



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA MECÁNICA**

PREVIA A LA OBTENSIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.

Tema:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO.

Tema Delimitado:

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para 4 manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

Tutor

MSC. Lester Antonio Artola Chavarría.

Autores:

Alemán López Bismark Antonio.

Fonseca Díaz Yerson Jeffrey.

20 DE MAYO DEL 2015.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA**

TEMA:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO.

Tema Delimitado:

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para 4 manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

Sometida a consideración del Tribunal Examinador como requisito previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

APROBADA

**Ing. Daniel Cuadra
DECANO-PRESIDENTE**

DIRECTOR DE TESIS

MIEMBRO DE REVISION

MIEMBRO DE REVISION

MIEMBRO DE REVISION

DEDICATORIA

El presente trabajo monográfico está dedicado a Dios porque gracias a él he culminado una muy importante etapa de mi vida, el cual es una representación de años de dedicación y ganas de superación personal, que no hubiera sido posible sin la intervención y soporte de él y de las personas que comparten mi vida diaria “mi familia” .

A mi madre: Jaqueline López Calero, porque desde pequeño me inculco el deseo de superación, por apoyarme y saberme guiar con sus sabios consejos durante mi vida estudiantil y por no abandonarme en aquellos días en que pensaba eran difícil. Fuentes de inspiración y amor que me da fuerza para enfrentarme al diario vivir.

A mi familia, amistades y aquellos que creyeron en mí, gracias por su apoyo brindado que hace crecer en mí el entusiasmo, la esperanza, el optimismo y la fe en el futuro.

Egresado.

Br. Bismark Antonio Alemán López

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a Dios por todas la puertas que me ha abierto para lograr culminar mis estudios, a mis maestros que han dado lo mejor de sí para compartir sus conocimientos, a mi familia por darme un hogar cálido y motivarme a ser mejor cada día.

A mis amigos y compañeros de estudio quienes compartieron su camino de superación conmigo y juntos logramos llegar hasta el fin de este nuestro sueño de ser ingenieros.

A todos los que creyeron en mí y demostraron su amor, cariño y respeto.

En especial este trabajo se los dedico a mis padres; Onosma del Carmen Díaz Bojorge y Ronald Orlando Fonseca Espinoza.

Egresado

Br. Yerson Jeffrey Fonseca Díaz

Introducción

Los conocimientos científicos fundamentales aplicados actualmente a nivel mundial en los diversos sistemas de riego tecnificado, combinados con principios elementales que rigen la conducción del agua, dan origen al RIEGO.

Hay que tomar diversos criterios para aplicar cualquier sistema de riego que se desea implantar para producción óptima de los cultivos y uno de los criterios a considerar es cómo afrontar la problemática del agua, el agua actualmente ya es considerado un recurso escaso, es decir que el agua dulce es escasa.

Este problema que se nos presenta en la actualidad es un tema que cada día ocupa más la atención de científicos, técnicos, políticos y en general, de muchos de los habitantes del planeta.

La escasez de este vital líquido obliga a reiterar nuevamente una llamada a la moderación de consumo por parte de la población a nivel mundial, ya que sin su colaboración los esfuerzos técnicos que llevan a cabo algunas organizaciones resultarían insuficientes.

Sólo muy poca agua es utilizada para el consumo del hombre, ya que: el 75% es agua de mar y tiene sal, el 2 % es hielo y está en los polos, y sólo el 1 % de toda el agua del planeta es dulce y de este 1% de agua, encontrándose en ríos, lagos y mantos subterráneos. Además el agua tal como se encuentra en la naturaleza, para ser utilizada sin riesgo para el consumo humano requiere ser tratada, para eliminar las partículas y organismos que pueden ser dañinos para la salud. Y finalmente debe ser distribuida a través de tuberías hasta tu casa, para que puedas consumirla sin ningún problema ni riesgo alguno.

El Sistema de Riego por aspersores, es una nueva técnica de riego, la cual se caracteriza por ser una fuente de ahorro de agua, mejor control del suelo, mayor rendimiento de los cultivos, no erosiona el suelo, menor pérdida de nutrientes por lixiviación, se puede aplicar programas de fertirrigación. El inconveniente fundamental es el costo de la instalación.

Antecedentes

La agricultura bajo riego en Nicaragua, se inició en la década de los años 50's y representó el 6.4% de la actividad agrícola total¹. Los cultivos bajo riego en esa época fueron principalmente; banano y caña de azúcar. Para el desarrollo de la agricultura de riego, se utilizaron los mejores suelos de la planicie del Pacífico, sirviéndose en su mayoría de aguas subterráneas y en menor cuantía de aguas superficiales. Los cultivos bajo riego complementario más importantes fueron: algodón, azúcar, arroz, tabaco, banano y cultivos hortícolas en menor superficie aunque no en menor importancia.

Al inicio de la década de los 70's se estimaba que el área con infraestructura de riego superaba las 40.000 ha conservándose los métodos y técnicas de riego ya existentes, como aspersión convencional y gravedad. Hasta 1978 el área de riego se extendió hasta casi las 70.000 ha. A inicios de la década de los 80's el Gobierno promueve e implementa el "Plan Contingente" (granos básicos) y se introducen los sistemas de riego por aspersión con pivote central automatizado, con capacidad de riego para aproximadamente 70 a cada uno, distribuidos entre proyectos existentes y nuevos. Estos equipos (unos 200 pivotes) fueron subsidiados, pero debido a la falta de mantenimiento, muchos sistemas se deterioraron y actualmente se encuentran en abandono o simplemente no existen.

Estructura y tecnificación del Regadío:

En Nicaragua, los sistemas de riego se pueden agrupar en cuatro niveles en función del tipo de productor:

- Pequeño agricultor de la región Central que utiliza bombeo de fuentes superficiales, aplica riego por gravedad y en menor proporción por aspersión, y cultiva granos básicos y hortalizas.
- Mediano productor de la región Central y del Pacífico que utiliza bombeo de fuentes superficiales o pozos tubulares para bombear agua subterránea, aplica riego superficial por surcos, y cultiva mayoritariamente arroz y hortalizas.
- Cooperativas que han recibido los sistemas de riego por aspersión de las fincas estatales y que son los mayoritarios en extensión; riegan por aspersión y cultivan caña de azúcar, arroz y hortalizas.
- Grandes empresas privadas que riegan por aspersión y goteo cultivos como banano, caña de azúcar y frutales. Los productores, en general, se asocian en función del cultivo que producen y no como asociaciones de regantes.

Tomando en cuenta que el Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional, a través del Plan Nacional de Desarrollo Humano, impulsa acciones dirigidas a lograr la seguridad alimentaria y nutricional y siendo de suma importancia la promoción e impulso de planes de riego con el objetivo de aumentar la producción de alimentos, a través de la coordinación interinstitucional del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, El Ministerio Agropecuario y Forestal y la Autoridad Nacional del Agua se ha elaborado una propuesta de Proyecto de Reglamento para el Establecimiento de los Distritos y Unidades de Riego y/o Drenaje.

Es fundamental que el riego sea tomado como un método o herramienta para lograr potenciar la capacidad productiva del sistema de producción y no como un fin en sí mismo. El riego debe ser enfocado como un factor de producción más dentro del conjunto, donde otros factores también importantes se interaccionan para definir un mayor potencial productivo para el cultivo bajo riego.

Así comprendido lo antes mencionado, el riego debe estar asociado a otros factores de producción, tales como semillas de buena calidad, sanidad, nutrición, técnicas de manejo del cultivo, cosecha, comercialización, etc. Para formar un conjunto indivisible que puede llevar un sistema de producción a tener mayor sostenibilidad, lo que implica mayor productividad y mayor rentabilidad, más estabilidad y elasticidad, más seguridad alimentaria y equidad. Si esta visión integral no se considera, otros factores pasan a ser el “cuello de botella” para el potencial productivo y las ventajas del riego quedan por debajo de lo esperado o ni si quiera se manifiestan. Como el riego representa un aumento en los costos de producción, no alcanzar la productividad potencial del sistema bajo riego puede significar la diferencia entre el éxito y el fracaso financiero del proyecto.

Resumen

El sitio está ubicado en Diriamba en el departamento de Carazo lo que lo hace un lugar privilegiado por poseer suelos aptos para la producción agrícola. Sin embargo los rendimientos de los cultivos se ven afectados por el mal uso del agua mediante el riego, por lo que los autores consideramos abordar esta temática en el proyecto.

El presente proyecto se titula. Diseño de un sistema de riego por aspersores, para 4 manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba. Una finca propiedad del joven Luis Bermúdez.

El objetivo general del proyecto es adaptar e instalar un sistema de riego por aspersión para aprovechar adecuadamente el recurso agua en los cultivos.

Con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos se estableció una metodología adecuada para determinar los parámetros Hidrofísicos del suelo, y la evapotranspiración de cultivo que permitieron realizar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por aspersión.

En base a los resultados obtenidos se establecieron entre otras conclusiones: El área regable a la que se le implemento el sistema de riego por aspersión es de 33,000 m². La misma que necesita una lámina de 156 mm, con una frecuencia de aplicación de 27 días.

El riego se lo hará con el aspersor (MEGANET) TM 650lit/h que de acuerdo al diseño de distribución de riego, funcionará con 12 módulos de riego de manera individual, necesitándose un tiempo de 8 horas por modulo, es decir 96 horas para el riego total del área instalada.

Por último las recomendaciones planteadas constituyen una guía para el aprovechamiento, uso y manejo del sistema de aspersión instalado.

INDICE

1.- DENOMINACIÓN DEL PROYECTO	1
2.- LOCALIZACIÓN FÍSICA DEL PROYECTO	1
3.- FUNDAMENTACIÓN	1
3.1.- DIAGNÓSTICO DE LA COMUNIDAD.....	2
3.2.- IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS.....	2
3.3.- PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS.....	2
4.- JUSTIFICACIÓN	3
5.- OBJETIVOS	5
5.1.- OBJETIVO GENERAL.....	5
5.2.- OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	5
6. MARCO DE REFERENCIA	6
6.1.- EL AGUA Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA.....	6
6.2.-USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA.....	7
6.3.-DEFINICION DE RIEGO.....	7
6.3.1.- <i>Elección del método de riego</i>	8
6.4.-EL RIEGO POR ASPERSIÓN.....	9
6.4.1.- <i>Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión</i>	10
6.4.2.- <i>Clasificación de los sistemas de riego por aspersión</i>	11
6.4.3.- <i>Componentes de un sistema de riego por aspersión</i>	14
6.5.-DISEÑO Y MANEJO DEL RIEGO.....	16
6.5.1.- <i>Diseño Agronómico</i>	17
6.5.2. <i>Diseño Hidráulico</i>	26
7. BOMBAS SELECCIÓN Y APLICACIÓN	32
7.1 TIPOS DE BOMBAS	34
7.1.1 Bombas centrífugas	35
7.1.2 <i>Datos de rendimiento de una bomba centrífuga</i>	43
7.2 PUNTO DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA Y SELECCIÓN DE ESTA.....	43
7.3 PARÁMETROS CLAVE PARA EL RENDIMIENTO DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.....	43
7.3.1 <i>Capacidad</i>	44
7.3.2 <i>Cabeza</i>	45
7.4 CURVA CARACTERÍSTICA DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA.....	53
8. BENEFICIARIOS	53
9. METODOLOGÍA	54
9.1. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.....	54
9.2. LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO.....	54
9.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDROFÍSICOS DEL SUELO.....	54
9.4. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO.....	54
10. RECURSOS UTILIZADOS	55

10.1 HUMANOS.....	55
10.2 MATERIALES.	55
10.3 FINANCIEROS.	55
11. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS, EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS	55
11.1.-DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.....	55
11.2. LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO.	56
11.3. PARÁMETROS HIDROFÍSICOS DEL SUELO.....	56
11.4. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO.	56
11.5. DISEÑO AGRONÓMICO.	56
11.6. DISEÑO HIDRÁULICO.....	57
12. SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD.....	58
13. CONCLUSIONES.....	59
14. RECOMENDACIONES.	60
15. BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS:	63

1.- Denominación del proyecto

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para 4 manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

2.- Localización física del proyecto

El presente proyecto se lo realizo en el sitio san Carlos de la ciudad de Diriamba en el Departamento de Carazo tomando como lugar de estudio una finca de propiedad del joven: Luis Bermúdez

3.- Fundamentación

La Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de ingeniería desde su creación ha formado profesionales altamente capacitados para solucionar problemas del sector industrial del país; a través de la aplicación de conocimientos de ingeniería en la agricultura e industrialización.

Los estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica para poder titularse deben realizar un proyecto basado en una de las siguientes modalidades:

Investigación Diagnostica o Propositiva, Generación de Proyectos, Experiencia Profesional, y Pasantía en la práctica de servicios.

La modalidad a la que se aplica el presente proyecto de tesis es el Trabajo Comunitario en el cual a través de una labor participativa se contribuye a la solución de problemas, utilizando los conocimientos científicos técnicos adquiridos durante la formación profesional.

3.1.- Diagnóstico de la Comunidad.

La finca del joven Luis Bermúdez cuenta con una superficie total de 2.46 hectáreas en la cual se incluyen zonas habitables, zonas de recreación y zona de cultivos. Además podemos mencionar que la finca cuenta con servicio de energía eléctrica, servicio de agua potable y acceso a la vía carretera.

Analizando la zona dedicada a cultivos 26,000 metros cuadrados encontramos que se hay establecidos cultivos de aguacate con 6 meses de edad.

3.2.- Identificación de problemas.

Al visitar la finca del joven Luis Bermúdez y luego de hacer una observación *in situ* se identificaron los siguientes problemas:

- Uso inadecuado del recurso agua para el riego de cultivos.
- Desconocimiento en el uso de sistemas de riego tecnificado.
- Presencia de Salinidad.
- Nivel freático alto.
- Falta de infraestructura para almacenamiento de la producción.

3.3.- Priorización de problemas.

Al priorizar los problemas identificados se consideró mejorar el uso del recurso agua para los cultivos mediante la implementación de un sistema de riego por aspersión; considerando que con estas mejoras se pueden atenuar los otros problemas.

4.- Justificación

Con este proyecto se pretende el mejoramiento de la calidad de vida por medio del ahorro de tiempo y si se puede mencionar de dinero que esto sería a corto o largo plazo pero será notable, aparte de ser un plan amigable con el medio ambiente.

El ecosistema de nuestro país por naturaleza ha sido semidesértico, siendo por ello una región con pocas precipitaciones pluviales. Aún con este problema natural, se ha aunado un problema que pone en serios aprietos en la comunidad, es el uso inmoderado de los recursos acuíferos.

Cada vez llueve menos, y nuestros recursos naturales en los últimos años se encuentran debajo de su capacidad llegando a un estado realmente inquietante. De tal manera es preciso tomar medidas efectivas para mejorar el uso del agua, y contribuir así a que los mantos acuíferos perduren y garanticen la supervivencia de las generaciones venideras.

Al demostrar que la aplicación de un sistema de riego automatizado con tecnología de punta, va a contribuir de manera sobresaliente al óptimo aprovechamiento del agua que se emplea para áreas de riego.

Al implementar sistemas de riego automatizados se pueden derivar beneficios sustanciales, dado que en la región un gran porcentaje del agua se malgasta en las áreas de riego, la mayoría de las veces el agua que se utiliza es potable. El beneficio principal será sin lugar a dudas economizar el agua, notables ahorros en el mantenimiento y monitoreo de las áreas de riego. Ello contribuye además a mejorar la calidad de los cultivos regados de forma eficiente.

El riego es una de las labores agronómicas de gran importancia que permite conseguir potencialmente el desarrollo agrícola de los cultivos incrementando sus rendimientos. El recurso hídrico es cada día más escaso, sin embargo se malgasta, por lo que es necesario implementar sistemas de riego que optimicen el uso de agua para el riego para obtener una mayor productividad.

El uso de sistemas de riego tradicionales (inundación y surcos) si bien son accesibles por el bajo costo de implementación tienen inconvenientes debido a la necesidad de cantidades altas de volúmenes de agua a aplicar en cada riego y además la eficiencia y uniformidad del riego son relativamente bajas en comparación con los sistemas de riego presurizado como lo son aspersion, micro aspersion y goteo.

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

Este proyecto se justifica plenamente por cuanto mejora eficientemente la aplicación del recurso agua con la consiguiente mejora de la producción de los cultivos. Además con la ejecución de este proyecto no solo estamos aportando con la solución del problema del uso adecuado del recurso agua sino que sirve de ejemplo a los demás agricultores a que implementen este tipo de sistema que no solo beneficia a los cultivos sino a la economía y a la seguridad alimentaria de las familias.

5.- Objetivos

5.1.- Objetivo General.

Diseñar un sistema de riego por aspersores, ubicado en la ciudad de Diriamba departamento de Carazo, para 4 manzanas de aguacate.

5.2.- Objetivo Específicos.

- Determinar el área a implementarse el proyecto.
- Analizar la disponibilidad del agua o afluente.
- Realizar el diseño hidráulico para determinar el diámetro de las tuberías a instalarse.
- Determinar la potencia de la bomba para el funcionamiento del sistema de riego por aspersión.
- Realizar recomendaciones para el mantenimiento del sistema.

6. Marco de referencia

6.1.- El agua y la seguridad alimentaria. González, P (2007).

El agua y la seguridad alimentaria están estrechamente relacionadas. La agricultura es, con gran diferencia, la mayor consumidora de agua, y representa alrededor del 69 % de todas las extracciones en el mundo entero y más del 80 % en los países en desarrollo. Un acceso fiable de agua suficiente aumenta los rendimientos agrícolas, proporcionando más alimentos e ingresos más altos en las zonas rurales donde viven las tres cuartas partes de la población hambrienta del mundo. No es de extrañar que los países con mejor acceso al agua suelen ser también los que presentan niveles más bajos de subnutrición.

Si el agua es un elemento esencial de la seguridad alimentaria, su carencia puede ser una causa principal de hambrunas y subnutrición, especialmente en las zonas rurales expuestas a la inseguridad alimentaria, donde la población depende de la agricultura local para obtener tanto alimentos como ingresos. La sequía es la causa más común de la escasez grave de alimentos en los países en desarrollo.

Incluso cuando la disponibilidad general de agua es suficiente, las lluvias y el acceso al agua irregulares pueden causar tanto una escasez de alimentos a corto plazo como la inseguridad alimentaria a largo plazo. Las inundaciones son otra causa principal de las emergencias alimentarias. Las grandes diferencias estacionales en la disponibilidad de agua pueden aumentar también la inseguridad alimentaria.

Si existe un suministro de agua suficiente y fiable, el riego puede aumentar los rendimientos de la mayoría de los cultivos entre un 100 y un 400 %. Aunque sólo el 17 % de las tierras cultivables del mundo se riegan, ese 17 % produce el 40 % de los alimentos mundiales.

Además de mayores rendimientos, el riego aumenta los ingresos y reduce el hambre y la pobreza. Los datos muestran que cuando se dispone ampliamente de riego, la subnutrición y la pobreza son menos frecuentes.

6.2.-Uso del agua en la agricultura.

La agricultura es el uso que mayor demanda del agua supone a nivel mundial. El riego de tierras agrícolas supone la utilización de un 70% de los recursos hídricos en el mundo. En los países en vías de desarrollo, muchas veces el agua utilizada para regadío representa el 95% del total de usos del agua, y juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos. A largo plazo, el desarrollo y mejora de las estrategias para estos países está condicionado al mantenimiento, mejora y expansión de la tecnología de regadío.

El agua usada para regadío proviene de fuentes naturales y alternativas. Fuentes naturales incluye el agua de lluvia y superficial de escorrentía (lagos y ríos). Estos recursos deben ser usados de una manera responsable y sostenible. La cantidad de agua que proviene de la lluvia depende de las condiciones atmosféricas de la zona. El agua superficial es un recurso limitado y, normalmente, requiere de la construcción de embalses y presas para su explotación con un significativo impacto ambiental.

En el mundo cerca del 70% del agua que se extrae se utiliza para producir alimentos.

6.3.-Definición de riego.

El riego es una de las labores agronómicas de gran importancia que permite conseguir potencialmente el desarrollo agrícola de los cultivos incrementando sus rendimientos. El riego se puede definir como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo. Durango, J. (2001)

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

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

En términos generales el objetivo que se persigue con el riego es aplicar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua en el momento adecuado y en la cantidad necesaria para lograr un crecimiento óptimo. González, P (2007).

6.3.1.-Elección del método de riego (González, P 2007).

La elección del método de riego más adecuado se realiza en función de los siguientes factores:

La topografía. El riego por superficie precisa de una nivelación del terreno. Esta nivelación puede en ocasiones dañar al suelo y ser más costosa que el equipamiento necesario para el riego por aspersión o goteo.

