

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Alternativa de una fuente de abasto para riego por
aspersión de la empresa Cuba Soy al norte del
canal Zaza – Ciego.**

Autor: Darielis Álvarez Mojena

Tutor: MSc. Antonio Martínez Suárez

Cotutor: Roily Ruíz Pérez

Santa Clara

2015

"Año 57 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Alternativa de una fuente de abasto para riego por
aspersión de la empresa Cuba Soy al norte del
canal Zaza – Ciego.**

Autor: Darielis Álvarez Mojena

Tutor: MSc. Antonio Martínez Suárez

Cotutor: Roily Ruíz Pérez

Consultante: Ing. Vitaliy Danilo Suárez Chernov

Santa Clara

2015

"año 57 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Hidráulica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

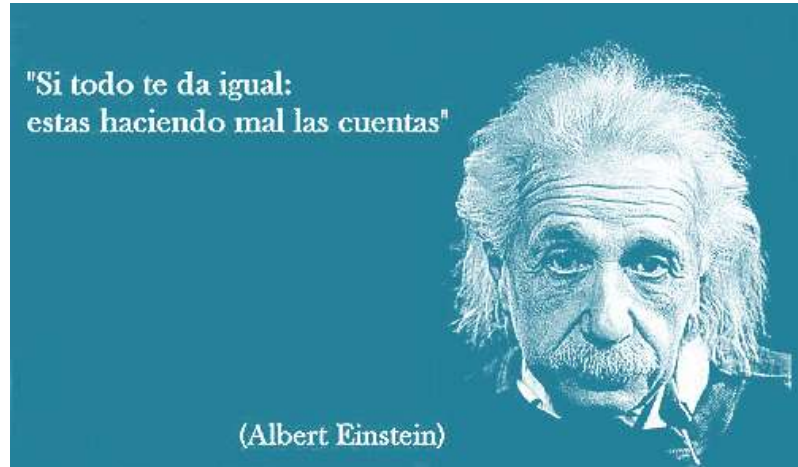
Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO



DEDICATORIA

Escriba aquí el texto de la dedicatoria (Opcional)

AGRADECIMIENTOS

Escriba aquí el texto de los agradecimientos (Opcional)

TAREA TÉCNICA

Escriba aquí las tareas que debe ejecutar hasta la confección del informe final (Obligatoria)

Esta página debe estar firmada por el estudiante y por el tutor, expresión del compromiso entre ambos.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

El presente trabajo se confecciona para dar una alternativa de fuente de abasto a un sistema de riego perteneciente a la empresa Cuba Soy debido a sus altos consumos y costos de operación presentes con su tecnología de explotación. La investigación consta inicialmente con una revisión bibliográfica que define las diferentes técnicas de riego que se ajustan al caso de estudio. Esto conlleva a establecer las características naturales de la región que incluye aspectos del clima, suelos y tipo de cultivo entre otros. Principalmente se establece un procedimiento de cálculo que dimensiona el sistema de abastecimiento teniendo en cuenta criterios de eficiencia energética confeccionándose un modelo programable. Haciendo uso del mismo se obtienen resultados capaces de compararlos entre si mostrando una alternativa eficiente desde el punto de vista energético.

RESUMEN

In this work is constructed to provide an alternative source of supply to an irrigation system belonging to the **Cuba Soy** company because of high consumption and operating costs with its present operating technology. The investigation initially has a literature review that defines the various irrigation techniques that fit the case study. This leads to establish the natural characteristics of the region that includes aspects of climate, soil and crop type and others. Primarily a calculation procedure dimensioned supply system considering making energy efficiency criteria set a programmable model. Using the same results able to compare each showing an efficient alternative from the energy point of view are obtained.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TAREA TÉCNICA	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE SISTEMAS DE RIEGO	4
1.1 Antecedentes del riego en Cuba.....	4
1.2 Marco teórico conceptual.....	5
1.3 Criterios de selección de un método de riego.	7
1.4 Riego por aspersión.....	8
1.4.1 Condiciones que favorecen la instalación del método.....	9
1.4.2 Ventajas y desventajas del riego por aspersión	10
1.4.3 Planeación del sistema de riego por aspersión.....	11
1.4.4 Componentes que integran un equipo de riego por aspersión	12
1.5 Cono de depresión en un pozo	14
1.6 Impactos Ambientales	16
1.7 Impacto Social.....	17
1.8 Aspectos financieros.	18
1.9 Conclusiones parciales	19
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	

2.1	Condiciones naturales	21
2.2	Consideraciones de diseño	25
2.3	Principales criterios para diseñar un sistema de riego	26
2.3.1	Datos del diseño agronómico	28
2.3.2	Hidráulica de los emisores.....	29
2.3.3	Tolerancia de caudales y presión.....	30
2.3.4	Criterios de diseño hidráulico.....	31
2.4	Sistemas de riego colectivo.....	32
2.5	Diseño y dimensionamiento de la red	34
2.6	Redes de conducción y distribución.....	36
2.7	Métodos de diseño óptimos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.7.1	Clasificación de las técnicas de optimización ...	¡Error! Marcador no definido.
2.7.2	Procedimiento de cálculo	38
2.7.3	Aspectos de la validación del modelo	43
2.8	Conclusiones parciales	44
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		45
3.1	Análisis de comportamiento en los pozos.....	45
3.2	Condiciones de diseño del sistema de riego colectivo.....	49
3.3	Características del sistema de tuberías.....	52
3.4	Análisis económico.....	53
3.5	Análisis del impacto ambiental.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6	Conclusiones parciales	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		56
Conclusiones		56

Recomendaciones	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS	58
Anexo I Inserte título del primer anexo	60
Anexo II Inserte título del segundo anexo.....	61

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad los primeros hombres han buscado el modo de llevar en forma de riego el agua a las plantaciones para aumentar la producción de los alimentos. Con el paso de los siglos no solo se busca el desarrollo y aumento de la producción, sino el desarrollo del riego como tal, buscando mayor eficiencia. Cada sistema de riego y drenaje representa un conjunto de obras hidromeliorativas como son: toma de agua, canales de conducción, canales de distribución, de drenaje, nudos de distribución, sifones, alcantarilla, etc.; mediante los cuales el agua es conducida desde la fuente de abasto hasta el área regada, donde se distribuye. En el mundo actual la implementación y puesta en funcionamiento de sistemas de riego más eficientes, económicos, de menor impacto ambiental toma auge a la par del desarrollo mundial.

Con el dominio de las técnicas de riego se inicia la agricultura de regadío al mismo tiempo que aparecen los primeros poblados con casas de adobe. El dominio de las técnicas de riego impulsó una nueva forma de vida más segura y con menos riesgo que la vida errante del cazador, ya que desde ahora podría disponer de alimentos sin tener que desplazarse de un sitio a otro, ya no era necesario el continuo traslado para buscar sustento.

Existen tres métodos de riego para cultivos, los cuales son el riego por aspersión, el de superficie y el goteo. El riego por aspersión es un método mediante el cual el agua se aplica sobre la totalidad de la superficie del suelo en forma de lluvia. Utilizando para ello una red de riego que permite conducir el agua con la presión adecuada hasta los elementos encargados de aplicarla, los aspersores. Para conseguir un buen riego por aspersión son necesarios: presión en el agua, una estudiada red de tuberías adecuadas a la presión del agua, aspersores adecuados capaces de esparcir el agua a la presión que les llega por la red de distribución y un depósito de agua que conecte a la red de tuberías.

En los sistemas de riego por aspersión la red de distribución del agua está formada por conducciones cerradas que llevan el agua a presión hasta los aspersores, el agua sale a través de ellos a gran velocidad y caen en forma de lluvia sobre el terreno donde se infiltra pasando desde la superficie del suelo hasta capas cada vez más profundas, quedando así a disposición del cultivo. La cantidad de agua que se infiltra será más o menos homogénea según sean las características físicas del suelo y las propias características de funcionamiento de los aspersores. En un sistema de riego por aspersión bien diseñado no se debe producir escorrentía, es decir que cada gota de agua debe infiltrarse en el mismo punto donde cae. Además el tamaño de las gotas producidas por los aspersores debe ser tal que no provoque erosión al caer al suelo. 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 (las gotas podrían desaparecer antes de tocar el suelo por la evaporación). Estos sistemas son especialmente útiles para aplicar riegos relativamente ligeros con los que se pretende aportar algo de humedad al suelo en el período de nacencia o para aplicar riego de socorro.

Los sistemas de riego por aspersión son el método que más se adapta a la zona de Ciego de Ávila, ya que esta se caracteriza por poseer suelos con topografías ligeramente accidentadas y suelos con alta velocidad de infiltración y erodabilidad, 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. El reto en curso tiene su desarrollo en dicha provincia, proponiendo la implementación de un sistema de riego eficiente desde el punto de vista energético que el explotado hasta la fecha. Centrando pautas en el análisis de la eficiencia técnico – económica de una nueva fuente de abasto para el riego con máquinas en la empresa Cuba Soy; así como buscar una mayor eficiencia y economía de riego en el sistema propuesto a lo largo del desarrollo de toda la investigación. El sistema propuesto deberá ser más efectivo desde el punto de vista energético con el consiguiente ahorro económico, minimizando los costos del equipamiento en explotación, logrando además igual efectividad en el riego de las máquinas. Para la realización del trabajo nos apoyamos en los programas AutoCAD, además se realizaron visitas a la provincia de Ciego de Ávila para verificar directamente en el área de estudio confirmando así la veracidad de la

información recibida, se realizaron entrevistas con el personal encargado del área en explotación.

Problema Científico:

El uso de los actuales sistemas de riego en la empresa Cuba Soy, basados en el empleo de pozos, provoca pérdidas económicas a esta empresa producto al alto consumo de energía eléctrica lo que provoca una disminución en las ganancias vinculadas al cultivo de la soya.

Hipótesis:

El diseño de una red de abastecimiento de riego que parte de un embalse regulador provenientes del canal Zaza – Ciego es capaz de disminuir el alto consumo de energía eléctrica en la empresa Cuba Soy contando como una alternativa de fuente de abasto.

Objetivo General:

Proponer una alternativa de fuente de abasto mediante un diseño eficiente de la red de distribución que sea capaz de disminuir el consumo de energía que genera el riego de los cultivos en la empresa Cuba Soy.

Objetivos Específicos:

- Establecer el estado del arte para las técnicas de riego mediante una revisión bibliográfica.
- Proponer un procedimiento de diseño eficiente de la red de distribución que se adecúe a las condiciones de estudio.
- Analizar las variantes de los sistema de riego en la empresa Cuba Soy.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE SISTEMAS DE RIEGO

Los proyectos de riego y drenaje manejan las fuentes de agua a fin de promover la producción agrícola. Hay muchos diferentes tipos de riego, dependiendo de la fuente del agua (superficial o subterránea), su forma de almacenamiento, los sistemas de transporte y distribución, y los métodos de entrega (aplicación en el campo).

Desde hace mucho tiempo, se ha utilizado el agua superficial (principalmente los ríos) para riego, y, en algunos países, desde hace miles de años; todavía constituye una de las principales inversiones del sector público. Los proyectos de riego en gran escala, que utilizan el agua freática, son un fenómeno reciente, a partir de los últimos treinta años. Se encuentran principalmente en las grandes cuencas aluviales de Paquistán, India y China, donde se utilizan pozos entubados para aprovechar el agua freática, conjuntamente, con los sistemas de riego que emplean el agua superficial.

1.1 Antecedentes del riego en Cuba.

Los sistemas de riego en Cuba comienza a principios del siglo XX, antes del triunfo de la revolución, el riego se desarrolla fundamentalmente en lotes pequeños, concentrándose en aquellas zonas donde el agua subterránea es abundante. El área total bajo riego en esa época pre-revolucionaria eran unas 160.000 Ha beneficiándose fundamentalmente cultivos como la caña de azúcar, papas, frutales y arroz, de estas áreas solamente de un 10 – 15 % se regaba bombeando de ríos y corrientes superficiales y el 85 – 90 % restante por captación subterránea. La explotación de los pequeños campos de riego dispersos por distintos lugares se enfocaba desde un punto de vista capitalista, muchas bombas y pozos trabajaban

durante solo unas horas al día para satisfacer las necesidades privadas, perdiéndose enorme cantidad de agua por falta de revestimiento en los canales. Con el triunfo de la revolución el desarrollo hidráulico en Cuba recibió un gran impulso. Sin duda alguna, el riego es el elemento indispensable para todos los esfuerzos dirigidos hacia el desarrollo agrícola. Consciente de esta realidad, la Revolución ha dedicado cuantiosos recursos al regadío casi desde el principio del poder revolucionario. Se ha logrado un avance revolucionario en el conocimiento y dominio del potencial hidráulico en el país, numerosos embalses han sido construidos a la par del aprovechamiento cada vez mayor de las reservas de agua subterráneas. Conjuntamente con los embalses grandes y los enormes sistemas de riego, en la actualidad se desarrolla de forma intensa el riego con obras menores, como son micro presas y pozos profundos dotados con equipos de bombeo.

1.2 Marco teórico conceptual.

El riego según (Briones 1977) definen el riego como “la aplicación artificial de agua a la tierra, con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo”. De igual forma, asignan al riego los siguientes objetivos:

Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.

- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Enfriar el suelo y la atmósfera para, de esta forma, mejorar las condiciones ambientales en bien del desarrollo vegetal.
- Llevar o diluir sales contenidas en el suelo.
- Reducir el peligro de erosión por la formación de cauces naturales de drenaje.
- Ablandar los terrones de tierra.

(Matheus 2011) Dicha definición al considerar que el riego comprende “las provisiones, medidas o actividades, de naturaleza temporaria o permanente, con el propósito de suministrar agua, en algunos casos conjuntamente con otras materias, al suelo y por consiguiente a la planta, con el fin de mantener o promover su crecimiento”.

En base a las definiciones que anteceden, los objetivos del riego se agrupan siguiendo a (Matheus 2011) en las siguientes tres categorías: (a) compensar deficiencias de humedad en

el suelo; (b) mejorar las condiciones ambientales del suelo y del cultivo; (c) aplicar nutrientes y medios protectores.

(Gurovich 1985) Define el riego agrícola como una práctica o práctica de producción con la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en este el agua consumida por los cultivos.

(Gastañón 2000) Plantea que existen diferentes métodos de riego entre los más empleados se tienen: riego por gravedad, aspersión y localizado.

Según (Horson 1965) los métodos de riego pueden clasificarse en:

- Métodos superficiales.
- Métodos subirrigación.
- Métodos por aspersión.

En el método de riego por superficie y riego por aspersión el agua penetra desde la superficie y se repone a intervalos de tiempo, generalmente de varios días, cada vez que la lámina de agua consumida alcanza un espesor adecuado para su manejo eficiente. En el método por sub-irrigación el agua asciende por capilaridad desde un plano freático controlado, que se ubica próxima a la base del sistema radical a medida que es consumida por los cultivos.

