado de varios componentes que actuando entre si permiten que sea posible el proceso automático antes mencionado. Dentro de dichos componentes tenemos una pantalla LCD. o monitor que nos brinda información de gran importancia como lo es el grado de temperatura y el porcentaje de humedad con el que cuenta el sistema para no trabajar a ciegas y poder tener una información veraz y de gran utilidad que a la vez nos sirve para hacer inspecciones previas del funcionamiento del servicio.

Seguidamente contamos con el diagrama eléctrico de dicho circuito en la Fig. N° 11 y 12.

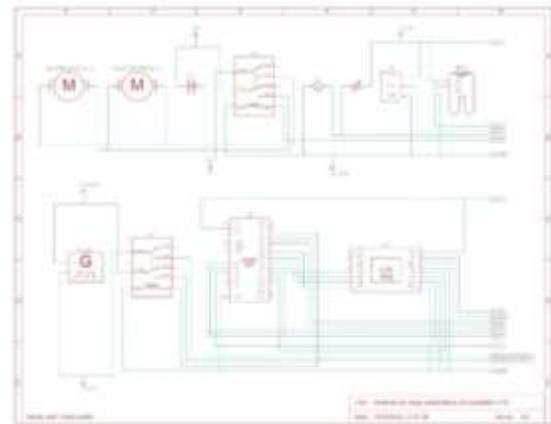


Fig. N° 11 diagrama eléctrico del circuito de automatización del sistema.

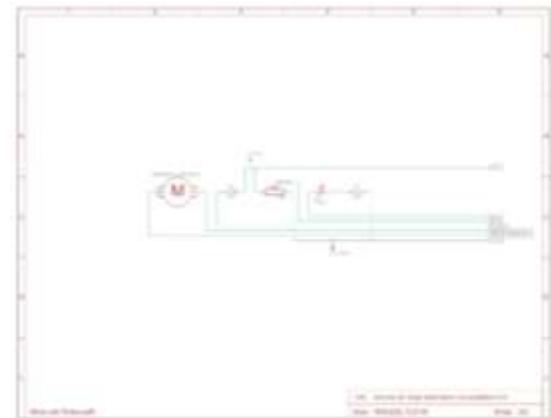


Fig. N° 12 diagrama eléctrico del circuito de automatización del sistema.

El diagrama eléctrico tiene dos finalidades, que se pueden destacar a continuación, la primera es que nos sirve como esquema de funcionamiento para el diseño y fabricación del sistema eléctrico del suministro. Y la otra es la de mostrar el esquema eléctrico de funcionamiento del circuito para que en caso de falla se haga más fácil la revisión y reparación del suministro en cuestión.

A continuación, se hace una relación detallada de los componentes que actúan en el sistema. Fig. N° 13.

LISTA DE COMPONENTES DEL CIRCUITO ELECTRICO Y ELECTRONICO		
Nombre	Cantidad	Componente
R1	1	Fotorresistencia
SEN1	1	Sensor de humedad del suelo
Bomba eléctrica	1	Motor de AC
Electroválvula	2	
U2	1	Arduino Uno R3
Rpot1	1	250 kΩ Potenciómetro
R2	1	10 kΩ Resistencia
K2	2	Relé DPDT
Aerogenerador	1	Generador AC 120 - 240 - 60Hz
Fuente de energía	1	12, 5 Suministro de energía DC
U3	1	LCD 16 x 2
D1	1	Rojo LED
R3	1	230 Ω Resistencia
U1	1	Sensor de temperatura [TMP36]
R4	1	220 Ω Resistencia

Fig. N° 13 listado de componentes del circuito.

## X. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION.

Partiendo como punto principal tenemos que tener en cuenta para que tipo de cultivo se requiere el sistema y que factores influyen en el mismo. En este caso tenemos que el tipo de cultivo, es de Maíz y que el área con el que se cuenta para el mismo es de una hectárea (1Ha) de cultivo.

Para llegar al desarrollo del diseño se han investigado los factores que determinan el comportamiento de este cultivo y se detallan a continuación:

### Evotranspiración (ETc)

Iniciando por determinar la necesidad del agua del cultivo en el mes de máximo consumo la cual está dada por la ecuación.

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde **ETc** es la evotranspiración del cultivo **ETo** evotranspiración de referencia, este es el punto de partida para determinar el máximo consumo de agua del cultivo y por ende las necesidades de caudal requerido para abastecer el mismo, y **Kc** es el coeficiente del cultivo, el cual se usa junto con el **ETo** para determinar la tasa y frecuencia de riego del cultivo.

Para determina el **ETc** primero hay que encontrar el **Kc** que se encuentra en las tablas de coeficiente del cultivo y el **ETo** este último varía de acuerdo a una serie de factores que lo componen como **n/N**, que es una relación entre insolación (**n**) fuerte y el viento fuerte (**N**) y esto se halla por el método de **blaney Criddle** para el cual hay que hallar el factor (**f**) y una vez conseguido nos vamos a la gráfica de **blaney Criddle** para tener el **ETo** correspondiente:

$$f = \rho(0.46 * t + 8.13)$$

Donde **f** es el factor de **blaney Criddle** **ρ** es un coeficiente dependiente de la posición geográfica y se optime de tablas de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo y **t** es la temperatura promedio en el mes de máximo consumo de agua, (**0.46** y **8.13** son valores constantes).