Las características físicas del suelo. Mientras que los sistemas de aspersión y goteo son pocos sensibles a las propiedades del suelo, el riego por superficie necesita de suelos de infiltración media. Es de esta manera como alcanza una eficiencia elevada y no tiene problemas de encharcamiento. En aspersión y goteo, si el suelo tarda en infiltrar el agua, se pueden dar problemas de escorrentía y erosión.

El tipo de cultivo. Hay cultivos que se desempeñan de forma óptima en algunos sistemas de riego. Así, los árboles frutales se desarrollan muy adecuadamente en riego por goteo, y los cultivos hortícolas se suelen asociar al riego por surcos o al riego por goteo.

La disponibilidad de agua. Los sistemas que puedan resultar más eficientes en una determinada situación serán los más adecuados cuando la disponibilidad de agua es baja.

La calidad del agua. Los problemas de calidad de agua pueden presentarse de muchas formas diferentes. En general, una deficiente calidad del agua será más dañina para el cultivo si éste se moja con el agua de riego, por lo que el riego por aspersión no se recomienda en la mayoría de los casos de baja calidad del agua.

La disponibilidad de mano de obra. En los días en que vivimos, la disponibilidad de mano de obra se está convirtiendo en uno de los factores más importantes, debido a la emigración creciente de personas hacia las zonas urbanas.

El costo de la instalación. Este es un factor importante, aunque en este momento los costes de implantación de nuevos sistemas de riego por superficie, aspersión y goteo pueden ser muy similares.

El efecto sobre el medio ambiente. Los problemas de baja eficiencia de riego o los derivados del impacto ambiental, suponen un factor de creciente importancia en la elección del sistema de riego

6.4.-El riego por aspersión (González, P 2007).

El riego por aspersión es una modalidad de riego mediante la cual el agua llega a las plantas en forma de "lluvia" localizada más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo que infiltre en el mismo punto donde cae. Para ello es necesaria una red de distribución que permita que el agua de riego llegue con presión suficiente a los elementos encargados de aplicar el agua (aspersores o difusores).

Los sistemas de riego por aspersión se adaptan bastante bien a topografías ligeramente accidentadas, tanto con las tradicionales redes de tuberías como con las máquinas de riego. El consumo de agua es moderado y la eficiencia de uso bastante aceptable. Sin embargo, la aplicación del agua en forma de lluvia está bastante condicionada a las condiciones climáticas que se produzcan, en particular al viento y a la aridez del clima, ya que si las gotas generadas son muy pequeñas, las gotas podrían desaparecer antes de tocar el suelo por la evaporación, sin embargo cuando son muy gruesas pueden dañar al cultivo y al suelo.

Son especialmente útiles para aplicar riegos relativamente ligeros con los que se pretende aportar algo de humedad al suelo en el periodo de nacencia. También es muy indicado para efectuar el lavado de sales cuando sea necesario y se prestan a la aplicación de determinados productos fitosanitarios o abonos disueltos en el agua de riego, aunque no se puede considerar que sea una aplicación habitual.

6.4.1.-Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión.

De forma general se puede decir que presenta las siguientes ventajas:

- a) La distribución del agua del terreno es bastante uniforme.
- b) Puede ser utilizado en suelos con grandes velocidades de infiltración.
- c) Uso adecuado en terrenos con grandes pendientes.
- d) Alta eficiencia de aplicación (lo cual lo hace adecuado en regiones con limitaciones de agua).
- e) Se puede operar en horas de la noche.
- f) Los sistemas pueden ser instalados con mayor rapidez.
- g) Permite aplicar normas de riego pequeñas y con gran frecuencia.
- h) Permite la automatización y mecanización del sistema de riego.
- i) No interfiere las labores de mecanización agrícola (tuberías portátiles).
- j) Se puede aplicar el fertilizante junto con el agua de riego (fertirrigación).
- k) Permite regar casi todos los cultivos, salvo algunos muy delicados a los que el tamaño de la gota puede causar daño.
- l) No erosiona el terreno ni destruye la estructura del suelo.
- m) Enriquecen el agua con oxígeno, que es muy importante para la planta.

Los principales inconvenientes del riego por aspersión son:

- a) Requiere de alto consumo de energía comparado con el resto de los métodos de riego.
- b) Elevado costo de instalación respecto al riego por gravedad, debido a la necesidad de disponer salvo raras excepciones en que exista una presión suficiente de agua.
- c) Mayores costos de funcionamiento respecto a otros métodos, ya que necesita una presión de trabajo a la salida del aspersor como mínimo del orden de 20 m.c.a.
- d) Disminución de la eficiencia de aplicación en parcela cuando existe viento con velocidad superior a los 2,5 m/s.

6.4.2.-Clasificación de los sistemas de riego por aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión se pueden clasificar en dos grupos:

1. Sistemas estacionarios que permanecen en la misma posición mientras dura el riego y pueden ser:

- Sistemas Móviles (portátil)
- Sistemas Semifijos
- Sistemas Fijos.

2. Sistemas mecanizados que se desplazan mientras aplican el agua de riego y pueden ser:

- Cañones de riego.
- Lateral de avance frontal.
- Pivotes

6.4.2.1.- Sistema móvil.

Es un sistema de riego por aspersión englobado dentro de la clasificación de estacionario. En este caso, todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede serlo el grupo de bombeo. Los ramales de riego suelen ser de aluminio o de PVC y se instalan sobre la superficie del terreno. Cuando acaba el riego de una postura, los ramales con los aspersores se trasladan a la siguiente posición, requiriendo por ello una gran cantidad de mano de obra para el riego.

Estos equipos suelen ser instalados para aplicar riego eventuales o como soluciones de emergencia. Se compone de un grupo motobomba móvil (puede ser accionado desde la toma de fuerza del tractor) que envía el agua a una tubería en la que están colocados los aspersores. A veces, se acoplan a la tubería unas mangueras al final de las cuales se encuentran los aspersores sobre patines. De esta forma, los aspersores pueden ocupar diversas posiciones de riego antes de que sea necesario mover la tubería. Este sistema suele utilizarse en parcelas pequeñas o para aplicar riegos complementarios.

6.4.2.2.- Sistema Semifijo.

En este sistema son fijos el grupo de bombeo y la red de tuberías principales, que normalmente se encuentra enterrada. Esta tubería principal suele ser de PVC o fibrocemento, de ella derivan los hidrantes en donde se conectan los ramales de distribución (fijos o móviles), a los que se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales móviles deben ser fácilmente transportables por lo que suelen ser de materiales ligeros y que soporten bien el estar a la intemperie (aluminio, polietileno). A los ramales se acoplan los aspersores bien directamente, o bien a través de unas mangueras.

6.4.2.3.- Sistema fijo.

Todos los elementos de este sistema son fijos (bombeo, red de riego y emisores), salvo en algunos casos donde los aspersores son desmontables y van ocupando sucesivas posiciones a lo largo de los ramales de riego. La red de riego puede instalarse únicamente para la campaña o ser permanente. Dentro de los sistemas fijos se pueden distinguir dos tipos, los sistemas aéreos y los enterrados.

Los sistemas fijos aéreos constan de una red de tuberías principales enterradas y unos ramales de riego que se encuentran sobre el terreno. Estos ramales pueden ser trasladados a otras parcelas o a otra zona de la misma en función de la rotación de cultivos existente en la explotación.

Los sistemas fijos enterrados se denominan comúnmente cobertura total enterrada y tienen toda la red de riego bajo la superficie del terreno. En este caso, el diseño del marco de riego más adecuado tiene mucha importancia, ya que no podrá ser modificado fácilmente.

6.4.2.4.-Cañones de riego

El cañón motorizado de riego consta de un aspersor de gran alcance y caudal (cañón) montado sobre un carro o patín y conectado al suministro de agua mediante una manguera. Este sistema de riego utiliza aspersores rotativos de gran tamaño, que funcionan con una elevada presión y forman gotas bastante grandes. Son adecuados para dar riegos de apoyo a cultivos con bajas necesidades de riego y es bastante utilizado para praderas de zonas semi-húmedas.

6.4.2.5.-Pivote

El Pivote forma parte de los sistemas de riego por aspersion mecanizados. Es un ramal de riego con un extremo fijo, por el que recibe el agua y la energía eléctrica, y otro móvil que describe un círculo girando alrededor del primero. El equipo de riego se basa en el movimiento de una tubería porta-emisores que se apoya en unas torres automotrices. Estas torres están dotadas de un motor eléctrico y dos ruedas neumáticas. La tubería, que normalmente es de acero galvanizado, sirve junto con barras o cables, de elemento resistente para vencer la distancia entre torres. La distancia entre torres va desde 35 a 75 m, aunque lo más normal son las torres de 38 m (tramo corto) y 55 m (tramo largo). La longitud total del equipo varía de 60 a 800 m.

El equipo pivote riega una superficie de forma circular por lo que resulta inevitable que, si la parcela no tiene esta forma, queden zonas sin regar. Normalmente los pivotes riegan un círculo completo aunque también se instalan para el riego de medio círculo. Si se desea regar la totalidad de la finca existen varias opciones. La opción más común es poner en riego estas partes de la finca con un sistema de cobertura total enterrada. Otra opción menos corriente es añadir en el equipo los dispositivos llamados "de esquina". Estos dispositivos están formados por un alero articulado de la tubería porta emisores que sólo se despliega y se pone en funcionamiento al pasar sobre una de estas zonas (esquinas del campo) que de otra forma quedarían sin regar.

6.4.2.6.- Laterales de avance frontal

Este equipo es de estructura semejante al pivote. Consiste en un ramal de riego montado sobre unas torres automotrices de dos ruedas que se desplazan en sentido perpendicular al ramal de riego. Riega superficies de forma rectangular

La tubería porta-emisores, los emisores y los sistemas de propulsión son semejantes al pivote. Sin embargo, la forma de suministrar agua al equipo y el mecanismo de alineamiento presentan diferencias respecto al equipo pivote. El suministro de agua se realiza directamente desde un canal o mediante una manguera flexible que es arrastrada por el mismo equipo. En el segundo caso, se necesitan hidrantes cada 200 o 300 m, llevando la máquina una manguera de 115 o 165 m. La pérdida de carga en la manguera hace que necesite más energía en estos montajes que en los de toma directa de un canal.

6.4.3.-Componentes de un sistema de riego por aspersión. (González, P 2007).

Un sistema de riego por aspersión está compuesto por:

- a) Un equipo de bombeo encargado de proporcionar agua a presión. En algunas zonas no resulta necesario este equipo ya que se dispone de presión natural.
- b) Una red de tuberías principales que llevan el agua hasta los hidrantes, que son las tomas de agua en la parcela.
- c) Una red de ramales de riego que conducen el agua hasta los emisores instalados en la parcela que se pretende regar.
- d) Dispositivos de aspersión o emisores, que son los elementos encargados de aplicar el agua en forma de lluvia. Estos dispositivos pueden ser tuberías perforadas, difusores fijos, toberas, boquillas o aspersores, entre otros.

6.4.3.1.- Equipo de bombeo.

Las máquinas para el suministro de los líquidos se les denominan bombas, se definen como las máquinas destinadas para desplazar el líquido y aumentar su energía.

Las instalaciones de bombeo pueden ser fijas o móviles. Están movidas por motores diésel, eléctricos o por la toma de fuerza de un tractor. Se debe poner especial cuidado en la elección de la bomba, calcular adecuadamente la altura de elevación de misma y su punto de funcionamiento (caudal y altura de elevación), que debe encontrarse en la zona de máximo rendimiento, porque si se instala de forma incorrecta, se obtendrá el caudal de la bomba con baja eficiencia, y un alto consumo de energía.

Es conveniente que los elementos del bombeo se encuentren protegidos de los factores atmosféricos, para una mayor duración y un funcionamiento óptimo de los mismos.

6.4.3.2.- Tuberías.

Las tuberías maestras o principales generalmente son fijas, aunque en ciertas ocasiones pueden ser móviles. Dichas tuberías por lo general van enterradas y se construyen de diferentes materiales como pueden ser fibrocemento, hierro y otros. En la actualidad se están empleando tuberías de PVC con diámetros menores, lo que facilita su montaje.

Tubería principal: Es la encargada de llevar el agua desde la estación de bombeo hasta la entrada del campo. Los diámetros suelen ser entre 6 y 12 pulgadas.

Tuberías secundarias: Son las encargadas de conducir el agua hasta la entrada en la parcela, generalmente son de aluminio o plásticas con diámetros entre 6 y 8 pulgadas.

Tubería lateral o alas móviles: Es la línea porta aspersores y está constituida por elementos ligeros, aluminio y material plástico principalmente. Son de dos tipos: Tuberías rígidas y tuberías flexibles o mangueras.

No se aconsejan para el diseño diámetros superiores a 4 pulgadas ya que hace más incómodo su manejo y aumentan los tiempos de traslado.

Todas las tuberías y accesorios se caracterizan por su sencillez, ligereza, facilidad de manejo y resistencia a los golpes y a la corrosión.

6.4.3.3.- Hidrantes.

Las conexiones entre tuberías abastecedoras, las que generalmente están enterradas, y las alas de riego se efectúan mediante hidrantes. Esto puede ser de varios tipos. Fuera de época de riego, los hidrantes son los únicos elementos que sobresalen del terreno, presentando un obstáculo para las labores y siendo fácilmente deteriorados, aunque generalmente van protegidos.

Su función es la de permitir el paso del agua desde la tubería principal hacia las alas de riego.

6.4.3.4.- Aspersores.

Sobre las tuberías van instalados los aspersores que son los aparatos que distribuyen el agua sobre el terreno.

Los aspersores normalmente utilizados son de dos tipos: chorro fijo y chorro rotativo.

Los primeros, poco utilizados tiene un alcance relativamente pequeños, generalmente menor de 12 metros y pluviometrías altas.

Los segundos son los normalmente empleados en la agricultura y se subdividen en dos grandes grupos: aspersores de giro rápido y de giro lento. Los del primer grupo solo se utilizan en jardinería, en invernaderos, pequeñas parcelas, etc. Los del segundo grupo, giro lento, son los más empleados en el riego agrícola. Según la causa que produce el giro se clasifican en aspersores de reacción, de turbina y de choque.

Los de choque su rotación se realiza por los movimientos alternativos de un brazo, uno de cuyos extremos interrumpe el chorro y el otro, de mayor masa produce el giro, mediante choques. Dicho brazo va provisto de un muelle recuperador, con el fin de alternar su movimiento y provocar sucesivos choques y giros.

6.5.-Diseño y manejo del riego

El diseño de un sistema de riego se divide en dos partes bien diferenciadas que son: el diseño agronómico y el diseño hidráulico. Con el primero se aborda la adecuación del sistema a todos aquellos aspectos relacionados con los condicionantes del medio (suelo, cultivos, clima, etc.) y con el segundo se realiza el dimensionamiento más económico de la red de tuberías con el objetivos de conseguir un reparto uniforme del agua de riego.

El arte de un diseño de riego está en:

1. Conocer los sistemas que son apropiados para un determinado proyecto.
2. Conocer el orden en que estos elementos forman un sistema.

El diseño de un sistema de riego necesita de un conocimiento extenso de la zona para la que se está proyectando. A menudo los profesionales deben realizar diseños para zonas en las que ya hay un sistema de riego funcionando. En este caso, el sistema que se pretende sustituir será una fuente inigualable de información. La técnica analítica que se aplica para obtener información de un sistema de riego es la evaluación del riego. Ésta permite realizar un diagnóstico del sistema, determinar su nivel de calidad, y establecer sus debilidades y ventajas. La evaluación del riego debería ser la base de cualquier proyecto de modernización de regadíos.

La evaluación del riego no sólo sirve para el diseño, sino que es una fuente primaria de información para el manejo del riego. En ocasiones, la calidad de un sistema de riego puede ser sustancialmente mejorada por acciones que no modifican las infraestructuras de riego. Si este es el caso, se pueden poner en marcha en zonas regables programas de mejora de la gestión encaminados a mejorar el uso del agua. La relación beneficio-costos de estos programas es generalmente mucho mayor que para los proyectos basados en la mejora del diseño.

6.5.1.-Diseño Agronómico. (Fuentes, J 2003)

El diseño agronómico tiene por finalidad garantizar que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua, con un control efectivo de las sales y una buena eficiencia en la aplicación del agua. Se desarrolla en dos fases:

1. Cálculo de las necesidades de agua.
2. Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia e intervalo entre, caudal necesario, duración del riego, número de emisores y disposición de los mismos.

6.5.1.1.-Necesidades hídricas de los cultivos. (Fuentes, J 2003)

La evapotranspiración es la cantidad de agua que necesita un cultivo para su crecimiento óptimo. Esta palabra, —evapotranspiración representa la suma del agua necesaria para cubrir la evaporación que se produce desde la superficie del suelo y la transpiración que realizan las plantas desde sus partes verdes (sobre todo desde las hojas).

Los métodos de cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos deben ser contrastados en las condiciones climáticas de cada zona regable. Normalmente se utiliza la metodología de la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas) por su sencillez y sentido práctico. Además, estos métodos de cálculo han sido probados con éxito en distintas zonas y climas del mundo.

A partir de datos meteorológicos se calcula la evapotranspiración de referencia, que se corresponde con la evapotranspiración de un cultivo de pradera.

Técnicamente, la evapotranspiración de referencia es la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 cm de altura, uniforme, en crecimiento activo, sombreando totalmente el suelo y bien provista de agua.

Entre los métodos de cálculo de la evaporación se cuentan:

1. El tanque evaporimétrico de clase A.
2. Los métodos que utilizan sólo datos de temperatura, como "Thornthwaite" y "Blaney-Cridle".
3. Y finalmente, métodos que tienen en cuenta la temperatura, insolación, humedad del aire y el viento "Penman Monteith".

Independientemente del método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración es fundamental calibrar el método comparando estos valores con los valores medidos de la evapotranspiración en condiciones locales.

El concepto de evapotranspiración de referencia (ETo) más reciente aceptado internacionalmente ha sido expresado por Allen *et al* (1998) como la —tasa de evapotranspiración de un pasto hipotético de referencia, bien abastecido de agua, con altura de 0,12 m, una resistencia de superficie de cultivo fija de 70 s. m⁻¹ y un albedo de 0,23.

La evapotranspiración de cada cultivo se puede calcular multiplicando la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de cultivo. Estos coeficientes de cultivo también han sido desarrollados por la FAO, y dependen de las características del cultivo, del período vegetativo, del clima, de la fecha de siembra, de la duración del riego y de la frecuencia de lluvias.

Las necesidades netas de riego se calculan restando de la evapotranspiración del cultivo la precipitación efectiva (la lluvia). La precipitación efectiva depende de la capacidad de retención del suelo y de la profundidad de las raíces. Es el agua que queda disponible para el cultivo tras una lluvia, ya que parte del agua se pierde en percolación profunda, escorrentía y evaporación. La precipitación efectiva depende de la frecuencia e intensidad de lluvia, de las características topográficas del terreno, del contenido de humedad previa del suelo y de las prácticas culturales.

Las necesidades brutas de riego se calculan dividiendo las necesidades netas por la eficiencia de aplicación. La eficiencia tiene en cuenta la uniformidad de distribución y el exceso de agua de riego a aportar para lavar las sales (Las necesidades de lavado dependen de la calidad del agua de riego y del cultivo), las pérdidas por escorrentía, percolación y evaporación. La eficiencia de aplicación depende más del manejo que del sistema de riego. Estas necesidades totales de riego son superiores a las netas ya que deben compensarse las pérdidas antes reseñadas.

6.5.1.2 Necesidades Netas de Riego. (Fuentes, J (2003))

Las necesidades netas de riego (N_n) vienen definidas por las siguientes variables:

- Las necesidades de agua del cultivo ET (cultivo).
- Aportaciones de la precipitación efectiva P_e .
- Aporte capilar desde una capa freática próxima a las raíces.
- Variación en el almacenamiento de agua en el suelo.

$N_n = ET \text{ (cultivo)} - P_e - \text{Aporte capilar} - \text{Variación de almacenamiento.}$

Del total de agua de precipitación que cae sobre la superficie de un terreno, una parte se infiltra y se incorpora a la zona radical, otra parte percola en profundidad fuera del alcance de las raíces, otra parte se pierde por escorrentía superficial y otra parte queda interceptada por la vegetación, desde donde se evapora posteriormente. Se llama precipitación efectiva a la proporción de agua retenida en la capa radical con relación a la cantidad de lluvia caída. Su magnitud depende:

— De las características del terreno: condiciones físicas, grado de humedad, pendiente, cobertura de cultivo, etc.