La diferencia entre los métodos de riego por superficie y aspersión radica en que, en el primer caso, el agua penetra en el suelo a medida que escurre sobre el terreno, mientras que en el segundo caso el agua se aplica asperjada, o sea fraccionando el caudal en innumerables cantidades de pequeñas gotas de agua, que penetran en el suelo al tiempo que se aplica.

(Berlijn 2014) Plantea que a diferencia de los sistemas de riego por inundación y por surcos el riego por aspersión no incluye un acondicionamiento del terreno. El suministro del agua no depende de la gravedad, pues su aplicación se realiza en forma de lluvia por presión hidráulica. La instalación consta de una bomba, una o más líneas principales y laterales con aspersores.

1.3 Criterios de selección de un método de riego.

Criterios de selección de un método de riego: La selección del método de riego se basa en criterios que tienen relación con el cultivo, el suelo, la topografía, la economía, el clima, la disponibilidad de mano de obra así, como las labores vinculadas al desarrollo físico, manejo del riego y administración de la finca en general. Seleccionar el método de riego, implica al mismo tiempo tomar decisiones con respecto al planteamiento integral del predio y grado de sistematización del terreno.

A continuación se mencionan varios de los criterios de selección de métodos de riego:

Cultivos: Sin duda este es un criterio importante, ya que en algunos casos el cultivo prácticamente determina el método de riego. Por ejemplo el arroz se riega en la casi generalidad de los casos por melgas en contorno o por grandes secciones de inundación.

Topografía: Si se tiene en cuenta la gran subdivisión al tratar los métodos de riego, diríamos que el riego por superficie puede realizarse con relieve plano a ondulado; el riego sub-superficial solo en terrenos muy planos; y la aspersion en terrenos desde llanos hasta fuertemente ondulados.

El riego por aspersion se adapta a una amplia gama de condiciones topográficas. Si bien pueden emplearse exitosamente en terrenos llanos, constituyen generalmente la única posibilidad de riego eficiente en terrenos fuertemente ondulados, en cuyo caso no hay alternativas. La aspersion posibilita el riego de tierras clasificadas incluso como no aptas para la agricultura por sus condiciones topográficas.

Entre los métodos por superficie, la topografía y el valor de la pendiente, permite una mayor especificación del método de riego. Así una topografía llana, con pendiente de 0,2% en la dirección del riego y pendiente nula en dirección normal a la del riego, es ideal a la del riego por melgas rectangulares. Sin duda el criterio topográfico está íntimamente unido a las posibilidades de nivelación. Aunque es este un factor que puede modificarse.

Suelo: Comprende las características internas del perfil del suelo: profundidad, textura, drenabilidad, contenido de fragmentos gruesos y en particular los aspectos de relación agua – suelo, vinculados al riego, tales como la capacidad de almacenamiento de agua e igual

que en el caso de una topografía muy irregular, este criterio puede determinar que el riego por aspersión constituye la única posibilidad en tales condiciones.

Recursos de agua: El recurso agua a disposición del predio en cuanto a caudal, tiempo e intervalo de entregas, es sin duda un criterio de peso tal, que puede prácticamente determinar el Método de Riego a utilizar, la disponibilidad en el predio de un gran caudal en tiempo reducido y con grandes intervalos entre entregas sucesivas, señala la convivencia de un método que se ajusta a tales condiciones, como ocurre con todas las variantes de riego por inundación; salvo que económicamente sea posible la construcción de un reservorio regulador en cuyo caso se pueden considerar otras alternativas.

Costos: Con respecto a los costos, se debe subdividir su incidencia en: (i) costos de construcción y operación de las obras generales del sistema; (ii) costos de desarrollo y de operación del riego en el predio. El costo de construcción y operación se atiende mediante un canon de amortización de obras y un canon de operación y conservación de las mismas. Ya sea que estos servicios la administración de riego los perciba por volumen de agua entregado al predio, por unidad de superficie servida, o por sistema mixto, el costo de los mismos debe incidir en los criterios de selección del método de riego y en los trabajos a realizar para acondicionar las tierras. Los costos de desarrollo y operación del riego a nivel predial afectan también en forma directa la escogencia del método de riego. En general una inversión mayor en el desarrollo físico de las tierras, se traduce posteriormente en menores costos de operación y conservación.

Otros criterios: En determinados casos, un solo factor adicional puede tener una importancia decisiva en la selección del método de riego. Un clima con vientos predominantes de alta velocidad puede ser suficiente para proscribir el riego por aspersión. Las labores mecanizadas y el empleo de determinado equipo agrícola resulta un factor tan importante, como para cambiar ideas preconcebidas con respecto a un determinado método. (Pacheco 2012)

1.4 Riego por aspersión

El sistema de irrigación por aspersión no requiere más que la eliminación de las irregularidades del terreno, solo en el caso de una pendiente fuerte, se deben establecer

cultivos en terrazas. La máxima pendiente tolerable para aplicar el riego por aspersión será hasta el 20%.

Los sistemas de aspersión suelen clasificarse según el grado de movilidad de los diversos componentes que integran el sistema. De esta manera se facilita la comprensión de su funcionamiento y además se ofrece una mejor idea acerca de los costos necesarios e inversiones a realizar. De esta forma general los costes de inversión se incrementan y los requerimientos de mano de obra disminuyen a medida que aumenta el número de elementos fijos del sistema.

Los sistemas de aspersión se clasifican en dos grupos: sistemas estacionarios y sistemas de desplazamiento continuo. Los sistemas estacionarios son aquellos que permanecen fijos mientras riegan y a su vez pueden clasificarse en móviles, semifijos y fijos. Según (Lesur L. 2006) el riego por aspersión consiste en la distribución del agua o los cultivos en forma de lluvia, mediante la presión hidráulica de una bomba, una o más líneas de tuberías y un conjunto de boquillas o aspersores que la rocían. Mediante el riego por aspersión, el agua se aplica al suelo asperjado, o sea, fraccionando el caudal en innumerable cantidad de gotas que se infiltran en el terreno al tiempo que alcanza la superficie del mismo. Se trata de un sistema de riego mecanizado, que asegura un preciso control de la lámina de agua aplicada y ajuste a las condiciones edafoclimáticas y de cultivo y además permite una adecuada tecnificación de la práctica del riego.

1.4.1 Condiciones que favorecen la instalación del método

El riego por aspersión se emplea en una gran diversidad de cultivos y condiciones naturales; y en determinados casos compite incluso con ventaja con el riego por superficie, en las condiciones que hacen aconsejable este método. Sin embargo, es insustituible en las siguientes condiciones:

- a) Terrenos de topografía irregular, ondulados y de pendientes fuerte, en cuyo caso la conducción del agua por tuberías resuelve los inconvenientes del trazado de acequias en terrenos irregulares.
- b) Suelos poco profundos en las cuales no pueden realizarse trabajos de nivelación y deben aplicarse reducidas láminas de agua en cada riego. También en los de alta velocidad de infiltración con grandes pérdidas por percolación de agua en la cabecera.

c) Suelos de alta erodabilidad, donde el escurrimiento de agua en superficie puede acarrear efectos perjudiciales para su conservación.

d) Disponibilidad de agua en causales pequeños y largos horarios de riego, ya que un diseño económico se logra con un equipo que permanezca en actividad durante un elevado número de horas al año.

Se puede instalar en buenas condiciones, cuando la fuente de provisión de agua subterráneas o manantiales propios, o de los predios donde resulta factible regularizar el caudal recibido mediante embalses.

Dado que este sistema cubre íntegramente el área imaginada, se presta especialmente para cultivos sembrados “al voleo” tales como forrajeras y cereales, y para cultivos hortícolas, su empleo en cultivos permanente, tales como caña de azúcar y frutales es menos factible por el patrón de humedecimiento del suelo en algunos casos; y por la altura y características del cultivo que dificultan notablemente los trabajos de movimiento de las tuberías en otras.

1.4.2 Ventajas y desventajas del riego por aspersión

Ventajas

Las ventajas del riego por aspersión se fundamentan principalmente en dos aspectos: uno el control del riego solo está limitado por las condiciones climáticas; y dos, la uniformidad de aplicación del agua es independiente de las características del suelo. Permite regar terrenos ondulados o poco uniformes sin necesidad de una nivelación o preparación previa del mismo, al contrario de lo que ocurre en riego por superficie. Se aprovecha más la superficie de cultivo, ya que no hay que destinar parte del suelo a canales y acequias. Además el riego por aspersión puede ser utilizado en una gran variedad de suelos, incluso aquellos muy ligeros o de textura arenosa que exigen riegos cortos y frecuentes.

Es un método de riego que se adapta muy bien a las primeras fases de desarrollo de los cultivos, sobre todo durante la germinación de las semillas, donde son necesarios riegos ligeros pero frecuentes. Esto ocurre en algunos cultivos tales como zanahoria, remolacha, etc. También es un método muy útil para dar riegos de socorro y especialmente eficaz en la lucha contra heladas. Es el método de riego ideal para realizar lavado de sales, ya que

tiende a desplazarse junto con el agua hasta capas más profundas del suelo quedando fuera del alcance de las raíces.

Hay una mayor posibilidad de mecanización de los cultivos, ya que se eliminan los obstáculos propios del riego por superficie. Únicamente en el caso de sistemas con tuberías en superficie durante la campaña de riegos dificultaría esta mecanización.

Posibilita la aplicación junto con el agua de riego de sustancias fertilizantes y algunos tratamientos químicos y permite cierto grado de automatización. Se adapta a la rotación de cultivos, siempre y cuando el diseño de la red de distribución se realice para el cultivo que tenga mayores necesidades de agua.

Desventajas

El principal inconveniente del riego por aspersión es de carácter económico. Dependiendo del tipo de sistema que se implante podrá hacer falta una gran inversión inicial y/o de mantenimiento. A esto hay que añadirle el alto costo energético que supone el funcionamiento de la instalación, al necesitar importantes sistemas de bombeo para dotar a la red de la presión adecuada.

El aporte de agua en forma de lluvia puede tener efectos negativos sobre algunos cultivos, ya que al humedecerse la parte aérea del cultivo aumenta el riesgo de desarrollo de enfermedades. El viento dificulta el reparto uniforme del agua haciendo disminuir la uniformidad de aplicación y la eficiencia del sistema de riego. Algunos cultivos pueden sufrir quemaduras en las hojas en mayor o menor grado dependiendo de la sensibilidad del cultivo y de la calidad del agua de riego, puesto que al evaporarse las sales pueden quedar concentradas en exceso (García 2013)

1.4.3 Planeación del sistema de riego por aspersión

Un sistema de riego por aspersión requiere de una planeación cuidadosa y profesional hecha con base en un estudio para determinar qué sistema es el más apropiado de acuerdo con sus capacidades y las características de las bombas, tuberías, accesorios y boquillas.

Esta planeación debe tomar en cuenta la relación de hasta 60% del costo – beneficio entre el rendimiento de los cultivos y los gastos de instalación del sistema, la disponibilidad de mano de obra capacitada para manejar los equipos y su costo, así como el método

apropiado para impulsar las bombas, ya sea que se disponga de energía eléctrica o no. Sin embargo, el énfasis de la planeación debe estar en armonía y equilibrio en la elección de la bomba y su potencia, en el diseño de las tuberías principales y sus ramales y en la selección de las boquillas. La elección errónea del equipo, las velocidades inadecuadas de aplicación de las cargas a los aspersores y la equivocada selección de las boquillas, de su presión de trabajo a su velocidad, traen como consecuencias un riego deficiente y una mala inversión (Lesur 2006)

1.4.4 Componentes que integran un equipo de riego por aspersión

Según la (Calderini 1970) un sistema de riego por aspersión es una red de tuberías con aspersores unidos al mismo y cuyo objetivo es aplicar agua pulverizada sobre el terreno.

Un sistema de riego por aspersión puede abarcar todo un proyecto con tuberías fijas de alta presión que conducen y distribuyen agua a cada predio o secciones del proyecto, de donde el agua a equipos individuales o comunitarios, o también equipos individuales con la fuente de agua en el mismo predio y que cubre la totalidad a una parte del mismo.

Un equipo de riego por aspersión está integrado por:

1. El equipo de bombeo.
2. Las tuberías.
3. Los aspersores o rociadores.
4. Los accesorios

Equipo de bombeo: Tiene el fin de aspirar el agua desde la fuente de provisión e impulsarla a través del sistema. Dado que para el funcionamiento de los aspersores se requiere una carga, la bomba crea la presión necesaria para ello, como así también para compensar las pérdidas de energía en las tuberías. Se emplean para riego por aspersión bombas centrifugas de eje horizontal y bombas turbinas. El motor puede ser eléctrico o a combustión interna; conjuntamente con la bomba.

La bomba fija se emplea cuando se eleva agua del subsuelo o de una estación de bombeo de un cauce superficial. En tal caso al calcular la potencia necesaria, se debe tener en cuenta

no solo el desnivel geométrico sino también la presión de ejercicio de los aspersores y las pérdidas de carga en el sistema.

La bomba móvil cambia de ubicación en cada posición de riego, esta se monta sobre ruedas de hierro o neumáticas, pudiendo ser traccionada a sangre o con tractor, se monta también sobre un trineo o acoplado la bomba a la toma de fuerza de un tractor.

Tuberías: Las tuberías de un sistema de riego por aspersión, la integran los conductos circulares que conducen el agua desde la bomba a los aspersores. Dichas tuberías pueden ser todas fijas, en cuyo caso el equipo es fijo y van enterradas; pueden ser semifijas, equipos semifijo, con parte de tubería fija y parte móvil, y pueden ser móviles equipo móvil, con todas las tuberías transportables.

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

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

Aspersores o regadores: Los aspersores se contribuyen de tipo estacionario y de tipo rotario. La mayor parte de los aspersores existente en la actualidad en el comercio para uso en la agricultura son giratorios; produciéndose dicha rotación, ya sea por efecto del impacto, por acción del chorro de agua sobre una rueda o por reacción. El giro puede ser total o puede ser regulable para cubrir un sector circular y los aspersores pueden asimismo tener una o dos tuberías o boquillas.

Las casas fabricantes publican especificaciones de diferentes marcas y tipos de aspersores, donde se detallan las condiciones de trabajo de los mismos. Ello permite elegir el aspersor más adecuado para la intensidad de precipitación propuesta e intervalo en el cual debe cubrirse un área determinada de terreno.

Según (Gailer 2013) clasifica los aspersores en los tipos siguientes:

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

Según la altura del cultivo, los regadores pueden estar aplicados directamente en la tubería, caso de los cultivos forrajeros y algunas hortalizas; o sobre tubo portaregador en frutales, caña de azúcar, algunas hortícolas e industriales. Para frutales se construyen aspersores con reducido ángulo de salida de las toberas, que permiten regar debajo de la copa de los mismos. Una variante del sistema clásico de riego por aspersión lo constituye la tubería perforada. En tal caso no se instalan aspersores; sino que la tubería tiene una sucesión de perforaciones a través de las cuales fluye el agua.

