



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

Diseño de un Sistema de Riego por Pivote Central

**Tesis para obtener el Título de
Ingeniero Civil**

PRESENTA

CRISTINA DEL ROSARIO PORRAS PEREZ GUERRERO

México, DF.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Resumen

El presente trabajo consiste en realizar una investigación bibliográfica sobre la situación del agua en México y los sistemas de riego por gravedad y presurizados. Para el desarrollo de la tesis, se establece el marco de referencia para el análisis, diseño e instalación de un sistema eficiente de riego, con la descripción de los equipos de pivote central, estudios preliminares requeridos, determinación de las necesidades de riego, diseño del equipo y diseño del cabezal de bombeo y línea de distribución. Se incluye un estudio de caso en el que participe en el diseño e instalación de dos equipos de pivotes, para el cultivo de papa en la Huerta “La Trinidad”, Tlaxcala. Se hace énfasis en el marco teórico, conceptual y referencial así como la metodología utilizada en la planeación, en el diseño, los trabajos de obra civil, las instalaciones eléctricas, las instalaciones electromecánicas y los trabajos de montaje de los equipos de pivote central.

Dedicatorias

Dedico este trabajo a

DIOS: Creador del universo y fuente de fortaleza

MIS PADRES: Cristina del Rosario Pérez Guerrero y Víctor Porras Silva. .Abnegados y digno ejemplo de padres, sin ustedes y su sabia guía por la vida y su incondicional esfuerzo por darme la oportunidad de una formación profesional, nunca hubiese conseguido lo que hoy tengo. Que Dios los bendiga y que al fin este éxito alcanzado sea una muestra de mi gratitud a tanto esfuerzo.

MIS HERMANOS: Mary, Víctor, Francisco, Dany y Juan Pablo. .Nunca es tarde, ni cualquier esfuerzo es tan grande cuando logramos alcanzar una meta en nuestras vidas, gracias por su cariño.

Agradecimientos

A mi asesor, Dr. Humberto Gardea Villegas, porque a él le debo el inicio, empuje y la experiencia obtenida a lo largo de mi desempeño en la Facultad y en mi trabajo profesional. El Profesor Gardea es una persona digna de imitar y agradezco infinitamente su valiosa y desinteresada colaboración en éste trabajo.

Agradezco a mi Máxima Casa de Estudios y a mis profesores que han contribuido fuertemente en mi formación, a mis compañeros y a todas aquellas personas que de forma directa e indirecta me han apoyado.

Contenido

Diseño de un Sistema de Riego por Pivote Central	1
Resumen	3
Dedicatorias.....	5
Agradecimientos.....	5
I Introducción.....	9
II Aspectos Generales	13
II.1 La situación del agua en México.....	13
II.2 Desarrollo de la Irrigación en México	19
II.3 Sistemas de Riego.....	25
II.3.1 Por gravedad.....	26
II.3.1.1 Canales.....	27
II.3.1.2 Compuertas o Multicompuertas	28
II.3.2 Presurizados.....	30
II.3.2.1 Aspersión.....	30
II.3.2.1.1 No Mecanizada	31
II.3.2.1.1.1 Fija.....	31
II.3.2.1.1.2 Semi fija.....	31
II.3.2.1.1.3 Portátil.....	32
II.3.2.1.1.4 Aspersores.....	32
II.3.2.1.1.5 Cañones.....	33
II.3.2.1.2 Mecanizada.....	33
II.3.2.1.2.1 Cañón Viajero	34
II.3.2.1.2.2 Side Roll	35
II.3.2.1.2.3 Pivote Central	35
II.3.2.1.2.4 Avance frontal.....	36
II.3.2.2 Sistemas de Riego Localizado.....	37
II.3.2.2.1 Goteo.....	38
II.3.2.2.1.1 Superficial.....	38
II.3.2.2.1.2 Sub-superficial	38
II.3.2.2.2 Micro aspersión.....	38
III Sistemas de Riego por pivote Central.....	41
III.1 Tipos de equipos.....	41
III.1.1 Fijos.....	42
III.1.2 Moviles.....	42
III.2 Fabricantes.....	43
III.3 Componentes del sistema.....	44
III.3.1 Base.....	45
Figura 29 Configuración de un sistema de Pivote central	45
III.3.2 Estructura.....	46
III.3.3 Equipos mecanicos.....	48
III.3.4 Equipos electricos.....	49
III.3.5 Telemetria y control.....	52
III.3.6 Equipo adicional.....	53
III.4 Paquete de aspersores.....	55
III.4.1 De impacto.....	56
III.4.2 Aspersores de baja presión	57
III.4.2.1 Tradicionales	57
III.4.2.2 Especiales	57
III.4.2.3 Bajantes	60
III.4.3 Reguladores de presión.....	61
III.4.4 Cañones finales.....	62
III.5. Ventajas y desventajas del sistema de Pivote central	62
IV Estudios preliminares	65

IV.1 Características geométricas y topográficas del terreno.....	65
IV.2 Tipo de suelo.....	65
IV.3 Fuentes de Abastecimiento Hidráulico.....	68
IV.4 Fuentes de energía.....	68
IV.5 Cultivo y clima.....	68
V. Determinación de las necesidades de riego.....	71
V.1 Evapotranspiración.....	71
V.1.1 Factores que afectan la evapotranspiración.....	71
V.1.2 Métodos para estimar la evapotranspiración.....	72
V.2 Precipitación efectiva.....	76
V.3 Requerimiento de riego.....	76
V.4 Intervalo y calendario de riego.....	77
V.5 Determinación del gasto de diseño.....	77
VI Diseño del equipo.....	81
VI.1 Determinación del tipo de pivote.....	81
VI.2 Dimensionamiento geométrico.....	81
VI.3 Diseño hidráulico del sistema.....	81
VI.3.1 Selección del diámetro del equipo.....	82
VI.3.2 Presión hidrostática.....	82
VI.3.3 Pérdidas por fricción.....	83
VI.3.3.1 Hazen-Williams.....	84
VI.3.3.2 Recomendaciones del fabricante.....	86
VI.3.4 Consideraciones de diseño.....	87
VI.3.4.1 Costo del Equipo.....	89
VI.3.4.2 Costos de operación.....	90
VI.3.5 Diseño del paquete de aspersores.....	91
VII. Diseño del cabezal de bombeo y línea de distribución.....	95
VII.1 Longitud de la línea de distribución.....	95
Fig. 40. Válvula de admisión y expulsión de aire, junto a una válvula de control.....	95
VII.2 Conexiones y válvulas.....	96
VII.3 Determinación de pérdidas.....	98
VII.4 Presión total requerida.....	100
VII.5 Selección del equipo de bombeo.....	100
VIII Consideraciones generales del diseño electromecánico.....	103
IX Caso Práctico. Sistema de Riego por Pivote Central para la Huerta La Trinidad en Huamantla Tlaxcala.....	121
X Conclusiones y recomendaciones.....	133
Bibliografía.....	135
Apéndice A. Plano topografico del terreno y del sistema de riego de La Huerta La Trinidad.....	137
Apéndice B. Impactos ambientales de los sistemas de riego.....	139
Apéndice C. Saturación y Salinización.....	141
Apéndice D. Tablas de diseño.....	143
Fig. D1. Curva de desempeño.....	143
Apéndice E. Fotografías.....	153
E.1 Fotografías relativas al mantenimiento del Pivote Central.....	153
E.2 Fotografías relativas al montaje del Pivote Central.....	156
Glosario.....	161

I Introducción

En México el desarrollo agropecuario es gran importancia, debido al vínculo que existe con la pobreza, y la irrigación en la agricultura es fundamental en el desarrollo y crecimiento.

En la actualidad, la tecnificación del riego deberá ser encaminada al ahorro del agua y la energía eléctrica y al aumento de la productividad, utilizando el agricultor la tecnología que mejor se adapte a las necesidades del cultivo, tipo de tierra, condiciones de terrenos y a las necesidades de agua, congruentes con la disponibilidad del recurso natural.

De la gama de alternativas de riego existentes, la de pivote central es una opción viable para muchas zonas agrícolas del país ya que por lo general tienen eficiencias de aplicación superiores al 90% y un manejo sencillo, similar al de la maquinaria agrícola de uso común. Los sistemas de riego por pivote central funcionan por aspersión mecanizada de tipo continuo y consisten en una línea lateral con aspersores, la cual tiene uno de sus extremos fijos a un pivote mientras que el otro extremo se desplaza en círculos alrededor del punto pivote. En el capítulo III se describen los detalles de los tipos de pivotes, los componentes del sistema, los paquetes de aspersores y las ventajas y desventajas del equipo de pivote central.

El presente trabajo parte del hecho de que el riego es determinante para la producción de alimentos y por tanto un factor en el incremento de la seguridad alimentaria, el crecimiento agrícola y productivo, y el desarrollo humano en las zonas rurales del país. Sin embargo, la irrigación tiene repercusiones ambientales principalmente en la sobreexplotación del recurso natural más importante, el agua. En México, el consumo de agua en el sector agropecuario representa el 78% del total del país y de los 6533 acuíferos, 102 se encuentran sobreexplotados. Esta problemática conduce a la búsqueda de estrategias para optimizar el uso del agua en la agricultura y es objeto de este trabajo hacer énfasis sobre la eficiencia del uso del agua y la energía eléctrica mediante tecnologías modernas de riego.

En el Capítulo I de este trabajo se presenta una descripción de la situación del agua y el desarrollo de la irrigación en México ya que los recursos hídricos y la infraestructura hidráulica para riego están distribuidos de manera desigual por el país, lo que crea realidades muy diferentes. Por tal razón, se requiere hacer frente a los desafíos clave del sector riego, incluyendo: el deterioro de la calidad del agua, poca eficiencia de los sistemas de riego y drenaje, marcos institucionales y jurídicos débiles, costos excesivos de operación y mantenimiento, vulnerabilidad frente a la variabilidad y cambio climático.

En México, la superficie con riego representa el 25% de la superficie cosechada total y el valor de su producción constituye el 54% de las cosechas totales. Esto significa que la productividad de la tierra (\$/ha) en áreas de riego es 3.5 veces mayor que en las de temporal.

México se encuentra entre los 10 países con mayor superficie irrigada y la agricultura es por mucho el mayor consumidor del recurso hídrico del país al utilizar casi 8 de cada 10 litros de agua. Sin embargo las pérdidas en la conducción, distribución y aplicación del agua representan un volumen muy importante, del orden del 60%.

De acuerdo con lo anterior, resulta evidente la necesidad de ser eficientes en el uso del agua en la agricultura y que cualquier mejora obtenida en este sector tendrá mayor repercusión en el global de los ahorros obtenidos en otros usos consuntivos. Las principales líneas de acción recomendadas por los organismos nacionales e internacionales relevantes son: incrementar la eficiencia en la aplicación a través de un sistema de riego tecnificado; emplear agua tratada en la agricultura para sustituir fuentes primarias; y modernizar la infraestructura existente para reducir pérdidas en la conducción y distribución.

Durante años, el Ingeniero Civil enfocó sus esfuerzos a los grandes proyectos hidráulicos cuyo objetivo principal era incrementar el número de hectáreas irrigadas en el país y dejó el manejo parcelario al Ingeniero Agrónomo. Actualmente, la prioridad es incrementar la productividad con un uso cada vez más eficiente del agua y de la energía eléctrica. Para ello se han desarrollado novedosos sistemas de riego cuyos proyectos, cada vez más elaborados, requieren la participación de equipos interdisciplinarios, especialmente en el campo de la Ingeniería Civil.

Con base en lo descrito en los párrafos anteriores, es objeto de este trabajo realizar una investigación, para conjuntar conceptos básicos de análisis y diseño e instalación de un sistema de riego tecnificado que permita hacer un uso eficiente del agua y de la energía así como lograr un incremento en la productividad. Por otra parte el objetivo personal de esta investigación, es consolidar los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Civil ya al integrar paso a paso el desarrollo de esta tesis, demostrar que tengo las características y el perfil de un profesional en Ingeniería Civil, comprometido con la sociedad y con el cuidado de la naturaleza.

A continuación se señalan los objetivos específicos y la orientación de la investigación, el marco teórico y la descripción de la planeación, la organización y ejecución de los trabajos correspondientes a la instalación y la operación del equipo propuesto. Dichos objetivos son los siguientes:

- En lo social, presentar un documento de consulta como un libro de información específica ya recopilada que permita al agricultor que desea tecnificar su parcela; a los estudiantes de Ingeniería Civil y/o de Ingeniería Agrícola y al lector interesado en el tema de riego tecnificado. El contenido de este trabajo permite conocer principios y conceptos fundamentales que van desde la datos generales, la descripción de diferentes sistemas de riego, los estudios preliminares requeridos, la determinación de las necesidades de riego, el diseño del equipo y diseño del cabezal de bombeo y línea de distribución, los materiales utilizados, los cálculos hidráulicos, así como la metodología utilizada en la planeación, en el diseño del equipo, los trabajos relativos de obra civil, las instalaciones eléctricas, las instalaciones electromecánicas y los trabajos de montaje de los equipos de pivote central.
- En lo relativo al aspecto técnico, presentar el marco teórico, las diferentes tecnologías disponibles en relación con los sistemas de riego, con énfasis en los sistemas de riego de pivote central.
- En lo ecológico, contribuir en la concientización del cuidado del ambiente y de los recursos

naturales con propuestas para el uso eficiente del agua y la energía que permitan abatir la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos por las actividades humanas. Se hace énfasis en los impactos ambientales de los sistemas de riego, saturación y salinización de los suelos y sobre la eficiencia del uso del agua.

En los capítulos siguientes además de revisar la situación del agua y el desarrollo de la irrigación en México, se presentan los principales sistemas de riego tecnificado disponibles y en este marco de referencia se describen en el Capítulo III, los diferentes tipos de sistemas de riego por pivote central y las partes que los conforman. En el Capítulo IV se presenta un apartado sobre estudios preliminares requeridos como son las características geométricas y topográficas del terreno, el tipo de suelo, las fuentes de abastecimiento de agua, las fuentes de energía y lo referente al cultivo y al clima. El tema sobre la determinación de las necesidades de riego se describe en el capítulo V y en el VI se explica el proceso de diseño del equipo de riego, la determinación del tipo de pivote, el dimensionamiento geométrico y el diseño hidráulico. En los capítulos VII y VIII se presenta el diseño del cabezal de bombeo y línea de distribución y las consideraciones generales para el diseño electromecánico respectivamente. En el Capítulo IX, se incluye un caso práctico en el que participé en las diferentes etapas del proyecto de la Huerta La Trinidad en Huamantla Tlaxcala, que abarcan desde metodología utilizada en la planeación, en el diseño del equipo, los trabajos de obra civil, las instalaciones eléctricas, las instalaciones electromecánicas y los trabajos de montaje de los equipos de pivote central. Finalmente en el capítulo X se compila un conjunto de conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación realizada.

II Aspectos Generales

II.1 La situación del agua en México

México tiene actualmente una baja disponibilidad de agua per cápita. La desigual distribución regional y estacional del agua dulce dificulta su aprovechamiento sostenible ya que la disponibilidad natural de agua superficial se concentra en el sur del país, pero la población, la actividad económica y las mayores tasas de crecimiento ocurren en el centro y norte del territorio nacional.

La precipitación media anual en México es de 772 mm (serie 1941-1998), que significa un volumen de agua en todo el territorio de 1,512 km³. De este volumen total, cerca del 73% se pierde en evapotranspiración y evaporación directa de las masas de agua, por lo que el potencial de agua naturalmente disponible del país para el año 2005 fue de 472.2 km³/año. En el año 2000, con 97 millones de habitantes, esto significó una disponibilidad por habitante de 4,841 m³/año. En 2005, ésta se estimó en 4,573 m³/año. Esta situación resulta preocupante porque significa que México es un país con disponibilidad natural de agua por habitante baja y decreciente. Si se sigue por el mismo camino, en el año 2030 se dispondrá de 3,705m³/año por habitante.

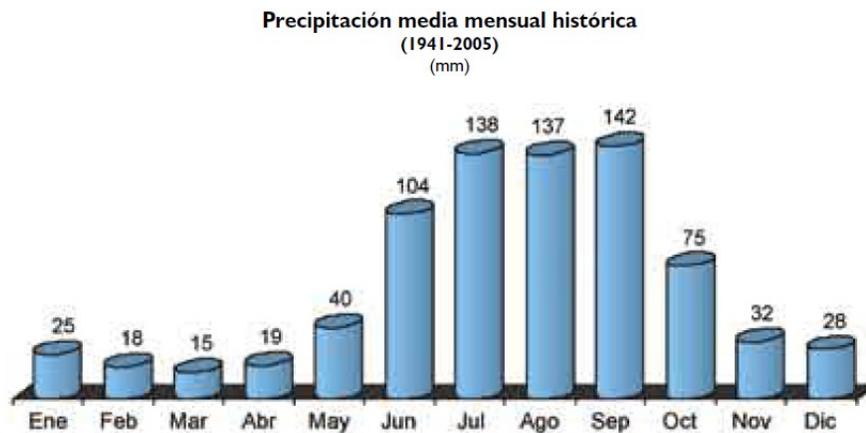
Figura 1. Países con mayor disponibilidad media per cápita, 2007

No.	País	Precipitación media (milímetros)	Disponibilidad (miles de millones de m ³)	Disponibilidad natural media per cápita (m ³ /hab/año)
1	Groenlandia	350	603	10 595 305
2	Guayana Francesa	2 895	134	680 203
3	Islandia	1 940	170	574 588
4	Guyana	2 387	241	320 667
5	Congo	1 646	910	281 618
6	Surinam	2 331	122	250 501
7	Papúa Nueva Guinea	3 142	801	146 651
8	Gabón	1 831	164	126 154
9	Canadá	537	2 902	93 549
10	Islas Salomón	3 028	45	90 298
11	Noruega	1 414	382	81 967
12	Liberia	2 391	232	80 573
13	Nueva Zelanda	1 732	327	78 146
14	Perú	1 738	1 913	69 446
15	Bolivia	1 146	623	67 472
16	Paraguay	1 130	336	65 076
17	Belice	1 705	19	61 566
18	Chile	1 522	922	57 291
19	Laos	1 834	334	56 836
20	Colombia	2 612	2 132	46 302
25	Brasil	1 782	8 233	44 081
62	Estados Unidos de América	715	3 051	10 293
89	México ^a	760	458	4 312
101	Francia	867	204	3 320
107	Turquía	593	214	2 891

NOTA: 1 km³ = 1 000 hm³ = mil millones de m³.
FUENTE: FAO, Information System on Water and Agriculture, Aquastat. www.fao.org/AG/AGL/aglw/aquastat/main/index.stm. Junio de 2008.
CONAGUA. Subdirección General Técnica. Año 2008.

La lluvia a lo largo del año se concentra principalmente en los meses de junio a octubre. Con cierta frecuencia se presentan períodos de sequías sobre todo en el norte del país. En los últimos 50 años se han registrado tres períodos críticos: el más severo de 1948 a 1954, el segundo 1960 a 1964 y el más reciente, entre 1993 y 1996.

Figura 2. Precipitación media mensual histórica en México (1941-2005)



Fuente: Subdirección General Técnica. CONAGUA.

Los recursos hídricos, además de escasos y estacionales, se encuentran repartidos de una forma desigual a lo largo del territorio mexicano, dando lugar a variaciones significativas de las disponibilidades de agua por región. El 50% del escurrimiento superficial se genera en el sureste, en tan sólo el 20% del territorio mientras que en el norte, que abarca el 30% de la superficie, se genera sólo el 4% de dicho escurrimiento. Por otra parte, en México, Los asentamientos humanos y el desarrollo de las actividades agrícolas e industriales se ubican donde la disponibilidad de agua es escasa. Así, en la porción norte y el altiplano del país, donde sólo se registra el 19% del escurrimiento medio anual y habitan dos terceras partes de la población, se dispone del 40% de tierras con potencial agrícola y se realiza el 70% de la actividad industrial.

Figura 3 - Disponibilidad media de agua per cápita (2005)

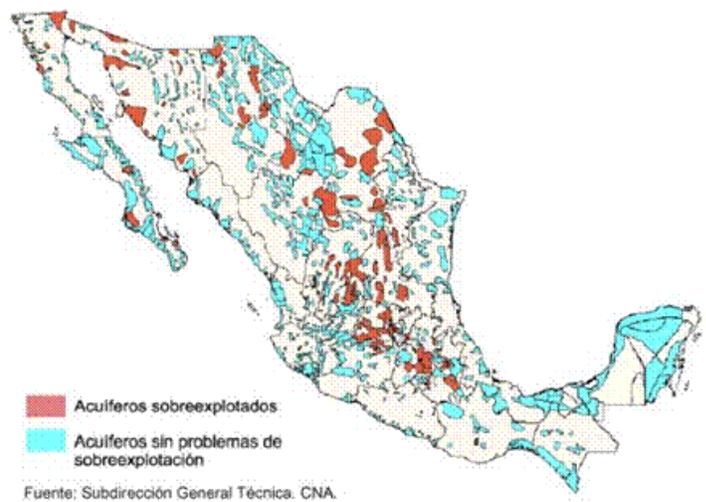


Fuente: Subdirección General de Programación. CONAGUA.

Por tanto, el 31% del territorio mexicano es árido, el 36% semiárido y únicamente 33% de la superficie nacional pertenece al trópico húmedo. La mayor parte de los recursos hídricos del país 68%, se localiza en ríos, le siguen presas con 17.8%, acuíferos, con 11.7%; finalmente lagos y lagunas, con 2.3 %. En México se reconocen 37 ríos principales y cerca de 70 lagos y lagunas que en conjunto cubren 370,891 hectáreas. En cuanto a las aguas subterráneas del país, éstas se han clasificado en 653 acuíferos.

En las zonas áridas y semiáridas gran parte del desarrollo de las actividades humanas se sustenta en la extracción de agua subterránea mediante sistemas de bombeo accionados con energía eléctrica. A mediados de los años 40 se inició la explotación formal de los acuíferos y dos décadas más tarde, la región empezó a sentir los efectos del abuso en la perforación de pozos que, por el abatimiento progresivo de los niveles de extracción, requirieron de la instalación de sistemas de bombeo cada vez más potentes. A la fecha, los 90 acuíferos que presentan problemas de sobreexplotación, sustentan actividades económicas fundamentales y de bienestar en gran parte de los estados de Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, San Luis Potosí, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Puebla, entre otros.

Figura 4 - Cuerpos de agua subterránea con sobreexplotación (2000)



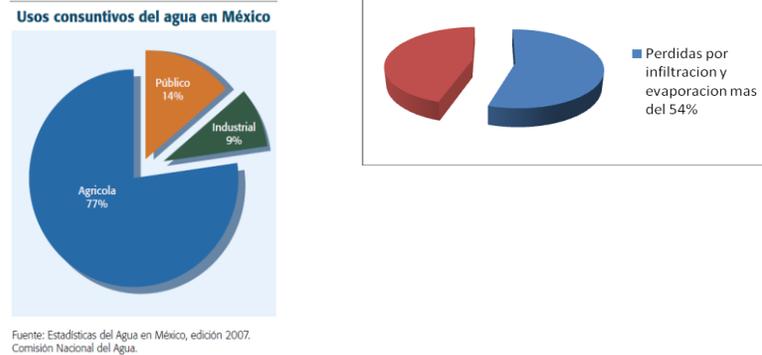
Aún cuando se han iniciado concertaciones entre la CONAGUA y los usuarios, para establecer el control de las extracciones de agua de estos acuíferos, lo cierto es que no se avanza lo necesario y prevalece la tendencia de bombear mayores volúmenes de los que anualmente se recargan. Además, la sobreexplotación ha inducido a problemas de intrusión marina en 17 acuíferos ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora y Veracruz.

De la extracción total de agua en el país, 77% se destina a las actividades agropecuarias, 14% al abastecimiento público, y 9% a la industria autoabastecida, agroindustria, servicios, comercio y termoeléctricas. El 48.5% del agua destinada al sector agropecuario es utilizado en distritos de riego; 69%

del agua extraída de los acuíferos y fuentes superficiales se usa en el riego agrícola, aunque este último padece de grandes carencias tecnológicas y de infraestructura, por lo que su eficiencia en el uso del agua es de menos del 46 %.

Más de la mitad del agua que se extrae para uso agrícola no se usa en los cultivos y se "pierde" por infiltración al subsuelo y evaporación a la atmósfera. Una parte de ésta, con cierto grado de contaminación especialmente por el uso de fertilizantes químicos, regresa al ciclo hidrológico: a los acuíferos, a través de la filtración, y a los cuerpos superficiales por medio del escurrimiento y la evapotranspiración.

Figura 5: La importancia del riego y la eficiencia en la aplicación (2005)

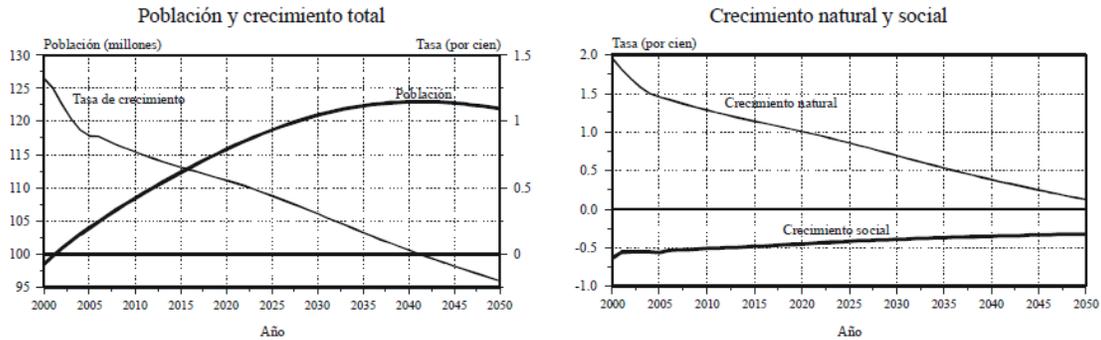


En cuanto al origen del agua de riego, tradicionalmente los grandes sistemas de riego han estado constituidos por embalses o derivaciones de ríos y canales de gravedad, empleándose como técnica principal el riego por superficie. Así se desarrollaron los primeros sistemas de riego, que constituyen hoy los Distritos de Riego del Noroeste y que presentan pérdidas considerables en la red (eficiencia global entre el 25% y 35, %). Iniciada la utilización de las aguas subterráneas, solamente cuando se establecieron zonas de veda de asignaciones y de volúmenes de extracción (especialmente en la zona central del país: Guanajuato, Querétaro, Distrito Federal, etc.) debido a la sobreexplotación de acuíferos, se empezaron a modificar los sistemas de riego y a mejorar sus eficiencias.

Las zonas con mayor tradición en el riego y que han comenzado a sentir los efectos de la escasez del agua, son las que han comenzado a mejorar su eficiencia de riego (zonas centro, noroeste y norte), mientras que en aquellas donde el agua es más abundante (zona sur- sureste), esta mejora se ha producido de una forma más lenta.

Uno de los aspectos más importantes que condicionará el futuro de México es el incremento de la población. De acuerdo con el Censo 2005 del INEGI y las estimaciones de CONAPO, entre 2005 y 2030 la población del país se incrementará en 24.2 millones de personas. Aproximadamente el 79% se asentará en localidades urbanas y prácticamente el 86% se ubicará en la zona centro, norte, noroeste y noreste del país. El reto será incrementar la producción de alimento a fin de abatir el rezago alimentario existente y la demanda adicional debido al incremento poblacional.

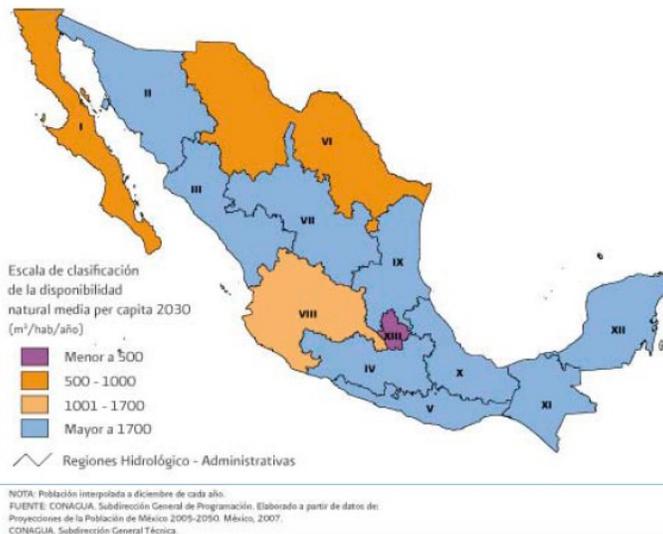
Figura 6: Población total y tasas de crecimiento, 2000-2050



Fuente: Estimaciones del CONAPO.

La población de México en el 2025 se estima será de 130 millones de habitantes, distribuidos en forma similar a la que se presenta actualmente. Por tal motivo, resulta alarmante que en algunas de las regiones del país la disponibilidad natural media de agua alcanzará niveles cercanos e incluso inferiores a los 1,000 m³/hab./año, es decir una condición clasificada como extremadamente baja.

Figura 7 Disponibilidad media de agua per cápita (2030)



En esta perspectiva, es evidente la necesidad urgente de racionalizar el uso del agua en el país. En virtud de que el sector agropecuario es el mayor consumidor de agua, es en este sector donde se presentan las mayores áreas de oportunidad para el ahorro de agua. De acuerdo con el IMTA, las acciones para mejorar la eficiencia en el riego agrícola tendrán mayores efectos en el consumo global que el conjunto de todas las demás acciones en otros sectores.