—De las características de la precipitación: altura de agua caída, intensidad, duración y frecuencia.

Salvo en casos muy particulares no se tienen en cuenta el aporte capilar desde la capa freática ni la variación en el almacenamiento de agua en el suelo. En riego localizado tampoco se considera la lluvia efectiva, debido a la gran frecuencia en la aplicación del agua.

6.5.1.3.-La Evapotranspiración. (Fuentes, J 2003)

Recibe el nombre de evapotranspiración (o uso consuntivo de agua) a la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo en donde se asienta el cultivo. Cabe distinguir dos formas de evapotranspiración:

- Evapotranspiración máxima. Es la cantidad de agua consumida, durante un determinado período de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua.
- Evapotranspiración real. Es la cantidad de agua realmente consumida por un determinado cultivo durante el período de tiempo considerado. 29

El rendimiento del cultivo es máximo cuando la transpiración es máxima, y esto ocurre cuando el cultivo se desarrolla en las mejores condiciones posibles. Ocurre entonces que la evapotranspiración real coincide con la evapotranspiración máxima.

6.5.1.4.-Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos (Fuentes, J 2003)

La determinación de las necesidades de agua de un cultivo puede hacerse por diversos métodos. Un método directo es el del lisímetro, recipiente de gran tamaño lleno de tierra en donde se siembra la planta objeto de estudio y se cultiva de la forma más parecida posible a como se efectúa el cultivo en el campo. Se coloca a la intemperie, sobre una superficie en la que pueda recogerse el agua que escurra. Periódicamente se pesa el recipiente, lo que permite conocer el agua perdida por evapotranspiración durante el período que se considere. Este método es costoso y difícil, por lo que sólo se realiza en trabajos de investigación.

Otros métodos empíricos evalúan la evapotranspiración a partir de datos climáticos y de otra clase. Entre ellos destacan los cuatro métodos estudiados por Doorembos y Pruitt en la publicación de FAO —Las necesidades de agua de los cultivos, métodos de Blaney-Criddle, de la radiación, de Penman y de la cubeta evaporimétrica.

Según estos métodos, para calcular la evapotranspiración de un cultivo cualquiera se valora antes la evapotranspiración de un cultivo de referencia, relacionándose ambos mediante un coeficiente obtenido experimentalmente.

$$ET (\text{cultivo}) = E_{To} * Kc \text{ 30}$$

ET (cultivo) = Evapotranspiración de un cultivo determinado, expresado en mm por día.

E_{To} = Evapotranspiración del cultivo de referencia, expresado en mm por día.

Kc = Coeficiente de cultivo, variable con el propio cultivo y con su período vegetativo.

E_{To} se define como la tasa de evapotranspiración de un cultivo extenso y uniforme de gramíneas, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea totalmente el suelo y no está escaso de agua.

La ET (cultivo) es la evapotranspiración de un cultivo determinado en un suelo fértil, sin enfermedades y con suficiente cantidad de agua para dar una plena producción.

El cálculo de E_{To} se hace en la misma zona de riego (método de la cubeta evaporimétrica) o mediante fórmulas que relacionan ciertos datos climáticos (métodos de Blaney-Criddle, de la radiación y de Penman).

Los métodos de Blaney-Criddle, de la radiación y de Penman se utilizan, generalmente, como métodos de predicción, mientras que el método de la cubeta evaporimétrica mide la evaporación real ocurrida en dicha cubeta (que se relaciona con la evapotranspiración real), aunque también se puede utilizar como método de predicción.

6.5.1.5.-Metodo de la cubeta evaporimétrica Fleming, P y otros (1990).

Los efectos combinados de la radiación, la temperatura, la humedad y el viento influyen sobre la cantidad de agua evaporada en una superficie de agua libre. Estos mismos elementos climáticos influyen también, de un modo análogo, sobre la evapotranspiración del cultivo. El método de la cubeta evaporimétrica se basa en relacionar la evaporación del agua de la cubeta con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETO), mediante la siguiente fórmula:

$$E_p = K_p E_{To} \quad *$$

E_{To} = Evapotranspiración del cultivo de referencia, expresada en mm por día.

K_p = Coeficiente de la cubeta, que depende del tipo de cubeta, del clima y del medio que circunda a la cubeta.

E_p =Evaporación de la cubeta, expresada en mm por día. Representa el valor medio diario del período considerado.

La cubeta más utilizada es la de clase A, que es de hierro galvanizado, de forma circular, con un diámetro de 121 cm y una profundidad de 25,5 cm. Se coloca sobre una plataforma de madera a 15 cm de altura sobre el suelo.

La cubeta evaporimétrica se instala en un medio abierto, en un sitio donde no haya a su alrededor cultivos que tengan más de 1 m de altura en un radio de 50 m. A su alrededor habrá suelo desnudo o hierba verde segada frecuentemente.

El nivel del agua en la cubeta no debe aproximarse ni alejarse mucho del borde. Cuando el nivel sube hasta 5 cm del borde o baja hasta 7,5 cm del mismo (como consecuencia de una lluvia o de la evaporación, respectivamente), se quita o se añade agua.

La lectura de la altura de agua en la cubeta se hace todos los días a la misma hora mediante un tornillo micrométrico situado en un depósito. La lectura ha de hacerse de forma meticulosa, para evitar errores.

El coeficiente K_p varía con el clima de la región, el tipo de cubeta y la colocación de la misma (situada sobre una cubierta verde o sobre barbecho). En la tabla 1 se indican los valores de K_p en distintas condiciones.

Tabla 1: Coeficiente Kp, en el caso de una cubeta de la clase A, para diferentes cubiertas y niveles de humedad relativa media y vientos durante las 24 horas (FAO).

Cubeta clase A	Caso A			Caso B				
	Cubeta rodeada de cubierta verde baja			Cubeta con barbecho de secano				
RH media %	Baja <40	Media 40-70	Alta >70	Baja <40	Media 40-70	Alta >70		
Vientos km/día	Distancia a barlovento de la cubierta verde (en m)			Distancia a barlovento del barbecho de secano (en m)				
Débiles <175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1.000	0,75	0,85	0,85	1.000	0,5	0,6	0,7
Moderados 175-425	0	0,5	0,6	0,65	0	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1.000	0,7	0,8	0,8	1.000	0,45	0,55	0,6
Fuertes 425-700	0	0,45	0,5	0,60	0	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1.000	0,65	0,7	0,75	1.000	0,4	0,45	0,55
Muy fuertes >700	0	0,4	0,45	0,5	0	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1.000	0,55	0,6	0,65	1.000	0,35	0,4	0,45

6.5.1.6.-Necesidades Totales de Riego (Fuentes, J 2003)

Las necesidades totales vienen definidas por la fórmula:

$$N_t = \frac{N_n}{E_a} = \frac{N_n}{R_p \times FL \times Fr \times CU}$$

N_t = Necesidades totales, en mm/día

N_n = Necesidades netas, en mm/día

E_a = Eficacia de aplicación, en tanto por uno

R_p = Relación de percolación, en tanto por uno

FL = Factor de lavado, en tanto por uno

Fr = Factor de rociado, en tanto por uno

CU = Coeficiente de uniformidad, en tanto por uno

De un modo general, las eficiencias de los diferentes sistemas de riego vienen indicadas en la Tabla 2

Tabla 2: Eficiencia de aplicación del agua para diferentes sistemas de riego

Riego por surcos.....	0,50-0,70
Riego por fajas.....	0,60-0,75
Riego por inundación.....	0,60-0,80
Riego por inundación permanente.....	0,30-0,40
Riego por aspersión.....	0,65-0,85
Riego por goteo.....	0,75-0,90

Se ha considerado que los sistemas de riego a presión (aspersión y goteo), más tecnificados, tenían una eficiencia mayor que el riego por superficie. Sin embargo, hay que considerar que el manejo del sistema influye decisivamente en la eficiencia, de tal modo que un sistema poco tecnificado pero bien manejado resulta más eficiente que otro más tecnificado pero mal manejado.

6.5.1.7.-Dosis de riego e intervalo entre riegos (Fuentes, J 2003)

La dosis de riego es la cantidad de agua que se aplica en cada riego por cada unidad de superficie. Cabe diferenciar entre dosis neta (D_n) y dosis bruta o total (D_t). La dosis neta corresponde a la reserva fácilmente disponible, y viene dada por la fórmula:

$$D_n = 100 * H * D_a * (C_c - P_m) * f$$

D_n = Dosis neta expresada en m^3/ha

H = Profundidad de las raíces, en m.

D_a = Densidad aparente del suelo.

C_c = Capacidad de campo, expresado en porcentaje en peso de suelo seco.

P_m = Punto de marchitamiento, expresado en porcentaje en peso de suelo seco.

f = Fracción de agotamiento del agua disponible, expresado en tanto por uno.

La dosis total o dosis bruta es la cantidad total de agua que se aplica cuando se toma en consideración la eficiencia de aplicación y viene dado por la fórmula:

- $D_t = \frac{D_n}{E_a}$

Siendo E_a la eficiencia de aplicación.

Se debe regar cuando las extracciones de las plantas agoten la reserva fácilmente disponible. Por consiguiente, el intervalo (i) en días será:

$$i = \frac{D_n}{N_n} = \frac{D_n}{N_n} = \frac{D_n}{N_n}$$

Naturalmente, la D_n y las N_n diarias se han de expresar en las mismas unidades (m^3/ha o mm de altura de agua).

6.5.2. Diseño Hidráulico.

6.5.2.1. Cálculo de laterales y porta laterales (Fuentes, J (2003))

El diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de distribución y del óptimo trazado de la misma.

Los ramales laterales, porta aspersores o alas de riego son los que distribuyen el agua al cultivo por medio de los aspersores acoplados a ellos. Las tuberías porta laterales o de alimentación son aquellos de donde derivan los laterales. Tanto en laterales como en porta laterales se da el caso de una conducción con salidas múltiples distribuidas a lo largo de ella, uniformemente espaciadas y por las que descarga el mismo caudal.

$$Q = n \cdot q$$

Q= Caudal del ramal.

n= Número de salidas.

q = Caudal de cada salida.

Al principio de la tubería con salidas múltiples (en su conexión con la tubería de alimentación), el caudal es Q. A medida que se avanza en la tubería, las pérdidas de carga por rozamiento son menores que las que ocurrirían en una tubería de igual diámetro y longitud, pero sin salidas intermedias. Estas pérdidas de carga se pueden calcular tramo por tramo entre dos salidas consecutivas, en donde el caudal se mantiene constante, y luego sumar los valores obtenidos en todos los tramos. Para evitar este procedimiento tan engorroso, Christiansen ideó un método basado en calcular la pérdida en una tubería de igual longitud, diámetro y rugosidad, sin salidas intermedias, por la que circula el caudal Q. Posteriormente se multiplica por un coeficiente reductor F (Factor de Christiansen) para que las pérdidas en ambos casos sean equivalentes.

El cálculo del diámetro de un ramal lateral se basa en la uniformidad conseguida en la descarga del agua por los aspersores del ramal. Como norma se establece que la diferencia máxima del caudal descargado por dos aspersores cualesquiera del mismo ramal sea inferior al 10 % del caudal nominal. Se demuestra que en riego por aspersión una variación del 10 % del caudal representa una variación del 20 % en la presión de entrada del emisor. Por tanto, la diferencia en la presión de entrada entre dos aspersores cualesquiera del ramal debe ser inferior al 20 % de la presión nominal del aspersor, en caso de ramales horizontales.

Este mismo criterio se podría aplicar (como se hace en riego localizado) a un bloque de riego formado por una tubería porta-laterales y por los laterales que derivan de ella. En este caso, el coste mínimo de la instalación ocurre cuando el 55 % de las pérdidas admisibles en el bloque se produce en los laterales, mientras que el 45 % restante se produce en la tubería porta-laterales.

Consideremos el primer caso, en que la diferencia de presiones entre dos aspersores cualesquiera del mismo lateral horizontal sea inferior al 20 % de la presión nominal del aspersor.

En un lateral, aparte de las pérdidas por rozamiento, se producen unas pérdidas singulares (en los acoplamientos de los tubos, en la conexión de los emisores, etc.). Estas pérdidas singulares representan del 5 al 15 % de las pérdidas por rozamiento (los valores más bajos corresponden a tuberías de PVC y PE, y los más altos a tuberías de aluminio), por lo que la pérdida de carga total podría ser:

$$h = 1,10 h_r$$

Siendo h y h_r , respectivamente, la pérdida total y las pérdidas por rozamiento.

También se puede considerar que la pérdida total es la de una tubería semejante de igual diámetro, pero con una longitud ficticia (L_f) cuyo valor es igual a 1,10 su longitud real (L).

$$L_f = 1,10 L,$$

El criterio básico de selección del diámetro de las tuberías estipula que la variación de presión, debido a pérdidas de carga por roce y diferencia de cota entre los extremos de la tubería lateral, entre el primer y último aspersor no debe ser superior al 20% de la presión de operación de estos.

La fórmula más utilizada en el dimensionamiento de las tuberías en riego por aspersión es la de Hazzen – Williams:

$$H_f = 10,643 \frac{L Q^{1.852}}{D^{4.87}} F$$

De donde,

h_f = Pérdidas de carga por fricción en la lateral (m).

Q = Caudal total en la lateral (m³/s).

D = Diámetro interno de la tubería (mm).

L = Longitud de la tubería (m).

F = Factor de corrección por salidas múltiples para Hazen - Williams.

CH_w = Coeficiente de Hazzen - Williams (120 para tuberías de aluminio; 145 para tuberías de asbesto-cemento y 150 para tuberías de PVC).

Debido a que en la lateral el caudal disminuye a medida que el agua sale por los aspersores, la pérdida de carga disminuye y es necesario corregirla utilizando un factor (F) que depende del número de aspersores sobre la lateral. Este factor toma en cuenta la reducción armónica de caudal producida a través de los aspersores a lo largo de la lateral

Los valores de F para diferente número de salidas se presentan en la tabla 3

El cálculo del diámetro de la tubería se realiza entonces por tanteo probando varios diámetros y comprobando si la variación de presión (ΔH) es inferior al 20% de la presión de operación.

Se presenta a continuación la tabla 4 en la que se puede ver el coeficiente CH_w para diferentes tipos de tuberías.

Tabla. 3 Coeficientes de Hazzen Williams. (CHW)

TUBOS DE CHW	
Acero Corrugado (placa ondulada)	60
Acero con uniones lock-bar, nuevos	130
Acero galvanizado (nuevos y en uso)	125
Acero remachado (nuevo)	110
Acero remachado en uso	85
Acero soldado con revestimiento especial (nuevos y en uso)	130
Plomo	130
Asbesto-Cemento	140
Cobre	130
Concreto, buena terminación	130
Concreto, terminación común	120
Hierro fundido, nuevo	130 41
Hierro fundido, en uso	90
Hierro fundido, tubos revestidos de cemento	130
Barro Vitrificado	110
Latón	130
Madera en duelas	120
Baldosas, productos bien ejecutados	100
Vidrio	140
Plástico	.150

6.5.2.2.-Cálculo de la Tubería principal y de conducción.

Estos tipos de tuberías están presentes en sistemas grandes compuestos por varias subprincipales con sus respectivas laterales. Las tuberías principales llevan agua a los diferentes puntos del terreno para alimentar subprincipales, formando una verdadera red y su diseño depende de la secuencia de operaciones de las diferentes subprincipales que componen el sistema y de los caudales a transportar. En este caso es importante mantener un equilibrio de caudales entre los diferentes subprincipales que conforman la red.

La tubería de conducción corresponde a la tubería que lleva el agua desde la fuente hasta el primer nudo de la principal.

En los sistemas pequeños, que cuentan de una subprincipal, la tubería de conducción y la principal son equivalentes.

La pérdida de presión es la principal consideración en el diseño, produciéndose dos situaciones básicas, de acuerdo al origen de la presión:

Donde se utiliza presión debida a la gravedad, o sea por diferencia de elevación, se pueden presentar 2 situaciones:

- a) La diferencia de altura es apenas suficiente para proporcionar una presión adecuada de funcionamiento. En este caso, será necesario usar tubos de mayor diámetro y minimizar las pérdidas por fricción para evitar bombeo.
- b) Cuando la diferencia de alturas es muy superior a la necesaria, el problema radica en reducir el exceso de presión, lo cual se logra utilizando tuberías de poco diámetro.

Donde la presión requerida proviene de bombeo, el problema consiste en seleccionar los diámetros y materiales de la razonable entre los costos anuales de bombeo y el costo de tuberías. El objetivo es el diseño de menor costo.

Para determinar el diámetro óptimo existen varios criterios de distinta complejidad:

- Método de la pérdida de carga unitaria: Consiste en seleccionar los diámetros de las tuberías, de manera que las pérdidas por fricción no excedan a 0,023 m/m de tubería.

- Método de velocidad permisible: Este método establece una velocidad límite máxima en la tubería principal. Los valores más comunes a usar son entre 0,6 y 2,25 m/s. Por debajo del primer valor los diámetros son excesivos y la tubería es cara. Para las velocidades superiores a 2,25 m/s las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados que sobrecargan excesivamente la bomba y aceleran el envejecimiento de la tubería. Se recomienda no sobrepasar el valor de 1,5 m/s.

El diámetro puede estimarse a partir de la relación: $D_i = 29,41 * Q^{1/2}$, y comprobar la velocidad. Una vez obtenido el diámetro se estiman las pérdidas por fricción para calcular finalmente los requerimientos de impulsión.

6.5.2.3.- Cálculo de Pérdida de Carga Localizada en Tuberías

En las tuberías, cualquier causa perturbadora, cualquier elemento o dispositivo que venga a establecer o elevar la turbulencia, cambiar la dirección o alterar la velocidad, origina una pérdida de carga.

A consecuencia de la inercia y de los torbellinos, parte de la energía mecánica disponible se convierte en calor y se disipa bajo esta forma, resultando una pérdida de carga. En la práctica, las tuberías no son constituidas exclusivamente de tubos rectilíneos y del mismo diámetro. Usualmente, incluyen piezas especiales y conexiones que, por la forma y disposición, elevan la turbulencia, provocan fricciones y causan el choque de partículas, dando origen a pérdidas de carga. Además se presentan en las tuberías, otros hechos particulares como, válvulas, medidores, etc. También responsables de pérdidas de carga de esta naturaleza.

De hecho las pérdidas hidráulicas de energía, según se ha visto, se dividen en continuas y localizadas, en ítem anteriores se han definido a las primeras, debiéndose estudiar las pérdidas en puntos singulares o localizadas, la misma que se producen en los elementos accesorios o singularidades de las tuberías, en los cuales, debido a variaciones de la sección, a cambios de dirección, o a ambas cosas a la vez, se modifican la velocidad de la corriente y surgen eventuales torbellinos. Efectivamente, siempre que se altere en magnitud o dirección la velocidad de una corriente, se forman remolinos que producen una pérdida de energía independiente de la producida por el rozamiento continuo en el mismo tramo de la tubería.

Estas son las denominadas pérdidas de carga menores o localizadas, accidentales o singulares, por el hecho de resultar específicamente de puntos o partes bien determinadas de la tubería, al contrario de lo que ocurre con las pérdidas de carga por fricción a lo largo de las tuberías y de las que se ha hablado en líneas anteriores. La expresión general para determinar las pérdidas de carga menores o localizadas en tuberías resulta ser.

6.5.2.4.- Determinación de los requerimientos de impulsión (Peralta, J y Simpfendörfer, C 2001)

Para determinar la dimensión de la unidad de bombeo es necesario conocer las condiciones máximas de operación a saber: el caudal y la carga dinámica total.

El caudal está determinado por el gasto máximo del equipo de riego por aspersión y la carga dinámica total, que corresponde a la presión requerida para el funcionamiento de los aspersores (P_o); más todas las pérdidas por fricción, singulares y desniveles existentes entre el punto de bombeo y la lateral más lejana (presión de impulsión), a la cual se le adicionan las pérdidas de carga en el chupador de la bomba y el desnivel existente entre la superficie del agua y esta última altura de succión. Se agregan las pérdidas de carga de la válvula de retención, a la salida de la bomba y la llave de paso general del sistema.

7. Bombas selección y aplicación

Introducción

Las bombas se utilizan para impulsar líquidos a través de sistemas de tuberías. Pope (2000) dice que “las bombas convierten una entrada de energía mecánica en una energía de fluido”. En este capítulo se presentara como seleccionar bombas centrifugas por medio de las curvas características.

Con la siguiente ecuación podemos calcular la carga total de la bomba:

$$H_B = \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2 \times g}$$

Algunos fabricantes de bombas refieren a él como carga dinámica total (TDH)

Generación de la fuerza centrífuga y funcionamiento del equipo

El Alimento o insumo líquido del proceso alimentario entra por la boquilla de succión a la parte central de un dispositivo giratorio conocido como un impulsor.