1.5 Cono de depresión en un pozo

Al producirse el descenso del nivel estático del pozo, se establece un gradiente hidráulico entre cualquier punto de la formación y el pozo, originándose un movimiento radial desde todas las direcciones hacia el pozo en una forma simétrica y de tal manera que el caudal Q que se extrae del pozo es igual al caudal que pasa por cualquier sección del acuífero.

A medida que la velocidad aumenta mayor será el gradiente hidráulico ya que aumenta la fricción existente entre el fluido y las partículas sólidas en contacto; es por eso que lo que se forma alrededor del pozo se le conoce como cono de depresión que sobre un plano vertical presenta una curva conocida con el nombre de curva de abatimiento. La forma, alcance y profundidad de este cono de depresión dependerá de las condiciones hidrogeológicas (transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero), del caudal

y el tiempo de bombeo o inyección. En el acuífero confinado el cono de depresión es la representación de la variación de los niveles piezométricos en tanto que en el acuífero libre es además la forma real de la superficie piezométrica.

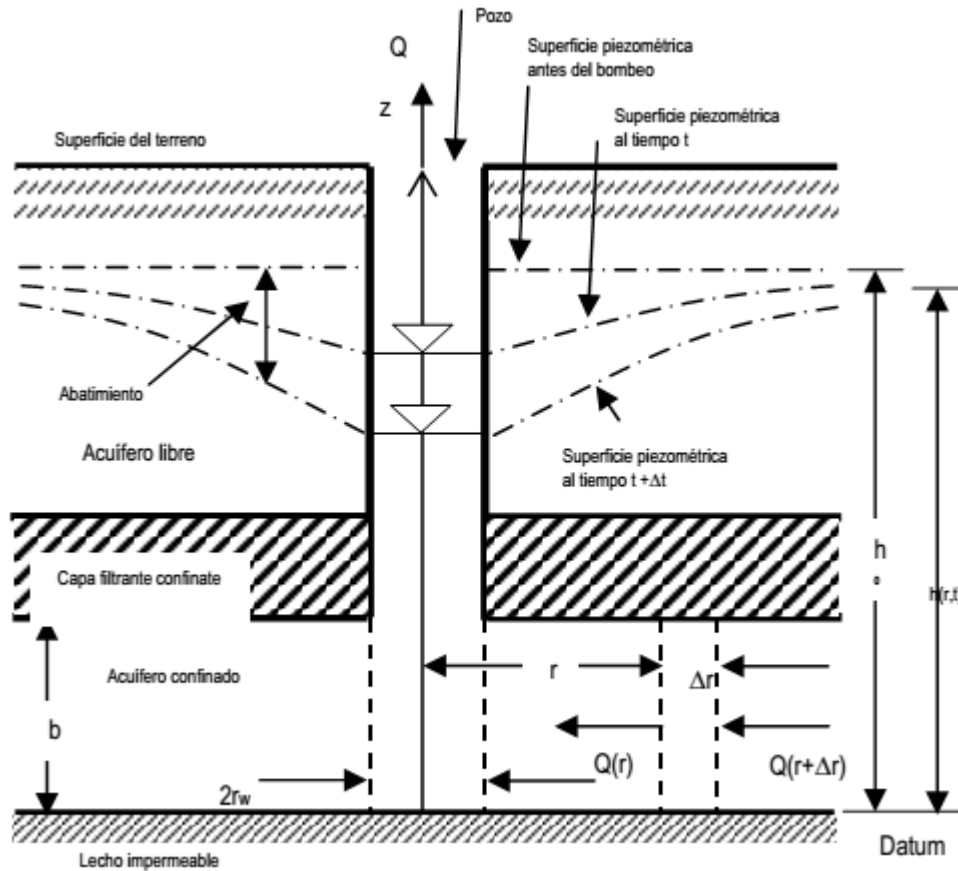


Figura 1.1: Esquema representativo de un pozo.

Es la relación que existe entre el caudal que se obtiene de un pozo y el abatimiento producido y se expresa en unidades de caudal por longitud, $[L^3/T/L]$. Este valor es constante para acuíferos confinados y variable para los acuíferos libres; es un término que representa el grado de eficiencia de un pozo ya que de dos pozos perforados en una misma formación acuífera, el de menor capacidad específica tendrá menos eficiencia. El grado de eficiencia de un pozo lo determinaremos con base en la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento de la formación acuífera, (con la cual podremos calcular un valor de la capacidad específica teórica) el valor de la capacidad específica real medida en el pozo.

1.6 Impactos Ambientales

Los potenciales impactos ambientales negativos de la mayoría de los grandes proyectos de riego incluyen: la saturación y salinización de los suelos; la mayor incidencia de las enfermedades transmitidas o relacionadas con el agua; el reasentamiento o cambios en los estilos de vida de las poblaciones locales; el aumento en la cantidad de plagas y enfermedades agrícolas, debido a la eliminación de la mortandad que ocurre durante la temporada seca; y la creación de un microclima más húmedo. La expansión e intensificación de la agricultura que facilita el riego, puede causar mayor erosión; contaminar el agua superficial y freática con los biosidas agrícolas; reducir la calidad del agua; y, aumentar los niveles de alimentos en el agua de riego y drenaje, produciendo el florecimiento de las algas, la proliferación de las malezas acuáticas y la eutroficación de los canales de riego y vías acuáticas, aguas abajo. Usualmente, se requieren mayores cantidades de químicos agrícolas para compensar, para controlar los crecientes números de plagas y enfermedades de los cultivos. Los grandes proyectos de riego que represan o desvían las aguas de los ríos, tienen el potencial de causar importantes trastornos ambientales como resultado de los cambios en la hidrología limnología de las cuencas de los ríos.

Al reducir el caudal del río, se cambia el uso de la tierra y la ecología de la zona aluvial; se trastorna la pesca en el río y en el estero; y se permite la invasión del agua salada al río y al agua freática de las tierras aledañas. El desvío y pérdida de agua debido al riego reduce el caudal que llega a los usuarios, aguas abajo, incluyendo las municipalidades, las industrias y los agricultores. La reducción del flujo básico del río disminuye también la dilución de las aguas servidas municipales e industriales que se introducen, aguas abajo, causando contaminación y peligros para la salud. El deterioro en la calidad del agua, debido a un proyecto de riego, puede volverla inservible para los otros usuarios, perjudicar las especies acuáticas, y, debido a su alto contenido de alimentos, provocar el crecimiento de malezas acuáticas que obstruirán las vías fluviales, con consecuencias ambientales para la salud y la navegación.

Los potenciales impactos ambientales negativos directos del uso del agua freática para riego surgen del uso excesivo de estas fuentes (retirando cantidades mayores que la tasa de recuperación). Esto baja el nivel del agua freática, causa hundimiento de la tierra, disminuye la calidad del agua y permite la intrusión del agua salada (en las áreas costaneras). Hay algunos factores ambientales externos que influyen en los proyectos de riego. El uso de la tierra, aguas arriba, afectará la calidad del agua que ingresa al área de riego, especialmente su contenido de sedimento (erosión causada por la agricultura) y composición química, (contaminantes agrícolas e industriales). Al utilizar el agua que deposita el sedimento en los terrenos, durante el tiempo, o, simplemente, al utilizar el agua que trae un alto contenido de sedimento, se puede alzar el nivel de la tierra a tal punto que se impida el riego.

Los beneficios obvios del riego provienen de la mayor producción de alimentos. Además, la concentración e intensificación de la producción en un área más pequeña puede proteger los bosques y tierras silvestres, para que no se conviertan en terrenos agrícolas. Si existe una cobertura vegetal mayor durante la mayor parte del año, o si se prepara la tierra (nivelar y contornarla), se reduce la erosión de los suelos. Hay algunos beneficios para la salud, debido a la mejor higiene y la reducción en la incidencia de ciertas enfermedades. Los proyectos de riego pueden moderar las inundaciones, aguas abajo.

1.7 Impacto Social

El trastorno social es inevitable en los grandes proyectos de riego que cubren áreas vastas. La gente local, que el proyecto de riego desplaza, enfrenta el problema clásico del reasentamiento: se reduce el nivel de vida, se producen mayores problemas de la salud, conflictos sociales, y deterioro de los recursos naturales del área de reasentamiento. La gente que permanece en el área, probablemente, tendrá que cambiar sus prácticas de uso de la tierra y modelos agrícolas. Las personas que se trasladan al área, también tendrán que adaptarse a las nuevas condiciones. A menudo, la gente local encuentra que tiene menor acceso a los recursos de agua, tierra y vegetación, como resultado del proyecto. Las demandas contradictorias, con respecto a los recursos acuáticos, y las desigualdades en su distribución pueden ocurrir, fácilmente, tanto en el área del proyecto, como aguas abajo.

Todos estos factores – las prácticas agrícolas cambiantes, y la mayor densidad de la población – pueden tener un efecto profundo en cuanto a los modelos sociales tradicionales. A menudo, con la introducción del riego se asocia un aumento, a veces extraordinario, en las enfermedades relacionadas con el agua. Las enfermedades que se vinculan, más frecuentemente, con el riego son esquistosomiasis, malaria y oncocerciasis, cuyos vectores proliferan en las aguas de riego. Otros riesgos para la salud que se relacionan con el riego incluyen los que están vinculados al mayor uso de agroquímicos, el deterioro de la calidad del agua, y la mayor presión de la población en el área. La reutilización de aguas negras para riego puede transmitir las enfermedades contagiosas (principalmente las helmínticas y, en un grado menor, las bacterianas y virales). Los grupos que están expuestos al riego son los trabajadores agrícolas, los consumidores de los vegetales (y la carne) de los campos regados con aguas servidas, y los aledaños. El riego por aspersión representa un riesgo adicional, debido a la difusión de los patógenos por el aire. Los riesgos varían, según el grado de tratamiento que han recibido las aguas servidas, antes de ser reutilizadas.

1.8 Aspectos financieros.

(Vipond 1978) Un proyecto debe atender a liquidarse por sí mismo, pero hay pocos proyectos que podrían considerarse como viables si esta regla es inflexible.

Los autores apuntan que es preciso responder en lo que se refiere a financiamiento de un proyecto, si los beneficios, financieros y sociales lo pueden justificar o no.

(Gittinger 1973) plantea que para el proceso de toma de decisiones con respecto a las asignaciones de inversión sobre la pertinencia de llenar adelante el proyecto se hace necesario evaluarlo a la luz de algunos criterios que permita decidir lo más racionalmente posible sobre la convivencia de aceptar el proyecto.

Dentro de estos criterios podemos mencionar el uso de algunas equivalencias financieras como lo son: VAN, TIR, RELACION BENEFICIO -COSTO (B/C).

Costos en un sistema de riego: los costos significan un importante criterio en términos de rehabilitación de un sistema de riego. Entre estos costos se pueden considerar:

- Costos anuales de operación: personal e insumos, energía.

- Costos anuales de mantenimiento
- Costos anuales de reposición

Conclusiones parciales

- Se realiza una revisión bibliográfica que define conceptos básicos de los métodos y procedimientos de riego además de sus criterios de selección y diseño.
- Se confecciona una reseña cronológica sobre el desarrollo agroindustrial en Cuba mostrando todos sus antecedentes en cuanto a sistemas de riego y fuentes de abasto.
- Se expone los aspectos financieros, Social y Ambientales que estos procedimientos o sistemas de riego provocan.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El clima constituye un factor primordial en el uso de la tierra. Los elementos climáticos más importantes a considerar son las temperaturas y las precipitaciones. Dentro del estudio climatológico se hace referencia a tres variables que influyen en las actividades propias del área siendo estas la precipitación, temperatura y la evaporación, así como el balance hídrico que se elabora conociendo las variables antes mencionadas.

La precipitación representa casi todo el aporte hídrico natural al sistema suelo planta. La cantidad de agua retenida en la capa radical con relación al total de la lluvia depende de las características del suelo para recibir agua: condiciones físicas y contenido de humedad, cobertura, pendiente, y de las características de la lluvia: espesor, intensidad, duración y frecuencia.

Un sistema en general es el método que se emplea para transportar el agua desde de la red de distribución hasta las parcelas de demanda. Los sistemas de riego a presión se han desarrollado en los últimos años, ya que permiten una adecuada gestión de los recursos hídricos, y control del flujo para garantizar su distribución a los usuarios, consiguiendo mayor eficiencia en las líneas de distribución; por tanto, una mayor superficie de riego puede ser servida con igual cantidad de agua. Para lograr este objetivo existen alternativas técnicas innovadoras que permiten que sea eficiente en el riego, implementando actividades de operación, mantenimiento y gestión para cumplir con el nivel de servicio requerido. De tal manera que la gestión del recurso hídrico sea efectiva a través del cobro de tarifas basadas en el volumen de agua consumida, que es más factible auditarlo en este tipo de redes a diferencia de los sistemas de canal abierto.

Con el objeto de manejar en forma eficiente los sistemas de riego, se ha recurrido a diversas técnicas de diseño, así se manifiestan que el desarrollo de nuevas tecnologías y su incorporación a las actividades de riego para mejorar la eficiencia de aplicación del recurso hídrico y la optimización de energía, fertilizantes, etc., se ha originado por diferentes factores que son mencionados:

- Lograr equilibrio con el medio ambiente, a través de disponer de agua suficiente para riego, aunque exista mayor demanda.
- Reducir los costos de producción para ser competitivos.
- Evitar la contaminación, producto del mal manejo del agua o el uso desenfrenado de la misma.

2.1 Condiciones naturales

El análisis climático de la región se posee las variables siguientes: temperatura del aire; humedad relativa; precipitación, presión atmosférica, los vientos, comportamiento de la insolación, nubosidad. Además se estudiaron los sistemas sinópticos predominantes.

Temperaturas.

En cuanto al régimen térmico, los datos obtenidos en el período 1998 - 2008 muestran una media general de 25.1 °C, con temperaturas medias mínimas de 21.6 °C y 22.4 °C en los meses de enero y febrero respectivamente y valores máximos en los meses de verano, donde los principales exponentes son julio y agosto con 27.7°C y 27.6 °C respectivamente, como media. Los mínimos se corresponden con meses de gran afectación de sistemas frontales (frentes fríos principalmente), donde las masas de aire frío procedentes del continente norteamericano hacen descender los termómetros hasta los 16.6 °C y 16.7 °C, respectivamente. La media de las temperaturas reportadas por meses para la región.

Humedad Relativa.

La marcha de la humedad relativa del aire no presenta grandes variaciones entre los meses del año, ni entre las diferentes zonas físico - geográficas.