Las agencias gubernamentales han estudiado dos posibles escenarios del agua para el año 2025: el tendencial y el sustentable. En el escenario tendencial se considera que no hay cambios sustanciales en los patrones de consumo ni en los niveles de inversión actuales: la demanda de agua se incrementa considerablemente y los rezagos en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento se mantienen en niveles similares a los actuales. En el escenario sustentable prácticamente se duplica el nivel de inversiones actual: se logra contener el crecimiento de la demanda de agua, revertiendo la sobreexplotación de los acuíferos y reduciendo los rezagos en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

Figura 8: Escenarios tendencia y sustentable (2025)

Parámetro	Actual	Tendencial	Sustentable
Hectáreas modernizadas	0.8 millones	1.1 millones	5.8 millones
Nuevas hectáreas con riego	—	490 mil	1 millón
Pérdidas en riego	54%	51%	37%
Pérdidas en uso público urbano	44%	44%	24%
Cobertura de agua potable	88%	88%	97%
Cobertura de alcantarillado	76%	76%	97%
Porcentaje de aguas residuales tratadas	23%	60%	90%
Volumen de agua utilizada (miles de millones de metros cúbicos)	72* / 79	85* / 91	75* / 80
Inversión anual del sector (miles de millones de pesos)	14	16	30

* Con restricciones en la demanda de riego por sequía

Es urgente mejorar el manejo del agua para el riego agrícola. De acuerdo con las recomendaciones de organismos nacionales e internacionales especializados como el ICID, y la CONAGUA, son tres las principales líneas de acción:

1. Incrementar la eficiencia en la aplicación del agua de riego a través de un adecuado manejo parcelario y la tecnificación de los sistemas de riego. Actualmente existen sistemas de riego con eficiencias de aplicación superiores al 90%. En el capítulo II.3 de este documento se revisarán las características principales de los sistemas de riego tecnificado más usuales. Una de las opciones con mayor viabilidad, sobre todo en la zona norte del país, que como hemos visto es aquella con mayor presión en sus recursos hídricos, es el empleo de sistemas de riego por pivote central. En el capítulo III se describe su funcionamiento de acuerdo con el tipo de equipo, los principales fabricantes y los componentes del sistema.
2. Sustituir el uso de, fuentes de abastecimiento de agua por el uso de agua tratada para el riego agrícola. En México, desde hace más de cien años, la utilización del agua residual cruda ha sido una práctica común especialmente en Tula en el Estado de Hidalgo, en donde hasta la fecha, el agua residual generada por la zona metropolitana de la Ciudad de México, es utilizada para el riego agrícola. Sin embargo existen serios riesgos a la salud derivados de estas prácticas, sobre todo en cultivos de hortalizas por lo que debe trabajarse en el reúso pero con agua residual tratada de acuerdo con la normatividad vigente NOM-003-ECOL-1997. En el año 2005, se estima que en

- los sistemas de alcantarillado se colectaron 205 m³/s de aguas residuales municipales y de ellas solo 71.8 m³/s (35%) recibieron tratamiento. De las aguas tratadas, 25.3 m³/s (35.2%) se re usaron en forma directa, 1.2 m³/s en forma indirecta y el resto se dispuso en cuerpos receptores. Del caudal no tratado que asciende a 133.2 m³/s (65%), 118.5 m³/s (89%) se destinaron a reúso indirecto, 9.4 m³/s a reúso directo y 5.3 m³/s fueron descargados a cuerpos receptores.
3. Modernizar la infraestructura existente para evitar pérdidas en la conducción y distribución. Este punto incluye la construcción y mantenimiento de presas de almacenamiento y derivación: la reconstrucción y revestimiento de canales a cielo abierto o su sustitución por conductos cerrados que eviten pérdidas por evaporación e infiltración; entre otras acciones.

Figura 9: Reuso de agua residual municipal (2005)



En virtud de que el riego en México es responsable del 69% del agua extraída en el país, de la cual se desperdicia más del 54%, es importante conocer el desarrollo del riego en México y su situación actual.

II.2 Desarrollo de la Irrigación en México

México es un país con gran tradición en el diseño y construcción de obras hidroagrícolas, la cual se remonta a la época prehispánica en la que la relación de las principales culturas mesoamericanas con el agua no estuvo solamente asociada a sus actividades cotidianas sino que también era de índole religiosa.

Era práctica común la irrigación permanente con empleo de fuentes perennes: para su aprovechamiento se construyeron presas, canales de tierra y de piedra con estuco, acueductos sobre taludes y redes de acequias. Se utilizaban también sistemas de riego temporales, en cuyo caso se hacían presas de tierra, pasto, troncos, varas y piedras, y canales de tierra a fin de conducir las avenidas en tiempo de lluvias. Otra forma de riego eran las chinampas, que eran parcelas artificiales de suelo construidas sobre el fondo de lagos poco profundos, que recibían la humedad por infiltración. Los mayas protegían sus tierras de la erosión construyendo terraplenes agrícolas y erigiendo paredes de piedra para sostener la tierra. También hacían obras de desagüe y obras para desviar las corrientes de los ríos.

Poco antes de la conquista, el lago de México estaba dividido en varios compartimientos, por diques, calzadas y albarradas. Sus funciones eran el control del flujo de las aguas de los lagos y ríos para evitar inundaciones, y la desalación de todo el sistema.

Figura 10: Canal de Netzhualeoyotl



A las obras hidráulicas de la Conquista, para asegurar el abasto a la Ciudad de México, siguieron las del Virreinato que permitieron el establecimiento de ciudades mineras, emporios agrícolas y puertos en ambos océanos. Entre los siglos XVIII y XIX, la agricultura experimentó un desarrollo importante, impulsado por el crecimiento demográfico, minero, mercantil y manufacturero de la época. En su apoyo se construyeron presas, casi todas de mampostería, en el territorio de los actuales estados de Aguascalientes, Guanajuato, México y Querétaro. En el año 1920 había un millón de hectáreas bajo riego, principalmente del sector privado.

Figura 11: Acueducto El sitio del siglo XVIII Tepotzotln, Estado de México



No obstante, el desarrollo del sector del riego en México ha estado íntimamente ligado a los procesos de la Revolución Mexicana y la Reforma Agraria, por lo que la construcción de grandes proyectos de riego se

inició después de la Revolución Mexicana con la promulgación de la Ley sobre Irrigación con Aguas Federales y la creación de la Comisión Nacional de Irrigación en 1926.

Las primeras acciones de esta dependencia se orientaron a la construcción de infraestructura de riego a lo largo de la frontera norte, con el fin de fortalecer el desarrollo económico y social de esa región e integrarla a la economía nacional. A partir de esta época, la mayor parte de las inversiones en materia de riego fueron encaminadas a desarrollar importantes obras hidráulicas y la creación de los grandes distritos de riego, pero no se desarrolló un marco legal adecuado que favoreciese la inversión del sector privado. Así en 1945, la superficie bajo riego de propiedad privada seguía siendo del orden de un millón de hectáreas, mientras que la total era ya de dos millones de hectáreas.

A partir de la constitución de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, que absorbe a la CNI, en 1947 se sentaron las bases institucionales y jurídicas para el desarrollo del sector, y se asignaron nuevas líneas de actividad tales como la realización de estudios, proyectos e instalaciones para la generación hidroeléctrica en las presas. En ese mismo año se establecieron las Comisiones ejecutivas para impulsar el desarrollo hidráulico de las principales cuencas del país. Las 2 primeras fueron la de los ríos Papaloapan y Tepalcatepec que más adelante sería la Comisión del Río Balsas y la Comisión Hidrológica para la cuenca del Valle de México.

La realización de infraestructura de riego entre 1940 y 1960, entre la que destaca la construcción de la presa Álvaro Obregón en el río Yaqui, tuvo fuertes efectos en el desarrollo de la producción agrícola nacional. En 1965 la superficie de riego era de 3.5 millones de hectáreas, correspondiendo el aumento casi en su totalidad al sector público. Durante la siguiente década se construyeron grandes presas entre las que destacan la presa Netzhuacoyotl (Malpaso) sobre el río Grijalva, la presa Adolfo López Mateos (el Humaya) en Sinaloa y se puso en operación la central hidroeléctrica Belisario Domínguez en Chiapas.

Figura 12: Presa Malpaso, sobre el Río Grijalva



En 1976, las Secretarías de Agricultura y Ganadería, y de Recursos Hidráulicos se fusionan en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Continuó la ejecución de importantes proyectos relacionados con la apertura de nuevas áreas de riego y la rehabilitación de los distritos. Entre las presas más importantes de este periodo destacan Chicoasén en Chiapas. San Gabriel en Durango. José López Portillo y Gustavo Díaz Ordaz en Sinaloa.

En 1980 se llegó a los 5.3 millones de hectáreas, de los que sólo correspondían 1.3 millones al sector privado. En el contexto de la crisis económica internacional y nacional que se vivía en 1982, existían diversos problemas relacionados con el agua: una tendencia cada vez más acentuada a la escasez y a la contaminación del líquido, el efecto devastador de inundaciones y la creciente necesidad del agua en todos los sectores de la sociedad. Al integrar las necesidades de infraestructura hidráulica se concluyó que en los siguientes 20 años México debía ser capaz de duplicar lo realizado entre 1926 y 1982.

En el periodo entre 1983 y 1988 se construyó infraestructura de temporal en 541,000 hectáreas, se incorporaron 448,000 hectáreas al riego y se rehabilitaron 285,000 hectáreas. Se terminaron 75 presas de almacenamiento y se inició la construcción de otras 22 entre ellas Trojes en Michoacán y Colima y Trigomil en Jalisco.

Figura 13: Presa La angostura sobre el río Bavispe en Sonora para uso agrícola y generación de energía eléctrica



En este periodo se dio importancia a la incorporación de nuevas tierras a la agricultura de riego, por lo que el énfasis en la construcción de las áreas de riego se puso en la red de distribución mayor: poco se hizo en las redes ínter parcelarias y muy poco en el desarrollo parcelario.

Con el fin de fomentar el desarrollo agrícola, a partir de la década de los setenta, el sector agropecuario recibió subsidios por diferentes conceptos, entre ellos el relativo al pago de la tarifa de energía eléctrica para el riego por bombeo. Este subsidio propició que los usuarios no tomaran verdadera conciencia del valor de la energía ni del agua, causando distorsiones en su aprovechamiento y poniendo en riesgo el desarrollo sostenido de las regiones agrícolas que utilizan sistemas de riego.

Figura 14: Canales de distribución del agua para uso agrícola en el distrito de riego del río El Fuerte, Sinaloa

Módulo	Unidad	Nombre	Área (ha) Extensión	Red de canales, km			Densidad (km/Km)X100
				Revest.	Tierra	Total	
I-1	Primera	Guasave	19,624	20.5 9.5%	194.2 90.5%	214.7 100.0%	9.55%
I-2	Primera	Río Fuerte	21,798	30.5 14.6%	178.9 85.4%	209.4 100.0%	14.57%
II-1	segunda	Leyva Solano	14,262	0.00 0.0%	91.7 100.0%	91.7 100.0%	0.00%
II-2	segunda	Ruiz Cortinez	18,904	0 0.0%	143.64 100.0%	143.64 100.0%	0.00%
II-3	segunda	Batequis	12,114	0 0.0%	90.5 100.0%	90.5 100.0%	0.00%
III-1	Tercera	Santa Rosa	34,316	0.2 0.1%	301 99.9%	301.2 100.0%	0.07%
III-2	Tercera	Taxtes	22,636	0 0.0%	217.59 100.0%	217.59 100.0%	0.00%
IV-1	Cuarta	Sevelbampo	23,403	13.5 5.7%	223.8 94.3%	237.3 100.0%	5.69%
IV-2	Cuarta	Pascola	18,970	14.6 7.0%	195.26 93.0%	209.86 100.0%	6.96%
V-1	Quinta	Mavari	14,878	15 5.7%	249.94 94.3%	264.94 100.0%	5.66%
V-2	Quinta	Cahuinahua	6,984	35.6 36.7%	61.4 63.3%	97 100.0%	36.70%
VII-1	segunda	Juncos	12,296	26.4 44.9%	32.44 55.1%	58.84 100.0%	44.87%
VII-2	Tercera	Nohme	8,257	0 0.0%	81.38 100.0%	81.38 100.0%	0.00%
Suma			228,441	156.3 7.0%	2,061.8 93.0%	2,218.1 100.0%	7.05%
RED DEL VALLE DEL FUERTE S.R.L.				1.4 0.7%	186.36 99.3%	187.76 100.0%	0.75%
SUMA DE 13 MODULOS + S. DE R.L.				157.7 6.8%	2248.11 93.4%	2405.81 100.0%	6.55%

Fuente: Elaboración propia con datos del Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Comisión Nacional del Agua

En 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua como la autoridad ejecutiva única del Agua e inició un ambicioso programa de modernización y transferencia de los Distritos de Riego a los usuarios. Para corregir las distorsiones en el precio de la energía eléctrica, el 29 de mayo de 1990, la federación inició una serie de modificaciones en la política tarifaria en los sistemas de riego por bombeo. A partir de esa fecha y hasta octubre de 1993, esta tarifa tuvo varios incrementos que representaron un aumento final del 460 % en

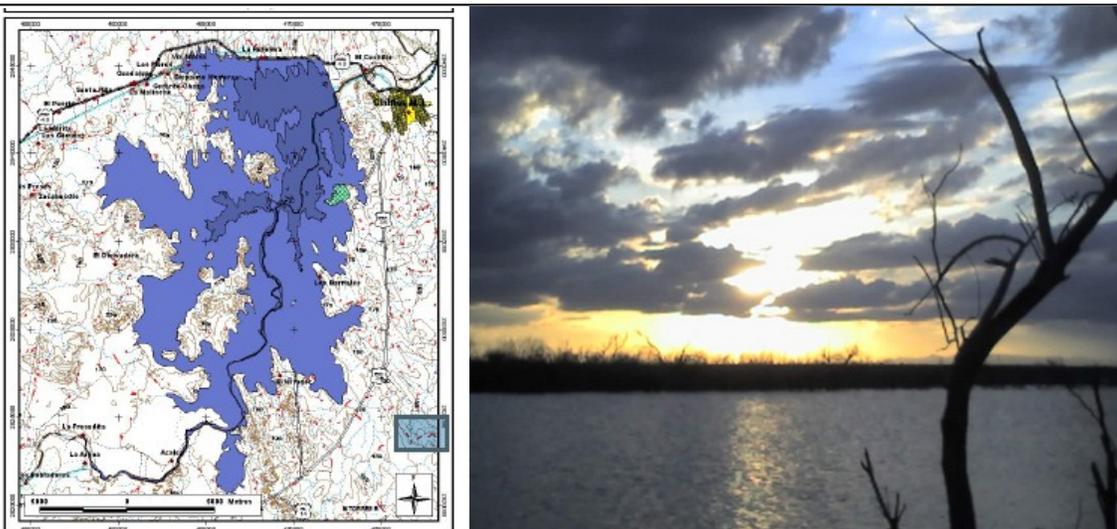
el costo del kilo watt hora. El ajuste de los subsidios en el sector agropecuario elevó considerablemente los costos de producción en el campo, afectando en mayor medida a los agricultores que utilizan sistemas de riego por bombeo. Para atenuar lo más posible el impacto de los incrementos a las tarifas eléctricas en septiembre de 1990 la CNA puso en marcha el Programa de Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica.

La superficie total bajo riego en 1997 era cercana a los 6.2 millones de hectáreas, de las cuales 6.0 millones de ha eran aptas para el riego sin necesidad de rehabilitación. La superficie sembrada en el mismo año fue de 5.4 millones de hectáreas, 4.2 millones en cultivos anuales y 1.2 millones en cultivos permanentes. Cabe destacar que más de una cuarta parte de la superficie bajo riego se concentra en dos estados del norte: Sinaloa 15% y Sonora 11 %.

La evolución del riego en los últimos años no se ha concentrado en incrementar la superficie de riego sino en optimizar el uso de la superficie existente. Además, la política actual de riego en México se enfoca de manera diferente según la zona del país. Mientras que en las regiones del sur se puede incrementar su superficie bajo riego y su superficie de drenaje, en las regiones del Norte, Nordeste y Centro, las tendencias actuales se centran en (i) incrementar la eficiencia del riego, (ii) controlar gradualmente las extracciones en los acuíferos sobre explotados: (iii) optimizar la operación y mantenimiento de los sistemas de riego; y (iv) estudiar pequeñas zonas localizadas para eventuales aprovechamientos. Cabe notar que actualmente los programas de riego más exitosos están encaminados tanto para grupos de productores en grandes distritos de riego como para productores privados en unidades de riego

En el 2006, la infraestructura hidráulica del país, estaba constituida por aproximadamente: 4,000 presas de almacenamiento de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con la definición de la ICOLD, 6.4 millones de hectáreas con riego, 2.65 millones de hectáreas con temporal tecnificado.

Figura 15: Presa El Cuchillo- Solidaridad Nuevo León



De las 6.4 millones de hectáreas irrigadas en México, 3.5 hectáreas corresponden a 86 distritos de riego, y 2.9 hectáreas a 39,482 unidades de riego. La eficiencia de conducción en los Distritos de Riego en el periodo de 1990 a 2005, se encuentra en el rango de 61.6% (1990) y 65.5% (1999). A esta cifra hay que aplicarle un factor por pérdidas en la aplicación al cultivo.

En México, los métodos más utilizados para aplicar el agua a las parcelas son los de gravedad y los presurizados. El riego parcelario presurizado ocupa aproximadamente el 10% (640,000 a hectáreas) de la superficie bajo riego del país, mientras que el 90% (5.76 millones de hectáreas) restante se riega por gravedad. Los métodos de riego por canales y compuertas son los más comunes en el riego parcelario por gravedad, en tanto que el goteo, el de micro aspersión y el de aspersión, son los que predominan en el riego parcelario presurizado.

A continuación se describe el funcionamiento de los principales sistemas de riego disponibles actualmente en el país.

II.3 Sistemas de Riego

El riego puede definirse como la acción de suministrar la humedad esencial para el crecimiento de la planta o cultivo. A fin de lograr un uso eficiente y racional del agua, debe responderse concreta y cuantitativamente a las siguientes preguntas:

- ¿Por qué regar?, es decir determinar el beneficio económico que se espera obtener incorporando el riego a un suelo de temporal o al modernizar un sistema de riego existente.
- ¿Cuándo regar? , determinar con qué frecuencia se deben repetir riegos consecutivos de acuerdo con cierto criterio.
- ¿Cuánto regar? Determinar el tiempo de riego y la lámina que debe aplicarse a la superficie agrícola
- ¿Cómo regar?



Determinar la forma de aplicar el agua al suelo de acuerdo con el tipo de sistema de riego elegido.

El uso ineficaz del agua (es decir, el riego excesivo) no solamente desperdicia el recurso que podría servir para otros usos y para ayudar a evitar los impactos ambientales, aguas abajo, sino que también causa el deterioro, mediante saturación, salinización y lixiviación, y reduce la productividad de los cultivos. La optimización del uso del agua, por tanto, debe ser la preocupación principal de todo sistema de riego.

Hay grandes áreas de tierra bajo riego que han dejado de producir debido al deterioro del suelo. Puede ser conveniente y, por supuesto, beneficioso para el medio ambiente, invertir en la restauración de estas tierras, antes que aumentar el área de bajo riego

Existen un buen número de consideraciones a tomarse en cuenta para la selección de un sistema de riego que incluyen: tipo de cultivo, clima, factores económicos, limitaciones topográficas, propiedades del suelo, compatibilidad con otras operaciones agrícolas, entre otras. La selección de un sistema de riego debe hacerse cuidadosamente ya que un riego deficiente puede ocasionar:

- Pérdidas de agua, es decir una baja eficiencia en la aplicación del recurso ya sea por escurrimiento superficial o por percolación profunda bajo la zona ocupada por las raíces de las plantas.
- Lavado de nutrientes minerales, concentración excesiva de sales en la zona radicular y contaminación de fuentes de agua.
- Bajos rendimientos de los cultivos por falta o exceso de agua ya sean en diferentes zonas de la unidad de riego o en diferentes temporadas del ciclo agronómico del cultivo.

En el funcionamiento de los sistemas de riego es importante evaluar las siguientes eficiencias:

- Eficiencia total. $E_t = V_d/V_e$, donde V_d es el volumen que está disponible para los cultivos y V_e es el volumen total entregado a la zona de riego
- Eficiencia de aplicación, $E_a = V_d/V_a$, donde V_d es el volumen de agua que está disponible para los cultivos y V_a es el volumen aplicado a las parcelas que incluye pérdidas por infiltración, escurrimiento superficial, viento, etc.
- Eficiencia de conducción, $E_c = V_a/V_e$, donde V_a es el volumen total aplicado a las parcelas y V_e es el volumen entregado a la zona de riego que incluye pérdidas en la conducción por infiltración, derrames, fugas y evaporación.
- Eficiencia del requerimiento de riego $E_r = V_d/V_r$ donde V_d es el volumen de agua que está disponible para los cultivos y V_r es el volumen requerido por los cultivos para sus funciones vitales.
- Eficiencia de uniformidad (uniformidad de aplicación). $E_u = 1 - AL/nL_p$, donde AL es la suma de las diferencias absolutas entre la lámina aplicada en el punto i y la lámina promedio. n es el número de puntos considerados y L_p es la lámina promedio

Los sistemas de riego disponibles en la actualidad pueden clasificarse en sistemas de riego por gravedad y presurizados y sus principales características se describen a continuación:

II.3.1 Por gravedad

En los sistemas de riego por gravedad o por superficie, el agua tiene energía potencial por su posición por encima de la zona de riego, ya sea porque la fuente de abastecimiento está en una elevación superior o por que fue previamente bombeada a esta posición. Como su nombre lo indica, en los sistemas de riego por

gravedad, la energía potencial se transforma en movimiento y el agua recorre el terreno de las zonas altas a las más bajas ya sea a lo largo de canales abiertos o conductos cerrados. El objetivo es aplicar uniformemente la lámina de riego a lo largo del surco o de la melga para lo cual es indispensable una nivelación adecuada de las parcelas. La melga se compone de dos surcos tapados con un surco pequeño en sus extremos, el ancho es de aproximadamente 2 m y se utiliza para cultivos de inundación o que requieren mucha agua en el riego (arroz, alfalfa, etc.), así es que una melga es un "canal" donde se regara un cultivo específico y que el agua se infiltrara en el suelo

Figura 16. Sistema de riego por gravedad



II.3.1.1 Canales

Este es el más tradicional de los sistemas de riego. Históricamente los canales fueron excavados en la propia tierra de cultivo o contruidos con bordos de piedras y tierra apisonada. En los grandes distritos de riego contruidos por el Estado a partir de la revolución, los canales más frecuentes son rectangulares o trapezoidales y revestidos de concreto. Incluyen estructuras de aforo y de controles como vertedores, canales Parshall y compuertas metálicas para distribuir el agua a lo largo de las parcelas. Normalmente la operación de estos sistemas de riego es enteramente manual aunque existen dispositivos (válvulas y medidores de gasto) electrónicos.

La eficiencia en la conducción de canales revestidos de concreto es del orden del 60% - 70% y las principales pérdidas son por fugas ocasionadas por la falta de mantenimiento de las estructuras, por infiltración y por evaporación a lo largo de la superficie libre del agua.

Una vez que el agua llega a la parcela es distribuida por surcos o melgas de la propia tierra de cultivo. Las pérdidas dependen de muchos factores como son el tipo de suelo, la frecuencia de riego y la nivelación del terreno por lo que son muy variables. La eficiencia en la aplicación es del 40% al 70%. Por lo general, en

estos sistemas de riego la eficiencia total es menor al 50%. La uniformidad de aplicación depende del tipo de suelo y la longitud de los surcos, normalmente es menor al 60%. Los sistemas de riego por canales constituyen alrededor del 70% de la superficie irrigada total en México.

La instalación de sistemas de riego por canales es favorecida cuando no se dispone de capital para hacer una inversión inicial en otros tipos de sistema más sofisticados; cuando la topografía de la superficie es tal que requiere muy poca preparación adicional; cuando hay gran disponibilidad de agua por lo que el riego es exclusivamente de apoyo durante periodos cortos, y cuando el cultivo tiene requerimientos especiales de agua tales como el arroz que necesita para su crecimiento estar cubierto en gran parte por agua.

La operación de un sistema de riego por gravedad es intensiva en mano de obra, hace algunos años cuando el costo de la mano de obra y del agua era relativamente bajo no había justificación económica para substituirlos. Sin embargo ya vimos que la situación del agua en México exige un uso más racional del agua. Por otra parte, la emigración de la mano de obra rural a centros urbanos y a Estados Unidos ha encarecido su costo por falta de disponibilidad. Estos factores presionaron para la instalación de sistemas de riego por gravedad más eficientes como el que se presenta a continuación:

Figura17. Sistema de riego por canales



II.3.1.2 Compuertas o Multicompuertas

En este sistema de riego, la distribución se realiza por gravedad (o bien por bombeo a baja presión en parcelas muy grandes o mal niveladas) a lo largo de conductos cerrados subterráneos. Si bien existen otros materiales, el más frecuente por precio, resistencia y baja rugosidad es el PVC. La tubería subterránea forma redes abiertas que tienen una eficiencia en la conducción del orden del 95%. La profundidad a la que se coloca depende del diámetro y es la mínima necesaria para permitir el paso de maquinaria agrícola sin que se rompan los tubos.

El agua sale a la superficie a través de piezas T invertidas que tienen válvulas hidrantes (normalmente manuales pero que pueden ser electrónicas). En la superficie se colocan codos de aluminio con los manuales para abrir y cerrar las válvulas hidrante. A estos codos se conectan tubos de PVC (resistentes a la intemperie) o de aluminio que tienen múltiples perforaciones con compuertas plásticas (de ahí el nombre del sistema de riego) que se pueden abrir o cerrar para permitir o impedir el flujo del agua.

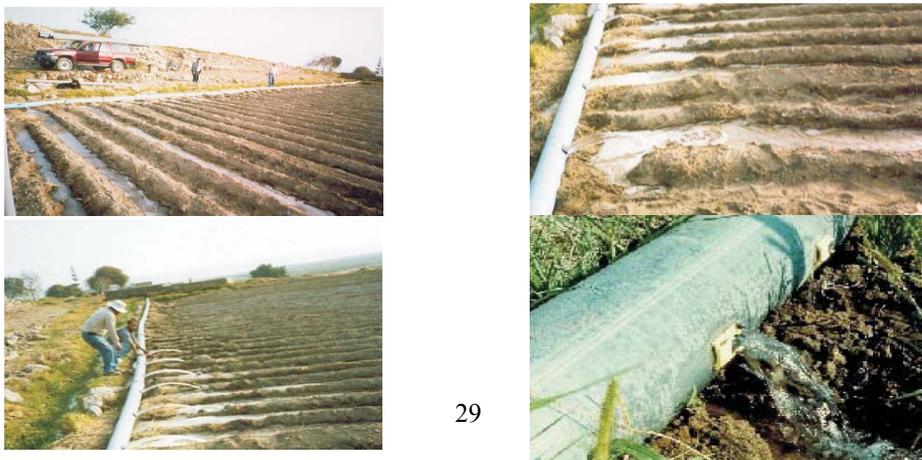
La tubería de compuertas (o Multicompuertas) se coloca perpendicular a los surcos en la parte más alta. La distancia entre compuertas es la misma que entre surcos, por lo que el agua se conduce prácticamente sin pérdidas por infiltración ni evaporación hasta el cabezal del surco. Cuando la compuerta se encuentra abierta, el agua sale del tubo y recorre el surco por gravedad a lo largo de no más de 50 metros, a fin de garantizar una buena uniformidad de aplicación. A esa distancia deberá colocarse otro hidrante al que se conectará la tubería de compuertas.

La eficiencia en la aplicación, usando el sistema de riego por compuertas está entre 60% y 75% y la eficiencia total es del orden del 60 %. Además del ahorro de agua y una aplicación más uniforme de la lámina en el cultivo se tienen otras ventajas en cuanto al manejo hidráulico como las siguientes.

La posibilidad de abrir y cerrar las compuertas plásticas permite regular el gasto aplicado a cada surco o bien regar surcos alternados en riegos consecutivos. Además se puede colocar la tubería de compuertas a uno y otro lado del hidrante y controlar el flujo de agua para regar primero de un lado y después del otro. El riego por pulsos permite que el agua cierre los poros del terreno y se obtiene una mayor distancia de recorrido del agua en el siguiente pulso. Este manejo permite reducir significativamente las pérdidas por infiltración y mejorar la eficiencia de uniformidad.

Si bien, la inversión inicial es mayor que en el caso de los canales a cielo abierto (del orden de 300 - 500 USD por hectárea), la operación requiere menor cantidad de mano de obra y se puede automatizar fácilmente.

Figura 18: Sistema de riego por compuertas



II 3.2 Presurizados

Como su nombre lo indica, los sistemas de riego presurizados, están conformadas por redes (generalmente abiertas) de tuberías con agua a presión ya sea generada con un sistema de bombeo o bien por un desnivel mayor a 30 metros.

El costo de la inversión inicial es significativamente mayor que en los sistemas por gravedad. Si bien, el uso de mano de obra en este tipo de sistemas es menor, normalmente se requiere de energía eléctrica, incrementando así los costos de operación.

Por lo tanto, el uso de sistema de riego es favorecido cuando existe escasez del recurso agua; cuando los suelos son muy porosos o variables para obtener una buena distribución por métodos de superficie; cuando los costos de nivelación son excesivos o los suelos son pocos profundos y no se pueden nivelar; si el suelo es fácilmente erosionable; cuando el costo de la mano de obra es alto o no existe disponibilidad y cuando los cultivos son de un alto valor que justifique la inversión inicial.

En todos los sistemas de riego presurizados bien operados la eficiencia en la conducción es superior al 95%. La eficiencia y la uniformidad en la aplicación dependen del tipo de emisor y del diseño del sistema de riego pero por lo general son mayores al 60%. Sin embargo la mayor ventaja de los sistemas de riego presurizados radica en la posibilidad de aplicar fertilizantes, plaguicidas y otros agroquímicos fácilmente a través del riego. A esto se le conoce como fertirrigación o quimigación.

De acuerdo con el emisor, los sistemas de riego presurizados pueden clasificarse en aspersión, micro aspersión y goteo:

II.3.2.1 Aspersión

El principio de operación en los sistemas de riego por aspersión es convertir la energía de presión en energía de velocidad a la salida de la boquilla del aspersor en forma de chorro. A medida que dicho chorro de agua pasa sobre el terreno, éste queda esparcido en forma de gotas, las cuales disminuyen su velocidad por fricción con el aire y caen a la superficie del suelo. Un sistema de riego por aspersión consiste en una red de tuberías normalmente de aluminio, acero o PVC de alta resistencia, con aspersores acoplados a ellos, arreglados de tal manera que puedan distribuir la precipitación del agua de riego lo más uniformemente posible sobre el campo de cultivo.

La ventaja principal de los sistemas de riego por aspersión es que se tiene un control efectivo sobre la cantidad y tasa de aplicación del agua. Éstos se diseñan para que la intensidad de precipitación sea menor que la tasa de infiltración básica del suelo. Así se logra que toda el agua se infiltre y se evitan tanto encharcamientos como escurrimientos superficiales que puedan generar erosión y una mala distribución del agua. De esta forma pueden aprovecharse eficientemente los gastos pequeños y se logran buenas eficiencias tanto en aplicación como en uniformidad de riego.

Asimismo, este sistema permite agilizar las operaciones de labranza ya que se eliminan acequias, canales, etc. Por tanto se reduce la cantidad de mano de obra requerida y puede ser poco especializada. No obstante la inversión inicial puede ser alta (entre 800 y 2500 USD por hectárea) y son sistemas que requieren de un uso intensivo de energía.

Existen ciertos factores que también se deben considerar como son que el viento distorsiona el patrón de esparcimiento del agua y puede resultar en grandes pérdidas por evaporación en algunas zonas. También la aspersión puede lavar los insecticidas que son aplicados manualmente al follaje de las plantas y producir un daño en la floración. Finalmente, si bien el gasto requerido en estos sistemas de riego es menor dada su mayor eficiencia, para su mejor utilización se requieren condiciones de continuo suministro de agua.

Además del riego, fertirrigación y quimigación, los sistemas de riego por aspersión pueden ser empleados para el control de polvo y temperatura así como la limpieza del estiércol en corrales de ganado vacuno; han servido para conservación de suelos, con aplicaciones frecuentes pero ligeras permite acelerar la germinación y asegurar el crecimiento en las primeras fases de crecimiento de algunos cultivos y controlar la temperatura ambiente de los cultivos, enfriándolos cuando el calor es excesivo o protegiéndolos cuando se trata de un helada tardía.