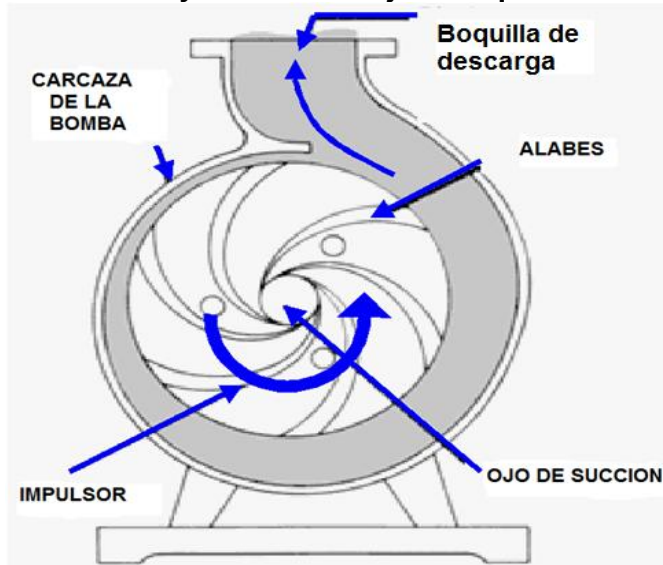
Cuando el impulsor gira, el líquido acumulado en las cavidades entre las aspas del impulsor es lanzado de manera violenta hacia el exterior, suministrándole aceleración centrífuga debida al giro del impulsor sobre su eje a grandes velocidades.

Como el líquido o insumo alimentario sale del centro del impulsor hacia la periferia se crea una zona de baja presión o succión haciendo que más líquido fluya hacia la entrada de la bomba. Debido a que las paletas del difusor tienen curvatura, el fluido es empujado en la dirección tangencial y posteriormente en dirección radial por la fuerza centrífuga que le imprime la bomba al alimento líquido.

Esta fuerza que actúa dentro de la bomba es la que mantiene el alimento líquido fluyendo dentro de toda la conducción conectada a la bomba en dirección de los demás equipos del proceso.

En la Figura 1 se muestra en la sección transversal de una bomba centrífuga el movimiento del líquido.

FIGURA 1 Trayectoria del flujo del líquido en el interior de una bomba centrífuga



Conversión de energía cinética en energía de presión

El principio fundamental del funcionamiento de la Bomba centrífuga consiste en que el tipo energía generada por la fuerza centrífuga es la energía cinética.

La cantidad de energía que recibe el líquido es proporcional a la velocidad en La punta externa de los alabes del impulsor

Cuanto más rápido gira el impulsor o más grande es el impulsor, mayor será la velocidad del líquido en la punta del alabe y mayor energía impartida al líquido.

Esta energía cinética del líquido que sale de un impulsor o turbina se ve entorpecido por la acción de una resistencia al flujo. La primera resistencia es generada por la misma voluta de la bomba (carcasa) que lo frena en su interior. En la zona de impulsión, el líquido disminuye la velocidad y esta a su vez se convierte en presión sobre el líquido de acuerdo con el principio de conservación de Energía de Bernoulli.

Por lo tanto, la cabeza (la presión en términos de altura de líquido) desarrollada es aproximadamente igual a la energía de velocidad en la periferia del impulsor expresada por la siguiente fórmula:

$$H = \frac{v^2}{2g} \quad (30)$$

Donde

H = Cabeza total desarrollada en metros

V = velocidad en la periferia del impulsor en m/seg

G= Aceleración de la gravedad 9.8 m/seg²

La cabeza también puede ser calculada a partir de las lecturas de los manómetros dispuestos en las líneas de aspiración y de descarga unidas a la bomba.

Las curvas de flujo de las bombas relacionan el caudal y la presión (la cabeza) desarrollada por la bomba a diferentes tamaños de impulsor y velocidades de rotación.

La operación de la bomba centrífuga debe ajustarse a las curvas de las bombas suministradas por el fabricante. Para leer y entender las curvas de las bombas, es muy importante desarrollar una comprensión clara de los términos utilizados en las curvas. Este tema se desarrollará más adelante.

Un hecho que debe ser siempre recordado es: Una bomba no crea presión, sólo proporciona un flujo. La presión es tan sólo un indicativo de la cantidad de resistencia al flujo.

7.1 Tipos de bombas

White (2004) afirma que; “hay dos tipos de bombas: de desplazamiento positivo y dinámico o de intercambio de cantidad de movimiento”.

Las bombas dinámicas son de dos tipos: centrífugas y axiales. Se caracterizan por la manera en que la energía se convierte desde la alta velocidad del líquido en la entrada a la carga de presión en un paso difuso del fluido. Sin embargo, sus ventajas radican en la salida del gasto hasta cierto punto alto, comparado con su tamaño. Así como sus bajos costos de mantenimiento. También operan con velocidades relativamente altas.

Las bombas de desplazamiento positivo son de varios tipos, entre ellos bombas reciprocantes, de espiral giratorio y de engranes. Estas bombas operan al forzar un volumen fijo de fluido, desde la sección de presión de entrada a la sección de descarga de la bomba. En las bombas reciprocantes esto se hace de forma intermitente; en otras se lleva a cabo de forma continua.

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

Nuestro interés está dirigido hacia las bombas cinéticas (especialmente en las centrífugas). Por lo tanto, nuestro enfoque se dirigirá hacia estas

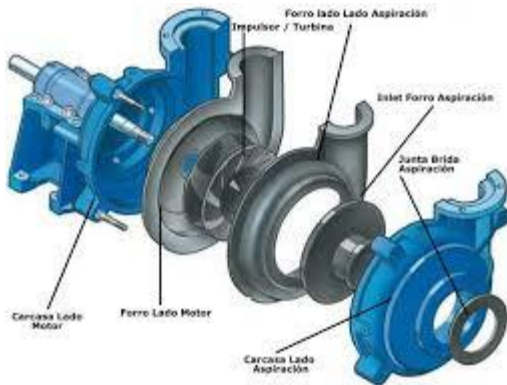
Las Bombas Centrífugas se pueden clasificar de diferentes maneras:

- Por la dirección del flujo en: Radial, Axial y Mixto.
- Por la posición del eje de rotación o flecha en: Horizontales, Verticales e Inclinados.
- Por el diseño de la coraza (forma) en: Voluta y las de Turbina.
- Por el diseño de la mecánica coraza en: Axialmente Bipartidas y las Radialmente Bipartidas.
- Por la forma de succión en: Sencilla y Doble.

7.1.1 Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se fabrican en gran variedad de configuraciones, como las carcasas horizontales, verticales, de división radial y axial. La mejor se elige en función de los requerimientos hidráulicos tales como la presión y gastos deseados. Otros puntos es que deben considerarse las limitaciones de espacio en el lugar de la instalación, así como la facilidad del mantenimiento.

LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS SON



Componentes generales de las bombas centrífugas Figura 2

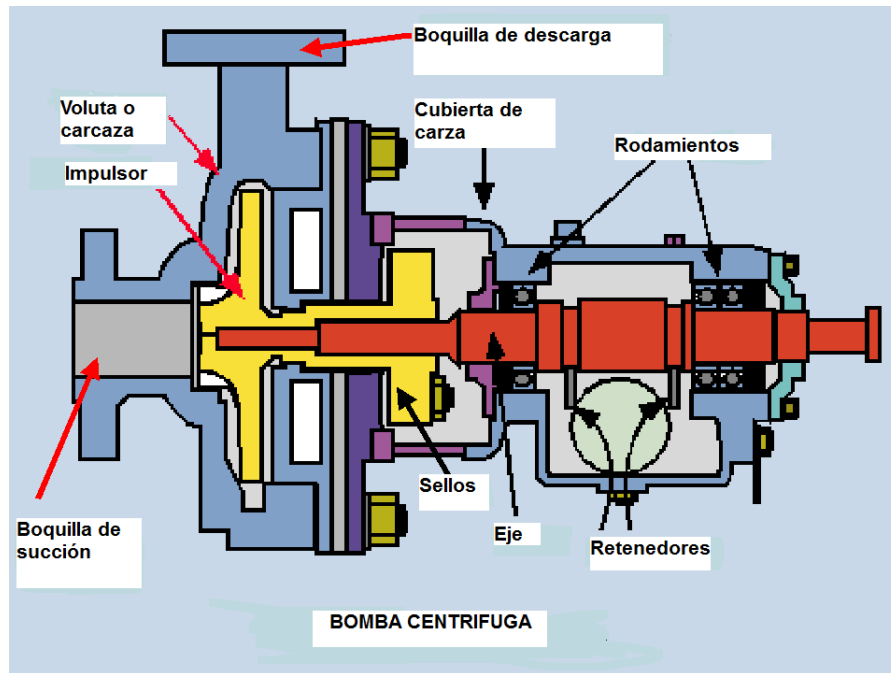
Una bomba centrífuga tiene dos componentes principales:

1. Un componente giratorio compuesto por un impulsor y un eje
2. Un componente fijo compuesto por una carcasa, cubierta de la carcasa, y los cojinetes.

Los componentes, tanto fijos como rotativos, se muestran en la Figura 2

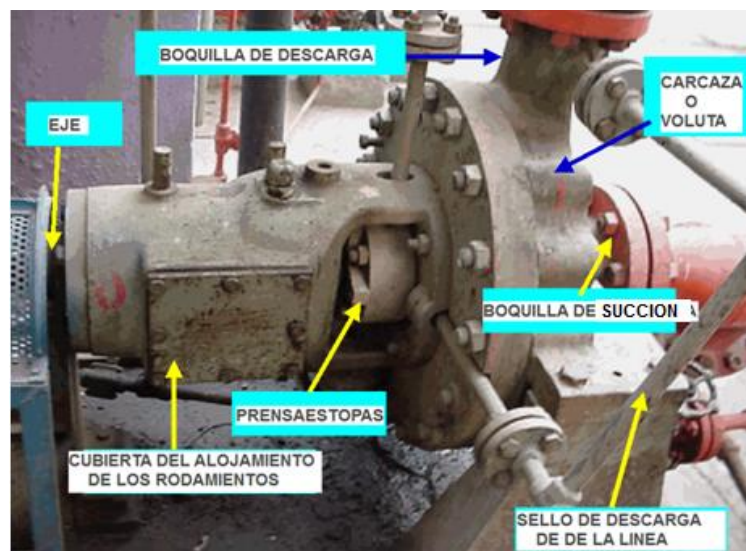
Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

FIGURA 3: Componentes generales de la bomba centrífuga



Los componentes principales se discuten brevemente a continuación. La Figura 3 muestra estas piezas en una fotografía de una bomba centrífuga.

FIGURA 4: Componentes generales de una bomba centrífuga



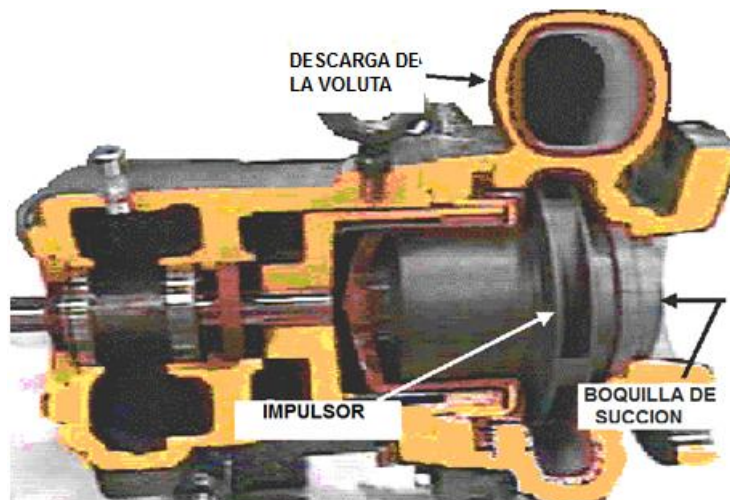
Componentes estacionarios

Cubiertas

Las Cubiertas o carcasas son de dos tipos: Voluta y circular. Dentro de las cubiertas el impulsor es ajustado.

- La cubierta tipo voluta: es construida para cabezas de descarga elevadas. Una cubierta tipo voluta es un espiral cuya área se incrementa hacia la zona de descarga como se muestra en la Figura 4 (ver boquilla de descarga), donde se observa como por la forma de la voluta, se reduce la velocidad del líquido incrementándose su presión.

FIGURA 5: corte transversal de una bomba que muestra la cubierta tipo voluta en su interior



Uno de los propósitos principales de la cubierta tipo voluta es ayudar a equilibrar la presión hidráulica sobre el eje de la bomba. Sin embargo, este balance debe ocurrir a la capacidad de bombeo recomendada por el fabricante. La operación de este tipo de bombas a menor capacidad de bombeo que la recomendada por el fabricante puede poner tensión lateral al eje de la bomba, incrementándose su desgaste y la rotura de los sellos y rodamientos y hasta el mismo eje de la bomba.

Las cubiertas de voluta doble son utilizadas cuando a capacidad de bombeo reducida el empuje radial llega a ser significativo.

- Cubierta Tipo circular

Este tipo de carcasa tiene paletas fijas de difusión rodeando periféricamente al impulsor para convertir la Energía de velocidad en Energía de presión. Normalmente las paletas de difusión se aplican en las bombas de etapas múltiples.

Se utiliza para bajas cabezas de descarga y alta capacidad. Pueden ser diseñadas como cubiertas sólidas o cubiertas de divididas

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

§ La cubierta sólida corresponde al diseño en el que la carcasa es entera, incluyendo la boquilla de descarga la cual está toda contenida en una sola cubierta o pieza fabricada.

§ La carcasa dividida implica dos o más partes que se unen entre sí. Cuando las partes están divididas por el plano horizontal, la cubierta se especifica como cubierta tipo dividida horizontalmente o cubierta dividida axialmente.

Para el caso en el que la división de la cubierta es en el plano vertical en posición perpendicular a la rotación del eje, la cubierta recibe el nombre de dividida verticalmente o cubierta dividida radialmente.

Este tipo de cubiertas requieren la utilización de anillos de desgaste que actúan como sello entre la cubierta y el impulsor; Ver Figura 5

FIGURA 6 Cubierta sólida

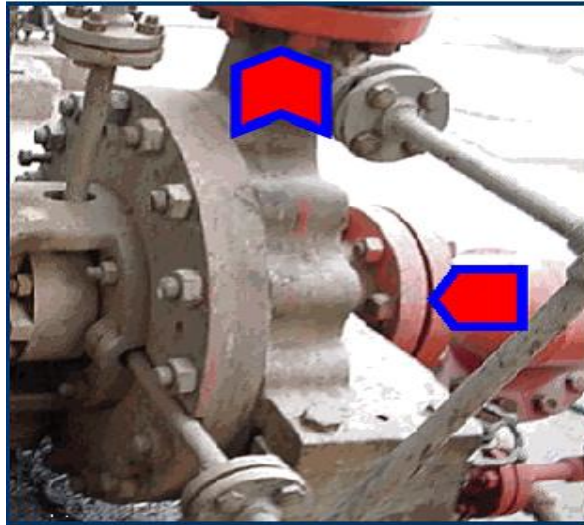


Boquillas de succión y de descarga

Las boquillas de succión y de descarga en esta clase de bombas forman parte integral de la cubierta misma. De acuerdo con su posición se presentan las siguientes configuraciones.

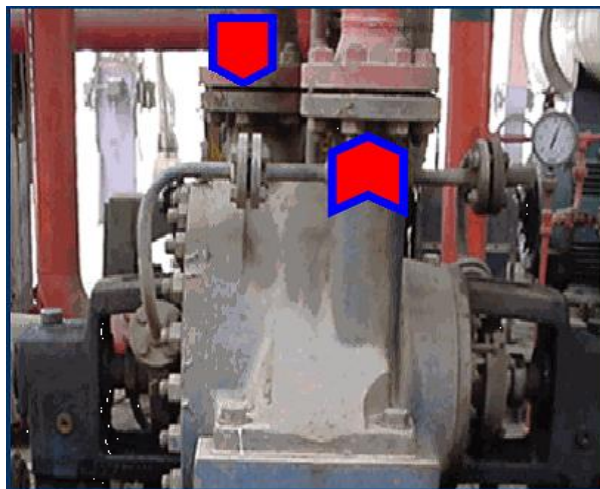
Ø Aspiración axial/descarga superior Ver Figura 73. La boquilla de succión está localizada concéntrica al eje de la bomba, mientras que de la boquilla de descarga se encuentra en la parte superior de la cubierta, perpendicular al eje y descarga. Esta bomba por lo general tiene una menor NPSHr (Cabeza neta de succión positiva), debido a que el líquido se alimenta directamente sobre el centro del impulsor

FIGURA 7 Aspiración axial/descarga superior



Ø Aspiración superior/descarga superior Ver Figura 74 En este tipo de bomba, las boquillas de succión y descarga se encuentran en la parte superior de la cubierta, perpendicular al eje de la bomba.

FIGURA 8 Aspiración superior/descarga superior



Ø boquillas Lateral de aspiración / boquillas Lateras de descarga: en este caso, Las boquillas de succión y descarga están situadas a los lados en posición perpendicular al eje

Cámara de sello y/o Caja de empaquetadura

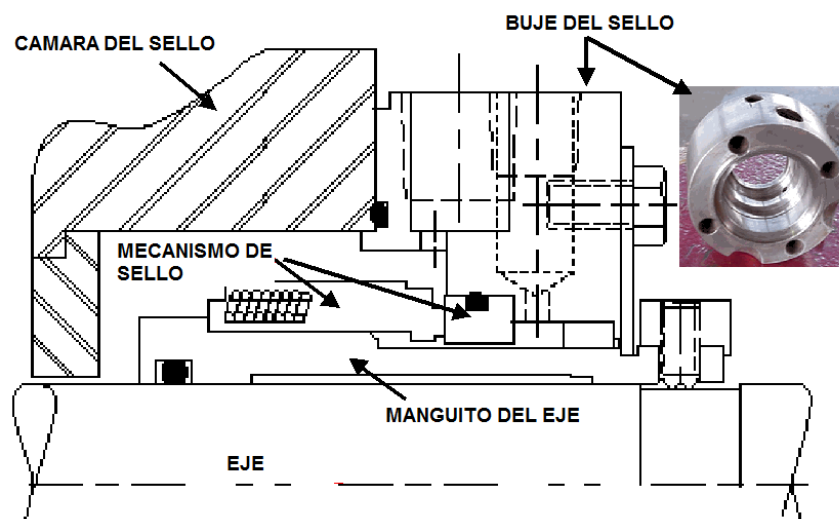
Se encuentra ubicada en un compartimento, ya sea integral o separada de la cubierta de la bomba en la región comprendida entre el eje y la cubierta, corresponden a los sistemas de sellado y estanqueidad del líquido que se está bombeando, para evitar fugas y pérdidas a través del eje de la bomba. Cuando el sello se consigue mediante de un sello mecánico, la cámara se conoce comúnmente como una cámara de sellado.

Cuando el cierre se logra por medio de empaque, a la cámara se le denomina como Prensaestopas.

En el sistema ocurre que, cuando la presión en la parte inferior de la cámara es inferior a la presión atmosférica, este impide la entrada de aire a la bomba. Cuando la presión es superior a la atmosférica, el sistema evita fugas de líquido desde la bomba.

Normalmente, las cámaras de sellado y los prensaestopas también están provistos de refrigeración o sistemas adecuados para el control de la temperatura Ver Figura 8, en la que se muestra un sello montado en el exterior de la cámara de la bomba y sus partes.

FIGURA 9, Sello montado en el exterior de la cámara de la bomba y sus partes



Ø Buje del sello: es una parte muy importante de la cámara del sello o del prensaestopas. Esta pieza le da el ajuste deseado al sello mecánico en su parte central se aloja la camisa del eje. Su función operativa es la de permitir la refrigeración, el drenaje y ventilación del eje de la Bomba

Ø Dispositivo de circulación interna se refiere a un dispositivo situado la cámara del sello, cuya función consiste en hacer circular el líquido a través de una junta de la cámara fría o barrera y el tanque de regulación de fluidos.