En la localidad, el comportamiento diario de esta variable presenta valores mínimos en horas del mediodía, en correspondencia con las horas de máximo calentamiento; los

máximos ocurren al final de la madrugada donde se refleja el pico mínimo de la curva térmica diaria.

El comportamiento anual de esta curva, en el período de 1997 hasta el 2008, los mayores valores se obtuvieron en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre con 84, 85, 84 y 84 %, respectivamente; mientras que los menores, se concentran en el trimestre que va de marzo a mayo, reportándose en abril el más bajo con 76 % lo que coincide con los meses de poca lluvia.

Presión.

Los principales sistemas de presión que influyen sobre el país son: los anticiclones subtropicales y continentales (altas presiones) y los ciclones tropicales (bajas presiones). El Sistema Anticiclónico Subtropical del Atlántico Norte, es el que predomina la mayor parte del año.

Los valores máximos diarios de presión ocurren regularmente a las 10:00 am y 10:00 pm y los mínimos se registran a las 4:00 am y 4:00 pm.

Precipitaciones.

La precipitación media anual para la mayor parte del territorio nacional es de 1 375 mm con dos períodos bien definidos: el lluvioso de mayo - octubre y el seco, de noviembre - abril, con un aporte respectivo de 80% y 20% del total referido.

En la región valorada, el promedio de lluvia anual es de 1 093.7 mm. El mes de septiembre es el más lluvioso, precedido por los meses de junio y octubre; mientras que los meses menos lluviosos son enero y febrero.

En el período 1998 - 2008, en esta localidad los mayores acumulados registrados se corresponden al año 2002 donde el promedio se estableció en 1 730.8 mm, siendo los más notables los ocurridos en los meses de junio 446.1 mm y septiembre con 387.1 mm y los ocurridos en el mes de octubre de los años 2005 y 2007 con 428.9 y 481.7 mm, respectivamente.

Insolación y Nubosidad.

La insolación media anual reportada en la estación meteorológica de Júcaro (en este caso cantidad de horas - luz), es de alrededor de 8.2 h-luz/día, con una suma total de 2 900 h-luz/día como promedio en el año. Los máximos valores se reflejan en los meses de marzo y abril (9.1 h-luz/día), debido a la gran estabilidad atmosférica presente en esta época del año, lo cual propicia que el cielo se mantenga en su mayoría, entre despejado y poco nublado.

Los valores mínimos se presentan en los meses de octubre (7.5) y noviembre (7.6), seguidos de diciembre y enero (7.7) respondiendo esto, a dos factores fundamentales; uno, la continua afectación de sistemas frontales que permiten que el cielo se mantenga mayormente nublado y en segundo lugar la ubicación de la Tierra con respecto al Sol, lo cual hace que en estos meses del año, los días sean mucho más cortos que las noches.

La nubosidad es un elemento de muy poca variabilidad, para los diferentes meses del año en la estación de estudio, sólo oscila entre los 3/8 de cielo cubierto en los meses del período poco lluvioso (noviembre - abril) y 5/8 en los meses de mayo a octubre (período lluvioso).

En la estación de Júcaro, los días despejados coinciden con el período poco lluvioso y oscilan entre 10 y 15, mientras que a partir del mes de mayo y hasta octubre el predominio de días nublados es entre 13 y 16 coincidiendo con el período lluvioso.

Régimen de viento.

En la data obtenida desde 1998 hasta el 2008 la velocidad media del viento, independientemente del rumbo, varió desde 3.5 km/h (valor más bajo), hasta 16.7 km/h (valor promedio más alto) con dirección predominante del este con una velocidad media total de 7.8 km/h. Las velocidades mayores se reportan en los meses de invierno, debido principalmente, a la presencia de frentes fríos y al apretado gradiente barométrico, que genera vientos algo fuertes, principalmente del norte y noreste. La dirección del viento en esta época del año, depende grandemente de la llegada de sistemas frontales, que describen en su mayoría un giro de los vientos contrario a las manecillas del reloj (frentes fríos clásicos), pasando a ser de región Sur (sures) con la proximidad del mismo y girando hacia el noroeste y norte con su llegada.

En general, los rumbos de las rachas máximas anuales son variables de acuerdo a la ocurrencia de fenómenos atmosféricos migratorios como los ciclones tropicales. Mediante modelación de datos, se ha calculado para zona, rachas máximas anuales estimadas (límites inferiores) de 41.5, 38.1, 34.1 y 31.2 m/s para períodos de retorno de 100, 50, 20 y 10 años, respectivamente.

Relieve.

El relieve de la zona en general es llano con cotas que oscilan desde la 30.00 msnm hasta la 15.0 msnm, con varias corrientes superficiales que ocupan la parte más baja del territorio.

Hidrografía.

Características de las aguas superficiales: Según el estudio realizado por la empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (EIPH) de Villa Clara, en el área predominan corrientes intermitentes con poca capacidad de cauce, lo que provoca inundaciones en el período de avenidas.

Precipitaciones máximas. Valores hiperanuales.

Teniendo en cuenta el análisis de las mediciones en el área para el período analizado, se tomó el valor de 300.0 mm como el de las precipitaciones máximas diarias anuales para la probabilidad de ocurrencia del 1.0 % para toda la zona. Las precipitaciones para las probabilidades solicitadas se muestran en la tabla 2.1. Precipitaciones máximas diarias anuales.

Tabla 2.1: Precipitaciones máximas diarias anuales.

Probabilidad %	Precipitaciones máximas diarias anuales (mm)
1	300
2	255
5	195
10	156

Escurrimiento máximo.

En condiciones naturales los caudales máximos de diseño de las corrientes se determinan partiendo de las condiciones naturales de los mismos considerando las variaciones introducidas en la cuenca colectora por las acciones agroeconómicas del hombre y la transformación del escurrimiento máximo con estas variaciones.

Gastos máximos en los cauces.

Debido a las características topográficas de la zona estudiada, donde predomina un relieve llano con cauces poco profundos y estrechos los gastos máximos provocan inundaciones regularmente en el área, por lo que el coeficiente de escurrimiento calculado a partir de las características de los tipos de suelo en las cuencas es de 0.40, aproximadamente.

2.2 Consideraciones de diseño

La importancia de un modelo para el diseño y análisis hidráulico se relaciona con predecir el comportamiento del equipo frente a diferentes condiciones de operación que pueden resultar a consecuencia de: mejorar la uniformidad de distribución de agua en la parcela regada, operar a menor presión a fin de ahorrar energía, ajustar el caudal a los requerimientos del suelo y los cultivos, cambiar emisores y boquillas desgastadas, agregar reguladores de presión a fin de compensar cambios de presión y estabilizar el caudal, evaluar las pérdidas de energía a fin de maximizar la economía en una uniformidad de riego elegida.

En la palabra “emisor” incluimos todos aquellos dispositivos que distribuyen el agua a la superficie regada, tales como aspersores, difusores, etc. Un aspersor es definido como un dispositivo diseñado para distribuir el agua de riego sobre el suelo en forma de lluvia artificial.

En el diseño de un equipo de riego los cálculos hidráulicos se realizan posteriormente al diseño agronómico. Lo agronómico comprende lo relativo a las relaciones suelo, agua, cultivo, clima.

Componentes de la secuencia del diseño hidráulico y su relación con el diseño agronómico y otros datos son presentadas por Saldarriaga para el caso de un sistema de riego localizado.

Suponemos válida esta secuencia de diseño y sus respectivas relaciones y la adaptamos para considerar a los sistemas de riego por aspersión como se muestra en la tabla 2.2. A tal fin se han incluido conceptos de importancia para un sistema de aspersión.

Tabla 2.2: Diagrama de secuencia del diseño hidráulico.

Datos del Diseño Agronómico	Datos del Diseño Hidráulico	Datos Estructurales, Físicos y Leyes de Comportamiento
Coeficiente de Uniformidad (C_{uc}) Uniformidad de Distribución Eficiencia de Aplicación (E_A) Uniformidad de emisión Caudal medio del emisor	Tolerancia de Caudales	Variaciones de fabricación del emisor Estabilidad en el tiempo de la relación caudal-presión
	Tolerancia de presiones	Ecuación del emisor (Q-h)
Estimación de las necesidades de agua de los cultivos. Área a irrigar. Parámetros de Riego: Lámina de riego Tiempo de operación - Frecuencia Caudal - Número de emisores	Distribución de la red Caudal total Caudal en bajantes	Topografía del terreno Velocidad de desplazamiento
Espaciamiento entre Emisores	Diámetros y Distribución de Presiones. Cabezal	Longitud del ala de riego Punto de suministro de agua Leyes físicas Ecuaciones de diseño de tuberías Conexiones - Accesorios

Con el objeto de aplicar el agua suficiente y de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo, se realizará el trazado y dimensionamiento óptimo. De igual manera se buscará que la aplicación del agua sea suficientemente uniforme y de esta manera obtener buenas producciones con el menor gasto de agua.

2.3 Principales criterios para diseñar un sistema de riego

Un sistema de riego debe cumplir con los objetivos de productividad que se logra a través de la optimización de la inversión y los gastos de funcionamiento. Para lograr este objetivo consideraremos los parámetros ambientales y de decisión que constan en figura 2.1.

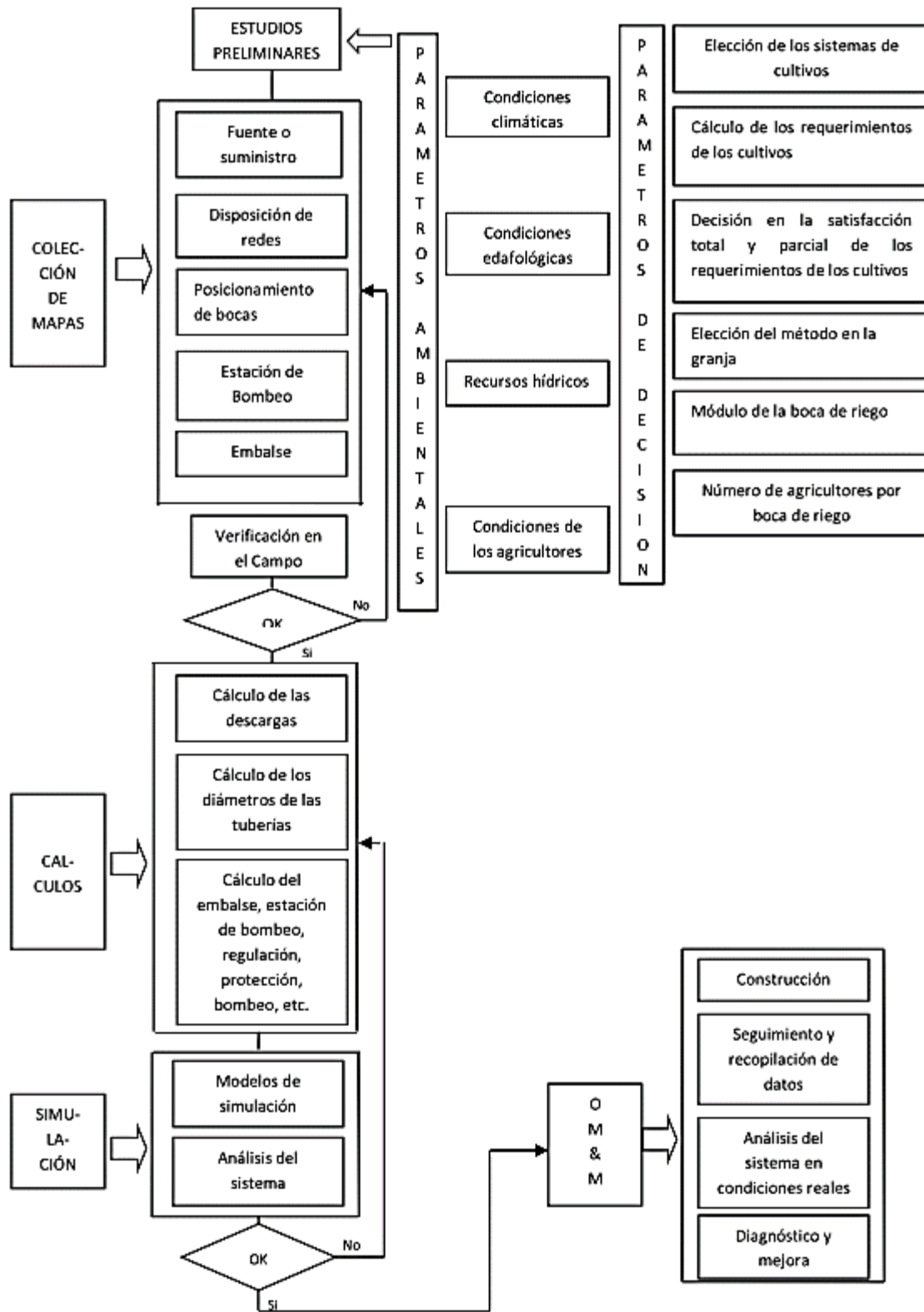


Figura 2.1: Principales etapas de un proyecto de riego

Para el diseño de una red de riego a presión es indispensable contar con la topografía de la red, así como también del catastro en donde conste el número de parcelas, área y el nombre de los usuarios regantes que serán necesarios para la asignación del número y ubicación de la boca de riego.

Se considerará preliminarmente la ubicación de la captación o sistema de bombeo si es necesario, ubicación del embalse, equipo de protección y regulación que va de la mano de la definición del diseño de la red. Seguidamente realizaremos los cálculos de las demandas, determinación de caudales por línea, para finalmente decidir el dimensionado de la tubería.