Los sistemas de riego por aspersión pueden ser clasificados de muy diversas formas: Una primera clasificación puede ser de acuerdo al tipo de movimiento que tienen sobre el campo de cultivo: ya sea aspersión mecanizada si es que tiene dispositivos para desplazarse automáticamente de un lado a otro o aspersión no mecanizada. La aspersión no mecanizada puede a su vez, clasificarse de acuerdo con su probabilidad en sistemas fijos o portátiles. Finalmente, de acuerdo con el tipo de emisor pueden emplear aspersores o cañones.

Empezaremos por describir los sistemas de riego por aspersión no mecanizada:

II.3.2.1.1 No Mecanizada

Como su nombre lo indica, los sistemas de riego por aspersión no mecanizada, están compuestos por una red hidráulica de tuberías en la que circula agua a presión. Los materiales pueden ser acero, aluminio y PVC de alta resistencia. La tubería principal no tiene orificios puesto que es exclusivamente para conducción. Las líneas secundarias o regentes tienen orificios equidistantes en los que se colocan los aspersores. El elevador es un tramo de tubo que conecta al aspersor con la línea de tubería lateral. Frecuentemente consiste en un tramo de tubo de longitud fija y a veces puede ser un tubo telescópico.

II.3.2.1.1.1 Fija

En los sistemas fijos o permanentes, la tubería está ubicada de acuerdo con el diseño hidráulico en el campo regado. Generalmente la tubería se encuentra enterrada y no se desplaza de esta ubicación. Los altos costos iniciales (entre 1500 y 2500 USD por hectárea) se compensan a lo largo de la vida útil del equipo con el ahorro en mano de obra, con la calidad y cantidad de la producción obtenida y con las economías en la aplicación de fertilizantes, pesticidas y el control eventual de heladas.

En los sistemas fijos la operación puede estar completamente automatizada y los riegos pueden ser más cortos y frecuentes, mejorando significativamente las eficiencias de aplicación y uniformidad.

II.3.2.1.1.2 Semi fija

Los sistemas Semi-fijos emplean líneas de conducción principales enterradas permanentemente en el

campo; las tuberías secundarias o laterales donde se ubican los aspersores, son transportadas de un campo a otro en forma rotativa durante la temporada de riego. El costo inicial se reduce significativamente (entre 1000 y 1800 USD por hectárea) pero no puede ser automatizado.

II.3.2.1.1.3 Portátil

En los sistemas portátiles, todos los componentes desde el punto de bombeo o fuente de presión hasta el último aspersor son transportables de un punto a otro en el campo regado. El costo inicial por hectárea es menor (Entre 800 y 1200 USD por hectárea) puesto que la tubería es reutilizable en diferentes puntos del campo de cultivo.

Sin embargo los costos de mano de obra se incrementan, existen mayores probabilidades de fugas y no se puede garantizar que la colocación de los aspersores sea la indicada en el diseño. Por tal motivo, generalmente los sistemas portátiles tienen menor eficiencia de aplicación y de uniformidad. Asimismo, la vida útil de la tubería es menor en virtud de que sufre cierto deterioro al ser transportada de un lugar a otro y por estar expuesta al medio ambiente. Con frecuencia la maquinaria agrícola pasa por encima de los tubos que están colocados en la superficie del terreno y los rompe o los maltrata.

II.3.2.1.1.4 Aspersores

Los aspersores de cabeza giratoria tienen un movimiento rotatorio a lo largo de un eje, causado por la reacción que produce el agua al salir de una o dos boquillas e impactarse sobre el brazo giratorio del aspersor. Éste está cargado con un resorte para lograr un retroceso y periódicamente interrumpe el chorro que sale por alguna de las boquillas. Sus diámetros varían entre 1.5 mm y 15 mm, descargando un gasto que va de 0.1 (l/s) hasta 2 (l/s) cubriendo áreas circulares de 10 a 40 metros de diámetro y trabajando a presiones de 1.4 a 4.2 Kg. /cm². Cabe señalar que algunos tipos de aspersores pueden ser ajustados para dar un círculo completo o cubrir cualquier segmento de círculo. Los materiales principales son aluminio, bronce y plástico.

Los aspersores requieren elevadores de 12 a 30 mm y deben tener un mínimo de 8 cm. de alto y hasta 1 metro. Pueden emplearse en una gran variedad de cultivos ya que existen en el mercado una gran variedad de opciones.

Dependiendo del diseño pueden alcanzar eficiencias de aplicación de hasta 85% con uniformidad de aplicación del orden del 70%.

Figura 19: Sistema de riego por aspersión con aspersores



II.3.2.1.1.5 Cañones

Los aspersores gigantes o de gran cañón comúnmente conocidos como cañones son aspersores giratorios equipados con un brazo que al oscilar interrumpe el chorro de agua con cierta periodicidad ocasionando un giro sobre la base del aspersor. Estos aspersores descargan desde 5 y hasta 80(l/s) cubriendo un diámetro de 75 a 190 metros de precipitación. Durante la operación trabajan a presiones que van desde 4.2 hasta 7 Kg./cm² y están equipados con boquillas de 15 a 50 mm de diámetro.

Los cañones requieren elevadores más altos y de mayor diámetro (hasta 75 mm) y frecuentemente se colocan en un tripié o en carritos que pueden ser remolcados. Los cañones tienen una amplia variedad de usos, especialmente en cultivos altos (como cereales y árboles en huertos completamente desarrollados). Generalmente están hechos de aleaciones metálicas.

A pesar de ser más fáciles de operar que los aspersores para ciertos cultivos ya que cubren una mayor superficie de riego a mayor altura, los cañones presentan algunas desventajas. Por ejemplo, requieren presiones de operación mayores y por ende consumen más energía eléctrica. Además tienen menores eficiencias de aplicación (60%- 75%) y de uniformidad (65%) y son más afectados que los aspersores por la incidencia del viento.

Figura 20: Sistema de riego por aspersión con cañones



II.3.2.1.2 Mecanizada

Como hemos visto, los sistemas fijos son los más fáciles de operar ya que no se requiere estar moviendo la tubería de un lado para otro, sin embargo son también el tipo de aspersión más cara. Los sistemas mecanizados surgieron de la necesidad de mover la tubería regente a lo largo del terreno de cultivo de una forma más sencilla y total o parcialmente automatizada.

La escasez de la mano de obra en el campo en conjunto con los progresos logrados en el desarrollo de la mecanización agrícola ha traído como consecuencia un notable incremento en el uso de sistemas de riego

por aspersión mecanizada o de movimiento continuo. Estos sistemas se caracterizan por contar con una línea lateral con aspersores que permanece unida a una línea alimentadora de agua de riego sobre el campo.

II.3.2.1.2.1 Cañón Viajero

En un sistema Semi fijo por cañones, el cañón se conecta a un hidrante de la tubería principal enterrada y se coloca en la primera posición. Al completar el ciclo de riego se desconecta se mueve y se conecta en la posición siguiente. Para facilitar el movimiento se pensó en colocar el cañón sobre un carrito con ruedas.

El sistema de riego por cañón viajero parte del mismo principio, consiste de un vehículo equipado con ruedas y un aspersor gigante que arrastra una manguera flexible que lo une al suministro de agua de la tubería principal. Este vehículo es frecuentemente impulsado mediante un mecanismo hidráulico que funciona con el agua a presión que llega a través de la manguera. La trayectoria de avance es gobernada por un cable de acero que se acopla en un carrete de enrollado en el vehículo y se ancla en el otro extremo al final del campo.

El cañón opera a presiones de 4 a 5.5 Kg. /cm², descargando gastos que van de 10 a 40(l/s) cubriendo áreas de 60 a 180 m de diámetro. Las trayectorias que recorren estos sistemas usualmente se encuentran separadas unas de otras de 50 a 100 metros. La manguera flexible puede tener de 100 a 200 metros de largo que le permiten recorrer trayectorias de riego de 200 hasta 400 m de largo.

El cañón viajero riega franjas rectangulares de terreno y es adaptable a un amplio rango de tamaños y formas de campos de cultivo. Su costo inicial por hectárea es más bajo que la mayoría de los sistemas de riego mecanizado y sus requerimientos de mano de obra son bajos. Estos sistemas pueden ser usados en superficies de diferentes condiciones topográficas y en aquellos con obstáculos como árboles, líneas de alta tensión y edificios.

Las limitaciones de este sistema se relacionan con los problemas causados por suelos arcillosos que tienen velocidades de infiltración muy bajas, además de que tienden a causar problemas de tracción en el avance del sistema. Vientos fuertes tienden a distorsionar grandemente el patrón de precipitación reduciendo la uniformidad del sistema en un mayor grado de lo que ocasiona en otros tipos de sistema de riego por aspersión. El vehículo y la manguera deben permanecer fuera del área de siembra y se debe tener cuidado con la manguera flexible ya que puede dañarse fácilmente.

Figura 21: Sistema de riego por cañón viajero



II.3.2.1.2.2 Side Roll

El "side Roll", a veces conocido como "wheel Roll" es un sistema de riego mecanizado que consiste de una línea regante o lateral, usualmente de 400 metros de longitud montada sobre ruedas de entre 1 y 3 metros de diámetro. La tubería, de entre 4 y 5 pulgadas de diámetro, sirve de eje a las ruedas que la sostienen. El agua proviene de la línea principal subterránea y entra la sistema a través de una manguera flexible de alta resistencia conectada a los hidrantes.

Riega una franja de 10 a 30 metros de ancho, dependiendo de los aspersores que tenga la línea regante por un periodo de 3 a 8 horas. Cuando completada el ciclo de riego, un motor de gasolina localizado al centro del equipo lo mueve a la siguiente posición a unos 10 metros. Como la tubería gira con las ruedas, normalmente los aspersores están colocados sobre elevadores giratorios cuyo contrapeso permite que el aspersor siempre esté en la parte superior del equipo sin importar en qué sitio se detenga.

Es un sistema limitado en su operación a terrenos muy regulares en su topografía, tendiendo a ser rectangulares y no se recomienda para pendientes superiores al 5%. Requiere menor mano de obra que los sistemas portátiles pero mayor mano de obra que los sistemas mecanizados continuos, aunque estos últimos son también más costosos. Además de ser ligero es resistente a los esfuerzos mecánicos que se ejercen principalmente en las ruedas pero puede ser dañado por vientos muy fuertes.

Si se quiere mover de un terreno a otro se deben instalar ruedas especiales giratorias pero cada equipo puede regar solo hasta 15 hectáreas. El "side Roll" está más adaptado a suelos arcillosos que otros sistemas de aspersión mecanizada y se usa principalmente para regar cultivos cortos, como cereales forrajeamos.

Figura 22: Sistema de riego por Side Roll



II.3.2.1.2.3 Pivote Central

Este tipo de sistemas de riego por aspersión fue por primera vez patentado en 1952, aunque su uso se ha extendido a nivel mundial sólo hasta hace algunos años. Los sistemas de riego por pivote central funcionan por aspersión mecanizada de tipo continuo, es decir, no deben dejar de regar para cambiar de posición, sino que se mueven continua y simultáneamente al riego.

Consisten en una línea lateral con aspersores, la cual tiene uno de sus extremos fijos a un pivote mientras que el otro extremo se desplaza en círculos alrededor del punto pivote. El agua entra al sistema a través del

extremo fijo. La línea lateral es soportada por torres y armaduras metálicas (normalmente de acero galvanizado) en las cuales el tubo, además de servir como conducción del agua, tiene funciones estructurales. Las torres son desplazadas por unidades motrices equipadas con propulsión individual, montadas sobre grandes ruedas similares a las de un tractor. Estas torres están separadas unas de otras de 25 a 75m y la longitud total de la línea lateral varía entre 50 y 1000 metros.

El área de riego es circular aunque pueden incorporarse, con un incremento substancial en el costo del pivote, equipos esquineros para terrenos rectangulares. Actualmente hay pivotes que riegan hasta 150 hectáreas en forma circular, y mientras más grande sea el equipo, menor es el monto de la inversión inicial por hectárea (Entre 800 y 3000 USD por hectárea). De tal suerte que para terrenos muy grandes el costo es similar al de una aspersión portátil tradicional.

La restricción principal para la longitud del pivote es la pendiente del terreno que debe ser menor a 15% promedio. Aunque inicialmente estos sistemas de riego operaban con unidades motrices de impulsión hidráulica, actualmente la impulsión se realiza primordialmente con motores eléctricos o de combustión interna.

La línea lateral es mantenida en forma alineada durante el movimiento del sistema alrededor del punto pivote mediante un sistema de control que regula la velocidad de avance en cada torre. En caso de que la alineación del sistema falle, un dispositivo de seguridad automáticamente suspende el funcionamiento de todo el sistema de riego antes de que alguna parte del equipo resulte dañada.

Dependiendo del tipo de aspersor, de la longitud del equipo y de la longitud de las bajantes, pueden lograrse coeficientes de uniformidad superiores al 80% y eficiencias de aplicación de hasta el 95%. Sin embargo, su ventaja principal es que requiere muy poca mano de obra para su operación, y es fácilmente automatizabas. Con telemetría una sola persona puede controlar decenas de equipos al mismo tiempo.

Se emplean para todo tipo de cultivos, desde hortalizas, cereales y hasta árboles frutales.

Figura 23: Sistema de riego por pivote central



II.3.2.1.2.4 Avance frontal

Los sistemas de riego por avance frontal, en su estructura, son exactamente iguales a los pivotes centrales. Sin embargo, para irrigar terrenos rectangulares se tiene que las torres, que soportan la línea lateral con sus

aspersores, se mueven todas a la misma velocidad en línea recta. Cada torre en forma individual tiene sus dispositivos de impulsión y de alineación con el resto del sistema y se mueven con una velocidad de desplazamiento de entre 0.2 y 0.5 m/min.

El agua proviene de la línea principal subterránea y entra al sistema a través de una manguera flexible de alta resistencia que se conecta a los hidrantes. Dependiendo de los aspersores que se coloquen se puede alcanzar eficiencias de aplicación de hasta 95% y de uniformidad de hasta 90%.

El costo del equipo es superior que el de un pivote central pero se proratea mejor en terrenos angostos pero muy largos (Entre 1000 y 3000 USD por hectárea). No obstante, este tipo de sistemas no es tan fácilmente automatizables ya que se debe conectar la manguera flexible a los hidrantes y se tienen problemas de alineación en suelos muy arcillosos.

Figura 24: Sistema de riego por avance frontal



II.3.2.2 Sistemas de Riego Localizado

En los sistemas de riego localizado, como en todos los presurizados, el agua se conduce por tuberías a presión mayor que la atmosférica. El agua se suministra al suelo mediante emisores que la dispersan, humedeciendo únicamente la zona de las raíces. Estos emisores permiten aplicar gastos pequeños con alta frecuencia, creando así un medio ambiente con humedad óptima para los cultivos.

La zona entre emisores, queda sin regar evitando el crecimiento de malas hierbas. Por este motivo, el concepto de eficiencia de uniformidad, o uniformidad de aplicación deja de tener la misma validez. En este tipo de sistemas de riego, se busca uniformidad de presiones ya que si los emisores presentan un funcionamiento adecuado, el gasto que emiten es igual a lo largo de toda la parcela.

La ventaja más importante de este tipo de sistemas es que tienen una alta eficiencia del requerimiento de riego, arriba del 90%. Debido a que solamente la zona radicular de la planta es suplida con agua, bajo un apropiado manejo sólo se pierde una mínima cantidad de agua por percolación profunda, consumo de plantas no beneficiosas o evaporación desde la superficie del suelo. Este control tan eficiente permite ahorros de agua substanciales.

Como en los demás sistemas de riego presurizados, el riego localizado permite la fertirrigación y la

quimigación con un ahorro muy importante ya que los agroquímicos no se desperdician además de que pueden ser automatizados fácilmente. Además, de acuerdo con el tipo de emisor podemos encontrar dos tipos de riego localizado: el riego por goteo y por micro aspersión.

II.3.2.2.1 Goteo

Los sistemas de riego por goteo suministran el agua a los cultivos en forma de gotas, directamente al suelo, con láminas de riego muy pequeñas e intervalos de tiempo muy cortos.

II.3.2.2.1.1 Superficial

Según su tipo de emisión pueden ser puntuales (de emisión individual) y tubería continua (cinta regante). Si el emisor es un gotero puntual, fabricado por molde normalmente se emplea en cultivos perennes como la vid. En estos goteros el patrón superficial de mojado es también puntual con un espaciamiento que va de 0.5 m a 1.0 m dependiendo del tipo de cultivo. Espaciamientos menores encarecerían el sistema. Por tal motivo, cuando se riegan cultivos en surco como las hortalizas frecuentemente se emplea la manguera ligera de polietileno con orificios equidistantes llamada cinta. Los goteros de emisión continua o cintas regantes tienen un patrón de mojado en franja continua, ya que el espaciamiento entre emisores es generalmente menor a 0.60m.

II.3.2.2.1.2 Sub-superficial.

El riego por goteo puede aplicarse debajo de la superficie el suelo y se llama riego sub-superficial. Este método consiste en suministrar el agua al suelo cerca de la profundidad radicular a la que se distribuye por capilaridad. Es muy empleado en hortalizas y se aplica principalmente por tuberías de polietileno (cinta) con goteros integrados.

Las eficiencias de aplicación y del requerimiento de riego son superiores al 90%. Sin embargo los goteros pueden taparse fácilmente, para evitar esto es necesario contar con complejos sistemas de filtrado y usar únicamente agroquímicos solubles para la fertirrigación. En una parcela promedio, pueden emplearse miles de goteros y será necesario que mano de obra altamente especializada revise el adecuado funcionamiento de cada uno de ellos.

Los costos iniciales (Arriba de 2000 USD por hectárea) y de mantenimiento de los sistemas de riego por goteo son los más altos, por ello frecuentemente se emplean en cultivos de alto valor y bajo condiciones controladas como en el caso de invernaderos.

Figura 25: Sistema de riego por goteo



II.3.2.2.2 Micro aspersión

Los sistemas de riego por micro aspersión son similares a los sistemas de riego por aspersión pero el agua se aplica de forma localizada.

Los sistemas de riego por micro aspersión son empleados frecuentemente en frutales ya que suministran el agua a los cultivos en forma de lluvia artificial directamente a la zona radicular, como es la base de cada árbol.

Los difusores del micro aspersores tienen varias formas de asperjar el agua, como la lluvia en círculos o sectores de círculos, la nebulización y los chorros. Los micro aspersores tienen láminas precipitadas horarias que no exceden la velocidad de infiltración del agua en el suelo a fin de evitar encharcamientos.

Si bien son más sensibles a la acción del viento que los sistemas de riego por goteo, la eficiencia de aplicación es superior al 90% y la eficiencia del requerimiento de riego es superior al 85%.

El costo de la inversión inicial (arriba de 1500 USD por hectárea) depende en gran medida de la distancia entre cada micro aspersor pero por lo general es ligeramente menor que los sistemas de riego por goteo.

Figura 26: Sistema de riego por micro aspersión



III Sistemas de Riego por pivote Central

Este tipo de sistemas como se describe en el inciso II 3.2.1.2.3 consiste en llevar el agua de riego hasta los cultivos mediante una tubería metálica, generalmente de acero galvanizado o aluminio, la que es montada sobre torres de metal que se mueven sobre conjuntos de ruedas, de modo que el pivote gira en círculos manteniendo uno de sus extremos fijos en el centro del campo. A todo lo largo de la tubería cuelgan aspersores, distribuidos de acuerdo a los requerimientos, cuyas cabezas de riego pueden ser ubicadas a distancias variables del suelo.

La gran mayoría de los sistemas actuales son accionados por motores eléctricos conectados a cajas de cambios en las ruedas de las torres . Otros, son hidráulicos. Además, en la actualidad, casi todas estas máquinas se mueven sobre ruedas de goma de diversos diámetros y anchos de neumático, las que por lo general se seleccionan procurando minimizar la profundidad de las huellas en el campo. La profundidad de las huellas dependerá del tipo de suelo, de cuánta agua se le aplique -entre otras condiciones de campo- y del peso del pivote.

La tecnología actual permite a los operadores mover los pivotes en cualquier dirección, en el sentido de las agujas del reloj o al contrario, con o sin aplicación de agua en tanto se mueven. Esto permite operar los pivotes con patrones como los del limpia parabrisas de un automóvil, de modo de alternar dentro del círculo entre dos diferentes cultivos con distintos requerimientos de agua y tiempos de riego.

El patrón de riego en círculo de los pivotes centrales muchas veces no coincide con la forma de la mayoría de los predios agrícolas. En un principio esta particularidad no era importante ya que muchos pivotes fueron instalados para regar terrenos de bajo valor, por ejemplo en suelos arenosos, de modo que las esquinas que no recibían agua (improductivas) no preocupaban mayormente a los agricultores. Las áreas entre el círculo de riego y las esquinas de los terrenos generalmente cuadrados o rectangulares donde se instalaban los pivotes eran utilizadas para cultivos de temporal. Pero pasa a ser un verdadero problema cuando se cultiva en terrenos de alto valor.

Los fabricantes de pivotes primero intentaron agregando cañones (aspersores también llamados pitones o pistones) de alto caudal en los extremos de los pivotes, los que se activaban automáticamente cuando el extremo móvil llegaba a la esquina. Esta fue una solución parcial ya que no se moja toda el área de la esquina y además se sufre la deriva por viento.

En 1974 se introdujo el sistema de ‘esquinero’, el que consistió en una extensión del pivote central de hasta 80 m, la que cuenta con una torre móvil propia y control. El esquinero se despliega y repliega desde el extremo móvil del pivote activándose automáticamente en las esquinas.

III.1 Tipos de equipos

Los tipos básicos de pivotes son: Pivote central fijo y Pivote Central Móvil

III.1.1 Fijos

Un pivote central fijo, es un sistema de riego móvil, con un lateral que rota alrededor de un punto fijo o pivote. En este punto fijo se ubica la toma de agua, la que generalmente es bombeada desde una estructura de acumulación ubicada fuera del perímetro de riego

Figura 27. Pivote Central fijo



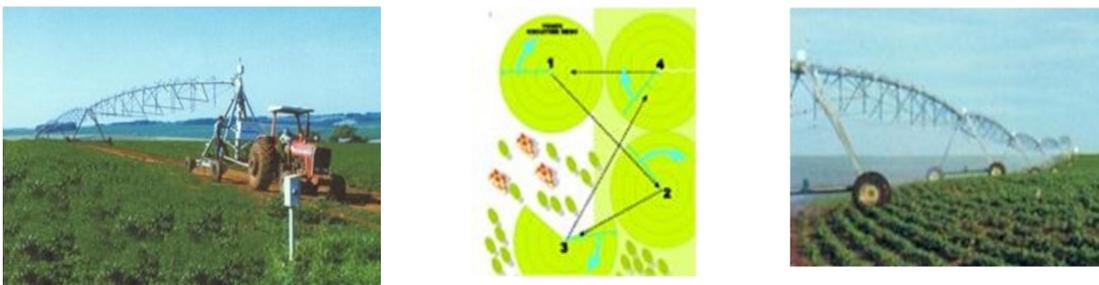
III.1.2 Moviles

Es generalmente de menor tamaño que los fijos. Cuando termina un circuito de riego se modifica manualmente la dirección de las ruedas y luego son tirados por un tractor, desde uno de sus extremos, hasta el siguiente circuito de riego. Se requiere de un alimentador de agua (hidrante) en el centro de cada uno de los circuitos de riego (mucho más tubería enterrada). Estos sistemas son mucho más demandantes de mano de obra que los fijos.

Las principales características son:

- Desplazamiento rápido de un área de cultivo a otra.
- Dispositivos de acoplamiento al tractor simples y de fácil manipulación.
- Capacidad de irrigación de hasta 100 ha.
- Accionamiento por generador o red eléctrica.
- Torre central con cuatro ruedas o sistema de base deslizante.
- Versátil y económico, el sistema remolcable hizo que la irrigación mecanizada sea accesible a más agricultores.
- Fácilmente adaptable a diferentes tamaños de áreas de cultivo.

Figura 28. Pivote Central móvil



III.2 Fabricantes.

72.000 pivotes riegan cerca de 2 millones de hectáreas de los algo más de 3 millones 200 ha bajo riego.

Casi todas las principales fábricas de pivotes de EEUU están ubicadas en Nebraska tales como:

1. *Valmont Industries.* Valley irrigacion pertenece al grupo Valmont, con productos que establecieron las normas de innovación y calidad, es la tecnología líder en riego de precisión a nivel mundial. Por más de 50 años, Valley ha desarrollado productos basándose en una visión en donde se funde una tecnología avanzada con una alta funcionalidad, para así satisfacer las necesidades de los clientes. Hoy en día, Valley ofrece una amplia variedad de productos que satisfacen las necesidades exigentes de la agricultura de precisión.
2. *T-L Irrigation Company* .Un fabricante de clase mundial de los sistemas de pivote hidrostático dirigido. Ha introducido un equipo útil con larga duración a sus opciones en el sistema de estructura, con sistemas de fácil diseño para superar los obstáculos de campo, tales como estanques, arroyos o edificios.
3. *Reinke*. En 1954, comenzó Reinke Manufacturing en Deshler, Nebraska, y presenta su primer sistema de pivote central en 1966. Para evitar infringir las patentes de Valley, Reinke introdujo nuevas ideas. Fue el primero en: hacer sistemas de accionamiento eléctrico reversible, de modo que un agricultor podría volver el sistema hacia arriba.poner sus motores eléctricos en el centro de cada base de la torre y conectar los ejes de transmisión para las cajas de cambio; en cada rueda patentar el "arco-cadena" en el marco del sistema de entramado se extiende por la tubería que la mayoría de los pivotes de uso ahora.usar una conexión eléctrica "anillo colector" para transferir el poder desde el punto de giro por los tramos para que un cable de no termina como el pivote dio la vuelta y tienen que ser abierto después de cada revolución.En total, han patentado más de 30 innovaciones para los diseños de pivote central.
4. *Lindsay Manufacturing*.Tiene su sede en la ciudad de Nebraska, donde Pablo Zimmerer y sus dos hijos. Se instalaron en 1958. En primer lugar, hicieron el remolque en línea de los sistemas de riego. Diez años más tarde, salió con su primer sistema de pivote central bajo el nombre "Zimmatic". Debido a que el terreno alrededor de Lindsay son colinas presentó un sistema que conjunta cada torre, en lugar de la rótula que otros constructores utilizan. Esto permitió a los Zimmatic para moverse por las cuestas muy duras y valles. También utilizaron un anillo colector externo - en vez de anillo interno de Reinke - para transferir energía eléctrica por el sistema. La empresa creció rápidamente, y hoy en día, Lindsay es el mayor exportador de los sistemas de pivote central
5. *Raincat*. En 1959, una empresa australiana había modificado el enfoque básico del Valley produjo un sistema de pivote central llamado pastizales. Presentó muchas innovaciones que se convertiría en las normas para la industria en el futuro - la máquina tenía motores eléctricos a la unidad (en lugar de las de unidad de agua) y un sistema de armadura en cada nivel de tubo de arco y apoyo a la tubería (en lugar de cables aéreos). El fabricante de la bomba de California y Layne Bowler

llevaron el sistema a los Estados Unidos, puso los neumáticos de goma en ella y cambia el nombre a Raincat. Pero los agricultores de California no tuvo necesidad de pivote central tanto como los agricultores en las llanuras. Así, la compañía pasó por varios cambios de propiedad, con el tiempo de aterrizaje en Greeley, Colorado. Raincat salió del negocio en la década de 1980.

Los diferentes representantes de las principales compañías están de acuerdo en que los pivotes de las marcas que permanecen en el mercado son en general de buena calidad y que las diferencias sólo comienzan a notarse luego de varios años de uso.

Argumentos a favor de cada marca hay muchos. Algunas empresas destacan lo liviano de sus pivotes, lo que incidiría en un menor desgaste del sistema en general, en una menor profundidad de huella y en menos atascos; otras destacan la robustez de sus sistemas, su durabilidad y que luego de muchos años pueden desarmarse para luego ser armados en otra parte. Unos afirman que los sistemas eléctricos son más complicados y que los hidráulicos riegan de forma más uniforme. Por su parte los que trabajan con sistemas eléctricos argumentan que los sistemas hidráulicos no permiten un adecuado control a distancia de los equipos. O que los motores eléctricos de 1,5 HP –que mueven las torres– son superiores o que los de 0,75 HP son más económicos.

Independientemente de las particularidades de cada producto, lo que queda absolutamente claro es que los pivotes son un gran invento. Una ‘revolución circular’ del riego agrícola cuya tecnología ya se ha consolidado en casi todo el mundo y que hoy busca nuevas aplicaciones. Se esperan avances en la fertirrigación por pivote y en la aplicación de agroquímicos (herbicidas, fungicidas, etc.), disminuyendo enormemente el tiempo y la mano de obra que se dedican a estas labores y convirtiendo a los pivotes –más allá del riego– en estructuras que permiten entrar al campo en todo momento para realizar labores, como fumigar, de forma extraordinariamente económica.

III.3 Componentes del sistema.

Los sistemas por pivote central son máquinas autopropulsadas diseñadas para regar campos circulares hasta superficies de 100 hectáreas. Están equipados con un lateral autodesplazable con un extremo fijo que sirve como punto pivote para que el lateral gire circularmente cubriendo una zona de riego circular. Generalmente se alimentan de una fuente de agua que se encuentra en el centro del campo y el agua se traslada hacia el lateral rotatorio.

El lateral rotatorio está soportado por las torres y un sistema de guías controla el movimiento de las torres, con la finalidad de que éstas se muevan a una velocidad que las mantenga alineadas con la unidad central. La última estructura es la que realiza el mayor recorrido y su velocidad controla la velocidad de todo el sistema.

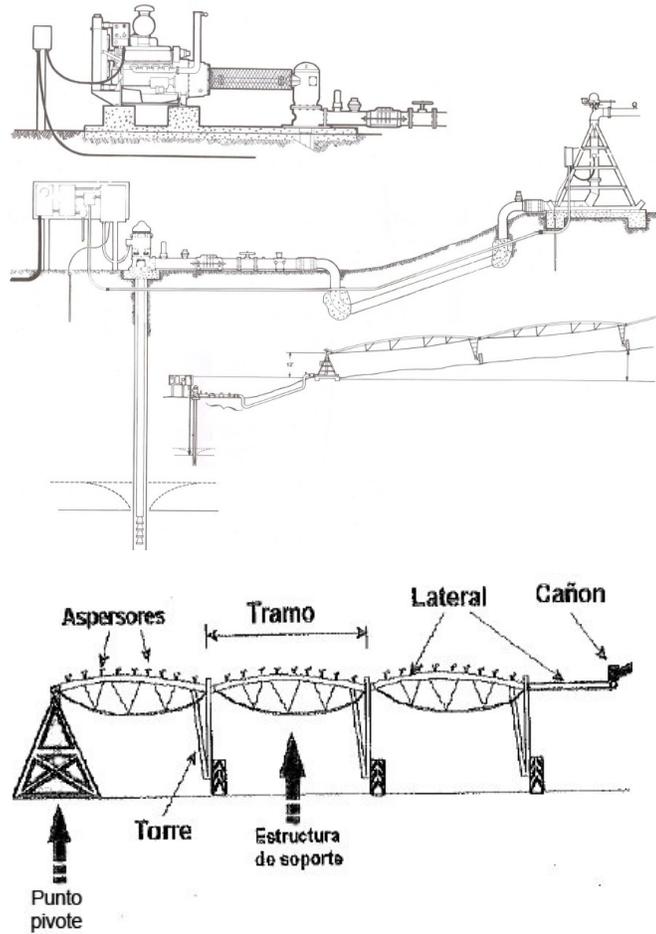
Sobre el lateral existen una serie de salidas para cada uno de los aspersores o emisores, los cuales trabajan en un rango de presión de: 20 hasta 150 psi, así un pivote central puede trabajar con un caudal que va desde 198 a 1,200 galones por minuto.