En el municipio de San Cristóbal Bolívar se cuenta con una latitud sur de 9° 52'54" el cual proporciona un coeficiente **ρ** de 0.28 (tabla 1 de **blaney Criddle**) y la temperatura promedio es de 29° C, (tomado de datos oficiales del IDEAM)

Entonces operando tenemos que:

$$f = \rho(0.46 * t + 8.13)$$

$$f = 0.28(0.46 * 29^{\circ}C + 8.13)$$

$$f = 6.01$$

Adicional a esto tenemos que:

Insolación fuerte (n) = 11.9

Vientos fuertes (N) = 12.4 (según la tabla 2 de **blaney Criddle**)

$$\frac{n}{N} = \frac{11.9}{12.4} = 0.95$$

La velocidad del viento para la región en estudio es de 9.3kh (débil)

La humedad relativa es de 96%

Ahora al tener el factor **f** de **blaney Criddle** y los datos detallados anteriormente ya podemos encontrar la **Eto** en la gráfica de **blaney Criddle**, la cual sería:

$$Eto = 5.01$$

Ya teniendo el **Eto** y teniendo en cuenta que **Kc** obtenido de tablas de coeficientes de cultivo es de 1.15 para un 75% de desarrollo.

$$ETc = Eto * Kc$$

$$ETc = 5.01 * 1.15$$

$$ETc = 5.76mm/dia$$

### Pluviometría requerida por el sistema.

Ahora el paso siguiente es hallar la pluviometría a producir por el sistema de riego la cual para el tipo de suelo limoso debe permitir una permeabilidad de entre 7 – 8 mm/h también se debe tener en cuenta que lo recomendable es de 5 – 6 mm/h para evitar que se produzcan escorrentías.

Luego de esto estimando una presión de trabajo de 4 Atm o 40 mca la cual nos permita una presión media de 3.5 atm procedemos a seleccionar el aspersor que nos permita cumplir con estos requisitos apoyándonos de catálogos que se encuentran en el comercio, en ese orden de ideas hemos seleccionado un aspersor con las siguientes características:

Aspersor plástico 6025 – SD de la compañía JAIN irrigation, de ½” boquilla negra de 4.0mm de impulso con giro graduable, con un marco de riego de 15m \* 15 m, presión de agua de 3.5 bar, (3.45 Atm), descarga de agua de 1185l/h, área de riego aproximada 450 m<sup>2</sup> (compatible con tubería de PVC).

Seguidamente para determinar el espaciamiento entre aspersores se tiene en cuenta un margen de tolerancia que puede ir de entre 1.0 a 1.4 adimensional, para nuestro caso trabajaremos con un margen de 1.0 para que nuestra pluviometría no se salga de los límites recomendados. Entonces tenemos que:

$$Easp = 1.0 * r\_asp$$

Donde **E asp** es espacio entre aspersores **1.0**, el margen de tolerancia y **r\_asp** es el radio de alcance del aspersor. Entonces:

$$Easp = 1.0 * 15m$$

$$Easp = 15m$$

Luego se multiplica este resultado por sí mismo para obtener el área en m<sup>2</sup> de regado de cada aspersor así:

$$AEasp = 15 * 15$$

$$AEasp = 225m^2$$

Donde **AEasp** es área neta entre aspersores

Ahora para determinar nuestra pluviometría esta viene dada por la expresión:

$$Pv = \left( \frac{Dasp}{AEasp} \right)$$

$$Pv = \left( \frac{1185}{225} \right)$$

$$Pv = \frac{5.26L}{h} /m^2$$

Redondeando nuestra pluviometría sería 5.3 L/h/m<sup>2</sup> o mm/h

Donde **Dasp** es descarga del aspersor en (L/h) y **AEasp** es el área neta del aspersor en (m<sup>2</sup>).

Dentro de los parámetros admisibles.

### Lamina de riego.

A partir de esto procedemos a determinar la lámina de riego (**Lr**) del sistema lo cual está dado por la evotranspiración del cultivo (**ETc**) sobre la pluviometría (**Pv**) operando sería:

$$Lr = \frac{ETc}{Pv}$$

$$Lr = \frac{5.76mm/dia}{5.3mm/h}$$

$$Lr = 1.08mm/dia$$

Ahora se divide entre 1000 para obtener el resultado en m.

$$Lr = 0.00108m$$

### Caudal del sistema.

Seguidamente se multiplica por el área del cultivo que para este caso son  $10000m^2$  y obtendremos el resultado en  $m^3$

Lo cual sería el caudal (**Q**) de riego del sistema.

$$Q = 0.00108m * 10000m^2$$

$$Q = 10.8m^3$$

### Numero de emisores (aspersores).

Los emisores son aquellos dispositivos finales que determinan la forma en la que es suministrada el agua, esta puede ser desde un fuerte chorro a presión hasta pequeñas gotas en forma de dosificación que caen de manera sistemática y dirigida para cada caso en específico. [15]

En nuestro caso contamos con un sistema de riego por aspersión, por lo tanto, son aspersores.

Con el caudal (**Q**) obtenido en (**l/h**) se divide entre el caudal (**q**) del aspersor escogido y tendremos el número de aspersores (**Nasp**) que pueden regar a la vez.

$$Nasp = \frac{Q}{qasp}$$

$$Nasp = \frac{10800}{1185}$$

$$Nasp = 9.11$$

Ósea 10 aspersores.

Luego de obtener este dato procedemos a hacer la distribución de los aspersores dentro del área con el

cual contamos la cual como ya fue mencionada antes es de 1Ha ósea  $10000m^2$ .

Ya una vez obtenido el número de aspersores se procederá a organizar los módulos correspondientes en cada sector, distribuyéndolos de la manera más uniforme posible y teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ Primero colocar un aspersor en cada esquina.
- ✓ Colocar aspersores en las orillas.
- ✓ Colocar aspersores en el centro de cada tramo. (donde se asegure que pueda ser bien regada todas las zonas)
- ✓ Hay que asegurarse de que haya traslape.
- ✓ Cada zona debe ser regada por dos aspersores.

El marco que se usará para dicha distribución será el marco de cuadros, el cual se adapta perfectamente a la geometría del terreno.

### Lamina neta de riego.

Luego de esto se requiere saber la frecuencia de riego, para lo cual se necesita calcular la lámina neta de riego (**Ln**) y esta se haya de la siguiente manera:

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{100} \right) * Pr * Da$$

**CC** es la capacidad de campo y es del 23%

**PMP** es el punto de marchitez permanente y es de 9%

**Pr** la profundidad radicular que para este tipo de cultivo es de 50cm

**Da** es la densidad aparente que es de  $1.33g/cm^3$

Teniendo estos datos recopilados operamos:

$$Ln = \left( \frac{23 - 9}{100} \right) * 50 * 1.33$$

$$Ln = 9.31cm = 93.1mm$$

### Frecuencia de riego.

Seguimos ahora con la frecuencia de riego **Fr**

$$Fr = \frac{Ln}{ETc}$$

$$Fr = \frac{93.1}{5.76}$$

$$Fr = 16.16 \text{ dias}$$

Ósea redondeando 16 días

### Calculo de diámetros, longitudes y componentes del sistema.

Ya teniendo el caudal requerido por el sistema podemos hallar las dimensiones de la tubería, los accesorios y todos los componentes necesarios para el mismo.