2.3.1 Datos del diseño agronómico

De acuerdo a Carrión et. al., en la tarea de describir el comportamiento del riego a nivel de parcela se utilizan habitualmente los términos de eficiencia y uniformidad. La uniformidad brinda una idea de la homogeneidad con la que se ha repartido el agua por la parcela, mientras que la eficiencia se entiende como el porcentaje del total de agua que es aplicada y aprovechada para satisfacer las necesidades del cultivo y las de lavado, ya que el resto se pierde por evaporación, escorrentía y percolación profunda. La uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego e interviene en su diseño, tanto en el agronómico como en el hidráulico. Niveles altos de uniformidad tendrán incidencia notable en la eficiencia de riego, lo que repercutirá en los rendimientos de manera significativa. El coeficiente de uniformidad se ve afectado por diversos factores: constructivos, hidráulicos, envejecimiento, obturaciones, diferencias de temperaturas. El coeficiente de uniformidad para una máquina de irrigación de movimiento lateral o frontal se calcula mediante la fórmula de Christiansen:

$$C_{uc} = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - \bar{V}|}{\sum_{i=1}^n V_i} \right] \quad (2.1)$$

Donde C_{uc} es el coeficiente de uniformidad de Christiansen, n es el número de colectores utilizados en el análisis de datos, V_i es el volumen (o alternativamente la masa o la profundidad) de agua recolectada en el contenedor i -ésimo, y \bar{V} es el promedio aritmético del volumen (masa o profundidad) de la captura de todos los colectores utilizados en el análisis, el cual es calculado como:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (2.2)$$

El coeficiente de uniformidad es un indicativo del desempeño del conjunto de emisores en las condiciones de campo, ambiente y presión. Para equipos de riego por aspersión de avance frontal o movimiento lateral, es recomendado un valor de 90-95% para el coeficiente de uniformidad de Christiansen. Como resultado de la no perfecta distribución del agua sobre toda el área regada y de las pérdidas producidas, sólo un porcentaje del total de agua suministrada para el riego queda a disposición de las plantas. Se han podido deducir diferentes rendimientos o eficiencias de riego, pero resulta útil usar el rendimiento de aplicación el cual representa el cociente entre el agua recibida por el suelo y el total del agua empleada en el riego. La eficiencia de aplicación E_a da cuenta del almacenamiento real de agua en la zona de la raíz para satisfacer las necesidades de agua del cultivo en relación al agua aplicada al campo. Es definida como:

$$E_a = 100 \frac{V_s}{V_f} \quad (2.3)$$

Donde V_s es la irrigación que necesita el cultivo (m^3), y V_f es el agua entregada al campo (m^3). Para un riego por aspersión la eficiencia o rendimiento de aplicación puede variar entre el 75% y el 80%. Un valor típico de E_a para los sistemas de avance lateral es del 80%. Mediante el cálculo del balance diario del agua en el suelo, en la zona de las raíces, pueden ser planificadas las láminas a aplicar y sus frecuencias. En resumen, los requerimientos de irrigación en relación al cultivo, suelo y clima, se constituyen en datos necesarios para el diseño hidráulico. Estos datos, entre otros, son la eficiencia de aplicación, el coeficiente de uniformidad, el caudal medio del emisor, el espaciamiento entre emisores, lámina de riego, tiempo y frecuencia.

2.3.2 Hidráulica de los emisores

Un emisor representa un punto de demanda y está siempre asociado a un nodo. El diseño hidráulico de un emisor se relaciona al modo de circulación del agua (régimen) dentro del mismo, el cual es caracterizado por el número de Reynolds. La relación caudal –presión en los emisores para riego, se representa en forma genérica por la función:

$$Q_e = K h_e^x \quad (2.4)$$

Donde

Q_e caudal del emisor en l/h

K coeficiente de descarga

X : exponente característico del régimen de flujo del emisor

e_h altura de presión hidráulica a la entrada del emisor en m

Las presiones de operación de los emisores son específicas para cada tipo de ellos. Los valores de K y x son característicos de cada tipo de emisor, los proporciona el fabricante o bien se obtienen a partir de la curva experimental $Q - h$ utilizando dos pares de valores de la misma, de lo cual resulta:

$$x = \frac{\ln(q_1|q_2)}{\ln(h_1|h_2)} \quad K = \frac{q_1}{h_1^x} \quad (2.5)$$

Un exponente de descarga de 0.5 representa típicamente un flujo turbulento. Además de la relación $Q-h$ interesa conocer el entorno de funcionamiento dentro del cual se cumple la ecuación del emisor. Los fabricantes suelen indicar un caudal nominal, que es el punto que define al emisor. La elección del emisor comprende la determinación de la presión nominal de trabajo y de la pluviometría media. Los fabricantes deben brindar, para cada tipo de emisor y para todas las presiones de trabajo, los valores de la pluviometría y de los coeficientes de uniformidad de distribución que corresponden a los diferentes marcos de uso. Las características del emisor y su comportamiento físico determinarán el éxito en la uniformidad de aplicación del agua. Cada emisor se caracteriza básicamente por la presión de funcionamiento o por la altura de presión necesaria para proporcionar la mejor distribución de agua, por el caudal correspondiente a una presión dada, y por el diámetro del círculo mojado correspondiente a cada par (h, Q) .

2.3.3 Tolerancia de caudales y presión

El cálculo hidráulico en un sistema presurizado de riego por aspersión es de importancia fundamental, ya que las diferencias de caudal que existan en los emisores se transmitirán a las intensidades de aplicación del agua (mm/h) sobre la superficie del suelo, con la correspondiente repercusión sobre la eficiencia de uniformidad del riego. Las diferencias de

caudal entre los emisores se deben, principalmente, a tres causas. En primer lugar, existen variaciones en la fabricación para un determinado tipo de emisor, lo que conduce a que para una misma presión, el caudal de unas unidades sea distinto al de otras. Esto se tiene en cuenta, a efectos del diseño de las instalaciones, mediante un coeficiente de variación, que se define, para una determinada presión, como la relación entre la desviación típica y el valor medio del caudal. En segundo lugar las obturaciones de los emisores en el campo, que pueden deberse a muy diferentes causas y al envejecimiento de los mismos. Finalmente la existencia de pérdidas de carga, como consecuencia del flujo de agua en las conducciones, da lugar a variaciones de presión debido a las cuales se producen cambios de caudal.

En general, la uniformidad del riego exigida por el diseño agronómico se logra admitiendo una determinada variación de caudal en los emisores. Una norma de diseño frecuentemente admitida, es la que consiste en dimensionar las tuberías de una unidad de riego para que, en el conjunto de ellas funcionando simultáneamente, la variación del caudal en los emisores sea igual o inferior a un 10% del caudal nominal. Una vez establecida esta tolerancia, mediante la ecuación del emisor se determina el rango admisible de presiones, esto es, la tolerancia de presiones. La pérdida de carga permitida para producir la variación de caudal admisible, dependerá del tipo de emisor y de su régimen de flujo. Para una tolerancia en el caudal de un 10%, en régimen laminar (emisor con exponente $x = 1$) la pérdida de carga máxima será del orden del 10%, y en emisores de flujo turbulento (emisor con exponente $x = 0.5$) la pérdida de carga máxima puede llegar al 20% de la presión de trabajo.

2.3.4 Criterios de diseño hidráulico.

En el diseño hidráulico del equipo de riego se consideran datos estructurales, datos físicos y leyes de comportamiento. Por ejemplo: el tipo de conexión del sistema de tuberías, accesorios, tipo de emisor, ecuación de operación del emisor, tolerancia de caudales, tolerancia de presiones, velocidades recomendadas del flujo, caudal total. Los cálculos hidráulicos consisten en determinar los caudales de los bajantes dentro de una tolerancia preestablecida, los caudales de la tubería principal y el régimen de presiones. Los resultados del diseño deben presentar las características hidráulicas de lo siguiente: tubería de conducción (longitud, diámetro interno, caudal, pérdida de carga); bajantes (número de

salidas, diámetro interno, presión requerida en la conexión en la tubería principal); emisor (presión y caudal de trabajo); accesorios, válvulas de seccionamiento; componentes del cabezal de riego; presión (carga dinámica) y caudal de proyecto.

El flujo teórico que ingresa a la tubería principal es un dato obtenido a partir del diseño agronómico. Básicamente, la descarga total requerida para el sistema en una aplicación de riego en particular es:

$$Q_T = \frac{10A \times d}{T} \quad (2.6)$$

Donde Q_T = caudal total teórico en m^3/h , A = superficie a regar en ha; T = tiempo de operación para la irrigación en h; d = lámina de agua a aplicar, en mm.

El caudal teórico por emisor $Q_{e \text{ teor}}$ puede ser obtenido considerando que en los laterales de movimiento lineal el espaciamiento entre emisores es constante y éstos deben tener las mismas características a lo largo de toda la tubería para que la pluviometría sea constante. Entonces, siendo N el número de emisores, resulta:

$$Q_{e \text{ teor}} = \frac{Q_T}{N} \quad (2.7)$$

A los fines del diseño hidráulico y de acuerdo a lo expuesto previamente, se adoptan como criterios los siguientes:

$$\Delta Q \leq 0.1 Q_{e \text{ nominal}} \quad \Delta p \leq 0.2 p_{e \text{ nominal}} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

El sistema de tuberías se diseña de manera que en su funcionamiento los caudales erogados por los diferentes emisores no deben variar en más de un 10% del caudal nominal. En consecuencia, para emisores con flujo turbulento ($x = 0.5$) la tolerancia a cambios en la presión es del orden del 20%. Para el dimensionado inicial de las tuberías, un criterio general es considerar las velocidades máximas permisibles recomendadas para el diseño hidráulico. De acuerdo a norma, se debe diseñar con velocidades de agua en la tubería, superiores a 1,0 m/s y menores a 2m/s para diámetros internos de 0,1 m a 0,2.

2.4 Sistemas de riego colectivo

Es el sistema formado por elementos que permiten la captación, almacenamiento y regulación, tratamiento y transporte del agua desde su origen hasta cada una de las tomas en

parcela, llegando en las debidas condiciones de presión y caudal de tal manera que garantice el correcto funcionamiento del riego en parcela.

Montiel realiza una caracterización de este tipo de redes, y destaca las ventajas de realizar las labores de regadío a través de estos sistemas de distribución a presión:

- Permiten obtener longitudes menores ya que no dependen del trazado a la parcela.
- Proporcionan mayor facilidad y flexibilidad en el trazado de la red, puesto que es independiente de la topografía del sector.
- Reducen las pérdidas de agua en las conducciones ya sea por filtración, evaporación, fugas por estructuras y operación.
- Permiten realizar las labores de riego en forma sencilla.
- Mayor eficiencia en la aplicación del agua.
- Control del volumen de agua suministrado.

Elementos de un sistema de riego colectivo.

En resumen podemos encontrar los siguientes elementos dentro de una red colectiva de riego.

- Obra de captación.- Que puede ser de agua superficial o subterránea.
- Sistema de bombeo.- Cuando es necesario emplear este dispositivo para impulsar el agua a presión.
- Obras de regulación y/o almacenamiento.- Depósito, calderín, torre de carga, balsa que funcionan con caudal variable y las bombas que proporcionarán un caudal constante.
- Red de distribución. Está formada por las redes que transportan el agua hasta los hidrantes, estación de filtración, estación de fertirrigación.
- Tomas de riego o hidrantes. Llamados también bornas o bocas de riego, constituyen el punto final de la red colectiva, e inicial de la red privada en finca; se instalan enterradas y se abastecen directamente de la red de distribución; pueden ser individuales o colectivas según se coloquen en una o varias parcelas respectivamente, deben ser ubicadas dentro de una estructura de protección. (Fuertes et al. 2002).

- Elementos de control, de regulación, protección y maniobra (válvulas, ventosas, reguladores de presión, dispositivos anti ariete).
- Sistema de riego en parcela.

2.5 Diseño y dimensionamiento de la red

Para realizar el diseño y dimensionado de la red se desarrolla el siguiente proceso.

- Ubicación de los hidrantes.
- Trazado de la red.
- Determinación de caudales circulantes por las líneas de toda la red.
- Determinación de diámetros de tuberías.

Ubicación y descarga de hidrantes

Los hidrantes se colocan en forma usual al pie de una parcela o para suministrar agua a varias parcelas, con el objeto de realizar funciones de corte de suministro, regulación de presión, limitadores de caudal o medición.

El caudal de descarga de cada toma de agua será función del tamaño del área de riego del terreno y del requerimiento de agua; y por lo general es siempre mayor que el caudal continuo para facilitar al agricultor un cierto grado de libertad en el manejo del regadío.

La relación entre el caudal atribuido a cada hidrante y el caudal continuo es una medida del "grado de libertad" que un agricultor posee, para realizar la gestión de riego. El caudal máximo en los hidrantes puede ser ajustado por los reguladores de caudal, pero es usual adoptar un rango estándar de caudales, los cuales varían de un país a otro.

Las parcelas familiares con mano de obra limitada, bajas demandas de agua, parcelas pequeñas o dispersas, bajo nivel de inversión en equipo de riego, tienen un alto grado de libertad. La colocación de un elevado número de hidrantes de riego eleva el costo de instalación no obstante permite una mejor operación, se debe colocar no menos de una boca de riego con un caudal de 5 l/s para un área de 2'5 ha con lo cual se facilitará el trabajo. En cuanto a la ubicación de estos elementos se los colocará en los límites de las parcelas cuando se trata de pequeñas parcelas, y en el centro en el caso de grandes áreas.

El diseñador deberá definir “calidad de operación” de acuerdo al nivel de garantía que se quiera otorgar a la red, se adopta por lo general:

$P_q = 95\%$ para $R > 50$, $P_q = 99\%$ para

$10 < R \leq 50$ y $P_q = 100\%$ cuando se trata de que todos los hidrantes se encuentren abiertos para $R \leq 10$ (Lamaddalena y Sagardoy, 2000).

Trazado de la red

En diversa literatura como se pueden encontrar diversas técnicas de trazado de redes arborescentes que articulan una serie de nodos, (en esta ocasión de hidrantes) mediante criterios de mínima longitud, ángulos de bifurcación adecuados, incluso procedimientos conjuntos de optimización del trazado y diámetros; los cuales constituyen en su mayor parte ejercicios teóricos debido a las limitaciones, hipótesis y restricciones empleadas en los propios métodos. Un trazado de menor longitud no siempre supone el menor coste, es necesario considerar los diámetros necesarios.

Es conveniente realizar el trazado, por los lugares donde es posible el acceso de maquinaria, acopio, y almacenamiento de materiales, disponibilidad para reparaciones y mantenimiento; esto es a lo largo de caminos y vías públicas, buscando la afección mínima a la parcela.

Es conveniente considerar una serie de criterios generales en la obtención de bifurcaciones y cambios de dirección:

- Las bifurcaciones se realizarán con ángulos menores de 90° (y si es posible, menores de 45°) respecto a la dirección de alimentación, para evitar pérdidas de carga, vibraciones, erosiones.
- Prever radios de curvatura amplios en los cambios de dirección del trazado, acordes con el material y diámetro empleado, de manera que si es posible, se puedan encajar mediante dos alineamientos admisibles de las juntas de los tramos de tubería (las conducciones de PE en este sentido permiten gran flexibilidad), evitando cuando sea posible piezas especiales como codos.

- Cuando se utilicen piezas especiales para cambios de dirección, se las dotará del mayor radio de curvatura evitando cambios abruptos de dirección por unión en ángulo vivo de tramos de tuberías.

Determinación de caudales circulantes por las líneas de toda la red

Para determinar las descargas en las líneas que conforman la red se puede adoptar dos procedimientos: a la demanda y por turnos

A la demanda

Declaran que el disponer de agua a la demanda facilita a los usuarios las labores agrícolas del sistema de riego dando mayor flexibilidad. El riego funcionando a la demanda es muy generalizado en sistemas presurizados, para lo cual es necesario, una serie de condiciones previas que garantizan esta función:

- Tarifa de agua adecuada, basada en el volumen efectivamente usado por los agricultores, de preferencia con las tasas de aumento de los volúmenes de agua.
- Los dispositivos de entrega (hidrantes) tienen que estar equipados con un medidor de flujo como limitador, control de presión y válvula de compuerta.
- El diseño tiene que ser adecuado para el transporte de la alta demanda durante el período pico para garantizar la presión mínima en las bocas de riego y de esta manera llevar a cabo el riego en las explotaciones agrícolas de una manera adecuada.