Un sistema de pivote central tiene los componentes siguientes:

- Unidad de bombeo

- Sistema de alimentacion
- Punto pivote
- Lateral movil con torres y aspersores

Figura 29 Configuracion de un sistema de Pivote central



III.3.1 Base

Toda la estructura del pivote, es construida de acero galvanizado, las partes importantes son: la base del pivote, conocida también como punto pivote. Es la estructura central de forma piramidal, alrededor de la cual gira todo el sistema., normalmente tiene cuatro patas que están fijadas a una losa de cimentacion (en los sistemas remolcables tienen unas ruedas que permiten transportarlo fácilmente por el campo). El agua entra por la base del pivote y continúa a través del tubo de subida y del codo giratorio

La estructura central del pivote es de una gran robustez. Anclada sobre una losa de concreto armado que absorbe perfectamente las esfuerzos de trabajo generados por la topografía del terreno y la rotación de la

máquina . En la base se coloca la caja de control que permite coordinar la operación manual y automática de la unidad de bombeo, la velocidad y sentidos de giro del lateral

Figura 30. Base del pivote



III.3.2 Estructura.

La esta formada por la lateral móvil con torres y aspersores. La línea lateral está suspendida sobre el área cultivada por intermedio de estructuras metálicas en forma de “A” y espaciadas de 30 a 60 metros. A las estructuras en forma de “A” se les denomina torres, a la estructura intermedia entre dos torres se le conoce como tramo. En la parte final se encuentra un tramo suspendido por cables tensores, al cual se le denomina voladizo. El agua que sale del codo giratorio se transporta a través del campo por una serie de tramos conectados, cada tramo tiene una torre motriz que los mueve alrededor del campo. Los tramos, que tienen forma de arco, constan de tubería principal que puede ser de diferentes diámetros y de una serie de tirantes y estructuras en forma de V que dan mayor firmeza y seguridad al conjunto. Las diferentes longitudes de los tramos, permiten al unirlos unos a otros, formar longitudes totales distintas. La unión entre tramos se hace mediante enganches que permiten oscilaciones (laterales y verticales) y conexiones para la unión.



TIRANTES Y ÁNGULOS

El diseño exclusivo de tirantes del Urapivot distribuye la carga de forma uniforme, brindando mayor soporte y durabilidad. Los tirantes de cabeza forjada sin soldadura fabricados mediante un proceso de inducción magnética, son soportes resistentes del tipo alveolar que eliminan puntos débiles de sujeción en cada tramo.

Detalle del Tirante del Sistema Urapivot



ÁNGULOS ESTABILIZADORES CRUZADOS

Con **diseño optimizado**, aumentan la estabilidad estructural y absorben los esfuerzos de torsión producidos por las irregularidades del terreno.



Detalle junta de goma y el acople de aluminio



Cada torre está equipada con dos ruedas propulsadas por motores eléctricos

Torre propulsada por dos ruedas



Ruedas

Tamaños Ruedas:

- Standard (11,2 x 24 y 11,2 x 38)
- Alta Flotación (14,9 x 24)
- Super Alta Flotación (16,9 x 24)



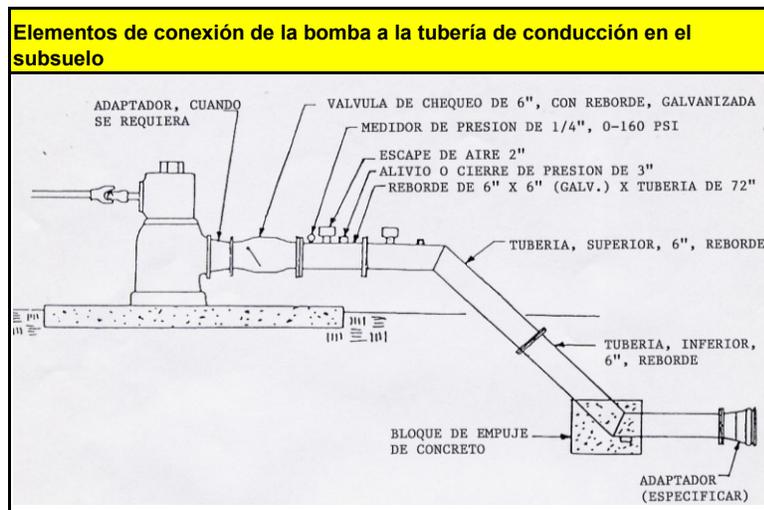
En la tabla siguiente se muestran algunos de los modelos disponible en el mercado

MODELOS DISPONIBLES

MODELO	DIÁMETRO TUBO Ø	SUPERFICIE IRRIGADA	LONGITUD TRAMO	VOLADIZOS DISPONIBLES	ALT. MIN/MAX LIBRE AL SUELO	NEUMÁTICOS
URA4	4 1/2" (11.43 cm)	Hasta 30 ha	30.62 a 60.82 m	6.6, 12.66, 18.66, 24.66m	2.9 - 4.11m	11.2x24 (Estándar) 14.9x24 (Opción)
URA5	5 9/16" (14.1 cm)	Hasta 45 ha	34.45 a 61.30 m	6.7, 13.4, 20.10, 26.8m	2.87 - 4.11m	14.9x24 (Alta Flotación)
URA6	6 5/8" (16.8 cm)	Hasta 85 ha	34.45 a 61.3 m	6.7, 13.4, 20.10, 26.8m	2.20 - 4.22m	14.9x24 (Alta Flotación) 16.9x24 (Super Alta Flotación)
URA8	8" (20.3 cm)	Hasta 150 ha	30.91 a 54.91 m	6.7, 13.4, 20.10, 26.8m	2.87 - 4.52m	14.9x24 (Alta Flotación) 16.9x24 (Super Alta Flotación)

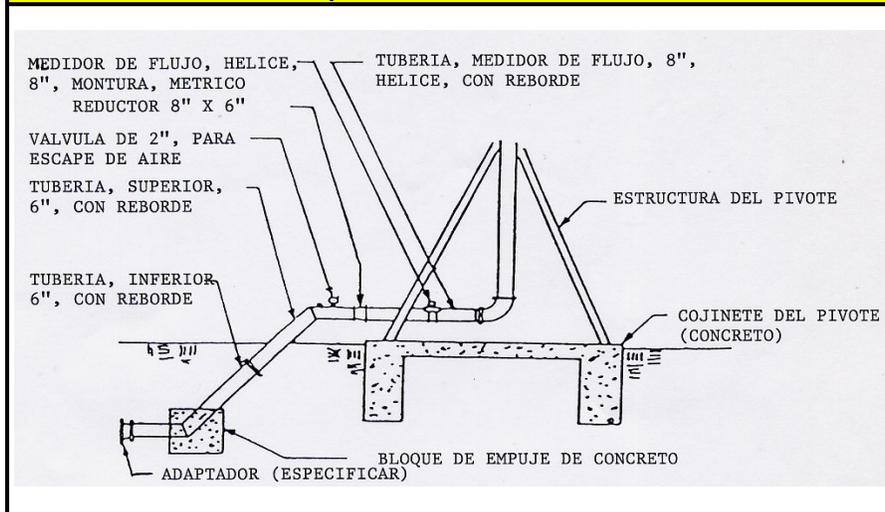
III.3.3 Equipos mecanicos.

Para la conducción del agua de la fuente de abastecimiento a la estructura del pivote se requieren elementos que conectan la bomba a la línea de conducción enterrada en el subsuelo como es el cuello de ganso con válvula check medidor de presión, válvulas de aire y de alivio y los adaptadores como se muestra e diagrama siguiente.



En lo que se refiere a la conexión de la tubería de conducción con la estructura del pivote, también se requiere tubería en forma de cuello de ganso, medidor de flujo, válvulas de aire codos y adaptadores como se ilustra en el diagrama siguiente:

Elementos de conexión del pivote a la tubería de conducción en el subsuelo



III.3.4 Equipos electricos.

El alto grado de automatización, generado por el avance tecnológico de los pivotes centrales en el último tiempo, ha permitido desarrollar sistemas que controlen el funcionamiento total del equipo en forma completa desde un panel central de control o a través de acceso a distancia. Esta serie de dispositivos permiten controlar manual o automáticamente las siguientes tareas:

- Activacion y coodinacion entre el sistema de bombeo y avance del lateral
- Desactivacion del sistema de bombeo y avance del lateral ante causas imprevistas en la operación del sistema
- Paro automatico del sistema ante una desalineacion critica del lateral
- Velocidad y sentido de avance del lateral
- Rotacion parcial del lateral en seco
- Control del sistema de esquinero

El panel de control se ubica generalmente en la estructura base o centro del pivote o en un costado del predio. Este permite la programación electrónica de todas las funciones que es capaz de realizar el equipo.tales como:

- 1.Arranque/Parada
- 2.Adelante/Atrás
- 3.Velocidad del sistema que controla la cantidad de agua aplicada.

PANEL PRINCIPAL

El diseño del panel de control principal electromecánico está realizado para soportar las más duras condiciones climatológicas, siendo a la vez muy sencillo de utilizar:

- La caja metálica tiene cierre hermético para impedir el paso de agua y humedad.
- El panel cuenta con indicadores luminosos LED que simplifican la puesta en marcha y el análisis del sistema.
- El panel standard incluye la parada por baja presión y el pararrayos.



OPCIONES PANEL PRINCIPAL

- Parada predeterminada.
- Autoreverse en el centro o en cualquier torre.
- Arranque automático tras fallo energético.
- Parada por baja temperatura o baja presión.

Si el temporizador de velocidad está al 100%, la última torre estará en continuo movimiento, el sistema estará a su máxima velocidad y aplicando la menor cantidad de agua., Para incrementar el riego, el sistema debe ir más despacio.

Para el alineamiento en cada una de las torres intermedias, se encuentra una barra de control unida a la base de la caja eléctrica de la torre y al tramo siguiente. Al moverse la última torre, la barra de control de la penúltima va girando, al detectar desalineación enciende y apaga el micro de trabajo, activando el motor de la torre que se mueve hasta que está en línea con la siguiente torre.

También se tiene un circuito de seguridad en cada torre tiene un micro de seguridad. Si por cualquier causa el sistema se sale demasiado de su alineamiento, estos micros paran el sistema. Con ello se evitan daños estructurales.

Los motores eléctricos que mueven cada torre se abastecen de energía producida por un generador eléctrico, el que se ubica en la parte central del pivote, o bien puede ser de una línea del tendido eléctrico. En la caja de control que se encuentra en cada torre motriz, sus componentes básicos incluyen dos micros (trabajo y seguridad) y un contactor de motor. Unos cables con código de colores que recorren todo el sistema, entran y salen de cada caja. El cable del tramo lleva dos tipos de carga eléctrica, 380 voltios para mover los motores de las torres motrices y 110 voltios para control y maniobra.

MOTOREDUCTOR

- **MAYOR VELOCIDAD DE ROTACIÓN:**
El motorreductor de 3/4 CV es capaz de dar 43 r.p.m. a 60 Hz (la más alta del mercado para esa potencia) o bien 36 r.p.m. a 50 Hz.
- **FÁCIL MANTENIMIENTO:**
El rotor y el estator pueden ser reemplazados independientemente.
- **CUBIERTA DE MOTOR DE ALUMINIO:**
Permite una mejor refrigeración del motor.



OPCIÓN MOTOR ALTA VELOCIDAD

- 86 r.p.m. a 60 Hz; 1 ½ CV.
- 72 r.p.m. a 50 Hz; 1 ½ CV.
- Reduce el tiempo de rotación un 50%.

OPCIÓN MOTOR MEDIA VELOCIDAD

- 57 r.p.m. a 60 Hz.
- 47 r.p.m. a 50 Hz.
- Reduce el tiempo de rotación un 25%.

REDUCTOR SIN-FIN CORONA

- La caja de engranajes es capaz de desarrollar un gran esfuerzo de torsión. El resultado es una mayor resistencia y durabilidad hasta en terrenos más abruptos y difíciles.
- Eje de salida más grande (2 1/4") para dar mayor resistencia.
 - Caja de expansión interna que elimina la condensación.
 - Los cojinetes sobredimensionados prolongan la vida útil del conjunto.



La energía se conduce por un cable de 11 líneas, el cual sale desde el generador, pasando por un anillo colector que convierte el flujo vertical de corriente a flujo horizontal.



ANILLO COLECTOR EXTERNO

El anillo colector Urapivot situado en la parte superior de la estructura sobre la que gira el pivote (Centro Pivot); permite que toda la energía eléctrica se mantenga fuera del tubo de subida del agua, tomando los 380 V de fuerza del panel principal y distribuyéndola del centro de mando a cada torre. Las claves de su fiabilidad son su montaje externo, su diseño externo que evita pérdidas de carga adicionales, y una robusta cubierta de poliéster prensado resistente a la corrosión protege el anillo de la humedad.

El cable se conecta a un interruptor eléctrico, posicionado uno sobre cada torre, el cual permite que fluya energía al motor de la respectiva torre y éstos a su vez generan un movimiento rotativo que se conduce hacia cajas de engranajes por medio de transmisiones. Cada caja de engranajes está conectada a uno de los neumáticos o ruedas de las torres, de esa forma se genera el desplazamiento del pivote.

El colector está compuesto de unos anillos de latón apilados y aislados unos de otros. Éstos están fijos, unas escobillas giran alrededor transmitiendo la electricidad, sin forzar el cable mientras el sistema está dando vueltas alrededor del campo.

Un tubo en J permite llevar el cable eléctrico desde la base del pivote hasta el colector.

III.3.5 Telemetria y control.

Varios elementos claves se deben tener en cuenta para una buena aplicación de riego: tipo de suelo, cantidad de agua que soporta, fases fenológicas, estrés, fertilizantes, son sólo algunas de las cuestiones más importantes. Cada decisión de gestión de riego se basa en los datos de cada lote. Estos datos necesitan ser exactos, fiables y fácilmente disponibles en tiempo casi real, de cada sitio, cada cosecha, cada microclima. Con un sistema de telemetría que utiliza diferentes tecnologías de comunicación (GSM, GPRS, UHF, TCP/IP, PSTN, etc.) permite que los datos lleguen al productor

La solución de radio con telemetría permite recuperar datos del sitio específico, de suelo y clima, casi en tiempo real, controlar la humedad del suelo en los distintos niveles del perfil del suelo con una gran variedad de sensores, supervisar la absorción de agua, monitorear la eficacia del sistema de riego, calcular evapotranspiración, acceder a los datos desde cualquier lugar y en cualquier momento a través de un software basado en Internet o con servicio WAP.

Se obtienen beneficios al obtener datos importantes automáticamente, regar sólo cuando y cuanto sea necesario (se puede ahorrar hasta el 50% de agua), evitar el exceso de riego y estrés, controlar el rendimiento de cultivos, controlar la calidad de las cosechas, ahorrar tiempo y dinero, son sólo algunos de los beneficios que brinda la tecnología de telemetría

Se puede monitorear la humedad del suelo: Si realmente se quiere saber lo que está pasando en la zona radicular activa de las plantas, cuál es la precisión y eficiencia de riego, qué tan rápido penetra el agua en el perfil del suelo, entonces no hay manera de evitar el monitoreo directo de humedad del suelo. El sistema soporta una amplia variedad de sondas de humedad del suelo, compatibles con todas sus RTU's. Existe un sensor adecuado para cada aplicación, suelo y presupuesto, no sólo para medir humedad sino también salinidad y temperatura. Esto permiten a los productores evaluar rápidamente cuestiones tales como el estado actual de la humedad del suelo, profundidad de riego, velocidad de infiltración, consumo de agua diario, fecha / hora de riego, cantidad de veces, total de agua utilizada, etc. El sistema permite el uso de cualquier calibración específica para cada sitio para determinarse la humedad con un alto grado de precisión.

La combinación de sensores de humedad del suelo con indicadores de nivel de riego ha demostrado ser muy recomendable. Mientras que el sensor de humedad del suelo muestra la situación real en la tierra, un

pluviómetro para riego mide las cantidades regadas y por lo tanto ayuda a determinar la eficacia del sistema de riego, ayuda a localizar fugas en las tuberías, etc.

La evapotranspiración, sobre la base de los parámetros climáticos obtenidos por una típica estación con sensores de temperatura y humedad, radiación solar, velocidad y dirección de viento y pluviómetro, el software permite calcular evapotranspiración de referencia que proporciona los valores de evapotranspiración diaria en mm.

La solución de monitoreo de equipos de riego pivote central permite la medición remota del movimiento del pivote mediante brújula electrónica y GPS y la presión del agua. El sistema alerta tan pronto encuentra algún evento preprogramado.

El usuario podrá programar el comportamiento de bombas de fertirrigación, válvulas de riego en los bloques de riego y medir, al mismo tiempo, la conductividad eléctrica y pH a nivel del gotero o al final de la línea de riego, en cualquier punto del campo, sin restricciones de distancia.

III.3.6 Equipo adicional

Como equipo adicional se puede considerar el empleo de los equipos fertirrigadores, instalados en los sistemas de pivote central, para garantizar la aplicación del fertilizante en el momento oportuno. Otros componentes y accesorios, y productos nuevos. Caja eléctrica , Bomba fertilizante Manguera bajantes drops Motoreductores Kit autorreversa de última torre Reductores ruedas Bombas de inyección de fertilizantes Retén reductor Cañones del Pivote y Accesorios ...

Figura 31. Equipo de telemetría



Los telemandos operan a distancia los pivotes utilizando para ello una línea telefónica, un teléfono celular o una radio de banda comercial. La información disponible en este sistema permite determinar condiciones de trabajo, como por ejemplo:

- Presión del sistema.
- Dirección de la marcha (atrás o adelante).
- Funcionamiento en húmedo.
- Funcionamiento en seco.
- Velocidad del sistema (%).
- Tiempo de funcionamiento.
- Caudal.
- Velocidad actual del viento (con sensor de viento).
- Acumulación de aguas lluvias (con sensor de lluvia).

Las redes de telemetría pueden ser ideales si se tiene más de un Pivote. Esta herramienta, basada en software para Windows, transforma el computador personal en un innovador sistema para dirigir y controlar el riego.

La telemetría se conecta al PC y proporciona acceso remoto al tablero de control. Tiene la habilidad de compilar información automáticamente para mantener un registro de datos de consulta continua. Funciona desplegando en la pantalla del PC la operación actual de cada equipo, sus condiciones de trabajo y otras condiciones adicionales, como son:

- Horas de funcionamiento.
- Uso de agua.
- Datos medioambientales.
- Apagado de seguridad.
- Apagado bajas temperaturas.
- Apagado por presión baja.
- Advertencia de presión baja.
- Apagado por voltaje bajo.
- Apagado por voltaje alto.
- Apagado de parada de servicio.
- Advertencia de flujo alto y bajo.
- Apagado por velocidad de viento y apagado por lluvia.

III.4 Paquete de aspersores

La característica más importante del pivote central es su capacidad para aplicar el agua uniformemente; esto se consigue mediante unos emisores, debidamente calculados, instalados a lo largo de la tubería principal.

El principio de este tipo de riego consiste en reducir el tamaño de las gotas de agua a dispersar, obteniendo así un flujo de agua idóneo para el cultivo. Para que todo esto ocurra es necesario la intervención de un elemento mecánico, encargado de transformar la línea de agua en finas gotas de rocío, este elemento es el aspersor. Denominamos “aspersores” a los emisores de agua, que funcionando hidráulicamente como una tobera, lanzan el agua pulverizada a la atmósfera a través de un brazo con una o dos salidas (boquillas) en su extremo, a una distancia superior a 5 m. Distribuyen el agua sobre el terreno con un chorro de agua que gira entre dos extremos regulables (sectoriales) o girando 360 grados (circulares).

El objetivo es conseguir, la distribución homogénea del agua, evitando así regar zonas no deseadas, o evitar un exceso de agua en otras, logrando un uso controlado y rentabilizado del agua, y reducir costos innecesarios en el momento del riego del cultivo.

El diámetro de las boquillas varía con respecto a la distancia del centro del sistema, los más alejados del centro tienen mayor diámetro ya que deben regar una superficie superior.

Los aspersores o emisores pueden situarse por encima de la tubería principal o por debajo mediante bajantes o drops para mejorar la eficacia de la aplicación de agua.

Figura 32: Clasificación de los aspersores

CLASIFICACION DE LOS ASPERSORES SEGUN:	
mecanismo de giro:	REACCION: la inclinación del orificio de salida origina un par, que mueve el conjunto.
	TURBINA: el chorro incide sobre una turbina que origina el giro.
	IMPACTO: el chorro incide sobre un brazo con un muelle, que hace girar el aspersor de forma intermitente. Mediante un mecanismo especial puede moverse sólo en un sector circular en lugar de abarcar el círculo completo (aspersor sectorial)
velocidad de giro:	GIRO RAPIDO: de 6 vueltas/min. De uso en jardinería, viveros, etc.
	GIRO LENTO: de 1/4 a 3 vueltas/min. de uso general en agricultura.
superficie regada:	CIRCULARES: aspersores que mojan una superficie circular
	SECTORIALES: aspersores que solo mojan una porción de una superficie circular
presión de trabajo:	BAJA PRESION: Menos de 2,5 kg/cm ² . Suelen ser de una boquilla de un diámetro menor de 4mm de caudal, descargando menos de 1000 l/h y con giro por choque. Adecuados para marco rectangular o cuadrado, con separación entre aspersores de 12m o en triángulo con separación de menos de 15m.. Suelen utilizarse en jardinería y en riego de hortalizas o en frutales con poco ángulo para arrojar el agua por debajo de la copa de los árboles. También en cobertura total para riego antihelada.
	MEDIA PRESION: de 2,5 a 4 Kg/cm ² . Suelen llevar una o dos boquillas de diámetro, comprendido entre 4 y 7 mm, que arrojan caudales entre 1000 y 6000 l/h.. Se usan en marcos que van de 12x12 a 24x24
	ALTA PRESION: Más de 4 Kg/cm ² . Suelen usarse para aspersores de tamaño grande también llamados cañones, con una, dos o tres boquillas y caudales de 6-40 m ³ /h, pudiendo llegar a superar los 200 m ³ /h (figura 9.3). El mecanismo de giro, puede ser de choque o turbina, con alcances entre 25 y 70m. Suelen dar baja uniformidad de distribución al ser fácilmente afectados por el viento. Asimismo, el gran tamaño de gota y la gran altura de caída pueden dañar al suelo desnudo o al cultivo.
No. de boquillas:	UNA BOQUILLA
	Varias boquillas con diferente ángulo
ángulo de lanzamiento	BAJO: Ángulo entre 0 y 25°
	NORMAL: Ángulo entre 25 y 45°

Los asp

- el mecanismo de giro,
- velocidad de giro,
- superficie regada,
- presión de trabajo,
- no. de boquillas
- ángulo de lanzamiento

III.4.1 De impacto

En los aspersores de impacto el chorro incide sobre un brazo con un muelle, que hace girar el aspersor de forma intermitente pueden ser de bajo y medio caudal. Mediante un mecanismo especial puede moverse sólo en un sector circular en lugar de abarcar el círculo completo (aspersor sectorial) de medio y alto caudal. Están diseñados y fabricados con la máxima precisión para brindar una fiabilidad con el mínimo mantenimiento. Las series con retorno lento es con mucho la solución más utilizada para cañón final de pivote en todo el mundo

Ventajas: El giro de retorno se realiza con un movimiento lento, firme y estable de esta manera el carro permanece derecho en el camino en el caso de cañón enrollador. Su estabilidad en el giro lo hace apropiado para el riego de plantaciones altas como el maíz ya que puede ser instalado en la parte más alta del alero de un pivote. Su diseño de cojinete estanco elimina la necesidad de su lubricación periódica.

Boquillas: La más común es la boquilla cónica, se usa donde el flujo y la presión son estables, también existe la posibilidad del kit de boquilla con juego de arandelas, éstas son un modo fácil y económico de cambiar las boquillas para adaptarse al flujo y presión del agua disponible. Se usan normalmente cuando la presión y el flujo de agua son variables y/o cuando se alterna un mismo cañón para distintas fuentes de agua de diferentes prestaciones. El abrupto orificio de la boquilla se hace menos eficiente por lo que el radio de alcance es inferior al conseguido con una boquilla cónica de diámetro equivalente, pero por contra rompe más el chorro de agua, lo cual puede suponer una ventaja en aplicaciones de baja presión

Hay modelos disponibles, en el mercado, con boquilla simple y doble según las necesidades de caudal y distribución. El resorte y el cojinete del brazo están encerrados para brindar protección contra la intemperie. Varias combinaciones de aspa y boquilla disponibles para mejorar aún más la distribución.

Figura 33. Aspersores de impacto



III.4.2 Aspersores de baja presión

Los aspersores de baja presión corresponden a presiones menos de 2,5 Kg. /cm², suelen ser de una boquilla de un diámetro menor de 4mm de caudal, descargando menos de 1000 l/h y con giro por choque. Adecuados para marco rectangular o cuadrado, con separación entre aspersores de 12m o en triángulo con separación de menos de 15m, suelen utilizarse en jardinería y en riego de hortalizas o en frutales con poco ángulo para arrojar el agua por debajo de la copa de los árboles. También en cobertura total para riego anti helada.

III.4.2.1 Tradicionales

Adecuados para marco rectangular o cuadrado, con separación entre aspersores de 12m o en triángulo con separación de menos de 15m, suelen utilizarse en jardinería y en riego de hortalizas o en frutales con poco ángulo para arrojar el agua por debajo de la copa de los árboles. También en cobertura total para riego anti helada.

III.4.2.2 Especiales

El aspersor de baja presión para Pivote central se recomienda elegir el que permita obtener un máximo rendimiento a presiones ultra bajas de 10 a 15 PSI (0.69 a 1.04 bar) y una presión máxima recomendada de 20 PSI (1.38 bar). Una menor presión significa un menor requerimiento de potencia y un menor consumo de energía. Estas bajas presiones operativas ofrecen a muchos irrigadores una gran oportunidad de bajar los costos totales de bombeo. Existen en el mercado, productos específicamente diseñados para brindar máximo rendimiento en este rango de presiones que bajas permiten a un irrigador de pivote central afrontar todos los desafíos de la actualidad.

Dentro del grupo de aspersores denominados especiales, existe uno conocido como Quad-Spray, que tiene cuatro modos diferentes de aplicación del agua, sobre o debajo de las plantas del surco. Dos maneras son debajo de la planta en el surco para máxima eficiencia sin mojar el follaje, y un modo para aplicar sobre la planta como aspersión. El cuarto modo es el uso de un plato para aplicar plaguicidas y fertilizantes.

Otro tipo de aspersor es uno giratorio con un aditamento de manguera. El aspersor se instala a una altura de 34 a 40 cm. sobre el suelo para aplicar agua sobre la planta y tiene la opción de servir para aplicar productos químicos. Cuando se desea aplicar agua en el surco se conecta la manguera o “caletín” al aspersor que la deposita en el surco. La distancia entre los aspersores es cercana, de 70 a 140 cm.

Los dos tipos de aspersor antes descritos requieren presión muy baja para funcionar, de 6 a 10 lb. /pg² y rinden eficiencias de aplicación del 95 al 98%.

Las exigencias de riego para pivotes centrales, son cada día mayores, para dar solución en cualquier parte del mundo a la gran variedad de, cultivos, suelos, métodos de labranza y condiciones climáticas, con recursos disponibles en agua y energía completamente diferentes. Los aspersores Nelson de la serie 3000 de diseño avanzado, tienen como fin utilizar conjuntamente las múltiples opciones, en un solo grupo básico de

aspersores especiales para el riego aspersión mediante Pivotes.

La eficiencia del riego garantiza minimizar las pérdidas de agua. Factores tales como la dispersión por el viento o la evaporación del agua de la superficie del suelo y de la planta, afectan al nivel de eficiencia. Incrementa la eficiencia hacer llegar el agua al suelo y controlar la escorrentía.

El Rotator R3000 es el aspersor para pivotes más popular. Presenta un concepto de accionamiento exclusivo y una simplicidad de diseño con una sola parte móvil. Ofrece la mejor fiabilidad y durabilidad posible, incluso en condiciones de servicio difíciles. A continuación se describen las características y ventajas del aspersor Rotator R3000:

- Mayor alcance: Brinda el mayor alcance cuando se monta sobre drops (bajantes). Como todo aspersor giratorio, ensancha el patrón de agua, reduciendo la pluviometría y la escorrentía, y aumentando el tiempo de saturación.
- Mejor uniformidad: Mejora la uniformidad, ya que los aspersores adyacentes generan una mayor superposición.
- Menos dispersión por el viento y pérdida por evaporación: Cumple el objetivo de montar un aspersor giratorio sobre drops (bajo y fuera del viento) a fin de reducir la dispersión por el viento y la pérdida por evaporación al mínimo.
- Boquillas con código de colores: La gama de boquillas 3TN es el componente clave de la serie 3000 para pivotes. Son fáciles de identificar, robustas y de alta precisión. Con el adaptador de cambio rápido, el Rotator se desmonta fácilmente para limpiar una boquilla atascada (sin necesidad de herramienta especial ni de apagar el sistema).
- Diseño modular: Un sólo aspersor no basta para cada necesidad. La serie 3000 integra piezas modulares que se cambian fácilmente.
- Diseño avanzado: Los platos del Rotator R3000 están específicamente diseñados para brindar un alto rendimiento en el control de la velocidad de rotación, la uniformidad y el control del tamaño de gotas (finas para cultivos y suelos delicados, anti eólicas para una eficiencia de riego óptima).
- Nuevos avances en la tecnología de los platos del Rotator ya ofrecen presiones de servicio más bajas y aumentan el alcance. Una geometría de chorros múltiples rellena el patrón del agua y mejora el recubrimiento y la uniformidad.