Ahora para adentrarnos en lo que es dimensionamiento de la tubería y sus accesorios, hay que tener en cuenta que tipo de material se utilizara que para este caso es de **PVC**, el cual cuenta con un coeficiente de resistencia a la fricción del agua (**K**) de 140.

### Tubería primaria o principal.

Iniciaremos con lo que es el diámetro (**D**) principalmente por la tubería primaria para lo cual contamos con la siguiente formula:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * 1}}$$

Donde (1) es un valor de referencia con respecto a la velocidad del fluido y (**Q**) debe estar expresado en m<sup>3</sup>/s

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.003}{3.1416 * 1}}$$

$$D = 0.061 \text{ m}$$

Como este valor no es un diámetro que se encuentre comercialmente en el mercado, se lo debe aproximar a un diámetro que, si pueda estar disponible en el comercio, el cual en este caso seria, 0.0635m o 63.5 mm o lo que en pulgadas equivale a 2<sup>1/2</sup>”

Luego para aplicar la corrección en la velocidad tenemos que:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 0.003 \text{ m}^3/\text{s}}{3.1416 * 0.0635^2}$$

$$V = 0.94 \text{ m/s}$$

Y reemplazando en la formula anterior nos quedaría que:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.003}{3.1416 * 0.94}}$$

$$D = 0.0637 \text{ m}$$

Ósea 0.0635 en diámetro comercial.

Ahora teniendo en cuenta que tenemos un diámetro menor de 100mm, utilizaremos la fórmula de perdida de carga, según **darcy weisbach**

Para ello debemos tener en cuenta que el caudal **Q** debe estar en m<sup>3</sup>/s, el diámetro y la longitud en m.

Procedemos encontrando como primera medida la velocidad, la cual hemos hallado previamente y es de 0.94m/s

Luego sigue la viscosidad cinemática (**v**) de la tabla, la cual para una temperatura media de 20°C es de 1.007\*10<sup>-6</sup>

Paso siguiente determinamos el número de reinolds (**Re**) que está dado por la expresión:

$$Re = \frac{V * D}{v}$$

$$Re = \frac{0.94 \text{ m/s} * 0.0635 \text{ mm}}{1.007 * 10^{-6}}$$

$$Re = 59275.07$$

Por medio de este valor se determina que el flujo es turbulento.

Ahora procedemos con el factor de fricción (**f**)

$$f = \frac{0.25}{(\log(\frac{\epsilon}{3.71 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}))^2}$$

$$f = \frac{0.25}{(\log(\frac{0.000015}{3.71 * 0.0635} + \frac{5.74}{59275.07^{0.9}}))^2}$$

$$f = 0.020$$

Donde  $\epsilon$  es la rugosidad absoluta que depende del tipo de material, para el caso del PVC esta es de  $1.5 \cdot 10^{-6}$ . 0.25, 3.71 y 5.74 son valores constantes.

Luego procedemos a encontrar el coeficiente de resistencia a la fricción del agua ( $K$ ) el cual es igual a:

$$K = \frac{0.08263 * f * l}{D^5}$$

$$K = \frac{0.08263 * 0.020 * 6m}{0.0635m^5}$$

$$K = 9603.96$$

Y por último se calcula la pérdida de carga que vendría siendo:

$$hf = K * Q^2$$

$$hf = 9603.96 * 0.003^2 m^3/s$$

$$hf = 0.086 mca$$

#### Tubería secundaria o porta ramales.

proseguimos ahora con los cálculos para la tubería porta ramales para la cual seguimos usando el mismo caudal ( $Q$ ) ( $0.003m^3/s$ ) dado que este varía en la distribución terciaria, entonces tenemos que:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.003}{3.1416 * 0.94}}$$

$$D = 0.0637m$$

Ósea 0.0635 en diámetro comercial.

Para este caso utilizaremos también la fórmula de **darcy weisbach** por ser un diámetro menor a 100mm, para esto tendremos en cuenta los valores constantes encontrados previamente.

$$V = 0.94m/s$$

$$v = 1.007 * 10^{-6}$$

Paso siguiente determinamos el número de reynolds ( $Re$ ) que está dado por la expresión:

$$Re = \frac{V * D}{v}$$

$$Re = \frac{0.94m/s * 0.0635mm}{1.007 * 10^{-6}}$$

$$Re = 59275.07$$

Por medio de este valor se determina que el flujo es turbulento.

Ahora procedemos con el factor de fricción ( $f$ )

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\epsilon}{3.71 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.000015}{3.71 * 0.0635} + \frac{5.74}{59275.07^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = 0.020$$

como ya habíamos dicho  $\epsilon$  es la rugosidad absoluta que depende del tipo de material, para el caso del PVC esta es de  $1.5 \cdot 10^{-6}$ . 0.25, 3.71 y 5.74 son valores constantes.

Luego procedemos a encontrar el coeficiente de resistencia a la fricción del agua ( $K$ ) el cual es igual a:

$$K = \frac{0.08263 * f * l}{D^5}$$

Donde ( $l$ ) es la longitud expresada en ( $m$ ), y para esta porta ramales se ha determinado que sea de 100 m.

$$K = \frac{0.08263 * 0.020 * 100m}{0.0635m^5}$$

$$K = 160066.01$$

Y por último se calcula la pérdida de carga que vendría siendo:

$$hf = K * Q^2$$

$$hf = 160066.01 * 0.003^2 m^3/s$$

$$hf = 1.44 mca$$

### Calculo del ala regadora o lateral de riego.

Iniciamos con la longitud (**L**) en (**m**) la cual está dada por la siguiente expresión:

$$L = lo + l * (n - 1)$$

$$L = 15 + 15 * (10 - 1)$$

$$L = 150 \text{ m}$$

Donde (**L**) es la longitud de la lateral  
(**lo**) la distancia del primer aspersor en m  
(**l**) la separación entre aspersores  
y (**n**) es un valor constante.