Ø Sello mecánico

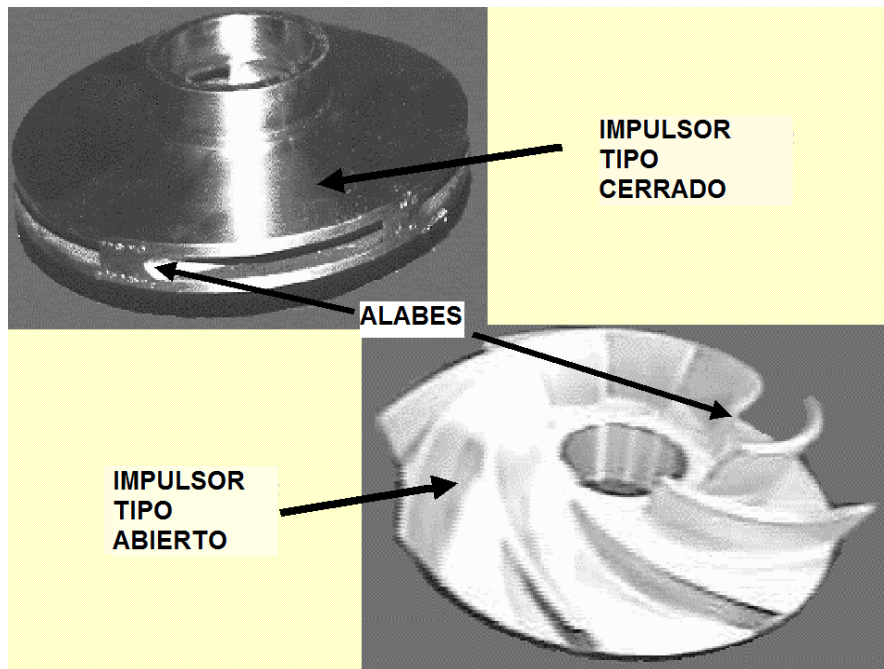
Componentes de rotación

Impulsor

El impulsor es la parte principal de rotación que proporciona la aceleración centrífuga al fluido. Se clasifican de muchas maneras.

- Basado en la dirección principal de flujo en referencia al eje de rotación
- De flujo radial
- De flujo axial
- De flujo mixto

FIGURA 10: Tipos de Impulsor



- Basado en el tipo de aspiración
 - Una sola aspiración: la entrada de líquido en un lado.
 - Doble aspiración: la entrada de líquido al impulsor simétricamente a ambos lados.
- Basado En la construcción mecánica Ver Figura 9
 - Cerrado: envuelto en paredes laterales encerrando las paletas impulsoras.
 - Abierto: No envuelto en paredes laterales para encerrar las paletas.
 - Semi-abierto o tipo vortex.

Los Impulsores cerrados requieren anillos de desgaste los cuales requieren de mantenimiento.

Los Impulsores abiertos y sem-iabiertos son menos propensos a obstruirse, pero requieren ajuste manual de la voluta o la placa posterior para dar al impulsor apropiado y evitar la recirculación interna del fluido a bombear.

Los Impulsores tipo Vortex son ideales para materiales líquidos con contenidos en sólidos y "fibrosos", pero son hasta un 50% menos eficientes que los diseños convencionales.

- El número de impulsores determina el número de etapas de la bomba. Una bomba de una sola etapa tiene un impulsor y es eficiente para bajas cabezas de descarga
- Una bomba de dos etapas con dos impulsores en serie es ideal para un valor medio de cabeza de descarga.
- Una bomba de multietapa tiene tres o más impulsores en serie y son muy útiles en altos valores de cabeza de descarga.

Anillos de desgaste: proporciona un sistema de unión renovable económico y fácil de cambiar para evitar las filtraciones en entre el impulsor y la carcasa. Su desajuste puede llegar a ser tan grande que la eficiencia de la bomba disminuye demasiado produciendo serios problemas de vibración y calor

Eje

El propósito básico del eje de la bomba centrífuga es la de transmitir el torque necesario cuando la bomba arranca y durante la operación de la misma; sirve de soporte al impulsor y otras piezas giratorias. Este trabajo lo debe hacer con una desviación menor que la tolerancia entre las partes giratorias y estacionarias.

Juntas de acople

Elementos ubicados perpendicularmente al eje que unen el sistema motriz a la bomba y que pueden amortiguar el torque que se transmite al impulsor

Se clasifican en dos grupos: rígidas y flexibles. Las juntas de acople rígidas se utilizan en aplicaciones donde no hay absolutamente ninguna posibilidad ni espacio para cualquier desalineación entre bomba y motor.

Los acoplamientos flexibles son más propensos a errores a la selección, instalación y mantenimiento del conjunto motor bomba.

Los acoplamientos flexibles se dividen en dos grupos básicos: elastoméricos y no-elastómeros. Los acoplamientos elastoméricos utilizan juntas en materiales en caucho o polímero para asegurar la flexibilidad requerida.

Los acoplamientos no elastoméricos utilizan juntas metálicas para obtener flexibilidad. Estas pueden ser de dos tipos: lubricados o no lubricadas. Los lubricados son propensos a desalineación la acción de deslizamiento de sus componentes, de ahí la necesidad de lubricación. Los diseños no lubricados acomodan su desalineación a través de la flexión de los mismos.

Componentes auxiliares

Por lo general se incluyen en los sistemas de bombeo los siguientes servicios:

- Lavado, refrigeración y sistemas de enfriamiento del sello
- Drenaje y Venteo del sello
- Lubricación, y sistemas de refrigeración de los rodamientos
- Sistemas de refrigeración o calefacción de la cámara de sello o la caja de empaquetadura,
- Sistemas de refrigeración para la bomba tipo pedestal

Los sistemas auxiliares de bombeo incluyen tubos, tuberías, válvulas de cierre, válvulas de control, válvulas alivio, medidores de temperatura y termopares, medidores de presión, indicadores de flujo, medidores de orificio, rejillas de ventilación y desagües.

7.1.2 Datos de rendimiento de una bomba centrífuga

Debido a que las bombas no son de los tipos de desplazamiento positivo, existe una dependencia fuerte entre la capacidad y la presión que debe desarrollar la bomba. Esto hace que la medición de su rendimiento sea algo complicada. La curva de rendimiento común grafica la carga total sobre la bomba h_T versus la capacidad o descarga Q .

La operación normal debe de estar próximo del pico de la curva de eficiencia, la eficiencia por lo común están entre el 60 y 80%, para bombas centrífugas.

7.2 Punto de operación de una bomba y selección de esta.

El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviara cuando se instale un sistema dado. La carga total que desarrolla una bomba se determina por medio de la resistencia del sistema que corresponde a la misma del flujo volumétrico, la figura ilustra un concepto. La curva de rendimiento de la bomba es la gráfica del flujo volumétrico que la bomba distribuye como función de la carga total, y a la que está sujeta el sistema que forma parte.

7.3 Parámetros clave para el rendimiento de una bomba centrífuga

Los parámetros claves para establecer el correcto funcionamiento de las bombas centrífugas son la capacidad, la cabeza, BHP (Potencia al freno), BEP (punto de mejor eficiencia) y la velocidad específica.

Las curvas de la bomba de rendimiento de una bomba proporcionan la herramienta de trabajo con la que estos parámetros se pueden variar para garantizar un funcionamiento satisfactorio de la bomba.

A continuación se describen los siguientes parámetros o términos operativos de la bomba centrífuga:

- Capacidad
- Cabeza
 - Importancia de utilizar la cabeza de descarga en vez de la presión
 - Fórmula de conversión de la cabeza de descarga en presión
 - Cabeza de succión estática, h_s
 - Cabeza de descarga estática, h_d
 - Cabeza de fricción, h_f
 - Cabeza de presión Vapor, h_{vp}
 - Cabeza de presión, h_p
 - Cabeza de velocidad, h_v
 - Cabeza Total de succión H_s
 - Cabeza Total de descarga H_d
 - Cabeza total Diferencial H_T
- NPSH
 - Cabeza neta de succión positiva requerida NPSHr
 - Cabeza neta de succión positiva disponible NPSHa
 - Potencia (potencia al freno, BHP) y eficiencia (mejor Punto de eficiencia, BEP)
 - Velocidad específica (N_s)
 - Leyes de afinidad

7.3.1 Capacidad

Corresponde a la velocidad de flujo con la cual el líquido es movido o empujado por la bomba al punto deseado en el proceso. Normalmente se mide en galones por minuto (Gpm) o metros cúbicos por hora (m^3/Hr). La capacidad fluctúa con los cambios en la operación del proceso. Por ejemplo, una bomba de alimentación a una caldera necesita una presión constante a diferentes capacidades para satisfacer el cambio en la demanda de vapor.

- La capacidad depende de varios factores tales como:
 - Las características del líquido del proceso, es decir la densidad, viscosidad
 - El tamaño de la bomba y los diámetros de entrada y salida
 - El tamaño del Impulsor
 - La velocidad de rotación del Impulsor RPM
 - El tamaño y forma de las cavidades entre los alabes
 - Las condiciones de succión y descarga, de temperatura y presión de la bomba
- Para una bomba con un impulsor particular que opera a una velocidad con un determinado líquido, los únicos elementos de la lista anterior que pueden cambiar son:
- La cantidad de líquido que fluye a través de la bomba
 - Las presiones a la entrada y la salida de la bomba.
- El efecto sobre el flujo a través de una bomba por el cambio en las presiones de salida se representa en una curva característica de la bomba.

Como los líquidos son esencialmente incompresibles, la capacidad está directamente relacionada con la velocidad de flujo en la tubería de succión. Esta relación es como sigue:

$$Q = 449 * V * A \quad (13)$$

Donde

Q = Capacidad en m³/s

V = Velocidad del flujo en metros/s

A = Área de la tubería en m²

7.3.2 Cabeza

La importancia del término "cabeza" radica en su uso como una forma particular para expresar el término presión: La presión en cualquier punto de un líquido puede ser considerada como aquella que es causada debido al peso del fluido que se está bombeando. El peso de la columna vertical del líquido es llamado Cabeza estática y se expresa en términos de metros de líquido.

El mismo término cabeza, se utiliza para medir la energía cinética generada por la bomba. En otras palabras, la cabeza es una medida de la altura de una columna de líquido que la bomba puede generar a partir de la energía cinética impartida al líquido.

Imagine un tubo disparando un chorro de agua hacia arriba en la dirección del aire, la altura de la cabeza agua estaría por encima de la cabeza de descarga.

La cabeza no es equivalente a la presión. La cabeza de descarga es un término que tiene unidades de longitud y la presión tiene unidades de fuerza por unidad de área. La principal razón para usar la cabeza de descarga en lugar de la presión para medir la energía de una bomba centrífuga es que la presión de una bomba va a cambiar si el peso específico (peso) del líquido cambia, pero la cabeza de descarga no cambia expresada en metros, ya que cualquier bomba centrífuga dada se puede utilizar para mover una gran cantidad de fluidos alimentarios, con diferentes pesos específicos, es más simple discutir la cabeza de la bomba en metros y es mejor olvidarse de la presión para expresar el gasto de Energía de la bomba.

Así que el funcionamiento de una bomba centrífuga con cualquier fluido newtoniano, ya sea pesado (salsa alimentaria) o liviano (esencia alimentaria) es descrito por el uso del término "cabeza". Las curvas de rendimiento de una bomba son en su mayoría descritas en términos de la cabeza.

Una bomba dada con un determinado diámetro de impulsor y velocidad elevará un líquido a una cierta altura independientemente de la peso del líquido.

Fórmula de conversión de la presión a la cabeza

La carga estática que corresponde a una presión específica depende del peso del líquido de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Cabeza(m) = Presion(Kg/m^2) / GravedadEspecificica(Kg/m^2) \quad (14)$$

Los líquidos newtonianos tienen gravedad específica por lo general van de 0,5 (como: luz, hidrocarburos) a 1,8 (pesados, como el ácido sulfúrico concentrado). El agua es un punto de referencia, que tiene un peso específico de 1,0.

Esta fórmula ayuda en la conversión de la presión manométrica de la bomba de calibre en términos de cabeza para leer las curvas de la bomba.

Los varios términos de la cabeza se discuten a continuación.

Nota: Los subíndices "s" se refieren a las condiciones de succión y d' se refiere a las condiciones desde descarga

- Cabeza de succión estática, h_s
- Cabeza de descarga estática, h_d
- Cabeza de fricción, h_f
- Cabeza de presión Vapor, h_{vp}
- Cabeza de presión, h_p
- Cabeza de velocidad, h_v
- Cabeza Total de succión H_s
- Cabeza Total de descarga H_d
- Cabeza total Diferencial H_T
- Cabeza neta de succión positiva requerida NPSHr
- Cabeza neta de succión positiva disponible NPSHa

Cabeza de succión estática, h_s : Cabeza resultante de la elevación relativa del líquido a la línea central de la bomba; puede ser desde un nivel inferior a la bomba; la bomba gasta Energía en succionar el líquido. Si el nivel del líquido está por encima de la bomba central, h_s es positiva. Si el nivel del líquido está por debajo de la bomba h_s es negativo. Condición comúnmente denotada como "altura de aspiración"

Cabeza de descarga estática, h_d : Es la distancia vertical en metros entre centro de la bomba y el punto de descarga en la superficie del tanque.

Cabeza de fricción, h_f : Corresponde a la altura necesaria para superar la resistencia al flujo en la tubería y los accesorios (Válvulas, codos, uniones, bridas). La Cabeza de fricción depende del tamaño, condición y tipo de tubería, la cantidad de accesorios, el caudal, y la naturaleza del líquido.

Cabeza de presión Vapor, h_{vp} : La presión de vapor es la presión a la que un líquido y su vapor coexisten en equilibrio a una temperatura dada. La presión de vapor del líquido puede obtenerse de las tablas de presión de vapor. Cuando la presión de vapor se convierte en cabeza, se le denomina como la cabeza de presión de vapor, h_{vp} . El valor de h_{vp} de un líquido se incrementa con el aumento de la temperatura y, en efecto, opone presión sobre la superficie del líquido, la fuerza positiva que tiende a provocar el flujo de líquido en la succión de la bomba reduce la presión de vapor, hecho este de mucho cuidado a la hora de bombear un alimento líquido puesto que tiende a vaporizarse y produce fallas graves en el funcionamiento de la bomba, conocidas como cavitación.

Cabeza de presión, h_p : debe ser tenida muy en cuenta cuando un sistema de bombeo de alimentos líquidos comienza o termina en un tanque que se encuentra bajo una presión que no sea la atmosférica. La presión en un tanque debe convertirse primero a pies o metros de altura de líquido. Denotada como h_p , se refiere a la presión absoluta en la superficie del líquido del depósito de suministro de la bomba de succión. Si el tanque está que contiene el líquido alimenticio está abierto a la atmosfera, h_p es igual a la cabeza de la presión atmosférica.

Cabeza de velocidad, h_v : Con este término se hace referencia a la energía de un líquido alimenticio como resultado de su velocidad " v ", al moverse por una conducción o tubería. La cabeza de velocidad es la equivalente a la altura en pies o metros que el agua tendría que caer para adquirir la misma velocidad con la cual se debe transportar el líquido por la tubería, o en otras palabras, la cabeza necesaria para acelerar el agua. Generalmente la altura de velocidad es insignificante y puede ser despreciado; en la mayoría los sistemas que operan cabezas de trabajo elevadas. Sin embargo, puede ser un factor importante y debe ser considerado en sistemas que operan a baja cabeza.

Cabeza Total de succión H_s : Corresponde a la Energía que gasta el sistema de Bombeo del alimento en forma líquido para succionar el alimento líquido; se obtiene de la siguiente manera:

Cabeza Total de succión $H_s = A$ La cabeza de presión del depósito de succión de la h_{p_s} , más la cabeza estática de aspiración h_s , más la cabeza de velocidad la en la tubería de succión de la bomba h_{v_s} , Menos la cabeza de fricción en la tubería de succión h_{f_s} .

$$H_s = h_{p_s} + h_s + h_{v_s} - h_{f_s} \quad (15)$$

La cabeza total de aspiración es la lectura del manómetro en tubería de succión, convertida en unidades de pies o metros de líquido

Cabeza Total de descarga H_d : Corresponde a la Energía que gasta el sistema de Bombeo del alimento en forma líquido para bombear el alimento líquido hasta su destino final; se obtiene de la siguiente manera:

Cabeza Total de descarga $H_d =$ cabeza de presión en el depósito de descarga la h_{p_d} , más cabeza estática de descarga h_d , más cabeza de velocidad en la tubería de descarga de la bomba h_{v_d} , Más la cabeza total de fricción en la línea de descarga h_{f_d}

$$H_d = h_{p_d} + h_d + h_{v_d} - h_{f_d} \quad (16)$$

La cabeza total de descarga corresponde a la lectura del manómetro en la tubería de descarga, convertida a pies o metros de líquido.

La cabeza total diferencial (H_T) = A la cabeza total de descarga H_d menos la total de succión H_s

$$H_T = H_d - H_s \quad (\text{Con una altura de por encima de la bomba}) \quad (17)$$

$$H_T = H_d + H_s \quad (\text{Con una altura de por debajo de la bomba}) \quad (18)$$

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

NPSH

Cuando se habla de bombas centrífugas, los dos términos más importantes son: NPSHr y NPSHa

Cabeza neta de succión positiva requerida, NPSHr

La NPSH es uno de los términos más ampliamente utilizados y comprendidos asociados con los sistemas de bombeo

Comprender el significado de NPSH es muy esencial en instalación, así como el funcionamiento de las bombas.

Las bombas pueden bombear únicamente líquidos, no vapores

El funcionamiento satisfactorio de una bomba requiere que el líquido que está siendo bombeado no se vaporice en cualquier condición de funcionamiento, puesto que cuando el líquido se vaporiza su volumen aumenta demasiado. Por ejemplo, un m³ de agua a temperatura ambiente se convierte en 1700 m³ de vapor a la misma temperatura. Esto deja en claro que si se va a bombear un alimento fluido de manera eficaz, debe mantenerse siempre en forma líquida

El aumento de temperatura y la disminución de presión inducen la vaporización

La vaporización comienza cuando la presión de vapor del líquido a la temperatura de operación es igual a la presión externa del sistema, lo que, en un sistema abierto es siempre igual a la presión atmosférica. Cualquier disminución de la presión externa o el aumento en la temperatura de operación, puede provocar la vaporización y la bomba deja de bombear. Por lo tanto, la bomba siempre tiene que tener una cantidad suficiente de la cabeza de succión presente para evitar que la vaporización ocurra en el punto más bajo de la presión en la bomba.

NPSH es un cálculo de diseño para evitar la vaporización de líquidos

El fabricante por lo general prueba la bomba con agua a diferentes capacidades, establecido por el límite de captación del líquido del lado de succión. Hasta cuando los primeros signos de cavitación inducida por evaporación se producen. Esta presión se convierte en la cabeza de succión de la bomba. Este valor se deja consignado en la curva funcionamiento de la bomba y se conoce como la "cabeza neta de succión positiva requerida (NPSHr) o, a veces como el NPSH.

De esta forma, la cabeza neta de succión positiva (NPSH) es la cabeza total en la tubería de succión de la bomba menos la presión de vapor del alimento líquido convertidos a la altura de columna de líquido.

NPSHr es una función del diseño de la bomba

NPSH requerido es una función del diseño de la bomba y se determina sobre la base de una prueba real de la bomba por el vendedor. A medida que el líquido pasa de la succión de la bomba al impulsor, la velocidad aumenta y la presión disminuye. De igual forma, existen pérdidas de presión debidas al choque y turbulencia cuando el líquido golpea el impulsor. La fuerza centrífuga de los álabes del impulsor a futuro, aumenta aún más la velocidad y disminuye la presión del líquido.

El NPSH requerido es la cabeza positiva requerida en pies o metros absolutos en la succión de la bomba para superar estas caídas de presión en la bomba y mantener la presión del líquido por encima de su presión de vapor.

El NPSH es siempre positivo, y se expresa en términos de altura absoluta de la columna de líquido. El término "Neta" se refiere a la cabeza de presión real en la tubería de succión de la bomba y no a la altura de aspiración estática.

NPSHr aumenta a medida que aumenta la capacidad de la bomba

El NPSH requerido varía con la velocidad y la capacidad de la bomba. El aumento de NPSH requerido lo mismo que el aumento de la capacidad está dado debido al incremento de la velocidad del líquido, y como en cualquier momento la velocidad de un líquido aumenta, la presión y la cabeza disminuyen. Las curvas fabricante de la bomba normalmente proporcionan esta información. El NPSH es independiente de la densidad del fluido, como lo son todos los términos de la cabeza de la bomba. Es de anotar que la cabeza neta succión positiva requerida (NPSHr) es el número que aparece en la ficha técnica o el catálogo de la bomba, se da para agua a 20 °C y no para el líquido alimentario o una combinación de fluidos que está siendo bombeado.

$$NPSHr = Hz + \frac{V^2}{2g}$$

Donde

Hz es la Altura mínima necesaria a la entrada del rodete, en m.c.l. (metros de columna de líquido).