El criterio prioritario de desempeño debe ser el de funcionar satisfactoriamente en una amplia gama de escenarios de demanda posible, en donde los modelos de análisis pueden ayudar a los gerentes a entender por qué y dónde se producen los fallos; con lo cual la rehabilitación y modernización de los sistemas se realizará de manera adecuada. Debido a la implementación a gran escala de los sistemas de riego a la demanda, en los años 1960 en Francia se promovió el desarrollo de modelos estadísticos para calcular los flujos de diseño.

2.6 Redes de conducción y distribución

Las tuberías que se utilizan en las instalaciones de riego presurizado son fundamentalmente de poli cloruro de vinilo PVC y de polietileno PE y últimamente, polipropileno y poli

butileno. En grandes instalaciones se recurre al fibrocemento para la red principal y en ocasiones para tramos muy cortos, se utiliza el hierro galvanizado, aunque éste debe evitarse siempre que sea posible por su fácil corrosión.

De estos materiales, el fibrocemento es el más económico para grandes diámetros de tubería, particularmente diámetros mayores a 150 - 200 mm, debido a que es un material más pesado, sin embargo la conexión de los distintos tramos resulta más laboriosa que cuando se trabaja con PVC y PE.



Figura 2.2: Catálogo de división agrícola (<http://sitio.plastigama.com>)

El PVC es rígido y más barato que el polietileno para diámetros de 50 mm y superiores; por último el PE es flexible y resulta ser el material más económico para diámetros inferiores a 50 mm, por lo que se utiliza siempre en la red terciaria y ramales de riego.

En definitiva, el conjunto de tuberías deben ser capaces de conducir el agua con la mayor eficiencia posible desde la fuente de abastecimiento hasta los nudos de demanda, de aquí se clasifican en.

Tabla 2.3: Descripción de tipos de líneas en una sistema de riego

Elemento	Descripción
Matriz o línea principal	Tubería de mayor diámetro en la red, su función es conducir el agua hasta la derivación de los diferentes sectores, generalmente van instaladas bajo tierra.
Submatrices o líneas secundarias	Tuberías de menor diámetro que la matriz o línea principal y son las encargadas de llevar el agua desde ésta al sector correspondiente.
Terciarlas o múltiples	Distribuyen el agua hacia las líneas con emisores. Son generalmente de PVC y de diámetro más pequeño que las submatrices, generalmente también van instaladas bajo tierra.

2.7 Procedimiento de cálculo

El modelo matemático de cálculo responde al modelo físico simplificado de la figura 2.3. La pérdida de altura causada por fricción a través de la tubería principal o múltiple se determina por un método de análisis paso a paso computando la pérdida de altura en todos los tramos corriente arriba, comenzando el análisis desde el emisor más alejado de la bomba hidráulica.

El siguiente método es una forma simplificada que se utiliza en la hidráulica clásica como problema de los tres tanques, a diferencia que en vez de tanque tendremos nodos con condiciones particulares.

En la Figura 2.3 se muestran tres nodos ubicados a diferentes niveles y que están comunicados entre sí por un sistema de tuberías que concurren en un punto P. Los nodos 1 y 2 representan las máquinas de riego que están definidas por una carga de trabajo dadas por el fabricante.

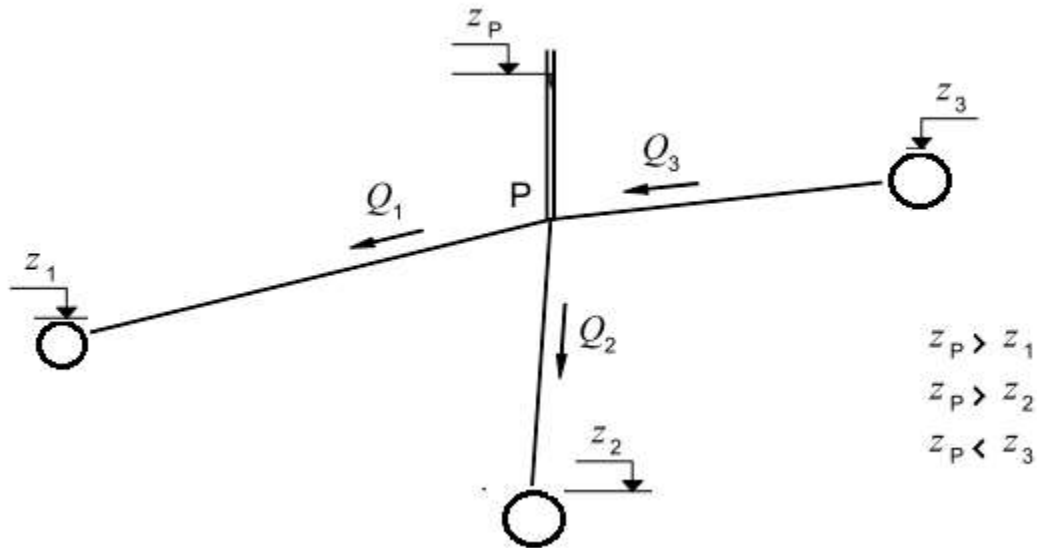


Figura 2.3: Esquema para el cálculo de cargas.

Los valores de z corresponden a las cotas piezométricas. Usualmente los datos son: diámetros, longitudes y rugosidades de cada ramal y cotas piezométricas (elevaciones de la superficie libre) de cada nodo.

Se busca el gasto en cada ramal y la cota piezométrica del punto P. Para determinados problemas pueden presentarse combinaciones entre los datos e incógnitas mencionados. El sentido del escurrimiento en cada tubería dependerá de la diferencia entre la carga entre los nudos y sus cotas respectivamente.

Evidentemente que la cota piezométrica del punto P no puede ser superior a la del nodos 3, pues en este caso el punto P debería comportarse como un punto alimentador del sistema. Tampoco puede ser que el punto P tenga una cota inferior a la de los nodos 1 y 2, pues entonces todo el caudal concurriría allí lo que implicaría que P fuese un punto de desagüe. En este caso particular la ecuación de continuidad es:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (2.9)$$

Esto significa que nodo 3 es alimentador. Podrían hacerse dibujos análogos para otras combinaciones de cotas piezométricas. Debe verificarse siempre la ecuación de continuidad en el punto P: la suma de los gastos en el nudo, con su propio signo, es cero.

Para resolver dicho problema se procede, conociendo los diámetros, longitudes y rugosidades de cada tubería, así como las cotas piezométricas de cada estanque, se sugiere el método siguiente:

1. Suponer un valor para la cota piezométrica del punto P.
2. Calcular, por simple diferencia, las energías disponibles en cada tramo. Corresponden a las pérdidas de cada h_{f1} , h_{f2} y h_{f3} .

Determinar luego el sentido del flujo en cada ramal y plantear tentativamente la ecuación de continuidad.

3. Calcular el gasto en cada tubería por medio de la ecuación 2.10

$$Q = 3.477 \sqrt{\frac{D^5}{fL}} h_f^{\frac{1}{2}} \quad (2.10)$$

Esta ecuación toma para cada tubería la forma

$$Q = K h_f^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

Si en lugar de la ecuación de Darcy se quiere usar otra ecuación, como, por ejemplo, la de Hazen y Williams que estudiaremos más adelante, entonces la ecuación genérica es de la forma

$$Q = K h_f^x \quad (2.12)$$

determinándose los valores de K y de x para la ecuación particular que se está empleando. Calculado el valor de K es fácil hacer sucesivos reemplazos y tanteos.

4. Verificar la ecuación de continuidad en el nudo.

Si la ecuación no quedara verificada, lo que es lo más probable, hay que hacer nuevos tanteos, reiniciando el cálculo a partir del punto 1. A fin de no aumentar el número de tanteos conviene auxiliarse con un gráfico un solver matemático.

Otro método o procedimiento que también responde a un balance pero en esta ocasión no referimos al caudal, se trata de un balance de caudales.

Se supone que el caudal Q_1 que pasa por este emisor es igual al mínimo admisible dado por la tolerancia de caudales:

$$Q_1 = \frac{Q_{e\text{ teor}}}{100} \cdot \left[100 - \frac{\%Tot}{2} \right] \quad (2.13)$$

Con la ecuación del emisor (4) se determina la altura de presión correspondiente a la entrada del emisor:

$$h_1 = \left(\frac{Q_1}{K} \right)^{1/x} \quad (2.14a)$$

Siendo

$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma} \quad (2.14b)$$

Donde h_1 es la altura de presión en m, p_1 es la presión estática en la entrada del emisor en kPa, γ es el peso específico del agua en kN/m^3 , K es el coeficiente de descarga del emisor.

Establecido según el caudal Q del emisor más alejado, queda definido el caudal que debe transportar el bajante correspondiente. Adoptando un valor recomendado de velocidad para la circulación del agua, se determina su diámetro D por la ecuación de la continuidad, seleccionándose el diámetro comercial superior más próximo.

Aplicando la ecuación de conservación de la energía entre la entrada al emisor en el nivel Z_1 y el nodo de conexión a la tubería principal del correspondiente bajante, (nodo 2), en el nivel Z_2 , se obtiene la altura de presión h_2 necesaria en este nodo:

$$h_2 + \alpha_2 \frac{\bar{v}_2^2}{2g} + z_2 = h_1 + \alpha_1 \frac{\bar{v}_1^2}{2g} + z_1 + h_f + h_{fm} \quad (2.15)$$

Donde V_1 y V_2 son velocidades promedio en las secciones 1 y 2, α_1 y α_2 son los factores de corrección de energía cinética, que para el caso de flujo turbulento totalmente desarrollado su valor es aproximadamente 1.05, h_f es la pérdida de carga mayor y h_{fm} es la pérdida de carga menor. Siendo el bajante un tramo de área constante con flujo completamente desarrollado, la altura de presión h_2 resulta:

$$h_2 = h_1 - (z_2 - z_1) + h_f + h_{fm} \quad (2.16)$$

Las pérdidas de carga mayores y menores se calculan según de acuerdo con la ecuación de Darcy – Weisbach, donde V es velocidad media, L es la longitud y D el diámetro del tramo en el cual se evalúa la pérdida, f un factor de fricción, k coeficiente de pérdidas menores y L_e es una longitud equivalente.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}_1^2}{2g} \quad (2.18)$$

$$h_{fm} = \left(K + f \frac{L_e}{D} \right) \frac{\bar{v}_1^2}{2g} \quad (2.19)$$

Se aprecia que las pérdidas se incrementan con la velocidad y disminuyen con el aumento del diámetro. El diámetro permanece constante a lo largo de la tubería principal, pero el caudal aumenta progresivamente cuando recorremos el sistema corriente arriba y por ende la velocidad también aumenta. Para el cálculo de las pérdidas de carga es necesario conocer el régimen hidráulico que viene caracterizado por el número de Reynolds. Para flujo turbulento, ($Re \geq 4000$) el factor de fricción f puede ser estimado por la ecuación (2.19) de Colebrook – White, donde ε es la rugosidad absoluta del material y ε/D la rugosidad relativa:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2.20)$$

De esta manera, como se conoce el caudal circulante en el tramo final de la tubería principal comprendido entre los nodos 2 y 3, la misma secuencia de cálculo nos permite obtener el valor de la altura de presión h_3 en el nodo 3 de conexión del segundo bajante. Como el caudal erogado por cada uno de los emisores subsiguientes al primero constituye una incógnita, se lo determina en forma iterativa. Se supone, como primera aproximación, que por cada uno de ellos pasa un caudal igual al del emisor anterior. Se deduce que el mismo será de igual o mayor magnitud, puesto que al realizar el recorrido corriente arriba las presiones van en aumento. Con el valor de Q_m , de la ecuación (2.21) se obtiene la altura de presión en la entrada del emisor:

$$h_{2m} = \left(\frac{Q_m}{K} \right)^{1/x} \quad (2.21)$$

Luego, aplicando la ecuación de la energía se obtiene la altura de presión, $h_{(2m-1)}$, en el nodo $2m - 1$:

$$h_{(2m-1)} = h_{2m} - (z_{2m-1} - z_{2m}) + h_f + h_{fm} \quad (2.22)$$

La comparación del resultado de (2.16) con la altura de presión obtenida en ese mismo nodo cuando se avanzó corriente arriba desde el punto de conexión del bajante

inmediatamente anterior, nos permite determinar si el caudal supuesto fue correcto. Si la diferencia de alturas de presión es menor que un valor δ admisible lo consideramos correcto, caso contrario se varía el caudal supuesto en (2.13) y se repite el proceso. De esta manera, avanzando corriente arriba en el sistema de tuberías y procediendo de la misma manera, se obtiene el caudal y la altura de presión en la entrada de cada uno de los emisores. Estos resultados nos permiten determinar la tolerancia de caudales y de presiones resultantes del cálculo.

$$\%Tol Q = \frac{Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\acute{i}n}}{Q_{Teor}} \times 100 \quad (2.23)$$

$$\%Tol h = \frac{h_{2m(m\acute{a}x)} - h_{2m(m\acute{i}n)}}{h_{Teor}} \times 100 \quad (2.24)$$

Si estas tolerancias están dentro de los valores asumidos como criterio de diseño, se concluye que los emisores funcionarán uniformemente sin variaciones considerables de caudal. Si no lo están, el diseño no fue adecuado y existe la necesidad de realizar un redimensionado proponiendo cambios en el mismo.

Finalmente se determina la altura manométrica total necesaria, a fin de establecer la potencia hidráulica necesaria a la salida de la bomba que alimentará el cabezal de riego.

2.7.1 Aspectos de la validación del modelo

Entendemos por validación al proceso por el cual determinamos el cumplimiento de los requisitos especificados, mediante el examen y aporte de evidencia objetiva. En este sentido la validación del modelo se cumplirá con pruebas hidráulicas que se puedan realizar sobre un prototipo o bien sobre un equipo ya construido cuyo funcionamiento pueda ser simulado, para de esta manera contrastar los resultados predichos por la simulación con los experimentales. En la etapa de validación así como en la de evaluación y control del equipo desde el punto de vista hidráulico, el coeficiente de uniformidad de Christiansen cumple un rol fundamental como un indicador del comportamiento del conjunto de los emisores, con respecto al campo, al entorno ambiental, a las condiciones de presión y a las variaciones de presión que prevalecen durante la prueba. También, el coeficiente de uniformidad de un nuevo conjunto de emisores puede ser utilizado para la comparación de diferentes conjuntos, y como una referencia para máquinas de riego similares que han sido utilizadas

por un período de tiempo. Si el coeficiente de uniformidad para una máquina instalada se desvía sustancialmente del valor especificado en el diseño inicial, esto indica que se deben realizar investigaciones para determinar las causas. Por ejemplo, un coeficiente de uniformidad con un valor menor que el de diseño podría indicar desgastes, roturas o mal funcionamiento de los dispositivos de aplicación del agua. Si bien el coeficiente de uniformidad C_{uc} es una herramienta valuable tanto en el diseño como en la evaluación del conjunto de emisores, debe destacarse que es un valor promedio de medición, el cual no indica cuán mala podría ser la irrigación en un sector particular de la parcela, y además, al considerar un valor absoluto, toma con la misma importancia tanto una deficiencia de riego como un exceso de riego sobre el valor medio. Un método el cual enfatiza las áreas de bajo riego y observa en las regiones críticas es la "uniformidad de distribución".