Se calcula la longitud ficticia (**Lf**) que viene dada por:

$$Lf = 1.10 * L$$

$$Lf = 1.10 * 150$$

$$Lf = 165 \text{ m}$$

Caudal (**Q**) en el origen del lateral:

$$Q = n * q$$

$$Q = 10 * 1185$$

$$Q = 11850 \text{ l/h}$$

Lo que equivale a  $0.0032 \text{ m}^3/\text{s}$

Donde (**n**) es el número de aspersores y (**q**) el caudal unitario por aspersor.

Para la pérdida de carga máxima admisible (**hmax**), tenemos que es igual a 0.2 que representa el 20% multiplicada por la presión de trabajo que es de 3.5 bar (35 mca) y estaría expresada del siguiente modo:

$$hmax = 0.2 * p$$

$$hmax = 0.2 * 35 \text{ mca}$$

$$hmax = 7 \text{ mca}$$

donde (**p**) es la presión de trabajo.

Diámetro del lateral (**D**).

Para ello debemos tener en cuenta que la pérdida de carga no debe sobre pasar los 7 mca hallados previamente.

$$h = j * F * lf$$

La longitud ficticia (**lf**) ya lo habíamos hallado anteriormente y (**j** y **F**) son valores que se encuentran tablas.

Para un caudal de  $11 \text{ m}^3$  y diámetro de tubería de 2" (**j**) sería de  $5.241/100 = 0.05241 \text{ m}$ .

Y en la tabla 2 para un numero de aspersores de 10 y tubería PVC el factor (**F**) sería 0.409

$$h = 0.05241 \text{ m} * 0.409 * 165 \text{ m}$$

$$h = 3.5 \text{ mca}$$

Donde (**j**) represente pérdidas de carga unitaria por cada 100m de longitud y (**F**) es el factor de factor de Christiansen.

Entonces al ser la pérdida de 3.5mca, < 7mca, el diámetro del lateral será de 2" lo que equivale a 50.08 mm y una longitud de 150m.

### Tubería porta aspersores

Operando por medio de la fórmula de **darcy weisbach** hallaremos principalmente el diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Para obtener el caudal (**Qasp**) en este punto debemos dividir el caudal del sistema entre el número de aspersores (**n**).

$$Qasp = \frac{Q}{n}$$

$$Qasp = \frac{10800 \text{ l/h}}{10}$$

$$Qasp = 1080 \text{ l/h}$$

Sabiendo el caudal en este punto se pasa a  $\text{m}^3/\text{s}$  y se empiezan a determinar las dimensiones de este tramo. Se toma la velocidad de referencia 1 y posterior mente se aplican las correcciones una vez encontrado el diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.0003}{3.1416 * 1}}$$

$$D = 0.0195m$$

Ósea 0.019 en diámetro comercial (3/4")

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 0.0003m^3/s}{3.1416 * 0.01905^2}$$

$$V = 1.05m/s$$

Donde (**V**) es la velocidad del fluido

(**Q**) el caudal de la tubería

Y (**D**) el diámetro de la misma.

Replanteando el diámetro con la velocidad obtenida, quedaría:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.0003}{3.1416 * 1.05}}$$

$$D = 0.0190m$$

Ahora se busca la viscosidad cinemática (**v**) de la tabla, la cual para una temperatura media de 20°C es de  $1.007 * 10^{-6}$

Paso siguiente determinamos el número de Reynolds (**Re**) que está dado por la expresión:

$$Re = \frac{V * D}{v}$$

$$Re = \frac{1.05/s * 0.0190m}{1.007 * 10^{-6}}$$

$$Re = 19811.32$$

Por medio de este valor se determina que el flujo es turbulento.

Ahora procedemos con el factor de fricción (**f**)

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3.71 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.000015}{3.71 * 0.0190} + \frac{5.74}{19811.32^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = 0.026$$

Donde **ε** es la rugosidad absoluta que depende del tipo de material, para el caso del PVC esta es de  $1.5 * 10^{-6}$ . 0.25, 3.71 y 5.74 son valores constantes.

Luego procedemos a encontrar el coeficiente de resistencia a la fricción del agua (**K**)

Determinando una longitud de 2m para la tubería porta aspersor, operando sería:

$$K = \frac{0.08263 * f * l}{D^5}$$

$$K = \frac{0.08263 * 0.026 * 2m}{0.0190m^5}$$

$$K = 1735294.10$$

Y por último se calcula la pérdida de carga (**hf**) que vendría siendo:

$$hf = K * Q^2$$

$$hf = 1735294.10 * 0.0003^2 m^3/s$$

$$hf = 0.15 mca$$

**Calculo de la bomba de riego requerida para el sistema.**

Una vez habiendo hallado los diámetros y longitudes de la tubería, así como su respectiva pérdida de carga, se procede a encontrar la pérdida de carga (**Hl**) que producen los accesorios usados el sistema.

Para organizar bien estos términos podemos ayudarnos con una tabla como la siguiente:

Diámetro en pulgada y en mm	Kl	2 ½"	2 ½"	2"	¾"
accesorios		63.5	63.5	50.8	19
Válvula de pie	3.00	1			
Codo 90°	0.90	4	1	4	
Electroválvula	5.00	1	1		
Válvula de retención	2.50	1			
Filtro de malla (rejilla)	0.80	1			
Válvula de aire (v. de compuerta)	5.00	1			
Té de paso recto	0.10	4	2	8	
Cono de reducción (reducción gradual)	0.25	2	10	2	10
Terminal roscado (boquillas)	2.75	2			10
Kl total		26.3	8.6	4.9	30
Hl		1.18	0.38	0.61	1.68
Hl total	4.47m				

A esta (**Hl**) de accesorios se le suma las pérdidas por fricción en la tubería de succión y descarga lo cual sería:

$$Hl = Hl_{acc} + Hl_{tb}$$

Donde:

**Hl<sub>acc</sub>** es pérdida de carga en accesorios (incluidas electroválvulas y demás)

**Hl<sub>tb</sub>** es pérdida de carga en la tubería.

$$Hl = 4.47 + 5.17$$

$$Hl = 9.64m$$

Una vez obtenido la sumatoria de los coeficientes (**K**) de pérdida por accesorios, procedemos a realizar el cálculo para determinar la pérdida de carga (**Hl**) total por accesorios. Para cada uno de los diámetros de tubería con los que contamos, para lo cual procedemos con la siguiente ecuación:

$$Hl = Kl \frac{v^2}{2g}$$

Entonces tenemos que para la tubería primaria el (**Hl**) sería:

$$Hl = 26.3 \frac{0.94^2}{2(9.81)}$$

$$Hl = 1.18m$$

Seguimos con el (**Hl**) para la tubería secundaria.

$$Hl = 8.6 \frac{0.94^2}{2(9.81)}$$

$$Hl = 0.38m$$

Ahora procedemos con el (**Hl**) para el lateral de riego.

$$Hl = 4.9 \frac{1.57^2}{2(9.81)}$$

$$Hl = 0.61m$$

Y seguimos con el (**Hl**) para la tubería porta aspersores.

$$Hl = 30 \frac{1.05^2}{2(9.81)}$$

$$Hl = 1.68m$$

Ahora bien, una vez hallado el (**Hl**) total procedemos a hallar la carga que se requiere vencer en el sistema (**HA**) para lo cual procedemos con la ecuación general de la energía.

$$HA = \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (Z_2 - Z_1) + \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + Hl$$

Teniendo en cuenta que las presiones en el punto 2 y 1, se encuentran a la atmosfera, se entienden como cero o nulas en este caso, y para el caso de las velocidades en los mismos puntos también es cero fuera de la tubería, por lo cual no se tendrán en

cuenta en este caso y por consiguiente nos quedaría que:

$$HA = (Z2 - Z1) + Hl$$

$$HA = (2m - 0.5) + 9.64$$

$$HA = 11.14m$$

Ya teniendo las pérdidas totales (**HA**) del sistema y el caudal (**Q**) del mismo, se procede a buscar en un catálogo comercial una bomba cuyas características se adapten a nuestras necesidades.

$$HA = 11.14 \text{ m}$$

$$Q = 10.8 \text{ m}^3$$

A continuación, se ilustra la tabla de la familia de la bomba en la fig. N° 14.

**MegaCPK, HPK-L, Menachem, Magnochem-Bloc, Meganorm, Megabloc, n = 1750 rpm**

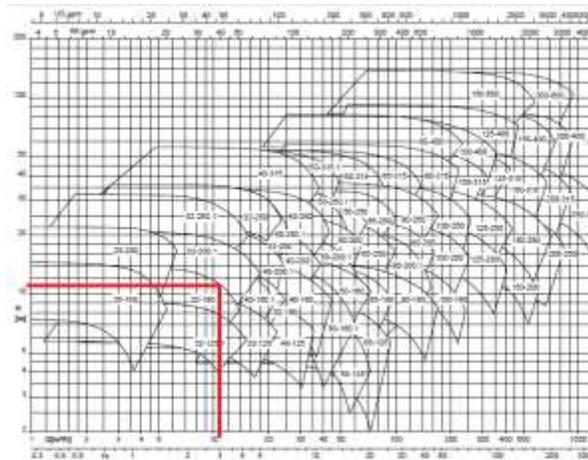


Fig. N° 14 diagrama de familia de bombas hidráulicas.

Teniendo en cuenta que la familia de bombas (32-160.1) la curva de la bomba queda muy al límite, optamos por la familia (032-200.1), ya una vez habiendo hubicado la familia de bombas disponibles, nos vamos a la curva de rendimiento para la selección de la bomba, Fig. N° 15.

**MegaCPK 050-032-200.1, n = 1.750 rpm**

HPK-L, Magnochem, Magnochem-Bloc, Meganorm, Megabloc

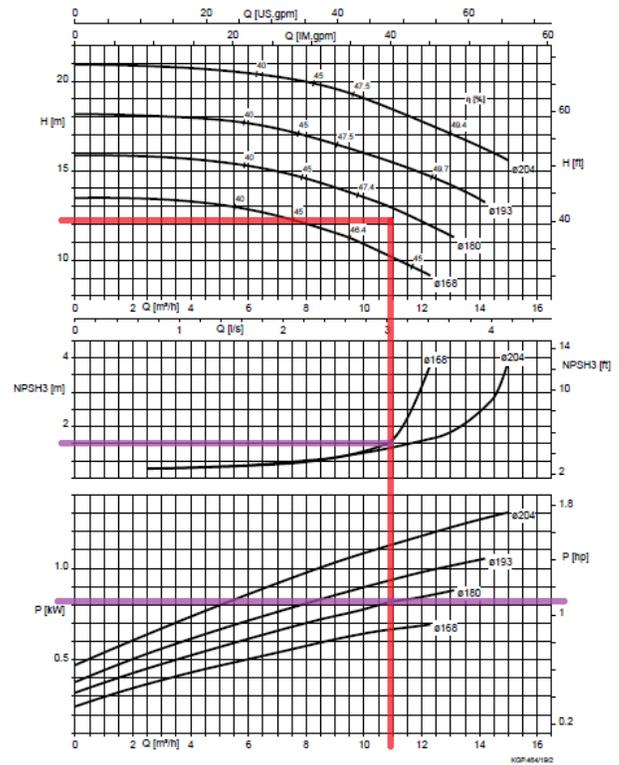


Fig. N° 15 diagrama para modelo de selección de bomba.

Entonces resumiendo un poco tendríamos que:

La familia de la bomba sería 32-200.1 de la compañía KSB B.

Velocidad nominal 1750 rpm

Punto de operación 11.14 m

Eficiencia 47.4% frente a un máximo de 47.4% del fabricante.

Potencia 0.8 kW o 1.07 Hp, o lo que vendría siendo en medidas comerciales, 1 Hp.

El diámetro de la volanta sería de 180 mm

El NPSH es de 1.5 m.