$\frac{V^2}{2g}$

Es la presión cinética correspondiente a la velocidad de entrada del líquido en la boca de aspiración, en m.c.a. (para Va en m/s).

Cabeza neta de succión positiva disponible, NPSHa

NPSHa es una función del diseño del sistema

Corresponde a la función del sistema en el cual la bomba está en operación. Es el exceso de presión del líquido en pies absolutos sobre su presión de vapor, es decir la presión que llega a la succión de la bomba, para asegurarse de que la bomba seleccionada no presente cavitación.

Se calcula basado en el sistema o las condiciones del proceso.

Cálculo del NPSHa

La fórmula para calcular el NPSHa se indica a continuación:

$$\text{NPSHa} = h_{p_s} + h_s + h_{vp_s} - h_{f_s} \quad (19)$$

Donde

h_{p_s} = Cabeza de presión; en este caso la presión barométrica de succión del recipiente

h_s = Cabeza de succión estática

h_{vp_s} = Cabeza de presión Vapor

h_{f_s} = Cabeza de fricción

Nota:

1. El peso específico del líquido es importante, para convertir todos los términos en unidades de "pies o metros absolutos".
2. Cualquier discusión sobre el NPSH o cavitación sólo concierne a la aspiración de la bomba. Casi siempre hay un apreciable valor de presión en la descarga de la bomba que evita la vaporización del fluido.

NPSHa en pocas palabras

En pocas palabras, NPSH disponible se define como:

NPSHa = cabeza de Presión + cabeza estática - cabeza de presión de vapor del alimento líquido - pérdidas por Fricción en tuberías, válvulas y accesorios.

El disponible siempre debe ser mayor que el NPSH requerido por la bomba para que funcione correctamente. Es una práctica normal tener por lo menos 0.8 a 1 metro de NPSH adicional disponible en la tubería de succión para evitar cualquier problema en el punto de trabajo.

Potencia y eficiencia

Potencia al freno (BHP)

El trabajo realizado por una bomba es una función de la cabeza total y el peso del líquido bombeado en un período de tiempo determinado.

La Potencia al freno (BHP) es la potencia real entregada al eje de la bomba.

La Potencia de salida de la bomba o Potencia hidráulica (WHP) es la potencia entregada al líquido que se está bombeando.

Estos dos términos están definidos por las siguientes fórmulas

$$BHP = Q + HT + Sp.Gr./3960 * Eff. \quad (20)$$

$$WHP = \frac{Q \cdot HT + Sp.Gr.}{3960} \quad (21)$$

Dónde:

3960 se obtiene dividiendo el número de libras-pie por cada caballo fuerza (33.000) por el peso de un galón de agua (8,33 libras).

Q = Capacidad en Galones/minuto

H_T = Cabeza Total diferencial

Sp.Gr = Gravedad específica del líquido

Eff = Eficiencia de la Bomba

La BHP también se puede leer en las curvas de la bomba a cualquier valor de caudal. Las curvas de las bombas se establecen para una gravedad específica de 1.0. Las gravedades específicas de otros líquidos deberán ser tenidas en consideración a la hora de utilizar las curvas características de una bomba.

La potencia al freno o potencia de entrada a una bomba es mayor que la potencia hidráulica o potencia de salida debido a las pérdidas mecánicas e hidráulicas en la bomba.

Por lo tanto la eficiencia de la bomba es la relación entre estos dos valores.

$$Eficiencia\ de\ la\ Bomba\ (Eff) = \frac{WHP}{BHP} \quad (22)$$

Velocidad específica

La Velocidad específica (Ns) Es un índice no dimensional que identifica la similitud geométrica de las bombas. Se utiliza para clasificar a los impulsores de la bomba en cuanto a su tipo y proporciones.

Las bombas con el mismo Ns pero de diferente tamaño se consideran geoméricamente similares, siendo el tamaño de una bomba el factor de la otra.

Cálculo de la velocidad específica

La siguiente fórmula se utiliza para determinar la velocidad específica:

$$N_s = N \cdot Q^{0,5} / H^{0,75} \quad (23)$$

Dónde:

Q = Capacidad en el punto de mejor eficiencia a máximo diámetro del impulsor en Galones/minuto

H = Cabeza para cada etapa diferencial a máximo diámetro del impulsor en metros

N = Velocidad de la bomba en RPM (Revoluciones por minuto)

La velocidad específica determina la forma general o clase de los impulsores. A medida que la velocidad, la relación entre el diámetro de salida del impulsor, D₂, y la entrada o

diámetro central del impulsor, D_1 , disminuye. Esta relación toma el valor de 1.0 para un impulsor de flujo axial

Los impulsores de flujo radial desarrollan la Cabeza principalmente a través de la Fuerza centrífuga; bajo flujo y elevada cabeza de descarga. Las Bombas de alta velocidad específica desarrollan elevada cabeza en parte por la fuerza centrífuga y en parte por la fuerza axial. A mayor velocidad específica indica un diseño de bomba con más generación de cabeza debido más a las fuerzas axiales que por la influencia de las fuerzas centrífugas. Un flujo axial o bomba de hélice con una velocidad específica de 10.000 o más genera su cabeza exclusivamente a través de fuerzas axiales.

Las leyes de afinidad

Las leyes de afinidad son expresiones matemáticas que definen los cambios en: La capacidad de la bomba, La cabeza, y La BHP, cuando se realiza un cambio en la velocidad de la bomba, o en el diámetro del impulsor, o en ambos parámetros.

De acuerdo a las leyes de afinidad:

La Capacidad, Q cambia en proporción directa al diámetro del impulsor D , o a la velocidad N :

$$Q_2 = Q_1 \times [D_2/D_1] \quad (24)$$

$$Q_2 = Q_1 \times [N_2/N_1] \quad (25)$$

La Cabeza, H cambia en proporción directa al cuadrado del diámetro del impulsor D o al cuadrado de la velocidad N :

$$H_2 = H_1 \times [D_2/D_1]^2 \quad (26)$$

$$H_2 = H_1 \times [N_2/N_1]^2 \quad (27)$$

La BHP cambia en proporción directa al cubo el diámetro del impulsor, o al cubo de la velocidad:

$$BHP_2 = BHP_1 \times [D_2/D_1]^3 \quad (28)$$

$$BHP_2 = BHP_1 \times [N_2/N_1]^3 \quad (29)$$

Las leyes de afinidad son válidas sólo en condiciones de eficiencia constante.

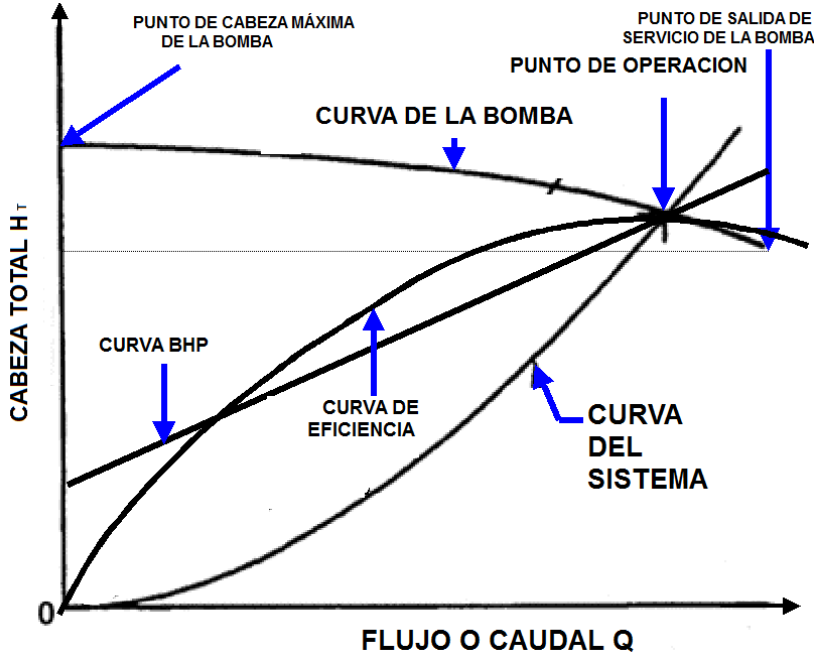
La comprensión Curvas de rendimiento de la bomba centrífuga

La capacidad y la presión necesarias de cualquier sistema se pueden definir con la ayuda de una gráfica llamada curva del sistema. Del mismo modo la gráfica de variación de la capacidad frente a la variación de la de presión para una bomba en particular define

7.4 Curva característica de funcionamiento de la bomba.

Un sistema de bombeo funciona donde la curva de la bomba y la curva de resistencia del sistema se cruzan. La intersección de las dos curvas define el punto de operación de la bomba y del proceso. Sin embargo, es imposible para un punto de funcionamiento cumplir con todas las condiciones de funcionamiento deseadas. Por Ejemplo, cuando la válvula de descarga es estrangula, la resistencia del sistema desplaza la curva a la izquierda y lo mismo ocurre con el punto de operación.

FIGURA 11: Curvas de rendimiento de la bomba



Constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para mover más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

No hay válvulas en las bombas de tipo centrífugo; el flujo es uniforme y libre de impulsos de baja frecuencia.

Los impulsores convencionales de bombas centrífugas se limitan a velocidades en el orden de 60 m/s (200 pie/s).

8. Beneficiarios.

Con este sistema de riego se beneficiara las áreas de productividad de una manera técnica en un tiempo determinado de aprovechamiento del caudal y del agua subterránea presente en el predio de la familia Bermúdez responsable de la administración de la finca.

9. Metodología.

9.1. Descripción y ubicación del área del proyecto

Se ubicó el área del proyecto identificando el sitio, San Carlos para luego ubicar geográficamente la longitud y latitud del área del proyecto. Así mismo se describió de manera breve algunas características del área de estudio.

9.2. Levantamiento Planimétrico

El levantamiento planimétrico se realizó con la ayuda de un GPS, que nos permitió obtener datos reales y exactos mediante coordenadas UTM. Estas coordenadas fueron transferidas al programa AutoCAD 2014 en el que se determinó el área exacta del proyecto y el diseño espacial lo que permitió determinar la cantidad de materiales y equipo a utilizar.

9.3. Determinación de parámetros Hidrofísicos del suelo.

Se realizó una calicata o pozo agrologico donde se observó la profundidad del suelo y se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 40cm.

Las características del suelo que se determinaron para el diseño del sistema de riego fueron:

Textura.

Densidad Aparente.

Capacidad de Campo.

Punto de Marchitez Permanente

Velocidad de Infiltración

9.4. Determinación de la evapotranspiración de cultivo

Los datos meteorológicos que se utilizaron en los cálculos corresponden a la Estación Meteorológica de Portoviejo-Jardín Botánico UTM, de la serie 2000-2008 La ETO se la determinó mediante el método de la cubeta evaporimétrica que se basa en relacionar la evaporación del agua de la cubeta con la evapotranspiración del cultivo de referencia mediante la siguiente fórmula:

P =Potencia de la bomba (H_p)

Q = caudal total (m^3/s)

CDT = Presión manométrica total (m)

E_f = eficiencia del equipo bomba motor en porcentaje.

10. Recursos utilizados

10.1 Humanos.

Director de Tesis.

Estudiantes de la Facultad Tecnología de la Industria.

Docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

10.2 Materiales.

Materiales de oficina.

Computadoras.

Fotocopiadoras.

Equipos informáticos.

Bombas

Tuberías

Acoples

Derechos de grado.

Transporte.

10.3 Financieros.

El costo del presente trabajo de graduación en modalidad de proyecto en desarrollo de la industria tiene un valor de 3.600 dólares que serán cubiertos por la familia Bermúdez en su totalidad.

11. Presentación y análisis de los resultados obtenidos, en la solución de problemas

11.1.-Descripción y ubicación del área del proyecto

El presente proyecto de tesis, se lo realizó en una finca de la comunidad "San Carlos" del barrio San Carlos de la escuelita 3 cuadras al sur. La finca pertenece a la joven Luis Bermúdez a la cual se tiene acceso.

El abastecimiento de agua para el riego de la finca, se lo realiza directamente del sistema de acueducto que pasa precisamente por el frente de la finca por el cual circula agua constantemente por lo que es necesario hacer obras adicionales para almacenamiento del agua.

11.2. Levantamiento Planimétrico.

En el levantamiento planimétrico realizado con el GPS, se determinó el área total del terreno así como del área de la instalación del sistema (Anexo1). El total que en el que se implementa el sistema de riego es de 33,000 m².

Debido a la calidad de la Energía Eléctrica de la Zona del Proyecto de manera inicial se ha considerado que a efectos de no emplear mayor consumo de energía y, por ende en una mayor potencia del sistema de bombeo a instalarse, se plantea el diseño espacial del sistema de riego con las respectivas válvulas de control para el riego por turnos uno a la vez.

11.3. Parámetros Hidrofísicos del suelo.

En base a los análisis físicos del suelo hechos en el área de estudio se determinó que estos suelos presentan las siguientes características: son de textura franco limosa la densidad aparente es de 1,46gr/cm³ la capacidad de campo es del orden del 16 % el punto de marchitez permanente es de 4.0 % y la velocidad de infiltración estabilizada esta por el orden de 4.99 mm/día. (Anexo)

11.4. Determinación de la Evapotranspiración de Cultivo.

En la determinación de la climatología de la zona del proyecto se consideró los datos agro-meteorológicos de la estación meteorológica de Diriamba – Carazo, de una serie de 10 años del 2003 al 2013 en el cual se determinó que el mes de mayor consumo de agua es noviembre con una evaporación media mensual de 150,2mm y una evapotranspiración diaria de cultivo de 4,44 mm (Anexo)

11.5. Diseño agronómico.

Con los datos preliminares para el diseño se procedió a realizar el diseño agronómico (Anexo) con lo que se determinó una dosis neta de 2,080.50 m³/ha la cual al incorporar la eficiencia de aplicación asciende a una dosis total de 17,060 m³/ha

Al considerar el mes de noviembre como el mes de mayor Evapotranspiración 4,44 mm/día se tiene que la frecuencia entre riegos será de 9 días esto es 3 riegos por mes.

Para la elección del aspersor se consideró que la pluviometría de este no supere la velocidad de infiltración estabilizada 7mm/hora para evitar encharcamientos por lo que se escogió el aspersor “Meganet Tm” cuyo caudal es de 650lit/hora en un marco de espaciamiento de 10 x 10 (Anexo) lo que significa que se tendrá una pluviometría de 6,5mm/hora valor que es inferior a la velocidad de infiltración estabilizada.

Una vez elegido el aspersor se determinó la duración del riego el cual es de 8 horas por turno para alcanzar la lámina total de riego que es de $520.1\text{m}^3/\text{ha}$.

11.6. Diseño Hidráulico

Una vez establecido el diseño agronómico se procedió hacer el diseño hidráulico del sistema. En el cálculo hidráulico se consideró las fórmulas de Hazzen-Williams por la facilidad de cálculos y comprobación al utilizarlas (Anexo 6)

De acuerdo con el diseño espacial del sistema se tiene que con un distanciamiento de 20 m se obtienen 5 aspersores por cada lateral lo que significa una longitud de lateral de 95 m de longitud ficticia con un caudal en el origen del lateral de $4.55\text{m}^3/\text{h}$.

Al elegir el diámetro de las laterales se consideró que las pérdidas de carga entre el primero y el último aspersor no deben ser mayores del 20% de la presión de trabajo del aspersor por lo que al hacer las respectivas comprobaciones de diámetros se tiene que con la tubería de 32mm de diámetro se cumple tal condición.

De acuerdo con el arreglo espacial se tiene que la tubería secundaria portara 4 laterales con lo que se tiene esta tubería debe ser capaz de conducir $18,2\text{m}^3/\text{h}$ y las pérdidas de carga para efectos de uniformidad del sistema no deben ser mayores del 10% de la presión de trabajo del sistema por lo que al hacer las comprobaciones de diámetros se tiene que la tubería de 63mm de diámetro cumple con esta condición.

Para el diseño del diámetro de la tubería principal de conducción se tomó en consideración que la velocidad ideal en tuberías de conducción debe estar por el orden de 1,5m/seg con lo que de acuerdo al caudal total a conducir $18,2\text{ m}^3/\text{h}$ se tiene un área útil de conducción de $0,00337\text{m}^2$ lo que conlleva a establecer un diámetro de 66 mm de diámetro por lo que se adopta el diámetro comercial inmediatamente superior que es 75mm.

Una vez definidos los diámetros de las tuberías se procedió a contabilizar las pérdidas de cargas totales en laterales, porta laterales y tubería principal utilizando las mismas ecuaciones de Hanzzen Williams. Las pérdidas de carga en cada lateral es de 4.74 por lo que de acuerdo al diseño al funcionar 2 laterales simultáneamente se tiene una pérdida de carga en laterales de 9.48 m; por su parte las pérdidas de carga en las porta laterales es de 0,457 m y en la tubería principal de 1,53. Con esto sumando las pérdidas de carga se tienen un total de 11.467 de pérdidas de carga por fricción.

Si tomamos en cuenta las pérdidas de carga localizadas las cuales resultan un valor total de un valor de 6,46 m de pérdida de carga localizada que sumado a las pérdidas de carga por fricción da un total de 17.927 m

En la determinación del equipo de bombeo necesitamos conocer la carga dinámica total de bombeo que es la suma de las por pérdidas de carga más la presión del sistema de riego más menos la altura estática de la bomba con respecto al sistema. El desnivel estático de la bomba resulta ser positivo en 1m por lo que la altura de bombeo será del orden de 37,8m

En base a esto se determinó los requerimientos del equipo de bombeo en base de la carga dinámica total que es del orden de 37,8 m. y del caudal a bombear (QB) 5,05l/seg considerando un rendimiento del equipo motor-bomba del orden del 85 %.Obteniéndose un requerimiento de potencia de bomba de 3Hp.

12. Sustentabilidad y sostenibilidad

Con la implementación de este sistema de riego no solo se consigue beneficiar al buen desarrollo de los cultivos comerciales de esta finca, sino que con la instalación de este sistema sirve de ejemplo para que los habitantes de este sector productivo de la provincia implementen este tipo de sistemas que permiten optimizar el uso del agua en la agricultura.

La ejecución de este proyecto de desarrollo comunitario permitió a los egresados poner en práctica los conocimientos adquiridos en su formación profesional demostrando que los profesionales que forma la Facultad Tecnología de la Industria de la Universidad Nacional de Ingeniería están capacitados para dar soluciones precisas que el campo industrial que lo requiere.

13. Conclusiones.

- El suelo de la finca es de textura franco limosa, la capacidad de campo es del 16 % y el punto de marchitez permanente es de 4.0 % y la densidad aparente es de 1,4 6 gr/cm³
- El área regable a la que se le implemento el sistema de riego por aspersión es de 26,000 m².la misma que necesita una lámina de 90 mm, con una frecuencia de aplicación de 14 días.
- El riego se lo hará con el aspersor 650lit/h que de acuerdo al diseño de distribución de riego, funcionará con 1 módulos de riego de manera individual, necesitándose un tiempo de 8 horas para el riego total del área instalada.
- El sistema de bombeo es de 5 HP, entrega un caudal de 428.40 m³/h (8.50 lit/seg).Siendo la altura de bombeo de 37.77 m y una eficiencia del orden del 85 %.
- El sistema de riego por aspersión instalado es práctico y eficiente por cuanto puede ser operado por una sola persona ahorrando mano de obra.

14. Recomendaciones.

- Se deben efectuar los turnos de riego de acuerdo a la lámina y frecuencia de riegos calculados en este proyecto y de preferencia en las primeras horas de la mañana y las ultimas de la tarde cuando la velocidad del viento es casi nula.
- Efectuar mantenimientos periódicos y permanentes en el sistema de riego y la estación de bombeo.
- Realizar periódicamente la limpieza de los filtros individuales de los aspersores para evitar la obstrucción de los *jets* distribuidores del agua.
- Tener la precaución, que antes de encender la bomba, se debe abrir un módulo de riego para evitar la rotura de la tubería y/o accesorios.
- Ejecutar investigaciones referentes a la evaluación del sistema de riego y bombeo, para verificar su eficiencia en el aprovechamiento del agua en los cultivos establecidos.

15. Bibliografía.

Doorenbos J. y Pruitt W.O. (1990). Las necesidades de Agua de los Cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 24. FAO. ROMA.

Durango, J. (2001). Compendio de Información relevante sobre aspectos de seguridad alimentaria en Manabí. PESAE. Quito Ecuador.

Fleming, P y otros (1990). Evapotranspiración del Cultivo. Estudio. FAO Riego y Drenaje 56. FAO. Roma.

Fuentes J. (2003) Técnicas de Riego. Cuarta edición. Ministerio de Agricultura y Pesca. Mundi-prensa. Madrid-España

González, P (2007). Introducción al riego y drenaje. Instituto de Investigaciones del Riego y Drenaje. Cuba 2007.