Conclusiones parciales

- Se definen aspectos de la zona de estudio haciendo una caracterización climatológica y de suelo que intervienen en el diseño de sistemas de riego.
- Los criterios de diseño muestran una serie de parámetros agronómicos e hidráulicos que facilitan la concepción de sistemas de riego. La metodología revisada se aplica al caso de estudio haciendo énfasis en el diseño hidráulico.
- Los procedimientos de optimización aplicados al diseño se clasifican como métodos híbridos e incluyen un modelo adecuado para su posterior análisis.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el siguiente análisis se hace necesario establecer los dos puntos de comparación. Primero queda definido que en la actualidad se encuentra en explotación sistemas con aguas subterráneas, o se extracción mediante pozos. Luego los resultados expuestos son sobre la base del aprovechamiento de las aguas del canal Zaza – Ciego que se obtiene mediante un embalse regulador. Dichas situaciones provocan diferencias en cuanto a consumo de energía y costos de operación dando a destacar la mejor de las alternativas de abastecimiento de agua.

3.1 Análisis de comportamiento en los pozos.

Debido a las características de los suelos y la disponibilidad de aguas subterráneas se analiza la eficiencia del comportamiento de las instalaciones que comprende a los pozos como fuente de abasto. Este sistema actualmente se practica en la zona de estudio aún en pequeña escala. La problemática fundamenta es realizar un estudio técnico energético y de factibilidad que justifique la aplicación de dicho sistema. Contando con los datos técnicos de la instalación se observa que existen tres tipos de bombas en explotación tal como se muestra en la tabla 3.1

Tabla 3.1: Características de las bombas disponibles

Bomba vertical 46 l/s @ 84 m.c.a
Bomba vertical P10C/6/35/9B a 1,740 r.p.m.
Motor vertical B5 4P 75CV 460V/3F/50-60Hz. (Weg)
(Con resistencia de caldeo a 220V.)
Bomba vertical 62 l/s @ 86 m.c.a
Bomba vertical P12C/7/40/6D a 1,740 r.p.m
Motor vertical B5 4P 100CV 460V/3F/50-60Hz. (Weg)
(Con resistencia de caldeo a 220V.)
Bomba vertical 42 l/s @ 82 m.c.a
Bomba vertical P10C/6/30/9C a 1,740 r.p.m.
Motor vertical B5 4P 60CV 460V/3F/50-60Hz. (Weg)
(Con resistencia de caldeo a 220V.)

Además se considera que las máquinas de riego trabajan a una carga de 45 m.c.a según datos del fabricante obtenidas en su ficha técnica. Teniendo en cuenta éstas características se dispone a observar el comportamiento de la operación de riego. Es importante esclarecer que en este trabajo se cuenta con el estudio agronómico realizado, dando como resultado una serie de caudales requeridos para cada sector que corresponde al cultivo de soya previamente definido. El resultado de este análisis se muestra en la tabla 3.2 observando una diferencia significativa de potencia en el pozo ubicado en el nodo 26. Esto conlleva a la selección de bombas que se ajusten más a las condiciones de trabajo pero esto encarecería más el proceso. El término más importante es la carga de succión que visto así sería la diferencia entre la carga de trabajo y la carga requerida por la máquina. Estos valores oscilan entre 35 m y más de 40 m de altura de succión. Para realizar las operaciones de bombeo se requiere de una potencia considerable que se traduce en una elevación de los costos.

Tabla 3.2. Condiciones de operación en los pozos

Ubicación de los Pozos x (Nodos)*	Caudal requerido (l/s)	Caudal de Operación (l/s)	Carga de Operación (m)	Potencia de Trabajo (kW)
4	22	42	82	33,8
15	16	42	82	33,8
17	22	42	82	33,8
19	22	42	82	33,8
21	42	42	82	33,8
22	42	42	82	33,8
23	62	62	86	52,3
Total:				254,8

* La ubicación de los pozos corresponde al nodo que pertenece.

Luego teniendo todos estos parámetros se puede establecer una relación entre el consumo y el área de riego estableciendo indicadores que describen la aplicación realizada. Este análisis se basa fundamentalmente para condiciones máximas de explotación donde considera que existe una temporada constante a lo largo de todo el año, esta suposición conlleva a error para analizar en estudios posteriores.

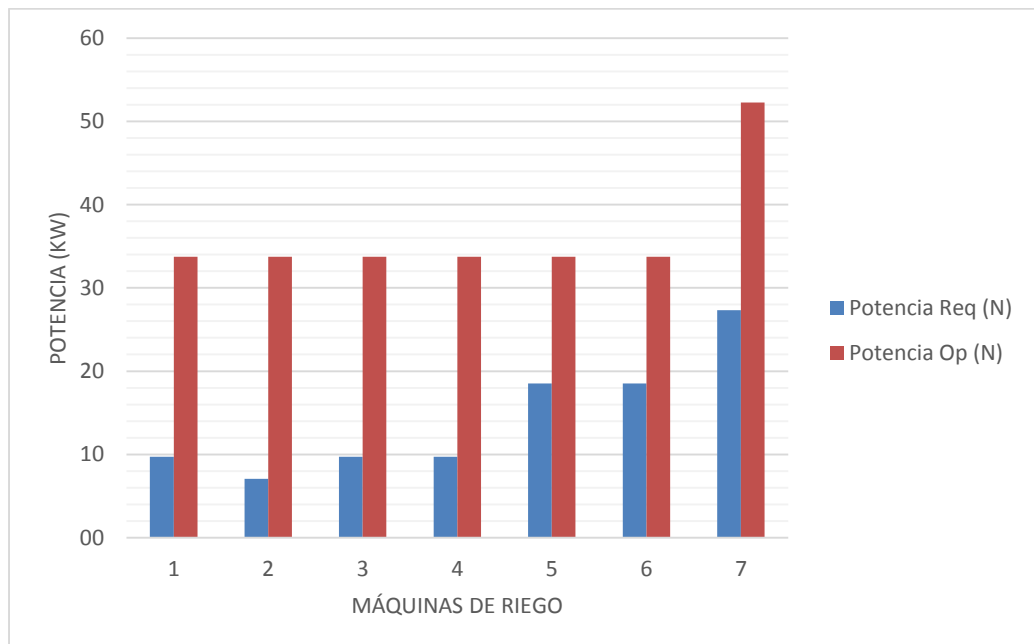


Figura 3.1. Relación entre la potencia requerida y de operación.

El primer indicador mostrado relaciona la potencia a instalar por hectárea de riego bajo las condiciones de operación antes mencionadas. Éste tiene un valor de (1,47 kW/ha) dando a entender que se necesita un total de 255 kW de potencia para una área total de riego de 173,8 ha. Dicha relación se considera alta para áreas de riego extensas debido a la disposición de la energía a consumir. Una vez conocido este parámetro se puede establecer aproximadamente el costo de la inversión para las condiciones requeridas.

El comportamiento de otro indicador interesante es el que se muestra a continuación, que relación específicamente para la el caso de estudio el consumo diario de operación y el área total de riego. El valor del mismo es de (26,3 kWh/ha), dado a que para las condiciones de operación se dispone de consumo de 4585 kWh durante las 18 h de riego sobre el área total considerada anteriormente.

Éste término da un criterio económico de la aplicación debido a la consideración del recurso energético consumido para las condiciones de operación. Una vez conocido estas cifras es posible obtener el costo de operación de las instalaciones además de un criterio de factibilidad de la misma.

Tabla 3.3: Distribución del consumo energético para los pozos

Ubicación de los Pozos x (Nodos)	Consumo diario (kWh/día)*	Consumo anual (MWh/año)~	Área de riego (ha)	Consumo acumulado (kWh/día)
4	608	608	16,6	608
15	608	608	12,6	1215
17	608	608	16,6	1823
19	608	608	16,6	2430
21	608	608	32,2	3038
22	608	608	32,2	3645
23	941	941	47,1	4586
Total	3357	1225	173,8	

* El consumo diario corresponde a 18 horas de riego.

~ Durante el año se realizan dos cosechas de 1980 horas

Una relación importante a destacar es la imposibilidad de ajustar las condiciones requeridas mediante la utilización de pozos con bombas de eje vertical. Esto quiere decir que se

necesitaría una gama significativa de bombas a comprar para satisfacer los parámetros requeridos en cada sector de cultivo.

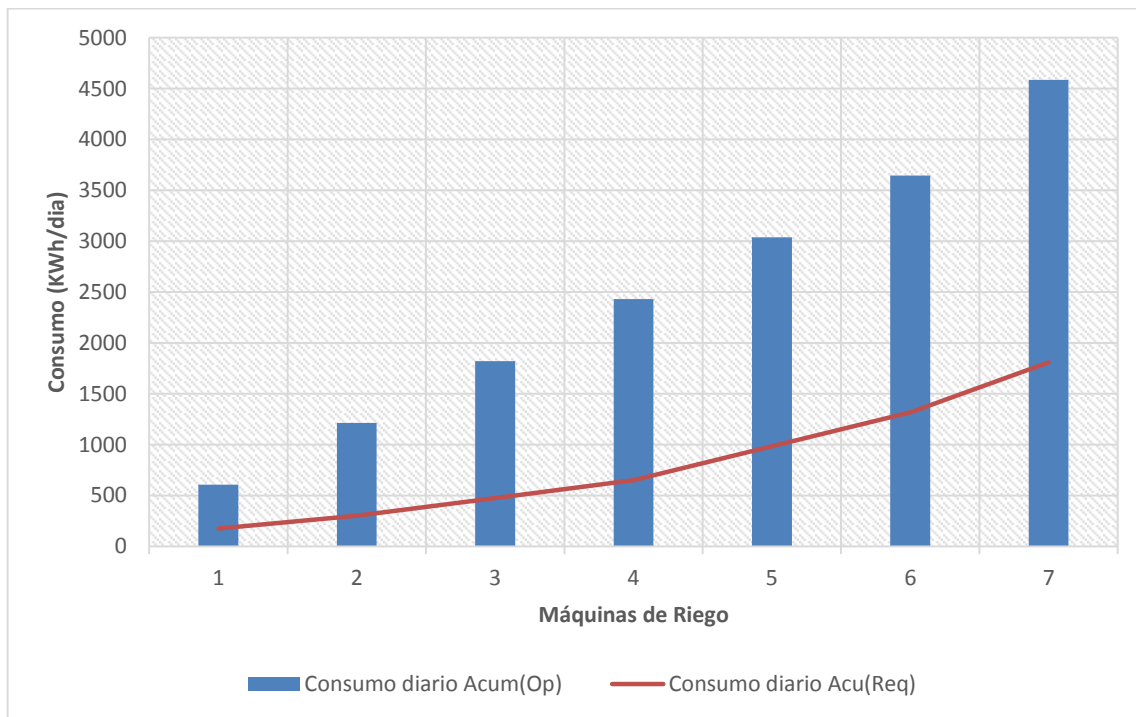


Figura 3.2: Consumo acumulado por máquinas de riego

Debido a esta situación es común que ocurran desviaciones significativas entre el consumo requerido y el de operación (ver figura 3.2). Esto conlleva a justificar esta tecnología para cultivos a pequeña escala donde es factible realizar este procedimiento para las menores desviaciones de las condiciones de operación.

3.2 Condiciones de diseño del sistema de riego colectivo.

La propuesta de un sistema de riego colectivo caracteriza principalmente por tener una fuente de abastecimiento alternativa con respecto a la mencionada anteriormente. La utilización de embalses reguladores a partir de la entrega de un canal magistral cercano es la base para justificar esta instalación. Los principales aspectos a destacar son la estación de bombeo y el sistema hidráulico de tuberías. Ambos corresponden al mayor monto de la inversión y por supuesto son los elementos principales que describen el costo de la aplicación.

El análisis siguiente resulta de un procedimiento de optimización en redes de abastecimiento donde se utilizaron métodos que ajustan las dimensiones hidráulicas para las condiciones de operación. Esto conlleva a realizar un proceso eficiente teniendo en cuenta los parámetros requeridos en cada uno de los casos.

Una vez tenido la distribución de la red de tuberías calculadas a partir de las condiciones anteriores y mostrando sus detalles en los siguientes epígrafes, se procede a observar el comportamiento energético del sistema en general.

La principal condición de un sistema eficiente se basa fundamentalmente en un establecimiento de los parámetros de operación cercanos a los requeridos y cumpliendo en casos particulares con las tolerancias permisibles de dichos términos. Para observar dicho planteamiento se refiere a la figura 3.3 que relaciona el caudal requerido con el de operación para la distribución de la red diseñada. Esto demuestra que las dimensiones diseñadas cumplen en la mayoría de las máquinas de riego con la excepción del nodo (10), debido a una selección de diámetro incorrecto para la aplicación. Esto ocurre debido a la utilización de un catálogo de tuberías (*Plastigama de amanco.*) que en la sección de dicho diámetro no existen gamas variadas. Para la realización del trabajo se admite dicho error con el objetivo de validar la aplicación del método propuesto.

Tabla 3.3. Condiciones de operación en las máquinas de riego

Ubicación de Máquinas. x (Nodos)*	Caudal requerido (l/s)	Caudal de Operación (l/s)	Área de riego (ha)	Potencia de Trabajo (kW)
4	32	36,7	24,6	16,2
9	32	36,8	24,7	16,2
8	24	24,0	24,6	10,6
7	32	31,9	24,6	14,1
10	32	48,4	24,7	21,3
12	62	69,1	47,1	30,5
13	83	85,2	63,6	37,6
16	62	67,1	47,1	29,6
15	83	84,3	63,6	37,2
17	46	51,3	34,8	22,6
Total:	488	534,7		236,1

* La ubicación de las máquinas corresponde al nodo que pertenece.