Los datos anteriores nos permiten encontrar la curva característica de la bomba, luego para poder conocer el punto de operación real, es necesario crear la curva característica del sistema, para ello debemos conocer ciertos valores que mostraremos a continuación, para las ecuaciones que realizaremos, necesitamos el coeficiente (C). Hazen Willians, el cual para este caso es de 140, por ser tubería de PVC, este nos servirá para hallar el coeficiente (K) de pérdidas por cargas en la tubería, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$K = \frac{10.37 * l}{C^{1.852} * D^{4.87}}$$

Donde:

10.67 es una constante

l es la longitud en (m)

C el coeficiente de Hazen Williams

Y D es el diámetro de la tubería en (m).

$$K = \frac{10.37 * 258}{140^{1.852} * 0.0635^{4.87}}$$

$$K = 197536.32$$

Para hallar la curva del sistema este valor se convierte en una constante ya que la longitud y el diámetro no varían, lo que variará serán los caudales con los que iremos operando para saber de acuerdo a cierto caudal que altura tomaría la curva.

Tenemos como dato recopilado previamente que las pérdidas por fricción de la tubería, sumadas a la presión de trabajo (M) suman un total de 8.67m.

Una vez tenido estos datos procedemos a hallar las respectivas alturas, dependiendo el caudal al que se opere, para este caso en modo de ejemplo se hará con el primer caudal, el cual debe estar en m<sup>3</sup>/s, y el resto de relaciones se ilustrará en una tabla más adelante, de tal modo tenemos que:

$$H_m = M + K * Q_b^{1.852}$$

Donde;

M es la suma de las pérdidas en la tubería en (m)

K es el coeficiente de pérdida por fricción

Y Q<sub>b</sub> es el caudal variable.

$$H_m = 8.67 + 197536.32 * 0.00055^{1.852}$$

$$H_m = 8.86$$

Este sería el primer valor de la tabla de la curva característica del sistema, del mismo modo en el que se halló este valor se debe hacer con los demás, hasta llenar la tabla completa.

Una vez teniendo una bomba seleccionada y la curva característica del sistema, procedemos a hallar el punto de operación el cual marca el verdadero punto de trabajo de la bomba y es la relación entre la curva del sistema y la curva de la bomba, a continuación, se ilustra la relación, altura v/s caudal, de la curva característica del sistema y la curva de trabajo de la bomba, el punto en el cual se halla la intersección viene siendo el punto de operación real del sistema. Fig. N° 16.

Punto de operación de la bomba			
1. Caudal variable	Qb (m <sup>3</sup> /h)	0.0018	Hm
2. Altura estática	H (m)	11.14	Ht
3. Diámetro nominal	D (mm)	70.21	e
4. Diámetro exterior	De (mm)	85.3	M
5. C. Hazen Williams	C	140	
6. Longitud de impulsión	L	258	
7. Coeficiente de pérdida de carga	K	197536.32 m	
8. Altura disponible	Hm	13.35	
Curva de descarga del sistema			
10. Q (m <sup>3</sup> /h)	H (m)	H (m)	H (m)
11. Q (m <sup>3</sup> /h)	H (m)	H (m)	H (m)
12. 0	0	8.67	0
13. 0.00055	2	8.86	2
14. 0.0011	3	8.93	3
15. 0.0018	4	9.00	4
16. 0.0022	5	9.06	5
17. 0.0027	10	9.21	10
18. 0.0033	12	9.29	12
19. 0.0038	14	9.35	14
20. 0.0043	16	9.40	16

Fig. N° 16 datos, punto de operación de la bomba.

Seguidamente se hace la representación gráfica del mismo y se ilustra en la Fig. N° 17.



Fig. N° 17 punto de funcionamiento bomba.

Una vez sabiendo esto se podrá seleccionar la bomba adecuada para el sistema.

Un aerogenerador es un artefacto diseñado con el fin de tomar la energía eólica producida por el viento para transformarla en energía mecánica y está a la vez en energía eléctrica, de tal modo que para que este mecanismo pueda funcionar hay que tener en cuenta que se cumplan las condiciones mínimas para su funcionamiento, especialmente que este ubicado en una posición geográfica cuya energía eólica producida sea lo suficientemente sostenible para poder garantizar que se pueda dar la transformación y/o generación de energía de una forma efectiva.

Este cuenta con un mecanismo que está dotado de una veleta que le permite censar cómo va la dirección del viento para de esta forma ubicarse en la posición en la que pueda aprovechar mejor al mismo, las aspas están diseñadas de tal manera que cuando la velocidad del viento es muy fuerte, se ponen en modo pala, para frenarse por motivos de seguridad, el eje primario es conocido como eje lento es el encargado de llevar la energía mecánica

al eje rápido o secundario el cual es el que está acompañado de forma directa al mecanismo de generación de energía, dicho mecanismo viene siendo lo que se conoce como un alternador. Esta cuenta también con un dispositivo que es un variador de frecuencia cuya función es regular la tensión de salida para evitar fluctuaciones en la en dicha tensión y de aquí una vez generada la energía eléctrica es conducida hasta el sitio de consumo para su respectivo uso.

Por otro lado, sabiendo que el sistema estará abastecido por un aerogenerador, las pautas que hay que tener en cuenta al momento de su selección, es conocer las características del mismo para poder determinar si cumple con las expectativas del diseño.

En nuestro caso, una vez obtenidos los cálculos del sistema tenemos que la característica del aerogenerador que necesitamos son las siguientes:

- ✓ La potencia debe ser de 2000, mínimo 1500wt teniendo en cuenta que está debe doblar la capacidad calculada, por razones de pico de arranque en los dispositivos que se conecten mal sistema.
- ✓ Tensión requerida 220v monofásica, trifilar de AC.
- ✓ Frecuencia producida de 60 Hz
- ✓ Número de fases; dos fases y un neutro para dispositivos que requieran de 120v.

Estas son las características más relevantes que se deben tener en cuenta para la elección del aerogenerador requerido.

### Unidad de filtración del fluido

Esta también constituye parte fundamental del sistema dado que es la encargada de filtrar las impurezas que amenacen con atacar el fluido del sistema, como su nombre la indica para esta unidad, los elementos encargados de dicha acción son los filtros, los cuales se pueden encontrar en diferentes tipos y tamaños.

En nuestro caso hemos optado por utilizar un filtro de malla ya que el sistema de riego por aspersión no es tan susceptible de sufrir tapamiento como podría ser el caso del sistema de riego por goteo, en el cual se hace más indispensable usar filtros de arena.