Figura 34: Diferentes tipos de aspersores empleados en Pivote central



serie 3000	TIPO DE ASPERSOR	TENSIÓN DE OPERACIÓN	RANGOS DE PRESIÓN	PLUMOMETRÍA	MONTAJE	DIÁMETRO RELATIVO
R3000 	El Rotator® R3000 ofrece el mayor alcance cuando se monta en bajantes. El patrón de agua ancho formado por los chorros rotativos reduce la granulación presente y favorece la penetración y aumenta la tasa de absorción. La mayor proporción de la superficie se puede mejorar la uniformidad.	3TN	15-50 PSI (1-3,4 bar)	BAJA	Encima del pivote o en bajantes	50-74' (15,2-22,6m)
N3000 	El Nutator® N3000 combina rotación y plato permeablemente inclinado para un riego muy uniforme, aun en condiciones de viento. Gotas orientadas más grandes y dirigidas hacia abajo reducen la evaporación y el viento para una eficiencia de aplicación óptima.	3TN	10-15 PSI (0,7-1 bar)	BAJA-MEDIANA	En bajantes (solo frontal)	44-52' (13,4-15,9m)
D3000 	El Sprayhead® D3000 es un aspersor tipo muy versátil. Con la boca reversible del D3000 se pueden cambiar los patrones de riego según las necesidades del sistema. El D3000 se transforma fácilmente en un sistema IPIA u otros aspersores de la serie 3000.	3TN	8-40 PSI (0,41-2,8 bar)	ALTA	Encima del pivote o en bajantes	16-40' (4,9-12,2m)
T3000 	Diseñado para el uso con aguas residuales, el Trashbuster T3000 se caracteriza por un cuerpo descentrado que facilita la acumulación de los residuos. Se puede combinar a la boquilla 3000 IPIA e integrar en un sistema de riego regulable antidesbordante para simplificar el mantenimiento.	3TN o 3000 FC	Depende del tipo de pivote	BAJA-ALTA	Encima del pivote o en bajantes	Depende del tipo de pivote

III.4.2.3 Bajantes

En el campo del riego mecanizado, el avance más significativo en lo que respecta a la eficiencia de riego ha sido la instalación de los emisores en bajantes o drops. Los bajantes son piezas de acero galvanizado rígidos o de manguera flexible que permiten acercar la aspersion al suelo y reducir sensiblemente la evaporación y la dispersión por el viento.

Los bajantes rígidos trabajan muy bien para ciertas aplicaciones, sin embargo están limitados a una longitud fija y en ocasiones se requiere alejar o acercar los aspersores al terreno del cultivo.

Los bajantes flexibles permiten mover los aspersores de acuerdo a las condiciones del suelo, viento, cultivo

Los bajantes flexibles absorben las vibraciones asociadas a los aspersores de baja presión y permiten al agricultor elegir el mejor nivel del aspersor arriba del terreno.



Los bajantes deben su éxito a productos que distribuyen el agua sobre una gran área, aún cuando están montados debajo de los tirantes del pivote. Estos dispositivos giratorios funcionan a baja presión y presentan una doble ventaja: un mayor tiempo de saturación y una baja pluviometría. Un patrón de distribución más completo puede duplicar el tiempo de saturación de los aspersores fijos.

En la actualidad hay bajantes de polietileno y de caucho enrollables.

La Manguera para bajante, especialmente diseñada para instalarse en pivotes y sistemas laterales es fabricada en tubería flexible y reforzada de 20mm. de diámetro, y permite ser enrollada para ajustar la altura del emisor en función del desarrollo del cultivo.



- Manguera negra
- Fabricada en 3 capas: tubo interior de PVC, refuerzo de poliéster y camisa de PVC exterior
- Flexible y ligera
- Resistente a la abrasión y a los rayos UVA.

En el diagrama siguiente se presentan seis tipos de paquetes de bajantes flexibles que incluye los adaptadores macho y hembra en los extremos del bajante para conectar al cuello de gancho y al aspersor y conectores para el caso de conexión a un regulador de presión



III.4.3 Reguladores de presión

Las fluctuaciones no controladas de presión en los sistemas de riego producen desviaciones de flujo no deseadas y exceso de riego. Las causas más comunes de variación de presión son: cambios de elevación y cambios en la demanda del sistema y suministro de agua. De acuerdo con lo anterior se requieren los reguladores de presión para prevenir estas fluctuaciones, evitar el exceso de riego y mantener la eficacia general del sistema de irrigación.

El exceso de riego aumenta la intensidad de aspersión y puede producir compactación del suelo, sellado del mismo y escurrimiento. Se recomiendan reguladores que mantengan una salida constante y prefijada aunque varíen las presiones de entrada. Las recomendaciones para una buena elección de los reguladores de presión son los que permitan ahorrar agua y aumentar la producción y cumplan las características siguientes:

- Mantener una distribución uniforme a fin de evitar las fluctuaciones de presión y las desviaciones de caudal provocadas por cambios en la demanda del sistema o la pérdida por fricción y el terreno ondulado. Garantizar la presión de funcionamiento adecuada; a fin de ofrecer un rendimiento

óptimo cuando funcionan dentro de su rango de presión específico y así aumentan la vida útil del producto.

- Los reguladores de presión permiten a los irrigadores aprovechar el ahorro de energía por baja presión y los beneficios de la eficiencia.

El Regulador especial para pivote de Senninger está diseñado para manejar caudales a lo largo de un pivote central o de otro sistema de movimiento mecánico. Los reguladores Senninger mantienen la presión de salida preestablecida constante al tiempo que manejan distintas presiones de entrada.

Características

- Exactitud comprobada del 100% en el agua
- Alojamiento inalterable
- Circuito de caudal máximo que resiste el taponamiento
- Histéresis y pérdida por fricción muy bajas
- Presiones: 6-50 psi (0.41-3.45 bar)
- Caudales: 0.5 - 15 gpm (114 - 3407 L/hr)
- Tamaño de entrada: 3/4" F NPT
- Tamaño de salida: 3/4" F NPT
- Con el respaldo de dos años de garantía para los materiales, la mano de obra y el funcionamiento

III.4.4 Cañones finales

Una solución eficaz para regar áreas adicionales es colocar un cañón final en la estructura del pivote, lo que permite regar hasta 6 ha y representa una alternativa nada despreciable si se toma en cuenta la rentabilidad de cultivar esta superficie adicional.

Figura 35. Diferentes modelos de cañones



III.5. Ventajas y desventajas del sistema de Pivote central

Como todo sistema de riego, tiene sus ventajas y desventajas, empezando por las primeras, se puede decir que es un sistema de riego automático, el cual requiere poca mano de obra. Otra es la aplicación de agroquímicos a través del sistema, práctica conocida como “Ferti-irrigación”, lo que permite disminuir el uso de maquinaria e incrementar la eficiencia en el uso de los fertilizantes. Entre sus principales desventajas se pueden citar las siguientes: un alto costo inicial, esta inversión dependerá del tamaño del

equipo, la aplicación del agua por el sistema es afectada por las condiciones climáticas, es decir, zonas de alta temperatura, radiación solar y baja humedad relativa, las eficiencias se ven mermadas entre un 60 y 75%, lo que en otras palabras se puede expresar que por cada litro de agua enviada por los rociadores, el 40 al 25% se evapora directamente a la atmósfera y no es aprovechada por el cultivo. Otra característica, es que demanda una alta capacitación del operador para obtener un buen uso eficiente del agua, entendiéndose ésta como la mayor producción por unidad de volumen de agua aplicada. El operador debe de conocer las características hidráulicas del sistema, así como las demandas agronómicas del cultivo. A continuación se enumeran otras ventajas y desventajas

Ventajas del sistema de riego por Pivote Central

- es relativamente sencillo diseñar un sistema que satisfaga la demanda pico del cultivo, sin causar un impacto significativo en el costo de la inversión.
- el control del riego solo está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación y efecto del viento sobre la uniformidad).
- la uniformidad es independiente de las características hidrofísicas del suelo.
- la alta eficiencia de aplicación reduce el volumen de agua durante el ciclo del cultivo, hay autores que indican valores de coeficiente de uniformidad de 94%.
- se logran altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, agua y energía.
- la dosis de riego únicamente es función del tiempo, se adaptan muy bien tanto a dosis grandes o pequeñas.
- se adapta bien a terrenos con diferentes permeabilidades, ya que dosifica en forma rigurosa
- permite la aplicación de fertilizantes mediante la inyección, con muy buena uniformidad y eficiencia.
- se adapta a la rotación de cultivos y a riegos estratégicos.
- no requiere nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas.
- en el interior de las parcelas no requiere de sistematización especial, adicional a la requerida para la conservación del suelo, lo que permite una buena mecanización.
- se maximiza el uso de la tierra dentro de la parcela, al no requerir canales, acequias, calles detritivos, etc.

Desventajas del sistema de riego por Pivote Central

- requiere altas inversiones iniciales, los costos de operación y mantenimiento son intermedios,
- respecto al sistema de cañón requiere mayor presión de funcionamiento, si lo comparamos con riego por gravedad.
- elevada pluviometría en el extremo del ramal, por ej. en un lateral de 400 metros, los últimos 54 metros riegan el 25% del área.
- interfiere con los tratamientos fitosanitarios.
- el efecto del mojado de las hojas sobre las plagas y enfermedades.

IV Estudios preliminares

Para lograr el objetivo de regar eficaz y eficientemente, se requiere formular un proyecto ejecutivo de riego constituido por diversos elementos de ingeniería que interactúan para lograr el propósito común de aplicar el agua a los cultivos, a esta interacción se denomina sistema de riego. Para que un sistema de riego desarrolle su máximo potencial, tanto el diseñador como el instalador o constructor y el usuario, deben cumplir ciertos requisitos durante las etapas de planeación, diseño, instalación, operación y mantenimiento. Si todas estas actividades se realizan correctamente, el sistema se desempeñará eficazmente, lo cual repercutirá en una elevada eficiencia de aplicación del agua a los cultivos, un aumento de la producción, el ahorro de agua y reducción de costos por concepto de energía eléctrica.

Algunas actividades especiales del proyecto ejecutivo de riego son: revisión de la normatividad para la ejecución de proyectos, reconocimiento de campo, trabajos topográficos, levantamientos y deslindes; estimaciones, estudios preliminares, formulación de alternativas y estudios de factibilidad; dictámenes, peritajes, arbitrajes o conciliaciones; verificaciones, pruebas, ensayos y su análisis; diseño agronómico, hidráulico, obra civil, mecánica y eléctrica; compilación y análisis estadísticos; evaluación económica y financiera; certificaciones, consultorías e informes.

IV.1 Características geométricas y topográficas del terreno

Un plano detallado de la topografía del terreno es requerido con curvas de nivel, sobretodo en terrenos desnivelados para estimar la variabilidad potencial de las presiones y los correspondientes gastos de los emisores. La pendiente del terreno es importante para la colocación de las tuberías, el sentido del flujo y detectar los posibles problemas durante la aplicación del agua y en las restricciones en el avance de las laterales de los pivotes. Plano de la parcela a transformar debe reflejar los límites, puntos de captación de agua, redes de caminos, cursos de agua, condicionantes del relieve, área total a regar.

IV.2 Tipo de suelo

El suelo es un sistema heterogéneo (compuesto de varias sustancias) y trifásico (fases: sólida, líquida y gaseosa), es decir, es un sistema complejo. Este sistema es particulado (partículas sólidas están finamente subdivididas), disperso y poroso y, sobre todo, dinámico, ya que se encuentra en permanente evolución.

Desde el punto de vista del crecimiento de las plantas, el suelo es un sistema que almacena agua y nutrientes para los cultivos; sirve de anclaje y soporte para las plantas y es un hábitat para múltiples organismos. La cantidad de agua que puede almacenar un suelo, depende de sus características físico-químicas. La importancia de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo se debe a que determina la frecuencia o intervalo de riegos, factor fundamental para el desarrollo de los cultivos.

La fase sólida del suelo está formada por partículas inorgánicas y orgánicas. Las primeras consisten en partículas minerales de tamaño, forma y composición química diferentes. Por su dimensión se denominan: arena (2 - 0.02 mm), limo (0.02 - 0.002 mm) y arcilla (menor de 0.002 mm). Las proporciones relativas de

estas tres fracciones minerales, determinan la textura del suelo, propiedad fundamental sobre la cual se relacionan múltiples características, directa o indirectamente, tales como: capacidad de retención de humedad, porosidad, aeración, compactación, permeabilidad, fertilidad potencial, etc.

Por otro lado, las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) se unen formando grupos de partículas secundarias o agregados de tamaños, formas y variable resistencia a la ruptura, que constituye la estructura del suelo y que juega papel muy importante en la productividad de los suelos, afectando la penetración de raíces, la capacidad de infiltración de agua, su movimiento dentro del suelo y la resistencia a la erosión, según la estabilidad de los agregados.

Tan importante para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas, es el equilibrado estado estructural de suelo, como su adecuado régimen hídrico y nutricional. El suelo interviene como almacén regulador de humedad y como factor limitante de la pluviosidad del sistema por lo que se debe caracterizar el suelo cualitativamente y cuantitativamente con el objeto de lograr un diseño con alta eficiencia de uniformidad y de la aplicación del agua.

Los parámetros más importantes que se requiere conocer son:

- Indispensables: Capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente expresados en forma volumétrica, y el valor de la infiltración básica.
- Indirectos: Textura.
- Complementarios: Estructura, pH, densidad aparente, grado de salinidad del suelo, cationes y aniones.

Su determinación está basada en los métodos de análisis propuestos en la norma NOM-O21-RECNAT-2001 Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación del suelo, muestreo y análisis.

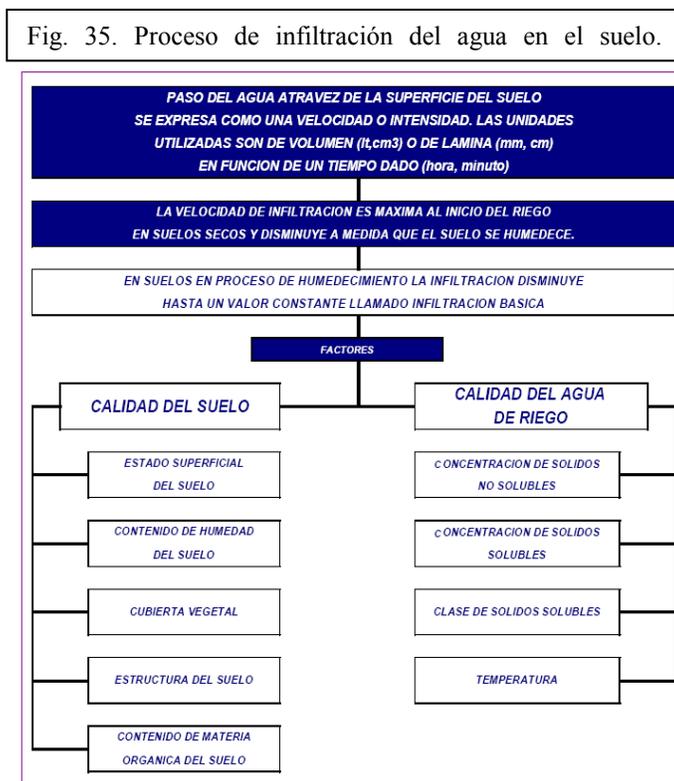
Los principales problemas en lo relativo al suelo normalmente son: la velocidad de infiltración del suelo insuficiente y la mayor o menor capacidad de almacenamiento de agua en la superficie sí que se produzca escorrentía. Esta última será menor en cuanto mayor sea la pendiente terreno. Las labores culturales también juegan un papel importante en el proceso de infiltración. Así, los residuos de los cultivos aumentan la velocidad de infiltración porque protegen la superficie del suelo del impacto de la gota, aumentando la conductividad hidráulica efectiva.

Los factores que influyen la velocidad de infiltración son:

- Compactación del suelo. La labranza del suelo (aradura, rastras, etc.) realizada en condiciones húmedas, produce compactación en la zona donde no llegan los implementos. Las capas duras e impermeables impiden el movimiento del agua y reducen la velocidad de infiltración.
- Contenido de humedad del suelo. El nivel de humedad del suelo en el momento del riego, influye significativamente la velocidad a la cual el agua ingresa al suelo. El suelo absorbe rápidamente el agua al comienzo del riego. A medida que la aplicación de agua continúa, la superficie del suelo se satura, produciendo el hinchamiento de arcillas expansibles, lo que provoca una gradual disminución de la velocidad de infiltración hasta que se alcanza un valor prácticamente constante llamada velocidad de infiltración básica o estabilizada.

- Sellamiento superficial. La formación de una capa fina y compacta en la superficie del suelo reduce rápidamente la velocidad de infiltración. Este sello superficial resulta del deterioro del estado estructural del suelo.
- Preparación del suelo. El pasaje de rastras, arado o cultivador incrementa la velocidad de infiltración. Sin embargo, el efecto dura sólo mientras el terreno vuelva a su condición inicial de densidad como consecuencia del mismo riego.
- Enmiendas orgánicas y rotación de cultivos. La materia orgánica humificada, al favorecer y mantener la porosidad del suelo, evita que la velocidad de infiltración se altere y más aun que disminuya, debido a la influencia de otros factores. Asimismo, es positiva la rotación de cultivos al incrementar el contenido de materia orgánica del suelo.
- Salinidad del suelo y del agua. Las sales de sodio, principalmente carbonatos y bicarbonatos, son extremadamente nocivas para la permeabilidad del suelo y, por lo tanto, de la velocidad de infiltración. Si la concentración de sodio es elevada, la estructura del suelo se destruye al dispersarse los coloides, dando como resultado un suelo impermeable.
- Perfil del suelo. La estratificación de las diferentes capas u horizontes en el perfil tiene gran influencia en la velocidad de infiltración, aunque evidentemente este factor no es manejable por el hombre, sobre todo en las capas sub-superficiales.
- Hidratación de los coloides y otros. El incremento en el tamaño de partículas coloidales por hidratación, sella parcialmente el espacio poroso, disminuyendo la velocidad de infiltración.

Fig. 35. Proceso de infiltración del agua en el suelo.



IV.3 Fuentes de Abastecimiento Hidráulico

Se requiere conocer la disponibilidad del agua de la fuente de abastecimiento especialmente durante los periodos de máxima demanda de los cultivos. En esta etapa es importante tener en cuenta los aspectos legales que se deben cumplir para disponer del agua de la fuente de abastecimiento, especialmente cuando el agua proviene de un pozo en una zona de extracción restringida o cuando la parcela recibe riego de una asociación de usuarios de riego. Se puede requerir de un estanque para almacenar el agua cuando la cantidad y oportunidad del suministro no coincide con lo demandado por el sistema, sobretodo en sistemas de distribución de agua por gravedad.

Se revisa el gasto disponible, la localización de la fuente de abastecimiento, el volumen anual disponible, la variación estacional del gasto, la calidad del agua mediante un estudio físicoquímico que incluya conductividad eléctrica, pH, aniones y cationes y sólidos en suspensión. Se realiza el diagnóstico y el proyecto de rehabilitación del pozo y el mejoramiento del equipo de bombeo, de acuerdo con las especificaciones siguientes:

- Evaluación electromecánica del equipo de bombeo para determinar: la eficiencia electromecánica, la curva carga-gasto y la curva de eficiencia de operación de equipo.
- Pruebas de bombeo para obtener la curva carga-gasto y la curva de la eficiencia de la bomba en función del gasto de la bomba, para definir si el equipo existente es suficiente para cubrir los requerimientos del sistema presurizado propuesto con la tecnificación.

IV.4 Fuentes de energía

La fuente de energía disponible en general es a través de la electricidad rural. Un indicador base, corresponde a las horas de operación de un sistema de riego, nos indica que los equipos operan entre 1.800 y 2.400 horas/año. Con estas cifras el consumo eléctrico mínimo de un sistema de riego sería de 1.400 Kwh./año/ha, pudiendo llegar a 14.400 Kwh./año/ha.

Estos valores llevados a costos, nos indican que un sistema de riego puede tener un rango de costos por concepto de energía, con base en la tarifa 09 de CFE.

IV.5 Cultivo y clima

Es importante conocer el patrón de cultivos, que será cultivado en la zona de riego, para estimar el uso consuntivo de los cultivos y en especial su demanda máxima y evitar que las demandas de riego sean superiores a los aportes disponibles a los aportes disponibles de la fuente de abastecimiento durante las etapas críticas. Un dato importante en esta fase es conocer la duración del ciclo fonológico de los cultivos para estimar el periodo libre de heladas. Deberá tenerse en cuenta la alternativa de cultivos, la profundidad radicular máxima, las necesidades hídricas punta durante el ciclo de cultivo, el marco de plantación, las labores a realizar

Respecto al clima deberán conocerse todos aquellos datos climáticos que intervienen en el cálculo de las

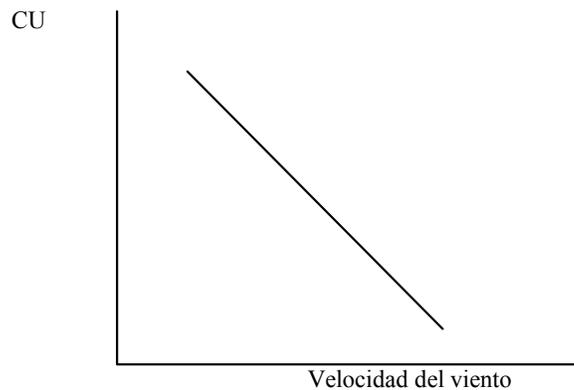
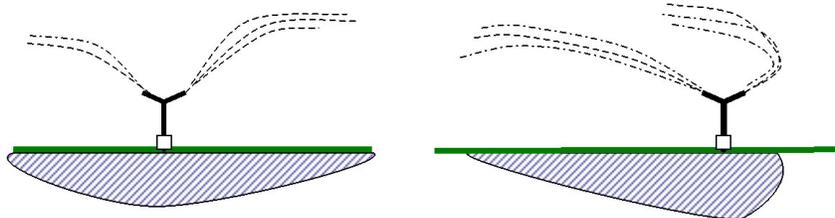
necesidades hídricas de los cultivos y de manera especial interesa conocer los datos en la etapa de planificación de un sistema de riego, entre los más importantes se tiene:

- Velocidad del viento
- Precipitación
- Humedad relativa
- Temperatura
- Radiación solar

Las características del cultivo, profundidad radica y evapotranspiración definen la cantidad y oportunidad de riego durante la etapa hídrica crítica del cultivo, que finalmente definen la capacidad del sistema de riego.

Efecto del viento

- Principal agente distorsionador de la uniformidad de reparto.
- Pérdidas del agua aplicada: evaporación, arrastre fuera del área regada
- La velocidad del viento se incrementa en función logarítmica con la altura.
Angulo de descarga: aspersor de 25° a 27° y en emisores de pivote y avance frontal 7°
- Menor efecto del viento en riegos nocturnos
- Mayor efecto en sistemas estacionarios y cañón



V. Determinación de las necesidades de riego

La estimación de las necesidades de agua constituye un dato básico para el diseño de un proyecto de riego y la planificación de la estrategia de riego a fin de lograr rendimientos altos y estables, con la máxima calidad de producto cosechable, para lo cual se requiere satisfacer la máxima evapotranspiración del cultivo. Existen varias técnicas para estimar el manejo adecuado del agua en la agricultura siendo importante la programación del riego para conocer cómo y cuanto regar para lo cual es necesario conocer los diferentes factores que condicionan los procesos implicados.

V.1 Evapotranspiración

La mayor del agua aplicada a los cultivos para su desarrollo, es transferida a la atmósfera a través de sus tejidos y de la evaporación directa del suelo. A la combinación de los dos procesos se le llama evapotranspiración o uso consuntivo. Normalmente se mide en mm/día o mm/mes, y depende de la interacción entre factores climáticos, botánicos, edáficos y de manejo del cultivo. En un período de 24 horas la evapotranspiración varía de acuerdo a como se comportan los factores que influyen en ella.

La evapotranspiración es baja en los primeros estadios de la etapa de crecimiento de la planta; se incrementa a medida que la planta crece en altura, y en área foliar, hasta alcanzar un máximo en la etapa de fructificación y luego disminuye progresivamente hasta la etapa de cosecha.

El promedio de la evapotranspiración (ET), durante 7 a 10 días de máximo uso de agua en la estación de máximo crecimiento se denomina, "evapotranspiración máxima" (período PEAK). La importancia de este concepto radica, en que se refiere al valor que debe utilizarse en el diseño de cualquier sistema de riego. Se deduce por lo tanto, que la evapotranspiración del cultivo (ETc) varía fundamentalmente según el cultivo el clima. Para poder estimar las necesidades hídricas de los cultivos o evapotranspiración es necesario considerar el concepto de evo transpiración de referencia (ETr) y conocer los factores que la afectan y los métodos para estimarla.

La evapotranspiración de referencia, es un concepto establecido para indicar la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia. Se ha utilizado como cultivo de referencia la alfalfa o un pasto bien regado, en pleno desarrollo y buenas condiciones fitosanitarias.

Como la mayor parte de los cultivos cubren totalmente el suelo en cierto periodo de su desarrollo, y el suelo solo en ocasiones está permanentemente húmedo, tal concepto es hipotético y como su nombre lo indica sirve de referencia para la evaluación de lo que realmente ocurre.

De acuerdo con lo anterior, la evapotranspiración de referencia depende de las condiciones del medio ambiente y se requieren registros climatológicos.

V.1.1 Factores que afectan la evapotranspiración

Al considerar la evapotranspiración a la evaporación en superficies cubiertas de vegetales junto con la transpiración de estos vegetales se tiene:

La evaporación del agua por las plantas se debe a la necesidad de agua que tienen las plantas para incorporarla a su estructura celular, además de utilizarla como elemento de transporte de alimentos y de eliminación de residuos. La circulación del agua en la planta no es un circuito cerrado, sino que por el contrario es una circulación abierta. El agua penetra por la raíz, circula por la planta y gran parte de ella se evapora por las hojas.

La transpiración depende de los siguientes factores:

- Tipo de planta;
- Ciclo de crecimiento de la planta (inicial, vegetativo, medio, maduro);
- Tipo de suelo y humedad del suelo;
- Insolación, viento, humedad de la atmósfera, etc.

Existe una diferencia entre la cantidad de agua que la planta puede absorber del suelo Q_p y la cantidad de agua Q_l que la planta transpira.

Q_p depende del tipo de suelo, de las condiciones de humedad, así como del tipo y situación de la planta; mientras que Q_l depende de las condiciones de insolación, humedad y viento, así como de las características de la propia planta.

Si $Q_l > Q_p$, la planta se marchita o tiene que variar sus condiciones de desarrollo. Si $Q_l \approx Q_p$, la planta tiene suficiente circulación de agua y se desarrolla satisfactoriamente. Por último, los excesos de circulación de agua con $Q_l \ll Q_p$, pueden producir fenómenos contrarios al desarrollo.

V.1.2 Métodos para estimar la evapotranspiración

Formulas matemáticas (Thornthwaite – 1948, Penman – 1948, Hargreaves – 1956, Jensen y Haise – 1963, Turc – 1954, etc.) o la evaporación directa del Tanque clase A, permiten estimar la evaporación potencial (ETp), mediante la cual es posible aproximarse a la estimación correcta de la evaporación máxima del cultivo (ETc máxima), para una condición edáfica y climática determinada, en función de la magnitud del área foliar evapotranspirante. El volumen efectivo de agua evapotranspirada hacia la atmósfera por el cultivo se denomina Evapotranspiración real (ETr) o evapotranspiración del cultivo (ETc) y su magnitud está determinada por las características del sistema integrado suelo – planta – atmósfera, así como, por la disponibilidad efectiva de agua en el perfil del suelo (agronomía del riego).

La absorción de agua por las plantas se produce en respuesta a gradientes de energía entre el suelo, la planta y la atmósfera. Esta gradiente, es función del nivel de humedad en el suelo y de la intensidad de la demanda atmosférica (poder evaporante). El agua fluye a través de la planta en estado líquido, desde el suelo a las hojas, evaporándose en las cavidades sub-estomáticas y es liberada a través de los estomas hacia la atmósfera en forma de vapor de agua.

La transpiración ocurre principalmente a través de estomas de las hojas. La apertura estomática, está regulada por factores ambientales, principalmente luz, déficit de presión de vapor entre la hoja y la atmósfera y temperatura ambiental y, por la concentración salina interna a nivel de vacuola de las células.

El cierre estomático está influenciado por el bajo contenido de humedad del suelo (bajos potenciales de agua del suelo) y puede ocurrir, aún durante el día, como consecuencia de un severo déficit hídrico.

Una deshidratación moderada de los tejidos, sin que el cierre de estomas se produzca, es requisito indispensable para mantener el flujo de agua desde el suelo a las raíces, y a través de los vasos xilemáticos, a las hojas y posteriormente a la atmósfera. Sin embargo, la disminución de la disponibilidad de agua del suelo, hasta un valor crítico (para la mayoría de las especies cultivadas, este valor se presenta a tensiones de humedad por encima de 4 bars), reducirá la velocidad de flujo de agua a las raíces, hasta un nivel que no pueda sustentar la demanda evaporativa de la atmósfera, ocurriendo el cierre de estomas, proceso indispensable para el mantenimiento de la economía hídrica de la planta, a niveles que no alteren su crecimiento y desarrollo .

El manejo agronómico del riego tiene como principal objetivo, la reposición exacta del agua y su almacenamiento en la zona de raíces, agua que ha sido consumida por efecto del poder evaporante de la atmósfera, entre dos eventos consecutivos de riego, evitando así condiciones de disponibilidad hídrica restringida. Así, si la ET real (para un cultivo dado, es el producto de una determinada condición suelo – clima y de su área foliar efectiva) está en equilibrio dinámico con la velocidad de aporte de agua (equilibrio que rara vez se presenta en campo), la tecnología de riego habrá logrado un régimen óptimo, estableciendo frecuencias y tiempos de riego que eviten que el agua no sea el factor limitante de la producción de plantas. Actualmente existen muchas fórmulas a través de las cuales se puede estimar la evapotranspiración potencial. Todas ellas requieren de información climática y de cálculos más o menos complicados. Un método con el cual se está obteniendo resultados excepcionales, es el de relacionar la ET del cultivo con la evaporación de una superficie libre de agua en el tanque de evaporación tipo A.

El tanque de evaporación clase A es un estanque circular de 121 cm. de diámetro y 25.5 cm. de profundidad.

El material utilizado para su confección es hierro galvanizado de 0.8 mm de espesor. Está montado sobre un marco de madera de 15 cm. de altura sobre la superficie del suelo. Una vez instalado el marco, debe rellenarse con tierra, de manera tal que quede un espacio de aire de 5 cm. entre la base del tanque y el terreno levantado. El tanque debe quedar bien nivelado y debe llenarse con agua hasta una altura de 5 cm., Del borde superior y no debe permitirse que su nivel disminuya más allá de 7.5 cm. del borde. Ello implica que la altura de agua no debe variar más allá de 2.5 cm., lo que significa que durante los días de intenso calor, éste debe ser llenado muy frecuentemente. A su vez, el agua debe ser renovada con regularidad con el objeto de eliminar la turbidez. Estos aparatos deben pintarse anualmente con pintura de aluminio. El lugar en que se instale debe estar rodeado de pasto corto hasta un radio de 50 m. El método del tanque de evaporación tiene la ventaja de ser un excelente integrador de los parámetros climáticos: temperatura, humedad relativa, radiación, vientos, etc.