La tabla 3.3 mostrada describe fundamentalmente el comportamiento de la potencia en el procedimiento de la aplicación de riego. Esto demuestra una diferencia leve entre los parámetros requeridos y los de operación, pero aún no se ha considerado los efectos de la resistencia hidráulica. Inicialmente se admite una distribución permisible para el caso de estudio, pero luego de incluir las pérdidas en el sistema de distribución se debe considerar nuevamente el resultado para obtener un criterio definitivo.

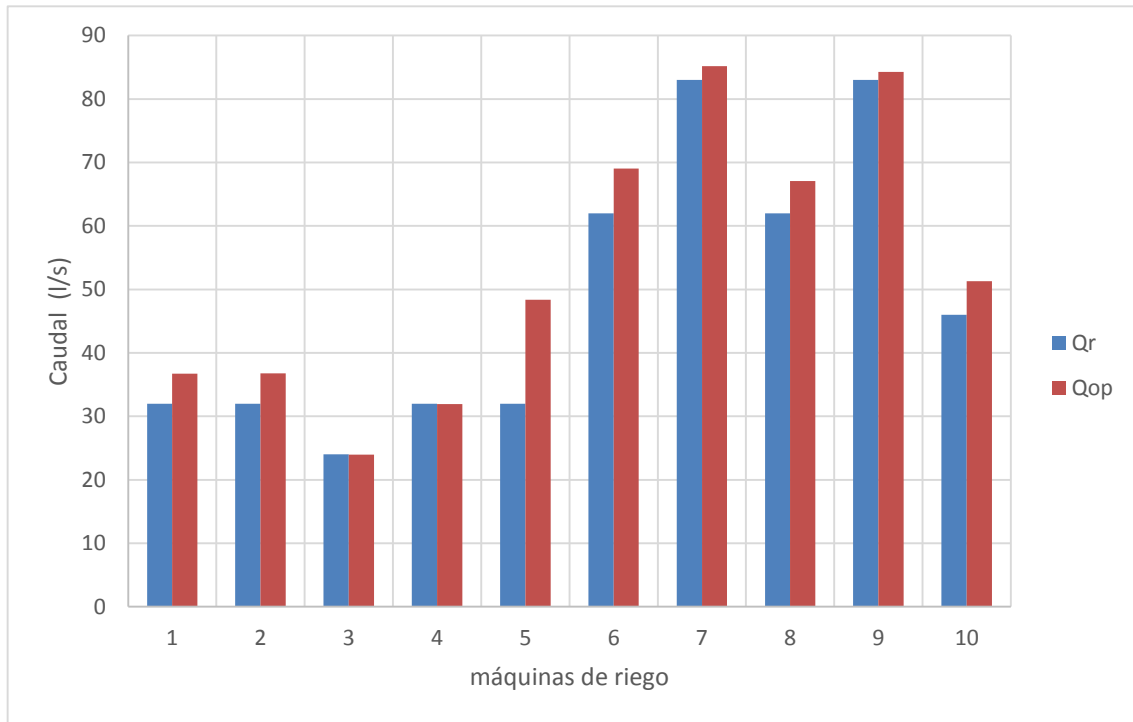


Figura 3.3 Distribución del caudal de operación para las máquinas de riego

Realizado un análisis similar al anterior sobre los indicadores anteriores se observa que para en este caso el área es mucho mayor y la utilización de máquinas de riego también. Visto de esta manera se procede a identificar un término que verifica la eficiencia de la aplicación. El valor del primer indicador corresponde a (0,8 kW/ha) elemento que disminuye con respecto a la aplicación anterior (*sistema por pozos*). Haciendo uso de criterios económicos encontramos el valor del indicador siguiente (14,33 kWh/ha) como elemento sustancia en la evaluación del sistema.

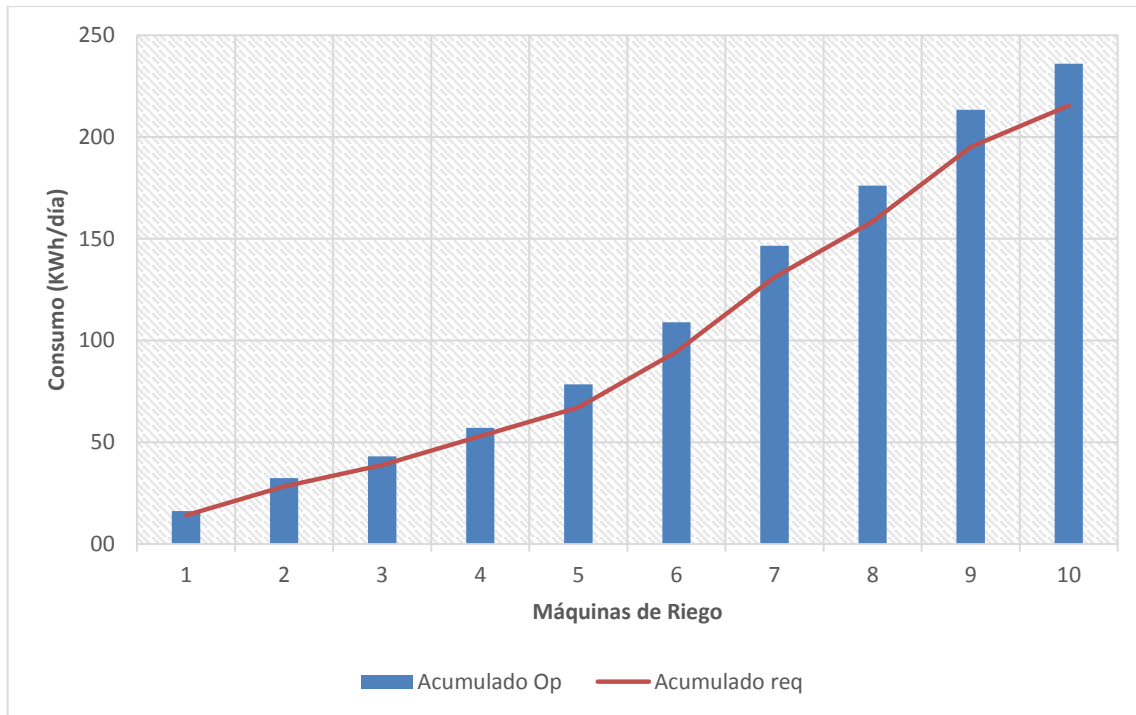


Figura 3.4: Consumo acumulado por máquina de riego

Esto quiere decir que se requieren (12 kWh/ha) menos utilizando una fuente de abasto diferente que por medio de los pozos. Es evidente que en los cálculos realizados se sometieron a situaciones críticas que responden a una posible disminución del valor comparado.

3.3 Características del sistema de tuberías

El diseño efectuado consta de una modelación matemática que ajusta los parámetros hidráulicos para cada condición o escenario. Esto permite realizar un procedimiento de optimización de redes que relaciona los términos a minimizar. La tabla 3.4 es el resultado del procedimiento de optimización que está compuesta por tramos o secciones que se definen a detalle en (anexo I). En estos resultados se demuestran comportamientos tales como la distribución de velocidades en cada rama, aspecto importante a destacar dado a que se mantiene cerca de la velocidad económica para dichas aplicaciones. Además en el procedimiento de diseño se tiene en cuenta la utilización diámetros comerciales bridado en dicho catálogo y teniendo en cuenta en su selección la presión nominal de trabajo. Esto

conviene establecerse debido a la necesidad futura de un análisis económico que incluye costos de inversión y de operación.

Tabla 3.4: Parámetros del diseño de la red hidráulica.

Tramos*	longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)	Pérdidas (kW)
1	242	588,8	534,7	2,0	1,8	9,2
2	422	588,8	461,2	1,7	3,3	15,1
3	887	237,8	55,9	1,3	1,3	0,7
4	784	150	24,0	1,4	6,2	1,5
6	281	134,6	31,9	2,2	6,2	1,9
8	289	131,4	36,8	2,7	10,8	3,9
9	295	131,4	36,7	2,7	10,8	3,9
9	896	187,6	48,4	1,7	7,5	3,5
10	701	588,8	356,9	1,3	1,3	4,5
11	864	467,2	202,7	1,2	3,3	6,5
12	396	190,2	69,1	2,4	6,2	4,2
13	458	216,2	85,2	2,3	6,2	5,2
14	876	384,2	51,3	0,4	2,9	1,5
15	406	216,2	67,1	1,8	2,9	1,9
16	475	302,6	84,3	1,2	2,9	2,4

Total de las irreversibilidades: 66 kW

La necesidad de una distribución adecuada del caudal hace que ocurran pérdidas apreciables en secciones determinadas con el objetivo de dicha condición. Esto deduce a su vez un límite económico entre el punto más alejado de la red hasta la estación de bombeo con una distribución admisible. Para una mejor compresión del sistema, dichos elementos se refieren a la carga adicional que hay que suministrar al sistema para lograr las condiciones requeridas.

3.4 Análisis económico

Mostrando los elementos antes mencionados es evidente destacar que por medio de los indicadores estudiados es posible confeccionar distintos modelos económicos. Para comprender dicho planteamiento se efectúa una comparación en cuanto a costo de inversión y operación. Desde el punto de vista de inversión vale destacar que si la potencia requerida para una determinada área de riego es elevada entonces aplicando la técnica de los pozos

comprendería una problemática. Esto se traduce en una compra de múltiples unidades para cada sector de riego, y de esta forma sería un consumo distribuido con costos elevados de mantenimiento y operación. La otra opción se ajusta precisamente para áreas de riego considerables, ya que incluye una inversión de red de abastecimiento y una estación de bombeo. Desde punto de vista energético esta opción es más factible para el área de riego en estudio debido a la eficiencia del proceso, pero no cabe dudas que esta inversión no se justifica para una pequeña área y entonces se aplica si es posible la técnica anterior.

Otro ángulo de visión corresponde al procedimiento de operación de riego. En este aspecto se compara numéricamente las técnicas presentes y se valida la más aconsejable. Mediante el indicador de consumo por hectárea deducimos que si se pretende regar un área total de 380 ha se tendría el consumo de 5,4 MWh al día tal como se observa en los resultados anteriores que corresponde al consumo de las máquinas más las pérdidas. Luego si optáramos por aplicar la explotación de pozos para dicha área entonces tendríamos un consumo de 10 MWh al día. La diferencia de un consumo de 4,6 MWh representa un valor monetario de 1334\$, término significativo para un día de operación teniendo en cuenta que la tarifa del costo por kWh para las aplicaciones de riego es de 0,29 \$/kWh. Esto evidencia la representatividad que existe cuando optamos por distintas fuentes de abasto donde una vez más se comprueba la validez de un sistema de riego colectivo.

Tabla 3.5: Costos totales de operación

Consumo total (Pozos)* (kWh/día)	Consumo total (Embalse Reg.) (kWh/día)	Costo de Op. (Pozos) (\$)	Costo de Op. (Embalse Reg.) (\$)	Diferencia (\$)
9967	5436	2890	1576	1334

**El costo por concepto de pozos se toma para un área total de 379 ha a través de su indicador de consumo determinado.*

3.5 Conclusiones parciales

- Se comprueba que la fuente de abasto mediante los pozos es para pequeñas áreas de riego en comparación con la de un sistema de riego colectivo.
- Los indicadores obtenidos describen el comportamiento de la eficiencia para cada sistema de riego.
- El procedimiento de explotación de los pozos es más costoso que el de un sistema de riego colectivo además de tener un consumo de 4,6 MWh mayor que el anterior.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 Se almacena información mediante una revisión bibliográfica que vincula las técnicas de riego actuales además de sus procedimientos de diseño y operación.
- 2 Se elabora el procedimiento de diseño óptimo mediante métodos híbridos para el balance de cargas y gastos que relaciona distintas variables hidráulicas y agronómicas.
- 3 La alternativa de abasto mediante un sistema colectivo de riego es menos costoso que el de pozos dado a que consume 4,6 MWh menos para un área de 380 ha de riego.

Recomendaciones

- 1 Se propone realizar el mismo estudio para un segundo embalse regulador que satisfaga la zona noreste de la localidad.
- 2 Utilizar softwares que simulen el comportamiento del diseño propuesto con vistas a validar la alternativa estudiada.
- 3 Realizar el análisis de los costos de inversión para la alternativa propuesta que incluya los equipos y accesorios requeridos para la aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berlijn, Y. D. (2014). "Manual para educación agropecuaria riego y drenaje."

Briones, I. G. y. G. (1977). "Sistema de riego por aspersión y goteo."

Calderini, E. (1970). "Sistema de riego por aspersión."

Gailer, B. (2013). "Manual de AMES."

García, L. (2013). "Ingeniería de riego y drenaje."

Gastañón, G. (2000). "Ingeniería del riego."

Gittinger, J. P. (1973). "Compounding and Discounting Tables for Project Analysis."

Gurovich, L. A. (1985). "Fundamentos y diseño de un sistema de riego."

Horson, W. I. (1965). "Principios de las aplicaciones del riego."

Lesur, L. (2006). "Manual de riego agrícola."

Matheus, F. (2011). "Tesis, Diseño de un sistema de aspersión para el cultivo papas."

Pacheco, J. (2012). "Métodos de riego."

Vipond, W. y. (197x8). "El riego: Diseño y Práctica."

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo I Distribución De carga y caudal en la red de abasto

Tramo	Nudos		Long. (m)	Diam. (mm)	Gasto Q (l/s)	Veloc. V (m/s)	Carga inicial H (m)	Carga final H (m)	Pérdidas hf (m)	Irrever. (kW)	Acum. (kW)
	Inicial	Final									
1	1	2	242	588.8	534.7	2.0	57.573	55.823	1.8	9.2	9.2
2	2	3	422	588.8	461.2	1.7	55.823	52.489	3.3	15.1	24.2
3	3	5	887	237.8	55.9	1.3	52.489	51.171	1.3	0.7	25.0
4	5	8	784	150	24.0	1.4	51.171	45	6.2	1.5	26.4
6	5	7	281	134.6	31.9	2.2	51.171	45	6.2	1.9	28.3
8	2	9	289	131.4	36.8	2.7	55.823	45	10.8	3.9	32.2
9	2	4	295	131.4	36.7	2.7	55.823	45	10.8	3.9	36.1
9	3	10	896	187.6	48.4	1.7	52.489	45	7.5	3.5	39.7
10	3	11	701	588.8	356.9	1.3	52.489	51.2	1.3	4.5	44.2
11	11	14	864	467.2	202.7	1.2	51.2	47.919	3.3	6.5	50.7
12	11	12	396	190.2	69.1	2.4	51.2	45	6.2	4.2	54.9
13	11	13	458	216.2	85.2	2.3	51.2	45	6.2	5.2	60.1
14	14	17	876	384.2	51.3	0.4	47.919	45	2.9	1.5	61.6
15	14	16	406	216.2	67.1	1.8	47.919	45	2.9	1.9	63.5
16	14	15	475	302.6	84.3	1.2	47.919	45	2.9	2.4	65.9

Anexo II Esquema de distribución de la red de abasto