### Características del filtro de malla.

Con elemento en cuerpo plástico y malla acero inoxidable, ideal para instalar en sistemas de riego por goteo, aspersión, micro aspersión y nebulización, fácil instalación compatible con accesorios en PVC, Polipropileno y Galvanizados.

### Unidad de fertilización

La utilidad de esta se consigue por medio de tanques de fertilización o inyectores de abono que contienen fertilizantes y compuestos químicos que complementan los nutrientes del suelo, estos se adicionan al agua de reguío y su finalidad es proporcionarle al suelo de los cultivos, los nutrientes y propiedades necesarias que estos requieren para su óptimo desarrollo.

Para determinar las dimensiones del recipiente que contenga dichos fertilizantes, es necesario conocer las cantidades

Que se requieren para el cultivo a continuación se hace un análisis detallado de dicho proceso.

Para este cultivo de maíz se cuenta con tres macro elementos que son fundamentales, que son; nitrógeno 444.23Kg, fosforo 86.95Kg y potasio 316.66Kg con respecto a un año de fertirrigación para el cultivo, según la literatura. Estos valores para aplicarlos de forma semanal se divide dichos valores entre el número de semanas de un año que serían 52, y se obtiene la dosis a aplicar por periodo de riego.

Operando tenemos que necesitaríamos; de nitrógeno 8.5Kg, fosforo 1.6Kg y de potasio 6.08Kg.

Lego tenemos que el nitrato de amonio tiene un 33% de nitrógeno, el ácido fosfórico un 61% de fosforo y el sulfato de potasio un 50% de potasio. Entonces ayudándonos de una regla de tres simples obtenemos la concentración de nitrógeno, fosforo y potasio, que tiene cada componente de acuerdo con el peso requerido.

$$\frac{\text{si } 33 = 100\%}{\text{en } 8.5 = x} \cdot x = 25.75Kg$$

$$\frac{\text{si } 61 = 100\%}{\text{en } 1.6 = x} \cdot x = 2.62lt$$

$$\frac{\text{si } 50 = 100\%}{\text{en } 6.08 = x} \cdot x = 12.16Kg$$

Obteniendo así que el nitrato de amonio tendría

25.75Kg de nitrógeno, el ácido fosfórico tendría 2.62 lt de fosforo y el sulfato de potasio serian 12.16Kg de potasio.

Luego tenemos que cuentan con un porcentaje de salubridad que serían; para el nitrato de amonio 15%, para el ácido fosfórico 25% y para sulfato de potasio de 10% respectivamente. En base a esto y ayudándonos nuevamente con la regla de tres simples, realizamos los cálculos para obtener las cantidades totales de fertilizante que requerimos para nuestra fertirrigación.

$$\frac{\text{si } 15\text{Kg} = 100\text{lbs}}{\text{en } 25.75 = x} \cdot x = 171.66\text{lbs}$$

$$\frac{\text{si } 25\text{Kg} = 100\text{lbs}}{\text{en } 2.62 = x} \cdot x = 10.48\text{lbs}$$

$$\frac{\text{si } 10\text{Kg} = 100\text{lbs}}{\text{en } 12.16 = x} \cdot x = 121.6\text{lbs}$$

En ese orden de ideas tenemos que se necesitarían 171.66lbs de solución de nitrógeno, 10.48lbs de solución de ácido sulfúrico y 121.6lbs de solución de sulfato de potasio.

Ahora bien, teniendo en cuenta que el nitrato de amonio y el ácido fosfórico están prohibida su venta comercialmente, se opta por tomar otra alternativa para combinar con el sulfato de potasio, una de estas podría ser el humus de lombriz el cual es un producto que cuenta con un 3% de nitrógeno y un 2% de fosforo, teniendo en cuenta estos porcentajes y en base a las cantidades de nitrógeno y fosforo requerido obtendremos las cantidades requeridas con la siguiente operación:

$$\frac{8.5\text{Kg } N}{3\%} = 283.33\text{lbs}$$

$$\frac{1.6\text{Kg } P}{2\%} = 80\text{lbs}$$

Esto quiere decir que para obtener 8.5Kg de nitrógeno se requieren 283.33lbs de humus de lombriz y para obtener 1.6Kg de fosforo se requieren 80lbs de humus de lombriz, para abastecer los requerimientos del cultivo por periodo de riego.

Ahora bien, como los productos seleccionados son compatibles y los 121.6lbs de sulfato de potasio se pueden disolver con los 283.33lbs de humus de lombriz, no hay la necesidad de sumar las cantidades de disolvente, sino, que se puede tomar la cantidad más alta para disolver dichos nutrientes.

Esto quiere decir que el tanque que se requiere para el depósito de fertilizantes debe contar con un volumen de 283.33lbs más un 15% que se le debe dejar de tolerancia por lo tanto nuestro tanque de fertilizantes seria de un volumen de 325.82lbs.

$$V \text{ de tanque} = 283.33 + 15\%$$

$$V \text{ de tanque} = 325.82\text{lbs}$$

Como este no es un valor comercial, lo debemos aproximar al valor superior más próximo disponible, el cual podría ser de 400 o en su defecto 500 litros.

## XI. COSTO DE FABRICACIÓN.

RECURSO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO \$	TOTAL \$
Bomba de agua lhp	1	1000.000	1000.000
Tanque de aditivos	1	322.000	322.000
Tubería de PVC	276m	5100	1.407.600
Manómetros de presión	2	88.000	176.000
Electroválvulas	3	38.000	114.000
Aspersores	10	26.500	265.000
Filtro de malla	1	50.000	50.000
Microcontrolador	1	43.000	43.000
Sensor de humedad	1	29.000	29.000
Sensor de lluvia	1	12.900	12.900
Fotorresistencia	1	12.000	12.000
Aerogenerador (1500 wt)	1	12.387.000	12.387.000
Accesorios adicionales	varios	500.000	500.000
<b>TOTAL</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>16.318.500</b>

## XII. CONCLUSION

Cuando se piensa en el diseño de un proyecto, una de las cosas principales en las que hay que pensar, es en la fuente que impulsará dicho proyecto, para este caso la fuente principal con la que cuenta en el sistema es un aerogenerador el cual, al trabajar con energía renovable se convierte en una gran expectativa de consumo, a la vez que es de gran ayuda para el medio ambiente al contar con una forma de generación limpia, las pautas que se tuvieron en cuenta al momento de su elección, es la potencia requerida para el sistema, una vez tenido el diseño se opta por acceder a este tipo de generador por las razones expresadas anteriormente, entre otras.