Guarnizo, E y Arroyo, J. (2001) —Manual de Riego Parcelario y Manejo de Suelos en el Valle del Rio Portoviejo|| .Proyecto TCP/ECU/8922(A) .PESAE. Quito Ecuador.

Macias, M y Pin, Y (2010) —Evaluación de un sistema de riego por aspersion en el Cultivo de pasto Brachiaria Brizantha Marandu en el valle del Río Portoviejo, dentro de las inmediaciones de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Técnica de Manabí|| Proyecto de Tesis. Portoviejo- Ecuador.

Peralta, J y Simpfendörfer, C. (2001). Riego por aspersion. Comisión Nacional de Riego. Corporación de Fomento de la Producción. Chile.

DE PACO, J.L (1992) Fundamentos de los cálculos hidráulicos en los sistemas de riego y drenaje.

VIEIRA, M.J (2004) El desarrollo del micro-riego en América central

ING. JULIAN CARRAZON Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riegos.

ING. RAFAEL PEREZ BERRETO. Procedimientos para evaluar y seleccionar bombas centrifugas.

EMCALI. Norma técnica de acueductos y alcantarillado Criterio para selección de bombas centrifugas.

SISTEMA DE BOMBEO. COM Instalación correcta de bombas centrifugas.

INTERNET.

- Selección de bombas centrifugas.
- Sistemas de riegos.
- Características de los sistemas de riegos.
- Manual para diseños de sistemas de riegos.
- Principios fundamentales de la hidráulica aplicada en sistemas de riegos.

Principales Fuentes de Información

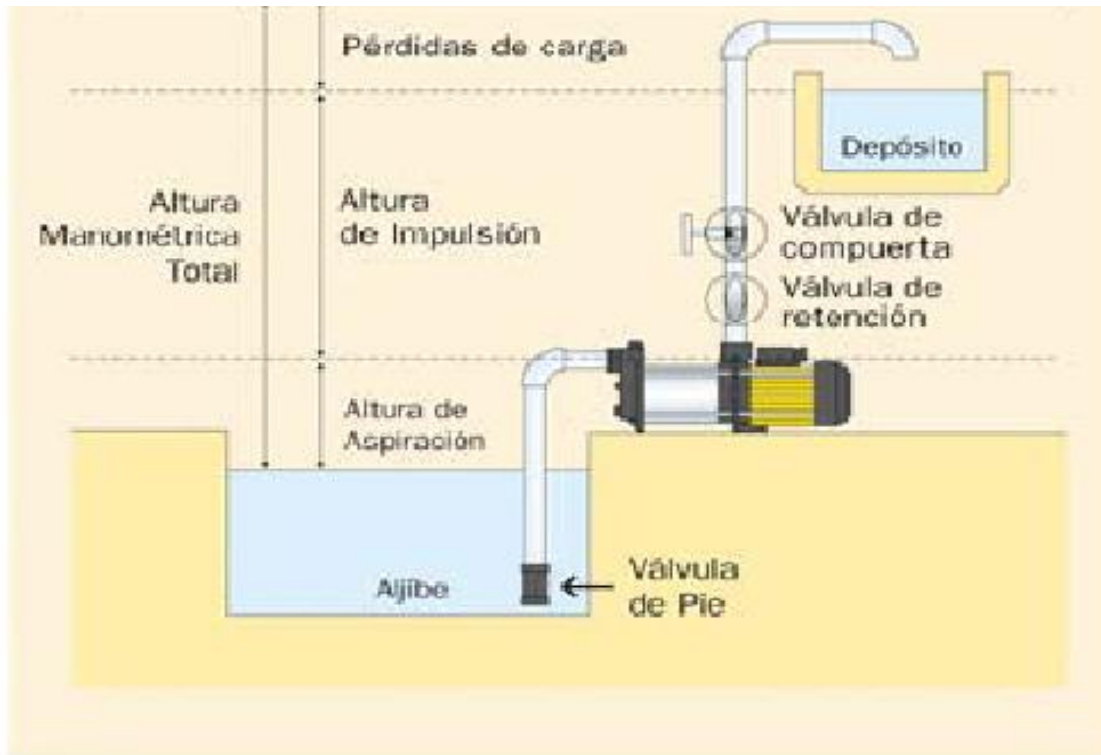
CNRH. 1997. *Evaluación rápida de los recursos hídricos. Plan de acción para la gestión de los recursos hídricos.* Comisión Nacional de los Recursos Hídricos (CNRH) y la Agencia Danesa de Cooperación (DANIDA). Managua.

MAG-FOR. 1998. *Programa Nacional de Riego para Pequeños y Medianos Productores.* Ministerio Agropecuario y Forestal (MAG-FOR). Managua.

MAG-FOR. 1998. *Indicadores Agropecuarios.* Ministerio Agropecuario y Forestal (MAG-FOR). Managua.

MAG-FOR. 1998. *Huracán Mitch, Sector Agropecuario y Forestal: Rehabilitación y Transformación.* Ministerio Agropecuario y Forestal (MAG-FOR). Managua.

ANEXOS: GUÍA DEL TRABAJO PRÁCTICO



Se requiere elevar agua desde un aljibe hasta un depósito situado en una cota más elevada y obtener un caudal de 30,600 litros por hora.

1. Los datos generales que podemos conocer son los siguientes:

Altura geométrica

(Altura de aspiración + altura de impulsión) = 11 metros.

Recorrido total de la tubería: = 13 metros

Diámetro interior de la tubería: = 46.2 mm

2. Características de la aspersión:

Altura de aspersión: = 1.36 metros

Longitud de la tubería: = 10 metros

Numero de válvulas de pie: = 1

Números de codo a 90° = 1

3. Características de la impulsión:

Altura de impulsión:	= 9.64 metros
Longitud de la tubería:	= 11 metros
Numero de válvulas de compuerta:	= 1
Numero de válvulas de retención:	= 1
Numero de codos a 90°	= 2

4. Operaciones del cálculo de la instalación:

a. Pérdidas de carga en la aspiración:

i. Longitud de la tubería:	= 10 metros
ii. Pérdidas singulares:	= 10 metros (válvulas de pie) = 5 metros (codo de 90°)

Longitud equivalente de la tubería: 25 metros

Con este valor se puede obtener la pérdida en mca a través de la tabla de pérdidas de carga, es decir 30,600 l/h en una tubería de 46.2 mm de diámetro corresponden a 32.8 por cada 100 metros lineales de tubería de las características dadas.

Entonces: $32.8 \times 25 / 100 = 8.20$ m.c.a

b. Pérdidas de carga en la impulsión:

i. Longitud de la tubería:	= 11 metros
ii. Pérdidas singulares:	= 10 metros (válvula de compuerta) = 10 metros (válvulas de retención) = 10 metros (2 codos de 90°)

Longitud equivalente de la tubería: 41 metros

Se procede igual que en el punto anterior y obtenemos que: $32.8 \times 41 / 100 = 13.44$ m.c.a

ENTONCES:

Altura manométrica total = altura de aspiración + altura de elevación + pérdidas de cargas en la aspiración + pérdidas de carga en la impulsión, quedando de la siguiente forma la expresión:

$$H_{\text{manometrica}} = 1.36 + 9.64 + 8.20 + 13.44 = 32.64 \text{ m.c.a}$$

En consecuencia se debe seleccionar una bomba que eleve 30,600 litros por hora a una altura de 32.64 m.c.a

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

ANEXO CUADROS

Calculando la cantidad de agua a aplicar va a cambiar en función de la edad ya que su requerimiento no son los mismos para los arboles adultos.

Diagrama de consumo por periodo					
edad	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1-3	25.2	26.5	30.20	40.30	44.10
3-6	210	220.50	252	336	367.50
+6	560	588	672	896	980

Tomando en cuenta 300 árboles de aguacate en un área útil de 3 mzn, tomamos de referencia el mayor valor de agua en cada periodo para cálculo de almacenaje y consumo.

Diagrama de consumo por periodo					
edad	Lts/dia	Lts/sem	Lts/mes		
1-3	6.30	44.10	189	X 300	56,700
3-6	52.50	367	1,575	X 300	472,500
+6	140	980	4200	X 300	1,260,000

CUADRO N° 3: Eficiencia de aplicación en riego por aspersión convencional [%]

Altura de agua aplicada [mm]	Evaporación máxima de referencia		[mm / día]
	< 5.5	a 7.5 >	7.5
Velocidad media del viento < 6,5 [km/h]			
25	68	65	62
50	70	68	65
100	75	70	68
150	80	75	70
Velocidad media del viento de 6,5 a 16 [km/h]			
25	65	62	60
50	68	65	62
100	70	68	65
150	75	70	68
Velocidad media del viento > 16 [km/h]			
25	62	60	53
50	65	62	60
100	68	65	62
150	70	68	65

Fuente: Mc Culloch y otros (1967)

CUADRO N° 2: Intensidades máxima de precipitación para condiciones medias de suelo,

Pendientes y vegetación (SCS – USA. 1960) [mm/hora]

pendiente Cobertura / suelo	Pendiente de 0 a 5%		Pendiente de 5 a 8%		Pendiente de 8 a 12%		Pendiente Mayor a 12%	
	Con cubierta vegetal	Sin cubierta vegetal	Con cubierta vegetal	Sin cubierta vegetal	Con cubierta vegetal	Sin cubierta vegetal	Con cubierta vegetal	Sin cubierta vegetal
Arenoso grueso Con textura uniforme hasta 1.80m	50	50	50	40	40	25	25	12.5
Arenoso grueso Sobre subsuelo compacto	45	40	30	25	25	20	20	10
Franco arenoso fino con textura uniforme hasta 1.80 m	45	25	30	20	25	15	20	10
Franco arenoso fino sobre subsuelo compacto	30	20	25	12.5	20	10	12.5	10
Franco limoso con textura uniforme hasta 1.80m	25	12.5	20	10	15	7.5	10	5
Franco limoso sobre subsuelo compacto	15	8	7.5	6	10	4	7.5	2.5
Franco arcilloso o arcilloso	5	4	4	2.5	3	2	2.5	1.5

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

Evotranspiracion de cultivo (ETc)						
Mes/año	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Enero	135.6	99.8	131.5	131.5	156.2	145.4
Febrero	101.7	92.3	72.5	72.5	112.3	84.1
Marzo	127.9	120.8	107.8	107.8	120.8	121.5
Abril	126.9	133.2	101.8	101.8	141.4	115.3
Mayo	110.3	106.2	103.0	103.0	105.4	128.7
Junio	111.6	109.2	105.1	105.1	107.3	115.4
Julio	131.2	117.5	108.0	108.0	128.8	126.2
Agosto	144.2	128.5	109.1	109.1	167.7	149.0
Septiembre	132.8	153.6	137.6	137.6	140.7	142.1
Octubre	143.0	148.3	120.0	120.0	155.8	124.7
Noviembre	145.4	137.3	120.5	120.5	166.9	154.3
Diciembre	132.5	138.6	105.9	105.9	190.4	149.8

Evotranspiracion de cultivo comerciales (aguacate)						
Mes/año	EP	KP	ETO mensual	ETO diario	KC	ETC cultivo
Enero	128.0	0.8	104.2	3.3	1.1	3.6
Febrero	94.6	0.8	75.7	2.7	1.1	3.0
Marzo	125.7	0.8	100.5	3.2	1.1	3.6
Abril	132.2	0.8	105.8	3.5	1.1	3.9
Mayo	117.4	0.8	93.9	3.0	1.1	3.3
Junio	113.2	0.8	90.6	3.0	1.1	3.3
Julio	126.3	0.8	101.1	3.3	1.1	3.6
Agosto	137.1	0.8	109.7	3.5	1.1	3.9
Septiembre	150.0	0.8	120.0	4.0	1.1	4.4
Octubre	146.9	0.8	117.5	3.8	1.1	4.2
Noviembre	150.2	0.8	120.2	4.0	1.1	4.4
Diciembre	144.2	0.8	115.4	3.7	1.1	4.1

DISEÑO DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

El riego por aspersión es un método presurizado de aplicación del agua, en donde el chorro es pulverizado, cayendo el agua al suelo en forma de pequeñas gotas, simulando una lluvia. Las principales características operativas de este método son:

- a) La velocidad de aplicación del agua debe ser menor que la velocidad de infiltración básica.
- b) En los laterales, las pérdidas de carga deben ser inferiores al 20%.
- c) En la línea principal, la pérdida de carga debe ser inferior al 15%.
- d) Los laterales debieran colocarse en forma perpendicular a la dirección del viento.
- e) Los laterales debieran ir en el sentido de la pendiente para ahorrar energía.

La decisión de usar este método implicará una serie de ventajas y desventajas, respecto de otros métodos de riego, estas pueden resumirse en las siguientes:

Ventajas

- 1) Se adapta a todo tipo de superficies y topografías.
- 2) Es posible regular la tasa de aplicación de agua en el suelo.
- 3) El sistema es de fácil operación.
- 4) Tiene una alta eficiencia de riego.
- 5) Es posible aplicar agroquímicos por la línea de riego.
- 6) Se puede regular fácilmente el caudal aplicado.
- 7) El sistema puede ser automatizado.

Desventajas

- 1) El sistema requiere estar presurizado para funcionar, lo cual implica el consumo de energía.
- 2) El costo de tubería y accesorios.
- 3) Las zonas con vientos fuertes disminuyen la eficiencia del riego.
- 4) Se reduce la eficiencia de riego en los extremos de los terrenos, esto se agrava en terrenos muy irregulares.
- 5) Se incrementan los riesgos fitosanitarios.
- 6) Si el agua es de mala calidad, al quedar ésta sobre el follaje o tallos y evaporarse, deja en la superficie de la planta sales u otras sustancias que pueden ser tóxicas, tanto para la planta o para los animales, en caso de que el cultivo sea un forraje como la alfalfa.
- 7) Cuando la textura del suelo es predominantemente arcillosa o limosa, puede haber problemas por sellamiento superficial del suelo, disminuyendo la infiltración del agua.

Cálculos básicos

Lámina de riego a reponer (Lr)

Esta corresponde a la lámina de agua que se debe reponer en cada riego:

$$Lr = (cc - pmp) * Pr * f \quad (1)$$

Lr es la lámina de riego que se debe aplicar en cada riego (cm)

cc es el contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo (cm^3/cm^3)

Pmp es el contenido volumétrico de humedad a punto de marchitamiento permanente (cm^3/cm^3)

Pr es la profundidad de raíces (cm)

f es el factor de abatimiento (fracción decimal, depende del cultivo).

Dosis total de riego (Dp)

$$Dp = \frac{\sum Et * 10}{E} \quad (2)$$

Dp es la cantidad de agua que se requiere reponer durante el desarrollo del cultivo (m^3/ha)

$\sum Et$ es la evapotranspiración de todo el período de desarrollo del cultivo (mm)

E es la eficiencia de riego (adimensional)

Intervalo crítico de riego (Irc)

Este corresponde a la frecuencia de riego durante el período de mayor demanda de agua. El diseño de riego debe estar en función de esta frecuencia. Durante los meses cuando sea menor la evapotranspiración la frecuencia entre un riego y otro se puede alargar. El cálculo se hace a partir de la siguiente expresión:

$$Irc = \frac{Lr}{Et_{max}} \quad (3)$$

Irc es el intervalo crítico de riego (días)

Lr es la lámina de riego a reponer (cm)

Et_{max} es la evapotranspiración del mes más crítico (mes con mayor Et) (cm)

Tiempo de riego (Tr)

$$Tr = \frac{Lr}{Va * E} \quad (4)$$

Tr es el tiempo de riego sin cambio de posición de laterales (horas)

Lr es la lámina de riego a reponer (cm)

E es la eficiencia de riego (adim)

Va es la velocidad de aplicación (cm/h)

$$Tr1 = Tr + tc \quad (5)$$

Tr1 es el tiempo de riego con cambio de posición de laterales (horas)

tc es el tiempo de demora para cambiar un equipo de un sector a otro. Esto sólo es válido si se trata de equipos portátiles.

Superficie de riego diaria (Srd)

Es la superficie más grande que podrá regarse de acuerdo con el diseño y condiciones del sector y del cultivo.

$$Srd = \frac{Sup * 7 * Tr1}{Irc * js * jd} \quad (6)$$

Srd es el área o superficie de riego diaria (m²)

Sup es la superficie del terreno (m²)

Tr1 tiempo de riego para sistemas portátiles (horas)

Irc es el intervalo de riego crítico (días)

js corresponde a los días de la semana que se trabajan (número)

jd corresponde a las horas diarias que se trabaja (número).

Número de laterales

Es el número de laterales que se requieren para regar la superficie de riego diaria (Am)

$$N = \frac{Srd}{L * Sl} \quad (7)$$

N es el número de laterales requeridos.

Srd es la superficie diaria de riego (m²)

L es la longitud de los laterales (m)

Sl es la separación entre laterales (m)

Número de aspersores

$$n = \frac{L}{Se} + 1 \quad (8)$$

n es el número de aspersores

L es la longitud del lateral (m)

Se es la separación entre aspersores (m)

Caudal requerido

Se refiere a la cantidad de agua necesaria por unidad de riego.

$$Ql = Qe * N * n \quad (9)$$

Ql es el caudal requerido por unidad de riego (lps)

Qe es el caudal de cada emisor o aspersor (lps)

N es el número de laterales en operación

N es el número de aspersores por lateral

$$Qs = Ql * Tr * 3.6 \quad (10)$$

Qs es el caudal necesario por jornada (diario) de riego (lps)

Ql es el caudal diario requerido (lps)

Tr es el tiempo de riego (horas)

Pérdida de carga (pérdidas por fricción)

Se utiliza Hazem-Williams

$$hf = \frac{3157 * Q^{1.852} * L}{C^{1.852} * D^{4.869}}$$

(11)

hf son las pérdidas de carga (m)

Q es el caudal que circulará por la tubería (lph)

L es la longitud de la tubería (m)

C constante(C=150 para tubería de PVC)

D es el diámetro interno de la tubería (mm)

Cálculo del coeficiente de salidas múltiples

Cuando una tubería tiene muchas salidas, la pérdida de carga variará en la misma, ya que se produce una disminución en el caudal. Mediante el coeficiente de Christiansen (F) se corrige la pérdida de carga considerando las salidas que tenga:

$$F = \frac{0.351 + 1}{(2 * n)} + \frac{0.154}{n^2} \quad (12)$$

F es el factor de Christiansen

n es el número de salidas que tiene la tubería, en el caso de tubería lateral será el número de aspersores.

Pérdida de carga efectiva (hf_e)

$$hf_e = hf * F \quad (13)$$

Requerimientos de potencia en la bomba

La potencia requerida por la bomba se calcula con la ecuación:

$$HP_B = \frac{Q_S * H_T}{76 * E_B} \quad (14)$$

HP_B es la potencia requerida por la bomba (Caballos de Fuerza, HP)

Q_S es el caudal del sistema o en la subunidad de riego (lps)

H_T es la carga total del sistema (m)

E_B es la eficiencia de la bomba (0.80-0.85)

Requerimientos de potencia en el motor

$$HP_m = \frac{Q_S * H_T}{76 * E_B * E_m} = \frac{HP_B}{E_m} \quad (15)$$

E_m es la eficiencia del motor (0.90 – 0.95)

Para convertir de HP a Kwatt/hora

$$KWatt / hora = HP * 0.746 \quad (16)$$

Uniformidad de funcionamiento de aspersores

Al diseñarse un sistema de riego por aspersión, un buen funcionamiento del mismo requiere de 2 condiciones: 1) que los aspersores estén operando dentro de los rangos de presión y gasto definidos por el fabricante, y 2) que exista entre ellos un traslape apropiado entre sus radios de mojado.

Coeficiente de uniformidad

Si no existe un buen traslape se producirá un mojado disparejo del terreno, con lo cual disminuirá la eficiencia del riego. Una metodología usada para determinar la eficiencia del método de riego es a través del llamado Coeficiente de Uniformidad (CU) o Coeficiente de Christiansen. Este coeficiente se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$CU = 100 \left[1 - \left[\frac{\sum ABS(X - X_{prom})}{X_{prom} * n} \right] \right] \quad (17)$$

Abs () es el valor absoluto de lo contenido en el paréntesis.

X es la lámina de agua medida

X_{prom} es la lámina promedio del agua

n es el número de observaciones realizadas

En el terreno las mediciones se tienen que disponer con un conjunto de recipientes dispuestos en cuadrado en el terreno y con una separación (máxima) de 1 metro entre ellos.

Se considera que la CU es apropiada si es que alcanza valores iguales o mayores al 85%.