Fig. 36. Relaciones entre la Evapotranspiración Potencial, Evapotranspiración de Referencia y la Evaporación del Tanque clase A

- LA **EVAPOTRANSPIRACIÓN** ES LA CANTIDAD DE AGUA TRANSPIRADA POR EL CULTIVO Y EVAPORADA DESDE LA SUPERFICIE DEL SUELO EN UN ÁREA CULTIVADA. CONSTITUYE EL **USO CONSUNTIVO** DE AGUA POR LAS PLANTAS Y ES EL FACTOR BÁSICO PARA DETERMINAR EL REQUERIMIENTO DE AGUA DEL CULTIVO Y ES EL PRINCIPAL FACTOR LIMITANTE DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.
- LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEPENDE DE LA INTERACCIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS, BOTÁNICOS, EDÁFICOS Y CULTURALES. ES BAJA AL INICIO DEL CRECIMIENTO, AUMENTA A MEDIDA QUE EL CULTIVO INCREMENTA MATERIA SECA Y ÁREA FOLIAR, ES MÁXIMA EN EL PERÍODO DE FRUCTIFICACIÓN Y DISMINUYE POSTERIORMENTE, AL FINAL DEL CICLO DE CRECIMIENTO.
- LA EVAPOTRANSPIRACIÓN ES VARIABLE FUNDAMENTAL EN ESTUDIOS DE ECONOMÍA DE AGUA Y BALANCE HÍDRICO PARA UNA REGIÓN DETERMINADA Y UN MOMENTO DADO.
- LA FALTA ABSOLUTA DE MEDICIONES DE ESTE TÉRMINO OBLIGA A ESTIMACIONES A PARTIR DE DATOS DEL TANQUE DE EVAPORACIÓN Tipo A o MODELOS MATEMÁTICOS QUE TOMEN EN CUENTA EL **FACTOR AERODINÁMICO** (Humedad Atmosférica y Viento) Y EL **FACTOR ENERGÉTICO** (Temperatura, Horas Sol, Radiación Solar), QUE GOBIERNAN EL PROCESO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN.
- CINCO FÓRMULAS MATEMÁTICAMENTE PRECISAS ESTIMAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN: **THORNTHWAITE** (EEUU - 1948), **PENMAN** (REINO UNIDO - 1948), **HARGREAVES** (EEUU - 1956), **JENSEN y HAISE** (EEUU - 1963) y **TURC** (FRANCIA - 1954).

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (Etp)
EVAPORACION Y TRANSPIRACION DE UN CAMPO CULTIVADO CON COBERTURA TOTAL Y SIN LIMITACIONES DE HUMEDAD, LO CUAL AISLA LOS FACTORES CLIMATOLÓGICOS DE TODOS LOS DEMAS QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACION.

EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA (Eto)
EVAPORACION Y TRANSPIRACION DE UN CAMPO CON UN CULTIVO DEREFERENCIA (generalmente alfalfa) DE PORTE BAJO (10-30 cm), CON COBERTURA TOTAL Y SIEMPRE BIEN ABASTECIDO DE AGUA.

EVAPORACION DEL TANQUE TIPO A (Eo)
EVAPORACION DE UNA SUPERFICIE LIBRE DE AGUA, INTEGRADOR DE LOS PARAMETROS CLIMÁTICOS, DE EXCELENTE CORRELACION CON LA ET POTENCIAL O DE REFERENCIA.

Etp ≅ Eto ≅ Eo



Se puede calcular la evapotranspiración de un cultivo a partir de datos climáticos, integrando además los factores de resistencia propios de cada cultivo.

La FAO en su estudio de Riego y Drenaje No 56, recomienda el método de PenmanMonteith para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_r), a partir de datos climatológicos, temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación y velocidad del viento además de la localización del sitio.

Las diferencias en evaporación y transpiración entre los cultivos sembrados y la evapotranspiración de referencia, pueden ser integradas en un coeficiente único del cultivo (K_c) o separadas en dos coeficientes: un coeficiente basal del cultivo (K_{cb}) y un coeficiente de evaporación del suelo (K_e).

De acuerdo con lo anterior se tiene:

$$K_c = K_{cb} + K_e.$$

El procedimiento a seguir dependerá del propósito de los cálculos, la exactitud requerida y la información disponible.

Enfoque del coeficiente del cultivo

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ET_c se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_r y el

Coficiente del cultivo K_c:

$$ET_c = K_c \times ET_r$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo [mm d⁻¹]

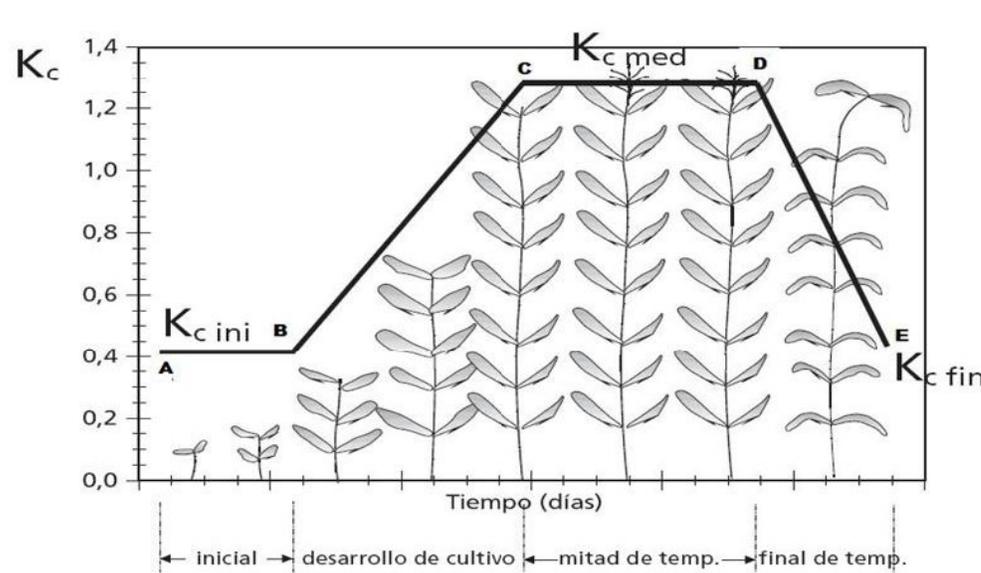
K_c = Coeficiente del cultivo [adimensional]

ET_r = Evapotranspiración de referencia [mm d⁻¹]

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo estas condiciones supone que no existen limitaciones de ningún tipo en el desarrollo de los mismos. Que no existe ninguna limitación debida a estrés hídrico o salino, densidad del cultivo, plagas y enfermedades, presencia de malezas o baja fertilidad.

Debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, K_c cambia desde la siembra hasta la cosecha. En la siguiente figura se presenta en forma esquemática, dichos cambios.

Fig. 37. Curva generalizada de Coeficiente de Cultivo K_c , fuente: Estudios FAO Riego y Drenaje 56



Los efectos combinados, tanto de la transpiración del cultivo, como de la evaporación del suelo se integran en este coeficiente único del cultivo. Así El coeficiente K_c incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo, constituyendo una excelente herramienta para la planificación del riego y la programación de calendarios básicos de riego en periodos mayores a un día.

El procedimiento de cálculo de la evapotranspiración del cultivo, entonces sería el siguiente:

1. Identificar las etapas de desarrollo del cultivo, determinando la duración de cada etapa y seleccionando los valores correspondientes de K_c .
2. Ajustar los valores de K_c seleccionados según la frecuencia de riego o las condiciones climáticas durante cada etapa.
3. Construir la curva del coeficiente del cultivo (permite la determinación de K_c para cualquier etapa durante su período de desarrollo).

4. Calcular ETc como el producto de ETp y Kc.

V.2 Precipitación efectiva

No toda el agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo puede realmente ser utilizada por las plantas. Parte del agua de lluvia se infiltra a través de la superficie y parte fluye sobre el suelo en forma de escorrentía superficial. Cuando la lluvia cesa, parte del agua que se encuentra en la superficie del suelo se evapora directamente a la atmósfera, mientras que el resto se infiltra lentamente en el interior del suelo. Del total del agua que se infiltra, parte percola por debajo de la zona de raíces, mientras que el resto permanece almacenado en dicha zona y podría ser utilizada por las plantas.

El agua de lluvia evaporada, la de percolación profunda y la de escorrentía superficial no pueden ser utilizadas por el cultivo, o sea no son efectivas. A la porción restante, almacenada en la zona de raíces se le denomina precipitación efectiva.

En otras palabras, el término "precipitación efectiva" es utilizado para definir esa fracción de la lluvia que estará realmente disponible para satisfacer al menos parte de las necesidades de agua de las plantas. Este parámetro puede determinarse por experimentos o se estima por medio de ecuaciones empíricas (FAO, 1993), que para áreas con pendientes inferiores al 4-5% se tiene:

$$Pe = 0.8 \times PP - 25 \text{ si } PP > 75 \text{ mm/mes}$$

$$Pe = 0.6 \times PP - 10 \text{ si } PP < 75 \text{ mm/mes}$$

V.3 Requerimiento de riego

El requerimiento de riego, será el valor que nos indique la cantidad de agua que habrá que aplicarse a un cultivo, tomando en cuenta la evapotranspiración, una cantidad adicional de agua para lavado de sales y la precipitación del lugar.

Una vez calculada la evapotranspiración, se puede calcular el requerimiento de riego. Este se calcula con la siguiente ecuación:

$$Rr = Et + Rl - Pe$$

Donde:

Rr = requerimiento de riego (cm.)

Et = evapotranspiración (cm.)

Rl = requerimiento de lavado (cm.)

Pe = precipitación efectiva (cm.)

Cuando no existen sales, entonces:

$$Rr = Et - Pe$$

Considerando la precipitación efectiva, el requerimiento de riego puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$Rr = Et \left(1 - \frac{I}{1.53 + \frac{0.8 Et}{P}} \right)$$

Donde:

P = precipitación (cm.)

V.4 Intervalo y calendario de riego

El intervalo de riego se define como el número de días entre dos riegos consecutivos. Está determinado por los siguientes factores

- Suelo: Las características físicas de un suelo determinan la capacidad de almacenamiento de agua del mismo.
- Cultivo: La respuesta fisiológica de los cultivos al abatimiento de la reserva de humedad disponible en el suelo es diferente para cada cultivo

El calendario de riego, será útil para determinar cuando menos los siguientes puntos:

- N° de riegos por aplicar al cultivo
- Intervalos entre riegos
- Láminas de requerimiento de riego
- Láminas netas de riego

La metodología para la programación de riegos (PR), tradicionalmente se agrupa en cuatro bloques:

1. Comprende los que se basan únicamente en el conocimiento del estado hídrico del suelo, apoyándose en el conocimiento del potencial hídrico (tensiómetros, resistencias) y el contenido de agua mediante sonda de neutrones muestreo gravimétrico o mediciones de la constante dieléctrica.
2. Basado en el conocimiento hídrico del cultivo ya que este refleja el balance entre factores de oferta (profundidad y densidad radicular, contenido de agua en el suelo) y demanda de agua por las condiciones atmosféricas. Entre estos métodos, se incluyen los que miden el potencial hídrico de la hoja (con la bomba de presión), los que miden la temperatura de la cubierta vegetal (con sensores de radiación infrarroja), el empleo de sistemas visuales de estrés hídrico (color de las hojas, enrollamiento foliar, cambio de orientación de las hojas, etc.), los que miden la resistencia estomática.
3. Los métodos que utilizan distintos modelos de balance de agua en el suelo.
4. Los métodos mixtos, que combinan distintas técnicas

V.5 Determinación del gasto de diseño.

Para elegir el tamaño de los componentes del sistema de riego, se requiere conocer la capacidad del suministro del caudal al sistema y cumplir con las demandas críticas del cultivo. En esta etapa es importante tener una buena aproximación de los máximos requerimientos de riego de los cultivos. Si no se tienen registros climáticos confiables se puede sobrestimar o subestimar la capacidad del sistema, resultando en pérdidas económicas por un sobre dimensionamiento del sistema o por no suministrar los requerimientos hídricos de los cultivos durante la etapa fonológica crítica.

Uno de los métodos tradicionales para la programación de riegos es el balance hídrico.

El balance hídrico funciona como una contabilidad de agua que registra las entradas y salidas de agua

pronosticando así la cantidad de agua presente en el suelo en un momento determinado. En consecuencia, el Balance Hídrico nos indica cuando el suelo llega al nivel de humedad que se ha definido como el punto crítico en el cual es necesario regar, para evitar que la planta reduzca su tasa de producción de biomasa.

La ventaja de usar el Balance Hídrico para programar los riegos es que se mejora la precisión del cálculo que se realiza para determinar el requerimiento de agua sin necesidad de hacer mediciones frecuentes en el campo. Se gana precisión porque para su cálculo se consideran el tipo de suelo, el clima que son los factores que más influyen en el consumo de agua del cultivo.

En cualquier ecosistema, el balance hídrico se puede determinar calculando los cambios en entradas, salidas y almacenamiento de agua que ocurren en el suelo. Los flujos de entrada más importante son el riego y las lluvias; y el mayor flujo de salida es la evapotranspiración (ET), que está compuesta por la evaporación de agua directa desde la superficie del suelo y la transpiración que ocurre desde el follaje del cultivo. También pueden ocurrir flujos de entrada por ascenso capilar del agua freática hacia la zona de absorción radicular. El exceso de agua que el suelo no es capaz de almacenar sale del sistema por medio de la escorrentía superficial y de la precolación a estratos de suelo más profundos. El balance hídrico, que implica la determinación de todas las entradas y salidas del agua se puede expresar como:

$$ET = P + R + Ac + ES - D - DHS$$

Donde

P es la precipitación acumulada en el intervalo de tiempo considerado (hora, día, semana, decena, mes) en la superficie en estudio

R es igual al agua de riego aplicada

Ac es el aporte de agua desde la capa freática por ascensión capilar de la zona subyacente a la explorada por el sistema radicular activo

ES corresponde al aporte (+) o pérdida (-) lateral de agua de escorrentía en la superficie del terreno

D es el flujo vertical de agua en profundidad fuera del volumen del suelo explorado por el sistema radicular activo

DHS es la variación del agua almacenada en el suelo para el tramo del perfil del suelo donde se encuentra el sistema radicular activo.

Para implementar el balance hídrico se necesita conocer la capacidad de campo del suelo (CC), el punto de marchitamiento permanente (PMP), el máximo descenso de humedad de suelo permitido (punto crítico de humedad), la evapo-transpiración (ET) y el coeficiente de consumo del cultivo (K).

La CC es la cantidad de agua que un suelo puede retener después de que la gravedad ha terminado de drenar el agua del suelo, lo cual ocurre usualmente 1 a 2 días después de una lluvia o riego que saturan el suelo. La CC de un suelo es una característica que debe ser medida en el campo si se quiere asegurar que se está utilizando el valor correcto en el Balance Hídrico.

Para poder satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, un sistema de riego debe proveer el caudal necesario conocido como capacidad del sistema expresado por la ecuación

$$Q_s = \left(\frac{RRDD}{E_a} \right) A$$

Donde RRDD son los requerimientos de riego de diseño diarios (L/T), A es el área dominada por el sistema de riego, E_a es la eficiencia de aplicación en fracción decimal, la cantidad de agua que no se almacena en la zona objetivo, usualmente la zona de raíces, con respecto a la cantidad que sale del punto pivote.

Para una sección circular, la ecuación anterior tiene la forma siguiente:

$$Q_s = \left(\frac{RRDD}{E_a} \right) \pi R^2$$

Donde R es el radio efectivo o hidráulico del sistema de riego

VI Diseño del equipo

Es de suma importancia en el diseño y operación de un sistema de riego el concepto de infiltración de agua en el suelo, que se define como el proceso por medio del cual el agua pasa a través de la superficie y se distribuye en los estratos del suelo. El proyecto de un riego por aspersión pasa por la realización de un diseño agronómico y, a partir de él, de un diseño hidráulico. Con el primero se lleva a cabo el planteamiento general del sistema en base a los condicionantes del medio (suelo, cultivos, clima, parcelación, etc.), con el objetivo de conseguir un reparto uniforme del agua y que ésta se infiltre donde cae. Con el segundo se pretende realizar el dimensionamiento más económico de la red de tuberías, con la pretensión de alcanzar unas condiciones semejantes de presión en los emisores, para tratar de conseguir un reparto de agua uniforme.

VI.1 Determinación del tipo de pivote

Es necesario seleccionar el tipo de sistema de riego entre las múltiples opciones disponibles. Es posible seleccionar más de dos opciones y la elección dependerá de los factores siguientes:

- Disponibilidad de los recursos materiales y humanos
- Inventario de partes y refacciones
- Servicio y mantenimiento
- Distancia del proveedor
- Inversión inicial

VI.2 Dimensionamiento geométrico

Las variables geométricas usadas en la descripción del diseño de un sistema de riego son:
El área base cubierta por un lateral

$$A_b = \pi R^2$$

Donde

R es el radio efectivo de mojado del paquete de aspersores alimentados por el lateral de longitud L.

El radio efectivo de mojado R está dado por:

$$R = L + r_e$$

Donde L es la longitud del lateral definida por la distancia del pivote al último aspersor o cañón

r_e es el radio de mojado efectivo del cañón final o los últimos aspersores que mojan fuera del radio L

VI.3 Diseño hidráulico del sistema

Para el diseño del sistema se requiere determinar la selección del diámetro del equipo, la presión hidrostática y las pérdidas por fricción.

VI.3.1 Selección del diámetro del equipo

El diámetro del equipo dependerá del gasto requerido para el área por regar y por ende de la longitud de la tubería. A menor diámetro y mayor longitud de tubería, mayor es la superficie de fricción y en consecuencia mayor es la disminución de la presión. A mayor pérdida de presión, mayores son los costos energéticos para producir la presión requerida por el equipo de bombeo y mantener la presión de operación en los puntos de emisión.

El diámetro de la tubería lateral del pivote central se selecciona utilizando la regla de que las pérdidas de carga por fricción no deben exceder el 20% de la carga de operación del aspersor, con el fin de que las variaciones del gasto en el primer y último aspersor no sobrepasen el 10%

En la tabla siguiente se presenta los diámetros nominales e internos de las tuberías más usadas en pivotes centrales.

Tuberías mas usadas en pivotes centrales		
Diámetro en pulgadas		Espesor de la pared en pulgadas
Nominal	Interno	
5 9/16	5.318	0.25
6	5.755	0.25
6 5/8	6.375	0.25
6	7.755	0.25
8 5/8	8.375	0.25
10	9.755	0.25

VI.3.2 Presión hidrostática

La pendiente de la línea de energía en cualquier punto r a lo largo del lateral se puede estimar como:

$$\frac{d}{dr} \left(h + \frac{v^2}{2g} + z \right) = \frac{dE}{dr} = S_r$$

Donde:

h es la carga de presión, $v^2/2g$ es la carga de velocidad y z la elevación del punto de análisis e, dr es la distancia elemental en la dirección de la tubería.

La pendiente del terreno es negativa a favor de la gravedad (descendente) y positiva en caso contrario (ascendente). Las pendientes de la línea de energía y carga de velocidad son negativas en la dirección del flujo.

Si se parte de la hipótesis de que el terreno tiene una pendiente uniforme, se tiene:

$$dh = S_f dr - S_v dr - S_o dr$$

$$h_{r_2} - h_{r_1} = S_f dr - S_v dr - S_o dr$$

La ecuación anterior permite estimar el cambio de presión entre dos puntos (Γ_1 y Γ_2), una vez que se conocen las pendientes de la línea de energía, carga de velocidades y del terreno (S_f, S_v y S_0)

VI.3.3 Pérdidas por fricción.

La pérdida por fricción es la disminución en la presión del agua al fluir en una tubería y producirse fricción entre la pared de la tubería y el líquido.

La pendiente de la línea de energía S_f en un punto r del lateral se puede representar en su forma general como:

$$S_f = -K \frac{Q_r^m}{D^n} = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \left(\frac{Q_r}{Q_o} \right)^m$$

Donde K es un coeficiente que integra las unidades y el coeficiente de rugosidad de la tubería, D es el diámetro interno, m y n son los exponentes de velocidad y diámetro de la ecuación de pérdida de carga por fricción usada en los cálculos. Generalmente n se aproxima por $m+1$. La pendiente S_f es siempre negativa ya que disminuye en el sentido de flujo. En consecuencia, la pérdida de carga del lateral puede estimarse como:

$$h_f = \int S_f dr = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \int_0^R \left(\frac{Q_r}{Q_o} \right)^m dr = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \int_0^R \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^m dr = -K \frac{Q_o^m}{D^n} R \int_0^R \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^m \frac{dr}{R}$$

$$h_f = -K \frac{Q_o^m}{D^n} R \int_0^R \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^m \frac{dr}{R} = h_f \int_0^R \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^m \frac{dr}{R}$$

Definiendo h_f como la pérdida de carga de una lateral sin salidas múltiples, se tiene:

Donde

$$h_f = -KR \frac{Q_o^m}{D^n}$$

Para estimar la integral se utiliza la función beta

$$B(z, w) = \int_0^1 t^{z-1} (1-t)^{w-1} dt = \frac{\Gamma(z)\Gamma(w)}{\Gamma(z+w)}$$

donde $\Gamma(x)$ es la función Gamma.

Para expresar la ecuación de pérdida de carga por función en la forma de la función beta, es necesario introducir una variable auxiliar $u=r/R$ en dicha ecuación con $du= d(r/R) = dr/R$, entonces

$$h_f = h_F \int_0^1 (1-u^2)^m du$$

Reescribiendo la ecuación:

$$h_f = h_F \int_0^1 (1-u^2)^m du = h_F \frac{1}{2} \int_0^1 r^{-1} (1-u^2)^m 2r dr$$

asumiendo $t=r$ y $z=1/2$, la ecuación anterior obtiene la forma de la función Beta, con $z=1/2$ y $w=m+1$:

$$h_f = \frac{h_F}{2} \int_0^1 T^{-1/2} (1-T)^m dT = \frac{h_F}{2} \beta(z, w) = \frac{h_F}{2} \beta(1/2, m+1)$$

VI.3.3.1 Hazen-Williams

La ecuación de Hazen –Williams es la más usada para estimar la pérdida por fricción en laterales de riego por aspersión con régimen turbulento (número de Reynolds mayor a 6.3×10^5) el parámetro m es igual a 1.852, entonces $\frac{1}{2} \beta(1/2, 2.85) = 0.5477$. La pérdida de carga en un lateral para pivote central puede entonces estimarse usando el factor de salidas múltiples de 0.5477

$$h_f = F_{sm} h_F = 0.5477 h_F$$

La siguiente ecuación permite estimar la pérdida de carga desde el punto pivote a un punto r sobre el lateral:

$$h_{f-r} = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \int_0^r \left(1 - \left(\frac{\tau}{R} \right)^2 \right)^m d\tau$$

Donde τ es una variable auxiliar de integración

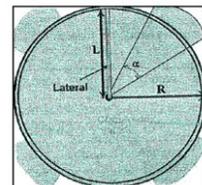
El binomio de la integral puede aproximarse usando una serie binomial (Scaloppi y Allen, 1992) de la forma siguiente

$$\left[1 - \left(\frac{\tau}{R} \right)^2 \right]^m = 1 - m \left(\frac{\tau}{R} \right)^2 + \frac{m(m-1)}{2!} \left(\frac{\tau}{R} \right)^4 - \frac{m(m-1)(m-2)}{3!} \left(\frac{\tau}{R} \right)^6 + \dots$$

Sustituyendo los primeros cuatro términos de la serie e integrando se tiene:

$$h_{f-r} = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \int_0^r \left(1 - \left(\frac{\tau}{R} \right)^2 \right)^m d\tau = K_F \left\{ \frac{r}{R} - \frac{m}{3} \left(\frac{\tau}{R} \right)^3 + \frac{m(m-1)}{10} \left(\frac{\tau}{R} \right)^5 - \frac{m(m-1)(m-2)}{42} \left(\frac{\tau}{R} \right)^7 \right\}$$

Como la longitud del lateral (L) es menor que el radio efectivo de mojado (R), se usa una longitud hidráulica equivalente (L_h) para definir las pérdidas por fricción en un lateral con aspersores mojado fuera del radio L . Sustituyendo la ecuación para



un régimen turbulento (m=2), se obtiene:

$$h_{f-r} = h_f \left\{ \frac{r}{L_h} - \frac{2}{3} \left(\frac{r}{L_h} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{r}{L_h} \right)^5 \right\}, \quad L_h > R > L, r \leq L$$

Donde

L_h = longitud hidráulica equivalente

Una versión muy usada para estimar las pérdidas de carga por fricción, derivada y verificada por Chu Moe (1972), está dada por

$$h_{f-r} = h_f \frac{15}{8} \left\{ \frac{r}{L_h} - \frac{2}{3} \left(\frac{r}{L_h} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{r}{L_h} \right)^5 \right\}, \quad L_h > R > L, r \leq L$$

La distribución de presión a lo largo del lateral puede estimarse con la ecuación siguiente:

$$\frac{h_r - h_{Lh}}{h_o - h_{Lh}} = \frac{h_r - h_{Lh}}{F_{sm} h_f} = 1 - \frac{15}{8} \left\{ \frac{r}{L_h} - \frac{2}{3} \left(\frac{r}{L_h} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{r}{L_h} \right)^5 \right\}, \quad L_h > R > L, r \leq L$$

Donde

h_r = es la presión a una distancia r del pivote

h_o = es la presión inicial del pivote

h_{Lh} = es la presión al final del pivote

Para estimar las pérdidas de carga en tuberías sin salidas múltiples la ecuación de Hazen Williams es de la forma siguiente:

$$h_f = KL \frac{\left(\frac{Q_o}{C} \right)^{1.852}}{D^{4.87}}$$

donde:

L = longitud del lateral

C = Coeficiente de Hazen-Williams, usualmente se toma un valor de 140 para tubería de pivotes

D = diámetro interno

Q_o = gasto al inicio del lateral

K = coeficiente de conversión que depende de las unidades usadas

Valores del coeficiente K de la ecuación Hazen Williams para varias unidades de las variables involucradas

	unidades			
K	1.22×10^{10}	3163	4.6×10^{-7}	10.46
h_f	m	m	m	ft
L	m	m	m	ft
Q	lps	lpm	$m^3 s^{-1}$	gpm
D	mm	mm	m	in

VI.3.3.2 Recomendaciones del fabricante

Debido a que la Ecuación de Hazen Williams conduce a cálculos engorrosos, los fabricantes de equipos de pivotes, han desarrollado tablas para estimar rápidamente las pérdidas por fricción cuando se está diseñando un sistema de tuberías para un pivote central. Las tablas contienen la información siguiente:

Velocidad del agua (ft/seg.). Es la velocidad a la que las partículas de agua se mueven a través del tubo. Si el tubo es demasiado pequeño para un flujo dado, la pérdida de fricción es excesiva. Si el tubo es demasiado largo para un flujo dado, el costo implícito en la instalación del tubo no se justifica. Una regla sencilla en un sistema de tuberías es que la velocidad de agua este dentro del rango de 3 y 7 seg. En las tablas este rango esta sombreado.

Carga de velocidad. La distancia vertical que el agua debe tener para alcanzar la velocidad de un flujo dado. Pérdida de carga causada por el flujo (ft de pérdida por 100ft de longitud de tubo). La pérdida por fricción calculada con la formula de Hazen Williams para un flujo y dimensión de un tubo y convertir de libras por pulgada cuadrada a pies de agua (1 ft de agua = 0.433 psi). Los cálculos se realizan para un longitud de tubo de 100ft y se deberá multiplicar por un factor de corrección para convertir esta longitud al valor de la longitud que se esté considerando (si la longitud total del tubo es de 500 ft, el valor obtenido en la tabla se multiplica por 5. de igual manera si la longitud del tubo es de 40 ft, se multiplica el valor obtenido de la tabla por el factor 0.40).

Pérdida de carga de velocidad causada por el flujo (psi de pérdida por 100 ft de longitud de tubo. La pérdida de fricción calculada con la formula de Hazen Williams para un tamaño de tubo y flujo dado. De igual manera se utiliza un factor de conversión para el valor de la longitud del tubo analizado.

Los valores de las tablas se determinaron con un valor de C=100. Para convertir la pérdida de fricción de este valor de referencia se emplea el factor de corrección dado en la tabla siguiente para obtener el valor de la pérdida por fricción para un valor diferente de C.

Valor de C	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60
Factor de corrección	0.47	0.54	0.62	0.71	0.84	1	1.22	1.5	1.93	2.57

En el Apéndice D se incluyen las tablas correspondientes a tuberías de 6 “, (Fig. D2 y D3) tomadas del Manual de diseño de Lindsay Zimmatic, a fin de ejemplificar el uso de las tablas. Para otros diámetros de tubería se deberá consultar el Manual.

Debido a que en general las líneas de conducción no son rectas y tienen cambios de dirección, se deberán estimar las pérdidas por fricción de las conexiones como codos “Tees”, válvulas. Las ecuaciones correspondientes para determinar las pérdidas de fricción en conexiones son muy complejas y por esta razón se emplea un método simple. Este método se basa en considerar que todas las pérdidas por fricción en las conexiones contribuyen a la pérdida total de presión y la pérdida de fricción de cada conexión, para

un cierto diámetro y un flujo dado, que se origina equivale a una pérdida por fricción de un tubo recto con la longitud que conduce a la misma pérdida de fricción que la conexión. Para determinar las longitudes equivalentes se han desarrollado tablas para diferentes tipos de conexiones como la que se muestra en la Fig. D4 del Apéndice D. En la Fig. D5 se presenta una tabla desarrollada para estimar las pérdidas por fricción originadas por las bombas.

Para determinar las pérdidas por fricción en la lateral de un pivote, formada por varios tramos con combinaciones de tubos con diámetros y longitudes diferentes, también se utilizan tablas proporcionadas por los fabricantes como las que se presentan en el Apéndice D para dos ejemplos.

VI.3.4 Consideraciones de diseño

Los Factores que se deben considerar

1. *Diseño del sistema de riego adecuado.* El sistema de riego debe: Adecuarse a las necesidades de agua de la cosecha y Optimizar la eficacia del riego. Dividir el área a regar en zonas con distintas necesidades de riego le ayudará a resolver esta situación. Puede elegir realizar una división por tipos de cosecha o quizá por la exposición al sol y al viento, si es posible. Para determinadas cosechas puede seleccionar zonas umbrías o en pendiente.
2. *Equipo de riego.* Distintos equipos de riego requieren distintas cantidades de agua y presión. Por ello, el equipo se deberá seleccionar antes que la bomba. No se debe pasar por alto el cuadro de control. Este dispositivo controla el rendimiento de la bomba, incluso encendiéndola y apagándola en periodos predeterminados. Si no riega en periodos con luz solar directa o con fuertes vientos ahorrará agua. Un cuadro de control puede programarse para optimizar el funcionamiento, respetando tanto la cosecha como el ahorro de agua. Apagando la bomba durante un tiempo se consigue que el suelo absorba el agua de riego. Encendiéndola más tarde mejorará la absorción y reducirá el consumo de agua.
3. *Fuente de suministro de agua.* El origen del agua de riego influye en la bomba que se va a seleccionar. Las bombas sumergibles en pozos profundos están especialmente diseñadas para bombear agua desde varios cientos de metros bajo tierra. Para bombear agua de superficie puede usar distintos modelos de bombas.
4. *Consumo energético.* Las bombas y los motores presentan eficacias diferentes, y la eficacia total se debe calcular siempre antes de realizar la selección final. La factura de la luz depende de cuántos KWH. absorbe el motor. Sólo tiene que comparar el caudal y el tope que produce la bomba con el consumo de KWH. del motor.