Ahora bien, aunque sea una de las principales cosas en las que haya que pensar, primero se hace necesario obtener los resultados de los cálculos del sistema para poder así dimensionar la potencia que dicha fuente debe proporcionarnos, de aquí dependerán las características de la misma, así como también la forma de funcionamiento.

Para determinar las dimensiones del proyecto se empieza por conocer la característica del terreno o cultivo a irrigar, así como también las características típicas del terreno, su área y cómo influye en dicha área las condiciones climáticas de acuerdo a su posición geográfica, para saber las necesidades del suelo para poder determinar la lámina de agua disponible que tiene el terreno y así poder hacer los cálculos de las cantidades que se le debe proporcionar correctamente por medio de la irrigación.

Algo muy importante es saber las necesidades de nutrientes que tiene el suelo ya que de esto dependerá la forma y dosificación de fertilizantes a aplicar al mismo, también debemos saber las fuentes hídricas con las que se cuenta para la determinación de la arquitectura del proyecto, este último, además de la fuente hídrica con la que se cuenta, dependerá también del área del terreno, la cantidad de emisores que este requiera y si el riego será aplicado por sectores o de forma directa, o que tipo de riego se implementará. Para nuestro caso tenemos que el riego será con sistema de aspersión, por sectores, controlando el caudal de riego por medio de electroválvulas ya que este tipo de riego por sectores disminuye en gran manera los costos de fabricación del proyecto.

Para la estampa de prueba de funcionamiento del sistema de riego, inicialmente se realizará por

medio de una maqueta a escala en la cual se ilustrará cómo será el funcionamiento del proyecto como tal, en éstas se demostrará cómo será el funcionamiento de los componentes que lo conforman y la forma en la que se deben operar, la idea es que, al llevar el proyecto a la escala real, se cuente con unos conocimientos previos que sean de gran utilidad para la toma de decisiones inherentes al proyecto.

Estos análisis previos permiten también que el encargado de llevar a cabo la implementación de la parte material del proyecto tenga una perspectiva con respecto a la realidad y realice los ajustes necesarios en base a la información adquirida.

Una vez llevado a cabo la parte física del proyecto solo sería cuestión de realizar pruebas de funcionamiento para cuadrar detalles o inconsistencias que se presenten, antes de poner en marcha nuestro sistema.

Ahora, por último, pero no menos importante, es la capacitación que se le debe brindar al personal implícito en las operaciones del sistema, dichas capacitaciones deben contener un plan de desarrollo y mantenimiento tanto del cultivo en cuestión, como de los equipos usados, para que dicho personal sepa las necesidades hídricas del cultivo, la adecuada fertilización del suelo y la forma correcta de operar la irrigación del sistema.

Cómo cada cultivo tiene características diferentes dependiendo de los factores climáticos, del tipo de cultivo y del tipo de suelo que se disponga, entre otras, así serán los requerimientos hídricos y fertilizantes que se dispongan para los mismos, así como también la dosis a aplicar en cada caso y la frecuencia con la que se lleve a cabo.

En ese orden de ideas, son esos factores los que hay que enseñarle al personal para que con un personal altamente calificado o capacitado la producción y vida útil de nuestro cultivo sea lo mejor posible, pero siempre llevando presente la preservación del medio ambiente y la seguridad en el ámbito laboral y/o personal.

### XIII. REFERENCIAS

- [1] P. D. -. I. N. d. T. Agropecuaria, Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego, Centro Regional Catamarca - La Rioja: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2014.
- [2] M. Iriarte, Algunos apuntes conceptuales sobre los métodos y tipos de riego campesino y su relación con el diseño de sistemas de riego, Cajamarca, Perú: Ponencia presentada en el Seminario Internacional CORA 2000, 2004.
- [3] S. C. C. WA Arenas, REVISIÓN SOBRE LOS REQUERIMIENTOS AMBIENTALES PARA EL, BOGOTÁ D.C: UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA, 2016.
- [4] M. R. O. CM Guachalla Calle, Diseño de un sistema de bombeo de agua alimentado por un aerogenerador, LA PAZ- BOLIVIA: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS, 2018.
- [5] A. L. S Cortés, Energías renovables en Colombia, Medellin Colombia.: Universidad Pontificia Bolivariana, 2017.
- [6] L. Gurovich, Fundamentos y diseño de sistemas de riego, San José, Costa Rica: Instituto interamericano de cooperacion para la agricultura, 1985.
- [7] P. Durán, Riego por surcos, Montevideo Uruguay: colibri.udelar.edu.uy, 1988.
- [8] L. G. Calopiña, Propuesta de un sistema de riego por inundación optimizado basado en el monitoreo de las características del suelo, Piura: Universidad de Piura, 2021.
- [9] J. López, Riego por aspersión, Providencia Santiago de Chile: Catálogo Biblioteca CIREN, 1972.
- [10] B. P. M. FM Armijos Torres, Diseño y construcción de un cañon de riego por aspersión, Quito: QUITO/ EPN/ 2006, 2006.
- [11] M. G. Petillo, Análisis crítico del método de riego por goteo en las condiciones del, Uruguay: Agrociencia (Uruguay), 2010.
- [12] S. ANGEL, SISTEMA DE RIEGO POR NEBULIZACION, Estado de México : UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO, 2018.
- [13] L. G. C. T. J. L. -. B. JC Mendoza, Diseño, construcción y evaluación de un equipo automatizado para riego por microaspersión, Barquisimeto: bioagro@ucla.edu.ve, 2010.
- [14] L. Gurovich, Fundamentos y diseño de sistemas de riego, Chile: books.google.com, 1985.
- [15] F. T. R. S. A Osorio, ELEMENTOS DE RIEGO, Colina San Joaquín: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES, 1999.