Coefficiente de Hart

En forma práctica, el coeficiente de Hart (CH) corresponde al coeficiente de variación y que relaciona la desviación estándar con el promedio poblacional. Mientras mayor sea el CH, menos uniforme será el riego que se esté aplicando. Este coeficiente se calcula mediante:

$$CH = 100 * \frac{S}{X_{prom}} \quad (18)$$

S es la desviación estándar

El CH no debe sobrepasar los valores del 20-25%. Si el CH supera el límite superior, entonces implicaría que existe una alta des-uniformidad entre los aspersores dispuestos en el terreno.

Memoria de cálculo del diseño de riego por aspersión

Características generales

El lote analizado es un rectángulo que tiene las siguientes características:

Límite norte y sur: 100 metros

Límites Este y Oeste: 350 metros

Superficie: 2.46 hectáreas

Pendiente N-S: 3.0 %

Pendiente E-O: 3.76%

Días de trabajo a la semana (js) = 6 días

Horas de trabajo diarias (jd) = 12 horas

Eficiencia de riego (E) = 85%

Separación de aspersores = 10 metros

Separación de laterales = 20 metros

Características agronómicas

Características del suelo

Textura predominante = Franco limoso

Capacidad de campo = 16%

Punto de marchitez permanente = 4.0%

Fracción de agua disponible en el suelo (f) = 0.30

Velocidad de infiltración básica = 4.99 cm/h

Características del cultivo

Cultivo = aguacate

Profundidad radicular = 2.5 metros

Evapotranspiración total = 1,450.1 mm

Mes = Octubre

Evapotranspiración máxima = 6.4 mm/día

1.- Lámina de riego (Lr)

$$Lr = (0.16 - 0.04) * 250 * 0.30 = 9 \text{ cm}$$

2.- Dosis total de riego (Dp)

$$Dp = \frac{1450.1 * 10}{0.85} = 17,060 m^3 / ha$$

3.- Intervalo de riego crítico (Irc)

$$Irc = \frac{Lr}{Etc} = \frac{9}{0.64} = 14.06 \approx 14 \text{ dias}$$

Disposición de laterales

El agua se obtendrá desde el punto más alto del lote punto A (torre en el plano), y se conducirá por una tubería paralela al límite oeste-este del predio, en un tramo de 350 metros, posteriormente, la tubería principal cruza el predio en forma paralela al límite oeste-este con un tramo de 280 metros. Los laterales serán paralelos al límite norte-sur del lote y tendrán una longitud de 95 metros.

Aspersor usado

Se considerará el aspersor Rain-bird modelo 20B-ADJ, el cual tendrá las siguientes características:

Presión requerida = 4.0 bar

Radio de mojado = 12.5 metros

Caudal = 0.34 lps

Velocidad de aplicación = 8.0 mm/hora

Altura de operación = 2.1 metros

4.- Tiempo de riego (Tr)

Considerando que el tiempo de cambio (tc) entre un sector y otro es de 1 hora, se calcula de la siguiente manera:

$$Tr = \frac{9}{0.85 * 0.8} + 1 = 13.23 + 1 = 14.23 \approx 14 \text{ horas}$$

Es decir, se alcanzará a regar un sector por día.

5.- Superficie máxima de riego diaria (Srd)

$$Srd = \frac{24,455.85 * 7 * 14}{14 * 6 * 12} = 2,377.65m^2$$

La superficie anterior, es la superficie mínima que deberá regarse cada día durante el mes de mayor demanda de agua (octubre), para lograr un riego según lo planificado.

6.- Número de laterales por riego (N)

Considerando que:

- a) La separación entre laterales es de 20 metros
- b) Los laterales tendrán 90 metros de largo
- c) La superficie mínima de riego es de 2,377.65 m²
- d) No existen restricciones de agua

$$N = \frac{2,377.65}{90 * 20} = 1.32 \approx 2 \text{ Laterales por cada puesta de riego}$$

7.- Número de aspersores por lateral (n)

Teniendo en cuenta que la separación entre aspersores (Se) es de 20 metros, se tiene que:

$$n = \frac{90}{20} + 1 = 5.5 \text{ Aspersores/lateral}$$

8.- Caudal requerido por unidad de riego (Ql)

Considerando que cada lateral tiene 5 aspersores, de los cuales los 5 giran 360° y su caudal es de 0.34 lps.

$$Ql = (0.34 * 5) * 5 = 8.50 \text{ lps}$$

9. - Caudal requerido por jornada de Riego (diario)

$$Qs = 8.50 * 14 * 3.6 = 428.40 \text{ m}^3 / \text{jornada}$$

Diseño hidráulico

A partir de la información anterior, los siguientes son los datos con los cuales se harán los cálculos para el diseño hidráulico:

Número de laterales por riego	= 2
Número de aspersores por lateral	= 5
Gasto de cada aspersor 360°	= 0.34 lps
Gasto de cada aspersor 180°	= 0.17 lps
Gasto de cada lateral	= 1.70 lps

Caudal total conducido = 9.21 lps

Dependiendo de las condiciones consideradas, pueden ser múltiples los diseños posibles que se puedan lograr para un sistema de riego determinado. Sin embargo, en la decisión final se deben considerar cuales son los costos relevantes del diseño, tales como:

Valor de las bombas requeridas

Costo de la energía

Costo de las tuberías

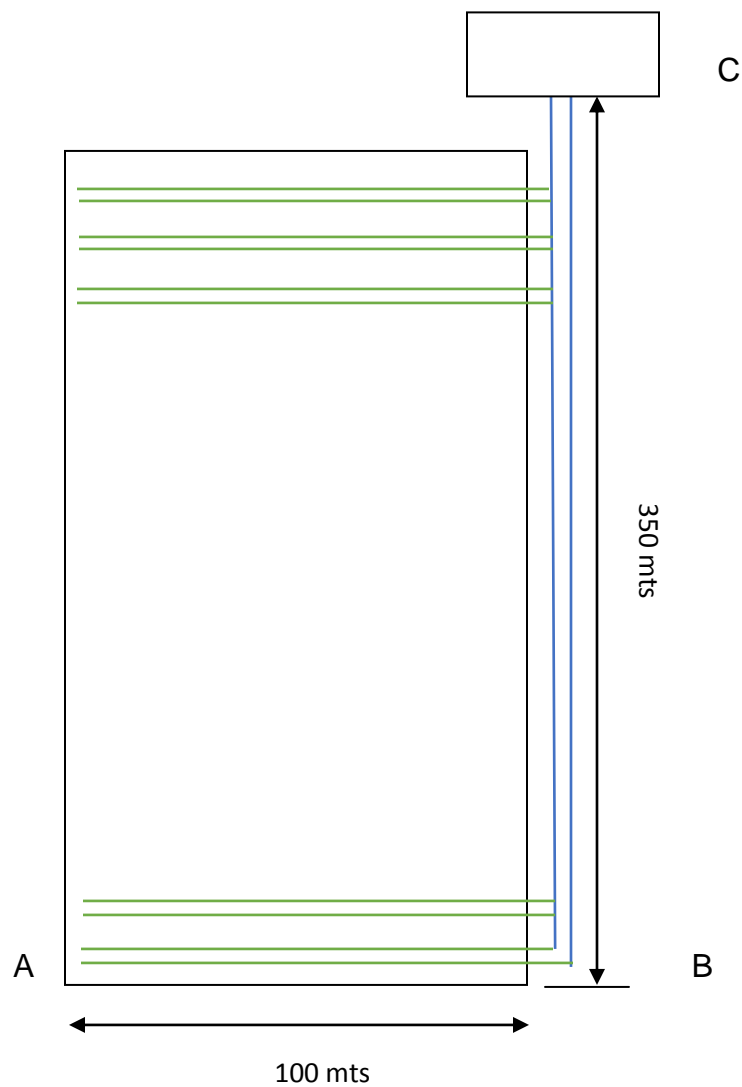
Tipo de emisores disponibles en el mercado

Al momento de elegirse el diámetro óptimo debe tenerse en cuenta que la pérdida de carga producida tiene que ser igual o menor que la máxima permitida. Para lo anterior, debe tenerse en cuenta:

- a) Si se eligen los menores diámetros posibles, entonces se aminorará el costo de las tuberías, pero será mayor el requerimiento de potencia, requiriéndose de bombas de mayor capacidad (más caras) y se consumirá una mayor cantidad de energía.
- b) Si se eligen mayores diámetros, entonces serán menores los requerimientos de potencia, pero serán mayores los costos de las tuberías usadas, ya que estas serán de mayor diámetro y, eventualmente, de mayor clase.

10.- Pérdida de carga en tubería principal

Esta se dividió en tres sectores, dependiendo de las condiciones del diseño. Cada tramo se ha delimitado por letras que se encuentran en el plano.



Dado a que el terreno presenta pendiente a favor, esta se aprovechará permitiendo una pérdida de carga igual a la pendiente, de tal forma de disminuir

los requerimientos de potencia y eliminar las diferencias de presión entre un extremo y otro de la tubería.

Sector A-B

Este va desde la tubería principal hasta que se conecta con tubería dispuesta de retorno en sentido norte – sur, sus características son:

Largo = 100 m

Pendiente del terreno = 2.4%

Desnivel = 3 m

Para la situación antes descrita, existe un desnivel de 3 metros, por lo tanto, interesará conocer cuál será el diámetro de tubería que causará una pérdida de carga lo más cercana posible a la diferencia de cota entre los puntos A y B. Para lo anterior, de la expresión () se ha despejado el término D (diámetro) quedando:

$$D = \left[\frac{3,157 * Q^{1.852} * L}{C^{1.852} * hf} \right]^{0.2053}$$

(19)

Considerando que hf = desnivel

$$D = \left[\frac{3,157 * 30,600^{1.852} * 100}{150^{1.852} * 3} \right]^{0.2053} = 81.13mm$$

Sector B-C

En este tramo se usará el mismo criterio, es decir, permitir que la tubería tenga una pérdida de carga menor o igual al desnivel del terreno.

Longitud Norte – Sur = 350 m

Desnivel = 5 m

Pendiente del terreno = 3.76%

El diámetro sería:

$$D = \left[\frac{3,157 * 30,600^{1.852} * 350}{150^{1.852} * 5} \right]^{0.2053} = 94.48mm$$

Todo el tramo A – C

Una de las condiciones de diseño, es que en este tramo exista una variación de presión menor al 15%.

Para el tramo A-B la tubería de diámetro comercial más cercano es la de 25.4 mm, la cual tiene 21.4 mm de diámetro interno. El tramo B-C se hará con tubería de 51 mm de diámetro externo. Con lo anterior y teniendo en cuenta que en el punto B del plano debiera haber una presión de 20.50 metros (20 metro que el aspersor requiere (4 bar), más 0.50 m de altura del aspersor), se calcularon los datos contenidos en cuadro 1. Para el cálculo de las variaciones de presión, se emplea la siguiente expresión:

$$Var(j) = Var(j-1) - hf \pm pendiente$$

(20)

Var (j) es la variación de altura piezométrica (h_{zp}) en el tramo j

H_f es la pérdida de carga en metros (m)

Las pérdidas de carga siempre tendrán un signo negativo. Para el caso de las pendientes del terreno, estas tendrán signo positivo si el terreno desciende y negativo si el terreno asciende.

Tramo	Pérdida de carga h _f (m)	Cambio en pendiente (m)	Variación en h _{zp} (m)	Presión en sistema (m)	
				Inicio	Fin
A-B	-3.4	+3.0	-0.4	20.9	20.50
B-C	-9.6	+13.1	+3.5	20.50	24.1

Las presiones extremas (20.50 y 24.1 m) implican un 8.3% de variación, estando dentro del rango de variación permitida.

Pérdida de carga en laterales

En cada oportunidad se regará con 2 laterales. Hay que controlar que en el lateral, las pérdidas de carga sean inferiores al 20% de la presión total. Para lo anterior, se usa la ecuación (13):

Las características de los laterales son:

Longitud = 90 m (con aspersores de igual gasto)

Número de aspersores por lateral = 5 Aspe

Caudal por lateral = 1.70 lps (6,120 lph)

Para 20.50 m de presión, se podría aceptar una diferencia de hasta un 20%, es decir hasta 8.4 m. Con fines prácticos del ejercicio, se aceptarán 6 m como máxima diferencia aceptada.

Teniendo en cuenta que la variación en el caudal hará que varíe las pérdidas de carga, hay que usar el coeficiente F de Christiansen (calculado con la ecuación 12), considerando que cada lateral tiene 5 salidas, la expresión queda como sigue:

$$F = 0.351 + \frac{1}{2*5} + \frac{0.154}{25} = 0.457$$

Si $h_{fe} = 6$ m y se reemplaza el valor en la ecuación (13) se tiene:

$$h_{f_e} = h_f * F$$

$$6 = h_f * 0.457$$

$$h_f = \frac{6}{0.457} = 13.2m$$

Es decir, se debe buscar una tubería cuyo diámetro produzca una pérdida de carga de 14.9 metros cuando por ella circulen 1.70 lps.

Usando la expresión (19):

$$D = \left[\frac{3.157 * 6,120^{1.852} * 90}{150^{1.852} * 13.2} \right]^{0.2053} = 31.8m$$

Con lo anterior, el diámetro de la lateral debiera ser de 50 mm y clase 6, la cual tiene un diámetro interno de 46.4 mm, con esto, la pérdida de carga total en lateral será de 10.4 m

Por lo anterior, la pérdida de carga en el lateral será de:

$$hf_e = hf * F = 10.4 * 0.457 = 4.74m$$

Considerando que:

- a) La presión al inicio del lateral será aproximadamente 20.5 m
- b) La pendiente del terreno implicará que en los 90 metros del lateral la altura del terreno varíe en ± 3 m

En el sector con pendiente a favor se tendrá:

$$\text{Presión final} = 20.50 - 4.75 + 3 = 18.75 \text{ m (variación} = 2.6\%)$$

En el sector con pendiente en contra se tendrá:

$$\text{Presión final} = 20.50 - 4.1 - 3 = 12.75 \text{ m (variación} = 16.9\%)$$

En ambos casos la variación está por debajo del máximo permitido (20%), por tanto el diámetro usado es correcto.

Requerimientos de potencia

En este punto para el cálculo se usará la ecuación (14). Los datos del problema son:

$$Q_s = 8.50 \text{ lps}$$

$$\text{Eficiencia del motor } (E_m) = 95\%$$

$$\text{Eficiencia de la bomba } (E_b) = 80\%$$

Carga total

a) Carga en inicio del tramo A	= 20.50
b) Pérdida de carga por filtros	= 8.0
c) Pérdida de carga por accesorios, se asume un 10% de a+b)	= 5.1
d) Profundidad del agua	= 2.70
Suma	= 33.30

Potencia de la bomba

$$HP = \frac{8.50 * 33.30}{76 * 0.8} = 4.65HP$$

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

Potencia del motor

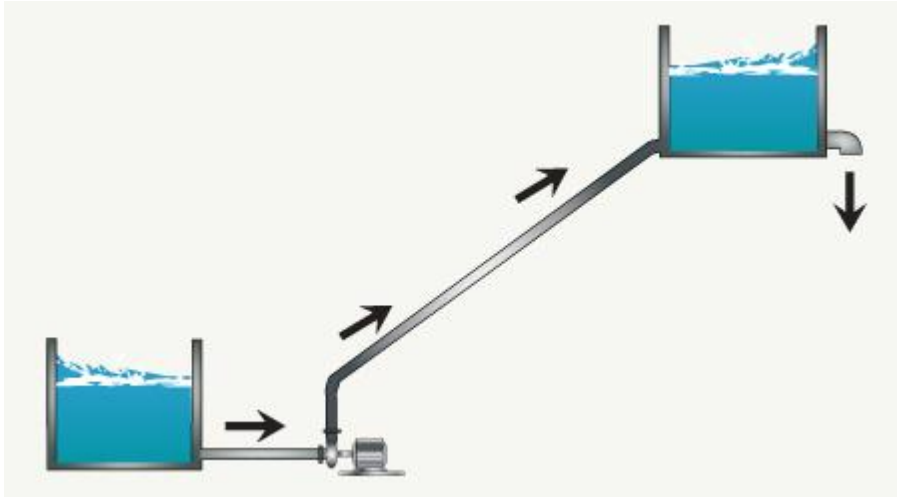
$$HP = \frac{8.50 * 33.30}{76 * 0.8 * 0.95} = 4.90HP$$

Dados los valores obtenidos, habría que comprar una bomba con una potencia mayor que 4.90 HP, lo cual dependerá de los productos que existan en el mercado y de sus curvas de rendimiento.



Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.

Como ya lo mencionamos el rol de una **bomba** es el aporte de energía para impulsar el líquido (energía transformada en caudal y altura de elevación).



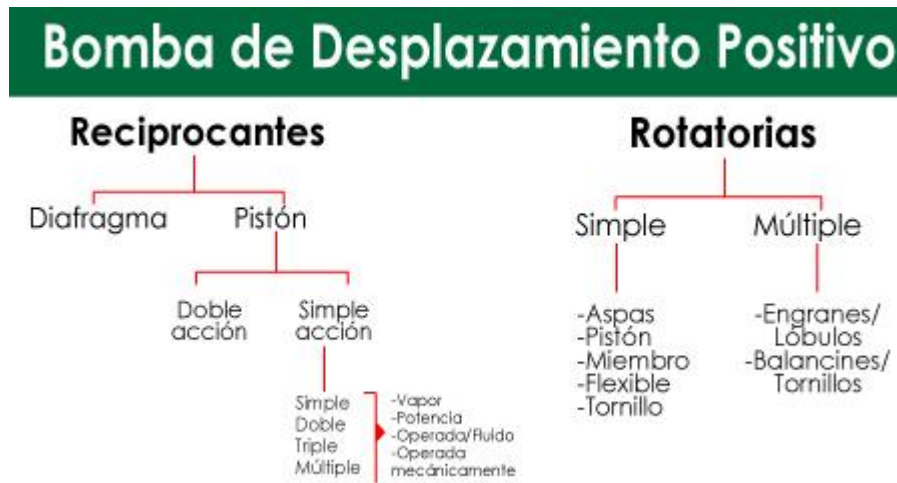
Mediante esta figura explicamos cual es la función de la bomba.

Las bombas son dispositivos mecánicos diseñados para transportar agua de un lugar a otro aplicando cierta presión y velocidad, gracias a esto podemos transportar grandes volúmenes del líquido en un menor tiempo a grandes distancias y con gran eficiencia.

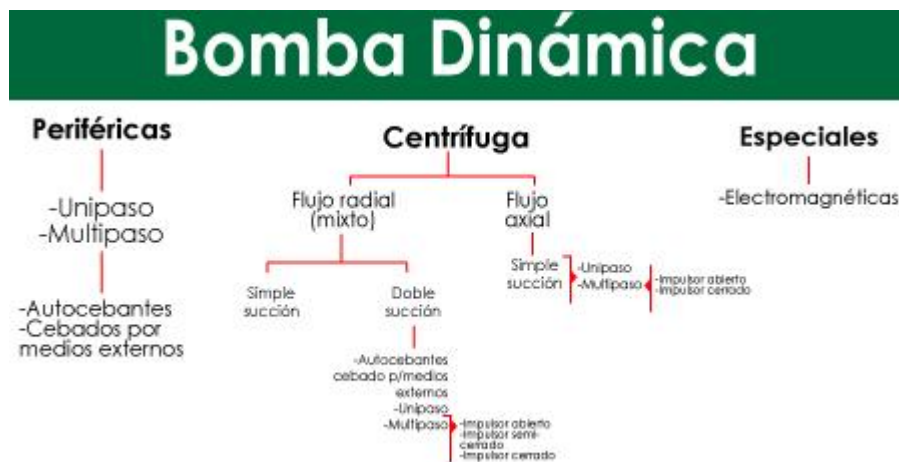
Como se clasifican las bombas

Existen infinidad de formas de clasificación, pero fundamentalmente se pueden dividir en dos grandes grupos:

Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo, entre las que se encuentran por ejemplo las alternativas, rotativas y las neumáticas, pudiendo decir a modo de síntesis que son bombas de pistón, cuyo funcionamiento básico consiste en recorrer un cilindro con un vástago.



Bombas dinámicas o de energía cinética, fundamentalmente consisten en un rodete que gira acoplado a un motor. Entre ellas se sitúan las regenerativas, las especiales, las periféricas o de turbinas y una de las más importantes "las centrífugas", estas últimas son las más utilizadas para los diseños de **sistemas de riego**.



Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.



Fotografía #1 de terreno a trabajar

Diseño de un sistema de riego por aspersores, para cuatro manzanas de aguacate, ubicado en el departamento de Carazo, municipio de Diriamba.



Fotografía #2 de terreno a trabajar