Se puede calcular como sigue:

$$\text{Rendimiento \%} = Q \times H \times 100 / (365 \times P1)$$

Q = caudal en m³/h

H = head (pressure from pump in meters)

H = altura (presión desde la bomba en metros)

P1 = Kw. requeridos por el motor. No deben confundirse con la salida en Kw. que aparece

estampada en la placa del motor. La mayoría de los fabricantes de bombas pueden suministrar todos los datos relevantes, para poder calcular la eficacia con precisión.

5. *Caudal*. Hay dos elementos básicos que son cruciales:

- La disponibilidad de agua
- Las necesidades de agua del cultivo

Al utilizar agua subterránea, solemos recomendar usar más de un pozo para minimizar el descenso de nivel del agua. También se recomienda emplear varias bombas pequeñas en lugar de una grande. Algunas ventajas son:

- Fácil activación/desactivación de las bombas en función de la demanda de caudal
- Minimización de las fugas producidas por la presión excesiva del sistema
- Se reduce el consumo energético, al limitar la altura
- Se evitan las influencias negativas en el acuífero

6. *Presión*. La presión del sistema debe mantenerse lo más baja posible. Los motivos son: Se reducen las fugas. Se conserva el agua. Se reduce el consumo energético, no obstante, se suele necesitar una presión mínima específica para un funcionamiento correcto. Sin ella, el rendimiento que anuncia el fabricante no será posible.

7. *Consideraciones adicionales*. Las bombas sumergibles ofrecen dos ventajas principales al obtener agua de un embalse o lago:

- Se mejora la protección antirrobo cuando las bombas están sumergidas
- Se reduce el ruido únicamente al ruido de los tubos y las válvulas
- Se puede bombear prácticamente desde cualquier profundidad
- No hay riesgo de vaporización del agua

8. Rendimiento variable de la bomba. La regulación de la velocidad es el modo más eficaz de adaptar. Existe la disponibilidad de una serie de bombas con control de velocidad variable, y puede suministrar bombas de presión embaladas con controles simples. Algunos fabricantes de equipos de riego también diseñan controladores, que están optimizados para bombas y equipos de riego por separado.

9. *Protección de la bomba*. Hay disponibilidad en el mercado de dispositivos para riego, de una amplia gama de dispositivos de protección frente a los problemas más comunes como la sobrecarga, el exceso o la falta de tensión, el desequilibrio de fases, y la refrigeración insuficiente.

10. *Evaluación del impacto ambiental*. Una parte importante de la planificación de los sistemas de riego consiste en analizar los problemas ambientales potenciales al operarlos, como son: migración de agroquímicos aplicados con el sistema, escurrimiento y erosión potencial por altas intensidades de aplicación, excesiva filtración por sobre riego o mal diseño. En el Apéndice B se presenta un apartado sobre el impacto ambiental de los sistemas de riego y en el Apéndice C sobre saturación y salinización de los suelos.

Los equipos deben ser diseñados adecuados a cada sitio y optimizar costos directos e indirectos con base en la información colectada que incluye la caracterización de suelos (física y química), infiltración, disponibilidad de agua (cantidad y calidad), microclima, requerimientos de agua del cultivo e identificación de cualquier otra restricción potencial. La pendiente a lo largo de la huella puede afectar el desempeño y la vida útil del equipo. Pérdidas potenciales como arrastre por viento, evaporación, escorrentías y percolación profunda, deben ser estimadas. Los aspersores y patrones de distribución deben ser adecuados al tipo de suelo y criterios de operación deben ser entregados al productor. La determinación de costos directos: recaen sobre el productor o inversionista ya que son los que materializan los objetivos del proyecto y se dividen, a su vez, en: Costos de inversión que incluyen el costo del equipo y las inversiones necesarias para la elaboración del proyecto, tales como: construcciones e instalaciones y los costos de Operación.

Por lo que respecta a costos indirectos incluyen aquellos provocados por especulación del capital, de terrenos y de los activos en general; por la contaminación del aire, del suelo y del agua, casos concretos son las emisiones de la maquinaria y los fumigadores al aire, los agroquímicos aplicados al suelo y al agua, las descargas de aguas residuales a los drenes por lavado de suelos en drenajes parcelarios, y el creciente desecho de plásticos utilizados en la agricultura. El evaluador de proyectos debe tener clara conciencia de los efectos y sus costos aún difíciles de cuantificar, en vez de disfrazar con justificaciones la ignorancia actual y reconocer los efectos negativos que pueden tener en las actividades y en la sociedad, por lo tanto, debe tomar en consideración las valoraciones cualitativas de sus efectos.

Otro grupo de indirectos generalmente son los relativos a gastos de administración como son: nómina, papelería, luz, agua, teléfono, fax, mensajería, arrendamientos, etc., que por lo general no se cuantifican en los proyectos agropecuarios, porque los usuarios no se constituyen como empresa; no obstante, son gastos que acaban siendo asumidos por ellos y con cargo al proyecto. Por otra parte, cada vez más las fronteras que separan a la empresa agropecuaria o agroindustrial con el productor del sector primario se diluyen y se integran en un ambiente más formal de la administración empresarial, donde aspectos como los activos, el valor agregado, los impuestos y en general los estados financieros que caracterizan a la empresa formalmente constituida cobran sentido.

VI.3.4.1 Costo del Equipo.

Como con todos los equipos de riego, para reducir los costos por unidad de área regada, es ventajoso regar la mayor superficie posible con una mínima cantidad de equipamiento. En el caso del Pivote Central, el costo del equipo es proporcional al radio del círculo regado, pero el área regada es proporcional al cuadrado de este radio. Esta es básicamente la razón de que el equipo se recomienda para superficies por mayores las 30 ha.

Los costos por hectárea del equipo entonces dependen directamente de la superficie que se quiera dejar bajo riego. Pivotes Centrales diseñados para regar entre 20 a 30 ha., tienen valores que fluctúan entre los 1500 a 2500 \$US/ha, en cambio Pivotes capaces de regar unas 100 ha., poseen valores entre 800-1000 \$US/ha.

El costo total de un proyecto de riego por Pivote Central no tan sólo considera la inversión de la

adquisición del equipo, que corresponde entre el 40% a un 60% del costo total del proyecto, sino que además debe considerar otros costos del proyecto como son: el sistema de bombeo, red hidráulica, sub-estación y red eléctrica, equipo de fertirrigación, sistema de filtraje y las obras de captación.

VI.3.4.2 Costos de operación

Los costos de operación incluyen los costos necesarios para operar el proyecto, como son: materias primas, mano de obra, energía, materiales, seguros, conservación y mantenimiento y sus respectivos impuestos.

Un mantenimiento regular del Pivote Central permite prevenir roturas y pérdidas de tiempo y obtener un funcionamiento más prolongado y eficiente a lo largo del tiempo, lo cual se traduce, finalmente, en ahorro de dinero.

Según datos de los expertos, se coincide en que los ítems más importantes para el mantenimiento son:

1. Anualmente.
 - Verificar la presión de aire en los neumáticos,
 - Eliminar el agua que pueda existir en las cajas de transmisión y volver a llenarlas con aceite,
 - Verificar que las juntas estén en el lugar correcto,
 - Asegurar que las trampas de arena estén funcionando correctamente para evitar la acumulación de este tipo de partículas. De ser necesario, lavar estas trampas con agua a presión.
 - La presión debe ser monitoreada cada año y a lo largo de cada estación. Si la presión comienza a disminuir a lo largo del tiempo, esto puede ser un signo de problemas en el equipo de bombeo o en el sistema de suministro de agua.
2. Antes de la estación de riego
 - Verificar el funcionamiento de las boquillas al momento de arranque asegurando que estén asperjando correctamente.
 - Procurar que el equipo de riego quede apoyado correctamente sobre el suelo.
3. Al final de la estación de riego
 - Eliminar el agua del Pivote y de todas las conexiones que van hacia el mismo.
4. De manera poco frecuente
 - A partir del primer año de operación, reemplazar el aceite de las cajas de transmisión de las ruedas, utilizando el tipo de aceite aconsejado por el fabricante.
 - Cambiar el aceite de las cajas de transmisión, una vez cada 3 años en caso de operar en condiciones normales o una vez cada 2 años si el equipo se usa más de 1000 horas al año.
 - Cambiar aspersores en el caso de notar un incremento en el consumo de combustible o energía, es importante tener en cuenta que el mismo puede deberse a un sistema de aspersores dañado o gastado. Con el correr del tiempo, el tamaño de las boquillas en los

sistemas de aspersión tiende a incrementarse y con ello el caudal, lo que conlleva a un aumento en el consumo de electricidad (o combustible) por parte de la bomba. El productor puede obtener un importante ahorro de agua y energía al adoptar los nuevos modelos de aspersores de baja presión.

En el Apéndice C, se muestran fotografías y láminas ilustrativas relativas al mantenimiento del Pivote Central.

Los puntos anteriores (mantenimiento esmerado, elección de los aspersores correctos, trabajar a la presión adecuada, evitar la formación de huellas de neumáticos profundas y emplear la fertirrigación), pueden ser medidas insuficientes si El sistema no es manejado correctamente.

Para ello, como en cualquier sistema de riego, lo importante es monitorear los niveles de humedad del suelo y aplicar El riego en el momento adecuado.

VI.3.5 Diseño del paquete de aspersores.

La selección y localización de los emisores es una parte importante del proceso de planificación del sistema. En esta fase se recomienda obtener varias alternativas de paquetes de aspersores que cumplan con las restricciones hidráulicas impuestas por el sistema.

Las principales variables que se consideran para seleccionar un paquete de aspersores son: el espaciamiento entre aspersores y el tipo de aspersor.

La selección del tipo de emisor entre las diferentes opciones comerciales disponibles, depende de los siguientes factores:

- Velocidad del viento
- Potencial ambiental evaporativo
- Tipo de cultivo
- Requerimientos hídricos del cultivo
- Topografía del terreno
- Costos de bombeo
- Practicas de quimigación requeridas
- Uniformidad deseada
- Capacidad de infiltración y almacenamiento del suelo
- Longitud del lateral

Existen los siguientes tipos hidráulicos de aspersores usados en pivotes centrales

- Aspersores de impacto o giratório
- Roçadores o pulverizadores (spray)
- Emisores LEPA
- Cañon

En la tabla siguiente se presentan las principales características de los tipos de aspersores más usados en los sistemas de pivote central, donde se observa un amplio rango de diámetros de mojado y presiones de operación.

Fig. 38. Tipos de aspersores para pivote central

Tipo	Material	Angulo trayectoria (°)	Tamaño gota	Presión aspersor (psi)	Diámetro de mojado (ft)
Borboteador	Plástico	Baja	G	5 – 10	1
Spray 180	Plástico o bronce	-10 a 10	P	10 – 30	10 – 20
Spray 360					
Plato liso	Plástico	0	P	10 – 30	10 – 20
Plato fino	Plástico	-5 a 10	P – M	10 – 30	20 – 40
Plato estriado	Plástico	0 a 15	M – G	15 – 40	40 – 60
Plato combinado	Plástico	Combinación	P – M	10 – 40	40 – 50
Plato rotatorio	Plástico	-5 a 30	M – G	15 – 45	40 – 70
Impacto					
Alta presión	Plástico o bronce	0 a 15	M – G	25 – 50	50 – 70
Baja presión	Plástico o bronce	10 a 27	M – G	40 – 80	60 – 100
Cañón	Variado	18 a 27	M – G	40 – 100	100 – 550

NOTA: La simbología del tamaño de gota es: G–Grande, M–Media, P–Pequeña

Tipos de aspersores para pivote central

Los espaciamentos más utilizados son:

- Espaciamiento uniforme. Los aspersores se espacian entre 9 y 12 m y su gasto se incrementa en proporción directa con la distancia de este al punto pivote. El diámetro de mojado también aumenta pero no en proporción a su descarga.
- Espaciamiento Semi uniforme. La línea regante es dividida en tres segmentos para utilizar diferentes espaciamentos.
- Descarga uniforme de los aspersores. El espaciamiento es de 12 m cerca del pivote y decreciendo a 1.5 m en las orillas. El espaciamiento del aspersor esta en proporción inversa a la distancia radial del pivote, por lo que el espaciamiento por la distancia radial es constante.

El espaciamiento uniforme es el más utilizado por su facilidad de fabricación e instalación, pero requiere de aspersores más grandes. Con el fin de evitar problemas con los aspersores grandes, frecuentemente se utiliza el espaciamiento Semi uniforme, siendo común el espaciamiento de los aspersores a 12 m en la primera tercera parte. A 6 m en la segunda y a 3 m al final.

La estrategia general para seleccionar el aspersor y el tamaño de sus boquillas es:

- Determinar la distribución del gasto, considerando el gasto requerido por cada aspersor con el fin

de lograr una buena uniformidad.

- Determinar la carga mínima de operación del aspersor.
- Determinar la distribución de presión o cargas a lo largo de la línea regante.
- Con la presión y el gasto seleccionar el diámetro de la boquilla.

La presión de operación de un aspersor define en gran parte su comportamiento hidráulico: descarga, tamaño de gota y radio de mojado. Al incrementar la presión disminuye el tamaño de la gota, incrementa el gasto y radio de mojado.

Durante el diseño hidráulico del sistema se busca el aspersor que proporcione el gasto deseado, con base en las características de los modelos de aspersores comerciales.

En lo referente al gasto de aplicación de un aspersor, se puede estimar en función de la presión mediante la siguiente expresión algebraica

$$q_a = C_d A \sqrt{2 g H}$$

Donde

C_d es el coeficiente adimensional de descarga del aspersor que depende del tipo de boquilla y configuración con un rango de variación de 0.90 a 1 para la mayoría de los modelos comerciales

g es la constante gravitacional

H es la presión de operación del aspersor en metros o pies de columna de agua

A es el área equivalente de los orificios de las boquillas del aspersor

$$A = \pi \frac{(D_p^2 + D_s^2)}{4}$$

D_p es el diámetro de la boquilla principal

D_s es el diámetro de la boquilla secundaria

Aunque es posible obtener el coeficiente C_d en forma experimental, una forma alternativa es obtenerla por medio de un análisis de regresión ajustando datos de H y D proveniente de catálogos comerciales usando el modelo siguiente:

$$C_d = \alpha_0 + \alpha_1 D^2 + \alpha_2 H$$

Donde

D es el radio equivalente

$$D^2 = \frac{(D_p^2 + D_s^2)}{4}$$

α_0 , α_1 y α_2 Son los coeficientes de regresión obtenidos al ajustar el modelo a datos experimentales

C_d es el coeficiente de descarga obtenido de datos experimentales de q_a y H obtenidos usualmente de

catálogos del fabricante con la relación:

$$C_d = \frac{q_d}{A\sqrt{2gH}}$$

El radio de mojado de un aspersor, es el máximo alcance de mojado del aspersor y cuyo valor es importante conocer para estimar el área de mojado y determinar el espaciamiento máximo entre aspersores para obtener máxima uniformidad. La selección del paquete de aspersores para el pivote central dependerá de los modelos disponibles en el mercado que cumplan con los requerimientos hidráulicos de presión, gasto y radio de mojado para obtener una alta uniformidad.

La altura del emisor tiene una relación con el diámetro de mojado. Los aspersores de baja presión usualmente se colocan cerca del follaje o suelo para reducir pérdidas por evaporación o acarreo de gotas.

Para incrementar el área de riego se pueden colocar uno o más cañones con una o varias boquillas al final del lateral. Sin embargo, por las altas presiones requeridas por estos cañones, se requiere una bomba de sobre presión, a fin de incrementar la presión al final de la lateral.

Los aspersores de baja presión tienen un radio de mojado pequeño, por lo que su espaciamiento es angosto. Sin embargo, al final del lateral pueden requerirse espaciamientos cortos y altas intensidades que son imprácticos de instalar y operar. Para resolver esta limitante con aspersores de baja presión se instalan tubos horizontales perpendiculares al lateral con tres o más emisores que pueden incrementar la superficie de mojado y reducir la intensidad de aplicación. Los tubos horizontales son usualmente usados en el tercio o mitad final del lateral en longitudes que varían de 3 a 6 m.

Para mantener alta uniformidad en terrenos con pendiente se requieren reguladores de presión o gasto en los puntos de los emisores, principalmente para los de baja presión.

Una vez que se ha seleccionado hidráulicamente varios paquetes de aspersores, estos deben evaluarse en términos de eficiencia y uniformidad del riego, para tener una visión global de su funcionamiento y corregir o mejorar parte o la totalidad del sistema. Uno de los problemas que surgen en la selección de un paquete de aspersores es que las intensidades de aplicación producidas a lo largo de la lateral son mayores que la infiltración del suelo, generando un escurrimiento que reduce la uniformidad del riego. El gasto de aplicación de los emisores se incrementa a mayor distancia del punto del pivote debido a la mayor superficie de riego por cubrir.



VII. Diseño del cabezal de bombeo y línea de distribución.

Los cabezales de control se componen de equipo de control como medidores de gasto, dispositivos reguladores de presión, válvulas de control y seguridad, y manómetros; también cuentan con dosificadores de agroquímicos, filtros y accesorios.

VII.1 Longitud de la línea de distribución

La red de conducción y de distribución constituye el conjunto de tuberías que llevan el agua desde la fuente de abastecimiento o unidad de bombeo hasta la entrada del sistema de riego y la longitud de la línea dependerá de la posición de la fuente de abastecimiento y del punto pivote. La red está compuesta por tuberías generalmente de PVC o aluminio con sus diferentes accesorios tales como conectores, válvulas de control, válvulas de admisión y expulsión de aire, válvulas de alivio de presión, válvulas de desfogue. El material de fabricación de las tuberías utilizado comúnmente en redes de distribución de agua de riego, es el PVC (cloruro de polivinilo) o de polietileno de baja y alta densidad. Los diámetros comerciales varían desde 50 hasta 600 mm. Diámetros superiores a 600 mm pueden resultar redes de distribución costosas.

Fig. 39. Ubicación de las válvulas de aire en una sección de riego



Fig. 40. Válvula de admisión y expulsión de aire, junto a una válvula de



Para el diseño hidráulico de la red conducción y distribución se tiene:

- a) Se selecciona o determina el gasto modular que un usuario puede manejar en forma práctica para obtener tiempos de riego aceptables. En redes entubadas estos gastos varían entre 20 y 40 l/s. Un gasto modular de 30 l/s es recomendado en redes a baja presión. Gastos modulares mayores conducen a costos más altos de la red de distribución.
- b) Se determina un coeficiente unitario de riego (CUR) ponderado en función de las necesidades hídricas del patrón de cultivos y superficies por establecer en la zona de proyecto. En general, estos coeficientes CUR pueden variar entre 0.5 y 1.5 l/s/ha en los periodos de máxima demanda.
- c) Se determinan las superficies dominadas por tramo y línea de conducción de la red de distribución, iniciando desde aguas abajo hacia aguas arriba de cada línea de conducción.
- d) Las capacidades o caudales demandados por tramo de red se calculan mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{tramo}} = \text{CUR} \times A_{\text{dominada}}$$

Donde Q_{tramo} es el gasto demandado por tramo, en l/s; CUR es el coeficiente unitario de riego en l/s/ha y A_{dominada} es la superficie dominada por tramo en ha. Los gastos se redondean al entero próximo mayor considerando múltiplos del gasto modular. Por ejemplo si un tramo tiene un gasto de 18 l/s y el gasto modular seleccionado es de 25 l/s, entonces el gasto del tramo se redondea a 25 l/s. Si el gasto del tramo es 134 l/s y el gasto modular seleccionado es de 30 l/s, entonces se adopta un gasto del tramo de 150 l/s para aplicar aguas abajo del tramo cinco riegos simultáneos de 30 litros por segundo.

VII.2 Conexiones y válvulas

Las conexiones son un conjunto de elementos accesorios que se intercalan con el objeto de resolver los problemas singulares que presenta la conexión entre tubos, tales como: reducciones (para hacer un cambio de diámetro), las Tes., cruces, yés (para realizar ramificaciones y derivaciones), los codos (para realizar cambio de dirección), tapones finales (para cerrar las terminales de las líneas de conducción), juntas flexibles y rígidas que sirven para absorber los esfuerzos por cambios de temperatura y evitar los deslizamientos longitudinales entre las uniones de tubería.

A continuación se describen algunos e equipo de control como medidores de gasto, dispositivos reguladores de presión, válvulas de control y seguridad, y manómetros; también cuentan con dosificadores de agroquímicos, filtros y accesorios.

1. Los medidores de gasto son dispositivos que relacionan la velocidad del agua en la tubería y el área de paso con el gasto hidráulico que pasa por ella. Cuentan con indicador numérico del gasto que pasa por la tubería y pueden tener un totalizador volumétrico integrado. Estos medidores pueden ser de propala y ultrasónicos.

Fig. 41. Medidor volumétrico de pro pela



2. Válvulas de seguridad y control del agua. Sirven para cerrar o abrir conductos. Puede regularse el gasto o la presión en una tubería cerrándolas y abriéndolas. Existen válvulas reguladoras automáticas, que se usan generalmente en sistemas de riego localizado.
3. Válvulas de seguridad. Son dispositivos que permiten evitar riesgos o daños en el sistema. Las válvulas check, evitan que el golpe de ariete afecte al sistema de bombeo, cuando se cierra el paso del agua en una tubería. Las válvulas de alivio permiten la expulsión del agua o del aire cuando aumenta la presión sobre un límite preestablecido. Las válvulas de entrada de aire en la sección de riego disminuyen el taponamiento de los emisores, al evitar la succión (de aire y lodo) por parte de los emisores al momento de interrumpir la operación del sistema de riego.
4. Válvulas de control. Son válvulas de apertura y cierre parcial o total. Las válvulas de compuerta tienen un mecanismo de tornillo para abrir y cerrar, por lo que puede regularse su operación. Las válvulas de mariposa y de cuadro se usan para operar en posiciones fijas.
5. Los manómetros son dispositivos que sirven para medir la presión. Tienen sensores que indican las presiones de operación y pueden ser de mercurio o mecánicos con carátula. No generan pérdidas de carga en las tuberías.
6. Inyectores. Son equipos que sirven para aplicar fertilizantes, fungicidas, herbicidas y soluciones para prevenir taponamientos en los goteros y en las tuberías. Pueden ser: bombas inyectoras, inyectores por succión e inyectores por dilución. Utilizan para su funcionamiento energía eléctrica o hidráulica.
7. Válvulas de seguridad y control del agua. Sirven para cerrar o abrir conductos. Puede regularse el gasto o la presión en una tubería cerrándolas y abriéndolas. Existen válvulas reguladoras automáticas, que se usan generalmente en sistemas de riego localizado.
8. Válvulas de seguridad. Son dispositivos que permiten evitar riesgos o daños en el sistema. Las válvulas check, evitan que el golpe de ariete afecte al sistema de bombeo, cuando se cierra el paso del agua en una tubería. Las válvulas de alivio permiten la expulsión del agua o del aire cuando

- aumenta la presión sobre un límite preestablecido. Las válvulas de entrada de aire en la sección de riego disminuyen el taponamiento de los emisores, al evitar la succión (de aire y lodo) por parte de los emisores al momento de interrumpir la operación del sistema de riego.
9. Válvulas de control. Son válvulas de apertura y cierre parcial o total. Las válvulas de compuerta tienen un mecanismo de tornillo para abrir y cerrar, por lo que puede regularse su operación. Las válvulas de mariposa y de cuadro se usan para operar en posiciones fijas.
 10. Los manómetros son dispositivos que sirven para medir la presión. Tienen sensores que indican las presiones de operación y pueden ser de mercurio o mecánicos con carátula. No generan pérdidas de carga en las tuberías.
 11. Inyectores. Son equipos que sirven para aplicar fertilizantes, fungicidas, herbicidas y soluciones para prevenir taponamientos en los goteros y en las tuberías. Pueden ser: bombas inyectoras, inyectores por succión e inyectores por dilución. Utilizan para su funcionamiento energía eléctrica o hidráulica.
 12. Decantadores. Son equipos o estructuras que permiten separar las partículas sólidas dispersas en un líquido, siempre que sean de mayor densidad que el líquido.
 13. Decantador de tanque. Los tanques decantadores aprovechan la energía gravitacional para que las partículas se depositen. Los tanques reciben el agua de la fuente de abastecimiento con sólidos en suspensión; al entrar el agua en el tanque, se reduce su velocidad dando tiempo a que se depositen las partículas en el fondo. Estos sistemas permiten prevenir taponamientos.
 14. El hidrociclón aprovecha la fuerza centrífuga para separar las partículas más densas que el agua. El agua entra en el cuerpo del hidrociclón por una orilla de la parte superior y forma un remolino de manera que las partículas más densas que el agua siguen una trayectoria tangencial a las líneas de corriente, por lo que se friccionan con la pared del hidrociclón, reduciendo su velocidad y, por la acción gravitacional, caen hasta un recipiente de almacenamiento de sólidos; el agua sale por el centro en la parte superior con un mínimo de sólidos en suspensión. Estos decantadores se usan para eliminar arenas.
 15. Filtros. Son dispositivos que sirven para retener partículas en suspensión que pueden taponar el sistema de riego. Consisten en una pared separadora cuyos poros o áreas de paso son más pequeños que las partículas que se deben separar. El agua, al pasar por el filtro, genera una pérdida de carga. Conforme se ensucia o se va acumulando material que no pasa por el filtro, se reduce el área de paso del agua y se aumenta la pérdida de carga, por lo que deben lavarse con frecuencia. En el riego por aspersión, puede o no existir un sistema de filtrado, el cual generalmente es del tipo hidrociclón, sobre todo donde existan muchos sólidos en suspensión. Aunque también pueden existir filtros de anillos o mallas para protección de las boquillas de los aspersores. El tipo de filtrado depende en gran medida de la calidad del agua de riego.

VII.3 Determinación de pérdidas

Cuando no se dispone de software para el diseño hidráulico de la red de conducción y distribución para

seleccionar el diámetro de la tubería, se pueden utilizar tablas y gráficos que para un gasto y un diámetro dado proporcionen el valor del gradiente unitario o pérdida de carga unitaria (m/m). Este valor se compara con la pérdida de carga permisible por unidad de longitud para cada tramo.

Con la pérdida de carga permisible por unidad de longitud se obtiene el diámetro teórico, sin embargo, sólo en caso de que este diámetro coincida con un diámetro comercial será susceptible de utilizarse; de lo contrario el tramo en cuestión resulta de la combinación de dos diámetros comerciales.

Para facilitar la selección de los diámetros comerciales, Villamil (1999) propone la utilización un gráfico con curvas de gasto contra pérdida de carga unitaria, para un rango de diámetros internos de 200 a 600 mm. Este gráfico fue elaborado con la fórmula de Hazen-Williams, para tubería de PVC, con un coeficiente $C=140$.



Procedimiento de diseño

1. Se define el gasto de diseño del tramo.
2. Se determina la pérdida de carga permisible por unidad de longitud del tramo.
3. Con esta información obtenida previamente, se ingresa al gráfico y se obtiene un punto en el plano conformado por un eje vertical que representa la pérdida de carga permisible, y un eje horizontal que representa al gasto de diseño del tramo.
4. Si el punto interceptado cae dentro de una curva, toda la longitud del tramo será del diámetro comercial al que pertenece la curva.
5. Si el punto interceptado se localiza entre dos curvas, la longitud total del tramo será compartida por los dos diámetros comerciales de las curvas respectivas. Para determinar la longitud correspondiente al diámetro mayor, se utiliza la siguiente ecuación

$$X_1 = L \frac{hf_p - hf_2}{hf_1 - hf_2}$$

Donde:

X1 es la longitud del diámetro mayor L es la longitud total del tramo

hfp es la pérdida de carga permisible por unidad de longitud del tramo

hf es la pérdida de carga por unidad de longitud de la tubería del diámetro mayor

hf2 es la pérdida de carga por unidad de longitud de la tubería del diámetro menor

Por lo que la longitud del diámetro menor (X2), se obtiene por diferencia, es decir: $X2 = L - X1$

VII.4 Presión total requerida

Para hacer referencia a la energía o a la carga hidráulica de los fluidos en movimiento, se definen tres tipos diferentes de carga: (a) de posición, (b) de presión y (c) de velocidad; que representan gráficamente la energía del fluido. Dependiendo de que se relacionen una, dos o tres de las cargas consideradas se obtienen las líneas geométricas, piezométricas y de energía.

- Línea geométrica. La línea geométrica (LG) corresponde al eje central longitudinal de la tubería y representa en cada punto la carga de posición con respecto a cierto punto de referencia; se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$LG = h_z = Z$$

Donde h_z es la carga de posición y se mide como la cota o elevación Z con respecto a la línea base o nivel de referencia.

- Línea piezométrica. La línea piezométrica (LP) se determina uniendo los puntos que alcanzaría el fluido circulante en distintos piezómetros conectados a lo largo de la tubería. Analíticamente es la suma de las cargas de posición y de presión (h_p), se expresa mediante la ecuación

$$LP = h_z + h_p$$

Línea de energía. La línea de energía (LE) expresa en cada punto la carga total del fluido, se obtiene al sumar en cada punto de la tubería, las alturas piezométricas y la carga de velocidad (h_v), se determina con la ecuación

$$LE = h_z + h_p + h_v$$

En donde:

$$h_v = \frac{v^2}{2g}$$

VII.5 Selección del equipo de bombeo

La unidad de bombeo generalmente está compuesta por un sistema de bombeo, el sistema eléctrico y la obra civil complementaria.

El sistema de bombeo está compuesto por el cárcamo y el equipo de bombeo. El cárcamo es un depósito enterrado, donde se instala el equipo de bombeo para extraer el agua que viene del abastecimiento ya sea

superficial o de un pozo. Las partes básicas del cárcamo son: el foso, el colector de basura, el fondo, las escaleras y la plataforma.

El equipo de bombeo consiste de una bomba y su motor. En las plantas de bombeo, para los sistemas de riego, se emplean los siguientes tipos de bombas: centrifugas de eje horizontal, las de eje vertical, conocidas como bomba turbina vertical; y las sumergibles que son utilizadas principalmente para bombear agua de pozos.

El sistema eléctrico completo consta de una subestación eléctrica que incluya postes, apartarrayos, cuchillas, transformador, tuberías y acometidas. Incluye también arrancadores y su estructura de montaje junto con los cables hasta el interruptor y un medidor de voltaje. En el caso de motores a combustión interna ninguno de los materiales anteriores es necesario, pero sí es necesario tener un tanque de almacenamiento temporal de combustible.

La obra civil complementaria consta de un sistema de prefiltrado o un estanque decantador, una losa de apoyo, una caseta y un nicho de motores. En algunos casos es conveniente acondicionar un patio de maniobras y una malla cerca para proteger la unidad de bombeo y la unidad de control general.

El costo de operación y mantenimiento de un sistema de riego depende en gran medida de la selección de los componentes de la unidad de bombeo. El consumo energético de los sistemas de riego depende de los siguientes factores:

- Cantidad total bombeada
- Profundidad de bombeo.
- Tipo de fuente de poder
- Presión del sistema de riego
- Eficiencia electromecánica de la planta de bombeo.

Las partes que requieren diseñarse en una planta de bombeo con fines de riego parcelario son: la obra de toma, el canal de llamada, el cárcamo de bombeo y los bastidores o las losas de apoyo de los equipos de bombeo. Otros componentes, como el gabinete de arrancadores y la caseta de protección de los equipos se proporcionan como estructuras tipo. La planta de bombeo en aprovechamiento subterráneo no requiere obra de toma ni cárcamo.

Es muy importante señalar que para el diseño estructural se parte del dimensionamiento realizado en el diseño hidráulico, quedando por definir únicamente los espesores y armados de los elementos estructurales que componen la planta de bombeo.

La Obra de toma permite tomar el agua del canal de llamada o de abastecimiento para conducirla hasta el cárcamo. Las partes de la obra de toma son: el acceso, la estructura de entrada, el desarenador, las rejillas, el mecanismo de control y el conducto.

Las dimensiones del acceso serán aquellas que permitan una velocidad de entrada a la toma de 0.4 a 0.8 m/s. Por otro lado, conviene diseñar la plantilla en contra pendiente, disminuyendo su ancho hacia la toma hasta tener la dimensión horizontal de la rejilla.

Las rejillas se construyen generalmente de soleras o barrotes que se sueldan a un marco formado con

ángulos o también con soleras. La separación máxima de los barrotos está determinada por el "paso de esfera" que se refiere a la medida mayor de un cuerpo que puede pasar por los impulsores.

El mecanismo de control tiene por objeto cerrar el paso de agua para cuando se necesite limpiar el conducto o el cárcamo o cuando se requiera una reparación. También es conveniente impedir el flujo cuando las bombas no están trabajando, ya que se evita la acumulación de arenas y lodos en el interior de las estructuras.

Equipo de bombeo



Motor eléctrico

- menor costo operacional
- menor costo de inversión
- mayor durabilidad
- menor mantenimiento



Motor combustión interna

- Se torna mas económico para sistemas con menos de 500 horas de uso por año

VII. Diseño del cabezal de bombeo y línea de distribución.

Los cabezales de control se componen de equipo de control como medidores de gasto, dispositivos reguladores de presión, válvulas de control y seguridad, y manómetros; también cuentan con dosificadores de agroquímicos, filtros y accesorios.

VII.1 Longitud de la línea de distribución

La red de conducción y de distribución constituye el conjunto de tuberías que llevan el agua desde la fuente de abastecimiento o unidad de bombeo hasta la entrada del sistema de riego y la longitud de la línea dependerá de la posición de la fuente de abastecimiento y del punto pivote. La red está compuesta por tuberías generalmente de PVC o aluminio con sus diferentes accesorios tales como conectores, válvulas de control, válvulas de admisión y expulsión de aire, válvulas de alivio de presión, válvulas de desfogue. El material de fabricación de las tuberías utilizado comúnmente en redes de distribución de agua de riego, es el PVC (cloruro de polivinilo) o de polietileno de baja y alta densidad. Los diámetros comerciales varían desde 50 hasta 600 mm. Diámetros superiores a 600 mm pueden resultar redes de distribución costosas.

Fig. 39. Ubicación de las válvulas de aire en una sección de riego



Fig. 40. Válvula de admisión y expulsión de aire, junto a una válvula de



Para el diseño hidráulico de la red conducción y distribución se tiene:

- a) Se selecciona o determina el gasto modular que un usuario puede manejar en forma práctica para obtener tiempos de riego aceptables. En redes entubadas estos gastos varían entre 20 y 40 l/s. Un gasto modular de 30 l/s es recomendado en redes a baja presión. Gastos modulares mayores conducen a costos más altos de la red de distribución.
- b) Se determina un coeficiente unitario de riego (CUR) ponderado en función de las necesidades hídricas del patrón de cultivos y superficies por establecer en la zona de proyecto. En general, estos coeficientes CUR pueden variar entre 0.5 y 1.5 l/s/ha en los periodos de máxima demanda.
- c) Se determinan las superficies dominadas por tramo y línea de conducción de la red de distribución, iniciando desde aguas abajo hacia aguas arriba de cada línea de conducción.
- d) Las capacidades o caudales demandados por tramo de red se calculan mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{tramo}} = \text{CUR} \times A_{\text{dominada}}$$

Donde Q_{tramo} es el gasto demandado por tramo, en l/s; CUR es el coeficiente unitario de riego en l/s/ha y A_{dominada} es la superficie dominada por tramo en ha. Los gastos se redondean al entero próximo mayor considerando múltiplos del gasto modular. Por ejemplo si un tramo tiene un gasto de 18 l/s y el gasto modular seleccionado es de 25 l/s, entonces el gasto del tramo se redondea a 25 l/s. Si el gasto del tramo es 134 l/s y el gasto modular seleccionado es de 30 l/s, entonces se adopta un gasto del tramo de 150 l/s para aplicar aguas abajo del tramo cinco riegos simultáneos de 30 litros por segundo.

VII.2 Conexiones y válvulas

Las conexiones son un conjunto de elementos accesorios que se intercalan con el objeto de resolver los problemas singulares que presenta la conexión entre tubos, tales como: reducciones (para hacer un cambio de diámetro), las Tes., cruces, yés (para realizar ramificaciones y derivaciones), los codos (para realizar cambio de dirección), tapones finales (para cerrar las terminales de las líneas de conducción), juntas flexibles y rígidas que sirven para absorber los esfuerzos por cambios de temperatura y evitar los deslizamientos longitudinales entre las uniones de tubería.

A continuación se describen algunos e equipo de control como medidores de gasto, dispositivos reguladores de presión, válvulas de control y seguridad, y manómetros; también cuentan con dosificadores de agroquímicos, filtros y accesorios.

1. Los medidores de gasto son dispositivos que relacionan la velocidad del agua en la tubería y el área de paso con el gasto hidráulico que pasa por ella. Cuentan con indicador numérico del gasto que pasa por la tubería y pueden tener un totalizador volumétrico integrado. Estos medidores pueden ser de propala y ultrasónicos.

Fig. 41. Medidor volumétrico de pro pela



2. Válvulas de seguridad y control del agua. Sirven para cerrar o abrir conductos. Puede regularse el gasto o la presión en una tubería cerrándolas y abriéndolas. Existen válvulas reguladoras automáticas, que se usan generalmente en sistemas de riego localizado.
3. Válvulas de seguridad. Son dispositivos que permiten evitar riesgos o daños en el sistema. Las válvulas check, evitan que el golpe de ariete afecte al sistema de bombeo, cuando se cierra el paso del agua en una tubería. Las válvulas de alivio permiten la expulsión del agua o del aire cuando aumenta la presión sobre un límite preestablecido. Las válvulas de entrada de aire en la sección de riego disminuyen el taponamiento de los emisores, al evitar la succión (de aire y lodo) por parte de los emisores al momento de interrumpir la operación del sistema de riego.
4. Válvulas de control. Son válvulas de apertura y cierre parcial o total. Las válvulas de compuerta tienen un mecanismo de tornillo para abrir y cerrar, por lo que puede regularse su operación. Las válvulas de mariposa y de cuadro se usan para operar en posiciones fijas.
5. Los manómetros son dispositivos que sirven para medir la presión. Tienen sensores que indican las presiones de operación y pueden ser de mercurio o mecánicos con carátula. No generan pérdidas de carga en las tuberías.
6. Inyectores. Son equipos que sirven para aplicar fertilizantes, fungicidas, herbicidas y soluciones para prevenir taponamientos en los goteros y en las tuberías. Pueden ser: bombas inyectoras, inyectores por succión e inyectores por dilución. Utilizan para su funcionamiento energía eléctrica o hidráulica.
7. Válvulas de seguridad y control del agua. Sirven para cerrar o abrir conductos. Puede regularse el gasto o la presión en una tubería cerrándolas y abriéndolas. Existen válvulas reguladoras automáticas, que se usan generalmente en sistemas de riego localizado.
8. Válvulas de seguridad. Son dispositivos que permiten evitar riesgos o daños en el sistema. Las válvulas check, evitan que el golpe de ariete afecte al sistema de bombeo, cuando se cierra el paso del agua en una tubería. Las válvulas de alivio permiten la expulsión del agua o del aire cuando

- aumenta la presión sobre un límite preestablecido. Las válvulas de entrada de aire en la sección de riego disminuyen el taponamiento de los emisores, al evitar la succión (de aire y lodo) por parte de los emisores al momento de interrumpir la operación del sistema de riego.
9. Válvulas de control. Son válvulas de apertura y cierre parcial o total. Las válvulas de compuerta tienen un mecanismo de tornillo para abrir y cerrar, por lo que puede regularse su operación. Las válvulas de mariposa y de cuadro se usan para operar en posiciones fijas.
 10. Los manómetros son dispositivos que sirven para medir la presión. Tienen sensores que indican las presiones de operación y pueden ser de mercurio o mecánicos con carátula. No generan pérdidas de carga en las tuberías.
 11. Inyectores. Son equipos que sirven para aplicar fertilizantes, fungicidas, herbicidas y soluciones para prevenir taponamientos en los goteros y en las tuberías. Pueden ser: bombas inyectoras, inyectores por succión e inyectores por dilución. Utilizan para su funcionamiento energía eléctrica o hidráulica.
 12. Decantadores. Son equipos o estructuras que permiten separar las partículas sólidas dispersas en un líquido, siempre que sean de mayor densidad que el líquido.
 13. Decantador de tanque. Los tanques decantadores aprovechan la energía gravitacional para que las partículas se depositen. Los tanques reciben el agua de la fuente de abastecimiento con sólidos en suspensión; al entrar el agua en el tanque, se reduce su velocidad dando tiempo a que se depositen las partículas en el fondo. Estos sistemas permiten prevenir taponamientos.
 14. El hidrociclón aprovecha la fuerza centrífuga para separar las partículas más densas que el agua. El agua entra en el cuerpo del hidrociclón por una orilla de la parte superior y forma un remolino de manera que las partículas más densas que el agua siguen una trayectoria tangencial a las líneas de corriente, por lo que se friccionan con la pared del hidrociclón, reduciendo su velocidad y, por la acción gravitacional, caen hasta un recipiente de almacenamiento de sólidos; el agua sale por el centro en la parte superior con un mínimo de sólidos en suspensión. Estos decantadores se usan para eliminar arenas.
 15. Filtros. Son dispositivos que sirven para retener partículas en suspensión que pueden taponar el sistema de riego. Consisten en una pared separadora cuyos poros o áreas de paso son más pequeños que las partículas que se deben separar. El agua, al pasar por el filtro, genera una pérdida de carga. Conforme se ensucia o se va acumulando material que no pasa por el filtro, se reduce el área de paso del agua y se aumenta la pérdida de carga, por lo que deben lavarse con frecuencia. En el riego por aspersión, puede o no existir un sistema de filtrado, el cual generalmente es del tipo hidrociclón, sobre todo donde existan muchos sólidos en suspensión. Aunque también pueden existir filtros de anillos o mallas para protección de las boquillas de los aspersores. El tipo de filtrado depende en gran medida de la calidad del agua de riego.

VII.3 Determinación de pérdidas

Cuando no se dispone de software para el diseño hidráulico de la red de conducción y distribución para

seleccionar el diámetro de la tubería, se pueden utilizar tablas y gráficos que para un gasto y un diámetro dado proporcionen el valor del gradiente unitario o pérdida de carga unitaria (m/m). Este valor se compara con la pérdida de carga permisible por unidad de longitud para cada tramo.

Con la pérdida de carga permisible por unidad de longitud se obtiene el diámetro teórico, sin embargo, sólo en caso de que este diámetro coincida con un diámetro comercial será susceptible de utilizarse; de lo contrario el tramo en cuestión resulta de la combinación de dos diámetros comerciales.

Para facilitar la selección de los diámetros comerciales, Villamil (1999) propone la utilización un gráfico con curvas de gasto contra pérdida de carga unitaria, para un rango de diámetros internos de 200 a 600 mm. Este gráfico fue elaborado con la fórmula de Hazen-Williams, para tubería de PVC, con un coeficiente $C=140$.



Procedimiento de diseño

1. Se define el gasto de diseño del tramo.
2. Se determina la pérdida de carga permisible por unidad de longitud del tramo.
3. Con esta información obtenida previamente, se ingresa al gráfico y se obtiene un punto en el plano conformado por un eje vertical que representa la pérdida de carga permisible, y un eje horizontal que representa al gasto de diseño del tramo.
4. Si el punto interceptado cae dentro de una curva, toda la longitud del tramo será del diámetro comercial al que pertenece la curva.
5. Si el punto interceptado se localiza entre dos curvas, la longitud total del tramo será compartida por los dos diámetros comerciales de las curvas respectivas. Para determinar la longitud correspondiente al diámetro mayor, se utiliza la siguiente ecuación

$$X_1 = L \frac{hf_p - hf_2}{hf_1 - hf_2}$$

Donde:

X1 es la longitud del diámetro mayor L es la longitud total del tramo

h_{fp} es la pérdida de carga permisible por unidad de longitud del tramo

h_f es la pérdida de carga por unidad de longitud de la tubería del diámetro mayor

h_{f2} es la pérdida de carga por unidad de longitud de la tubería del diámetro menor

Por lo que la longitud del diámetro menor (X2), se obtiene por diferencia, es decir: X2 = L – X1

VII.4 Presión total requerida

Para hacer referencia a la energía o a la carga hidráulica de los fluidos en movimiento, se definen tres tipos diferentes de carga: (a) de posición, (b) de presión y (c) de velocidad; que representan gráficamente la energía del fluido. Dependiendo de que se relacionen una, dos o tres de las cargas consideradas se obtienen las líneas geométricas, piezométricas y de energía.

- Línea geométrica. La línea geométrica (LG) corresponde al eje central longitudinal de la tubería y representa en cada punto la carga de posición con respecto a cierto punto de referencia; se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$LG = h_z = Z$$

Donde h_z es la carga de posición y se mide como la cota o elevación Z con respecto a la línea base o nivel de referencia.

- Línea piezométrica. La línea piezométrica (LP) se determina uniendo los puntos que alcanzaría el fluido circulante en distintos piezómetros conectados a lo largo de la tubería. Analíticamente es la suma de las cargas de posición y de presión (h_p), se expresa mediante la ecuación

$$LP = h_z + h_p$$

Línea de energía. La línea de energía (LE) expresa en cada punto la carga total del fluido, se obtiene al sumar en cada punto de la tubería, las alturas piezométricas y la carga de velocidad (h_v), se determina con la ecuación

$$LE = h_z + h_p + h_v$$

En donde:

$$h_v = \frac{v^2}{2g}$$

VII.5 Selección del equipo de bombeo

La unidad de bombeo generalmente está compuesta por un sistema de bombeo, el sistema eléctrico y la obra civil complementaria.

El sistema de bombeo está compuesto por el cárcamo y el equipo de bombeo. El cárcamo es un depósito enterrado, donde se instala el equipo de bombeo para extraer el agua que viene del abastecimiento ya sea

superficial o de un pozo. Las partes básicas del cárcamo son: el foso, el colector de basura, el fondo, las escaleras y la plataforma.

El equipo de bombeo consiste de una bomba y su motor. En las plantas de bombeo, para los sistemas de riego, se emplean los siguientes tipos de bombas: centrifugas de eje horizontal, las de eje vertical, conocidas como bomba turbina vertical; y las sumergibles que son utilizadas principalmente para bombear agua de pozos.

El sistema eléctrico completo consta de una subestación eléctrica que incluya postes, apartarrayos, cuchillas, transformador, tuberías y acometidas. Incluye también arrancadores y su estructura de montaje junto con los cables hasta el interruptor y un medidor de voltaje. En el caso de motores a combustión interna ninguno de los materiales anteriores es necesario, pero sí es necesario tener un tanque de almacenamiento temporal de combustible.

La obra civil complementaria consta de un sistema de prefiltrado o un estanque decantador, una losa de apoyo, una caseta y un nicho de motores. En algunos casos es conveniente acondicionar un patio de maniobras y una malla cerca para proteger la unidad de bombeo y la unidad de control general.

El costo de operación y mantenimiento de un sistema de riego depende en gran medida de la selección de los componentes de la unidad de bombeo. El consumo energético de los sistemas de riego depende de los siguientes factores:

- Cantidad total bombeada
- Profundidad de bombeo.
- Tipo de fuente de poder
- Presión del sistema de riego
- Eficiencia electromecánica de la planta de bombeo.

Las partes que requieren diseñarse en una planta de bombeo con fines de riego parcelario son: la obra de toma, el canal de llamada, el cárcamo de bombeo y los bastidores o las losas de apoyo de los equipos de bombeo. Otros componentes, como el gabinete de arrancadores y la caseta de protección de los equipos se proporcionan como estructuras tipo. La planta de bombeo en aprovechamiento subterráneo no requiere obra de toma ni cárcamo.

Es muy importante señalar que para el diseño estructural se parte del dimensionamiento realizado en el diseño hidráulico, quedando por definir únicamente los espesores y armados de los elementos estructurales que componen la planta de bombeo.

La Obra de toma permite tomar el agua del canal de llamada o de abastecimiento para conducirla hasta el cárcamo. Las partes de la obra de toma son: el acceso, la estructura de entrada, el desarenador, las rejillas, el mecanismo de control y el conducto.

Las dimensiones del acceso serán aquellas que permitan una velocidad de entrada a la toma de 0.4 a 0.8 m/s. Por otro lado, conviene diseñar la plantilla en contra pendiente, disminuyendo su ancho hacia la toma hasta tener la dimensión horizontal de la rejilla.

Las rejillas se construyen generalmente de soleras o barrotes que se sueldan a un marco formado con

ángulos o también con soleras. La separación máxima de los barrotos está determinada por el "paso de esfera" que se refiere a la medida mayor de un cuerpo que puede pasar por los impulsores.

El mecanismo de control tiene por objeto cerrar el paso de agua para cuando se necesite limpiar el conducto o el cárcamo o cuando se requiera una reparación. También es conveniente impedir el flujo cuando las bombas no están trabajando, ya que se evita la acumulación de arenas y lodos en el interior de las estructuras.

Equipo de bombeo



Motor eléctrico

- menor costo operacional
- menor costo de inversión
- mayor durabilidad
- menor mantenimiento



Motor combustión interna

- Se torna mas económico para sistemas con menos de 500 horas de uso por año

VIII Consideraciones generales del diseño electromecánico

Todos los sistemas de riego presurizado requieren determinada energía potencial o energía cinética para mover la masa de agua a lo largo de la red de conducción. Cuando las condiciones del proyecto así lo permiten, es posible utilizar la energía potencial disponible para mover el agua a través del sistema de riego; sin embargo, en la mayoría de los casos es necesario proporcionar cierta energía cinética para conseguir esto. El sistema de impulsión es el encargado de proporcionar dicha energía cinética; para lo cual, transforma la energía mecánica o eléctrica en energía de movimiento.

El sistema de impulsión tiene dos elementos básicos: el motor y la bomba. El motor puede ser eléctrico o de combustión interna; pero en general, la bomba es tipo centrífuga. En consecuencia, el sistema de impulsión, según sus elementos, puede tener dos tipos de configuración: mecánico-mecánico o eléctrico-mecánico. La gran mayoría de los sistemas de riego presurizado utilizan el sistema de impulsión cuya configuración es eléctrico- mecánico, conocido simplemente como equipo electromecánico; pues este tipo de sistema desarrolla la máxima eficiencia de conversión de energía. Las alternativas para la elección del equipo electromecánico son las que a continuación se describen.

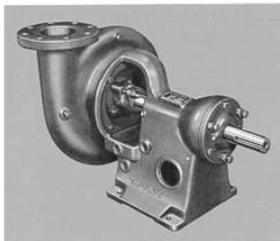
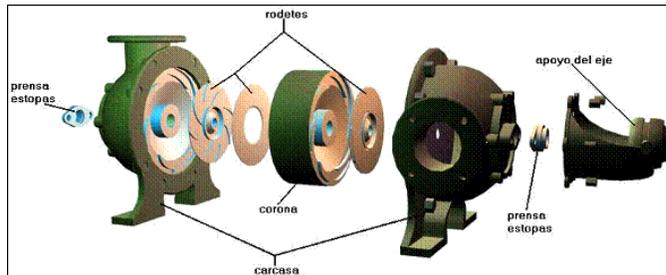
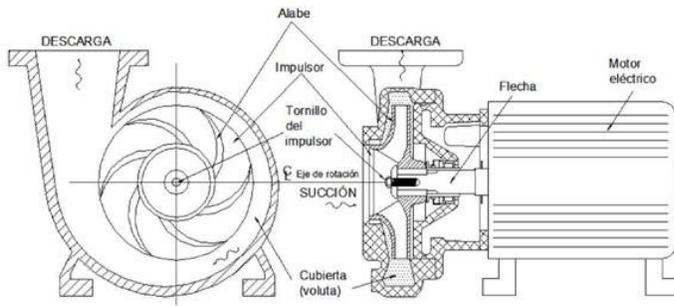
Tipos de bomba centrífuga

Una bomba centrífuga puede definirse como un dispositivo mecánico que sirve para elevar agua de un nivel inferior a otro superior, derivando la presión necesaria, de la fuerza centrífuga que es impartida a las partículas del líquido por un impulsor giratorio. Las bombas centrífugas se clasifican según la posición de su eje de rotación en: bombas centrífugas horizontales y bombas centrífugas verticales. Las bombas, también se pueden clasificar según el número de impulsores de la siguiente forma: bombas de un sólo paso o bombas de varios pasos. Finalmente, se pueden clasificar según el tipo de flujo de sus impulsores en: bombas de flujo axial, bombas de flujo mixto o bombas de flujo radial.

Bomba centrífuga horizontal

La bomba centrífuga de eje horizontal se conoce simplemente como "bomba centrífuga horizontal". Existen dos tipos de bombas centrífugas horizontales: de un solo paso, provistas de un solo "impulsor" y bombas de paso múltiple, provistas de varios impulsores. En este tipo de bomba, si el impulsor opera sobre la superficie del agua, es necesario cebar la tubería de succión antes de operarla; se emplea en cárcamos con carga estática en la succión pequeña; se puede usar para re bombear el agua de un estanque al sistema de riego por gravedad o como reforzadora de potencia en los sistemas presurizados. Las partes básicas de toda bomba centrífuga horizontal son la cubierta exterior en forma de voluta, el impulsor, los álabes del impulsor, el eje del impulsor, la chumacera, la succión y la descarga.

Fig. 42. Partes básicas de una bomba horizontal



a) Acoplamiento con engranes

b) Acoplamiento directo

En una bomba centrífuga horizontal de un sólo impulsor el agua entra a la bomba por el tubo de succión, pasa a través del "ojo del impulsor" donde adquiere una fuerte velocidad, siendo descargada enseguida a una cubierta o armadura de forma de voluta para pasar al tubo de descarga. La cubierta en forma de voluta es el dispositivo más simple que permite a la bomba aumentar su eficiencia mecánica; debido a esta voluta, la mayoría de estas bombas desarrollan una eficiencia mecánica que varía de 40 a 70 %. Sin embargo, algunos fabricantes han adicionado dispositivos complementarios a la voluta que permiten obtener una eficiencia mecánica cercana al 80%, lo cual incrementa grandemente el costo del equipo.

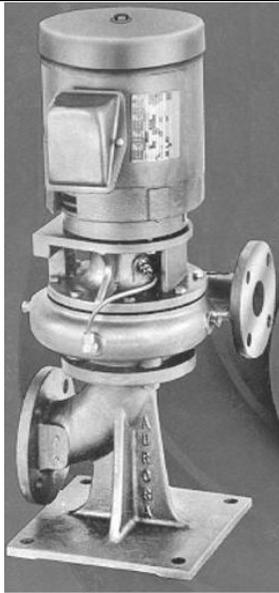
Bomba centrífuga vertical

Existen dos tipos de bomba centrífuga de eje vertical: la primera, dispone únicamente de la cubierta en forma de voluta para aumentar la eficiencia mecánica de la bomba y se le conoce como "bomba centrífuga vertical"; y la segunda, dispone de una voluta y de un anillo difusor, análogo al rodete de las turbinas para generar energía eléctrica, a esta bomba se le conoce como "bomba tipo turbina vertical".

Las características hidráulicas de estas bombas son semejantes a las "bombas centrífugas horizontales"; ya que disponen únicamente de la voluta, en consecuencia desarrollan una eficiencia mecánica menor del

70%. Sin embargo, el impulsor de estas bombas se puede sumergir en el agua, aumentando así la carga estática de succión neta positiva disponible; lo cual representa una gran ventaja respecto a las bombas centrífugas horizontales.

Fig. 43. Bomba centrífuga de eje vertical



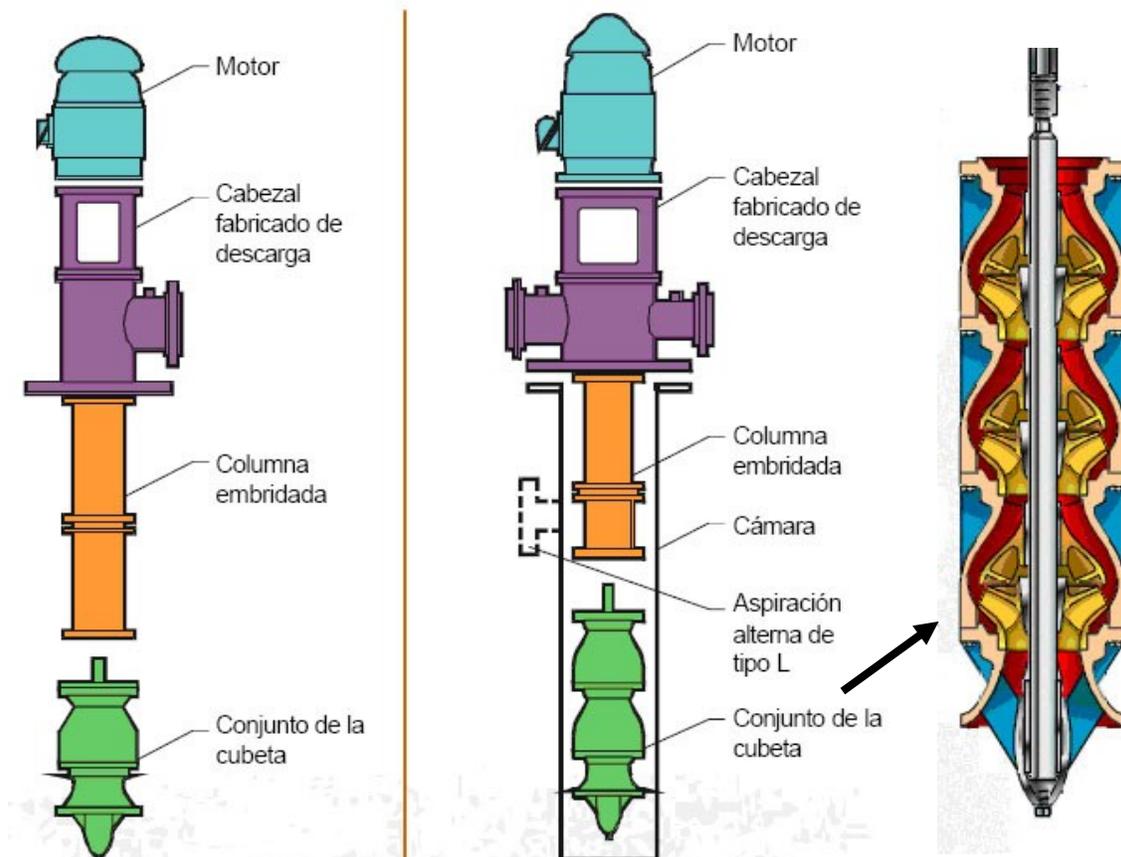
Bomba tipo turbina vertical

La bomba centrífuga de eje vertical de varios pasos y con anillo difusor, se conoce como bomba tipo turbina vertical (BTV); ya que, dispone de un anillo difusor que es análogo al rodete de las turbinas para generación de energía eléctrica; este anillo difusor opera en forma inversa al rodete. El anillo difusor permite a la BTV desarrollar fácilmente una eficiencia mecánica mayor del 80%. La BTV se puede emplear para vencer grandes cargas dinámicas con alta eficiencia; es común que, este tipo de bomba pueda vencer una carga dinámica mayor de 250 metros, con una eficiencia mecánica de hasta el 85 por ciento.

El motor de la BTV se instala al nivel del terreno natural, transmitiendo su potencia, mediante una flecha vertical, hasta la bomba que se encuentra suspendida en el extremo inferior de dicha tubería, la tubería de descarga es perpendicular a la flecha. La transmisión de potencia se realiza con una flecha de gran longitud, el motor de la bomba se coloca a una altura tal que queda a salvo de inundaciones, en el caso de cárcamos de bombeo, debido a la gran longitud de la flecha se debe equipar con un motor de baja velocidad de rotación, menor de 1,800 rpm; por esta razón, la BTV se puede emplear cuando el agua acarrea una baja

concentración de arenas. La flecha de la BTV se puede lubricar con aceite o agua; en el primer caso para uso agrícola y en el segundo, para uso doméstico. La lámina siguiente muestra los dos tipos de BTV, según el diseño hidráulico del conjunto de la cabeza

Fig. 44. Bomba tipo turbina vertical



En una BTV, el agua entra por el colador que puede ser cónico o de canasta; a continuación pasa por la campana de succión donde se reduce la velocidad del agua; para entrar por el ojo del primer impulsor, el cual siempre debe operar totalmente sumergido. Ya que los impulsores operan sumergidos, no requiere cebado, pero sí una sumergencia mínima. Este tipo de bomba se usa con gran éxito en cárcamos con gran carga estática en la succión y en pozos profundos. En ambos casos, la BTV puede proporcionar la potencia necesaria para vencer la carga estática en la succión, así como la potencia necesaria para que opere el sistema de riego presurizado. En la práctica, con este tipo de bombas pueden obtenerse gastos hasta de: 15 l/s, con una columna de succión de 4"; 50 l/s con una columna de 6"; 80 l/s, con una columna de 8"; 120 l/s, con una columna de 10"; lo cual da una idea de la velocidad que se puede desarrollar en las columnas de succión de estas bombas.

Bomba hélice

La bomba hélice también se conoce como bomba de propulsor o de escurrimiento axial. Estas bombas son semejantes en construcción a las turbinas; tienen sus mismas ventajas, es decir una construcción compactada y una alta velocidad específica; están formadas por tres series de aspas o álabes. La primera serie son los álabes guías de entrada; la segunda serie de álabes, forman el impulsor o hélice; y la tercera serie de álabes constituye el rodete-guía de salida.

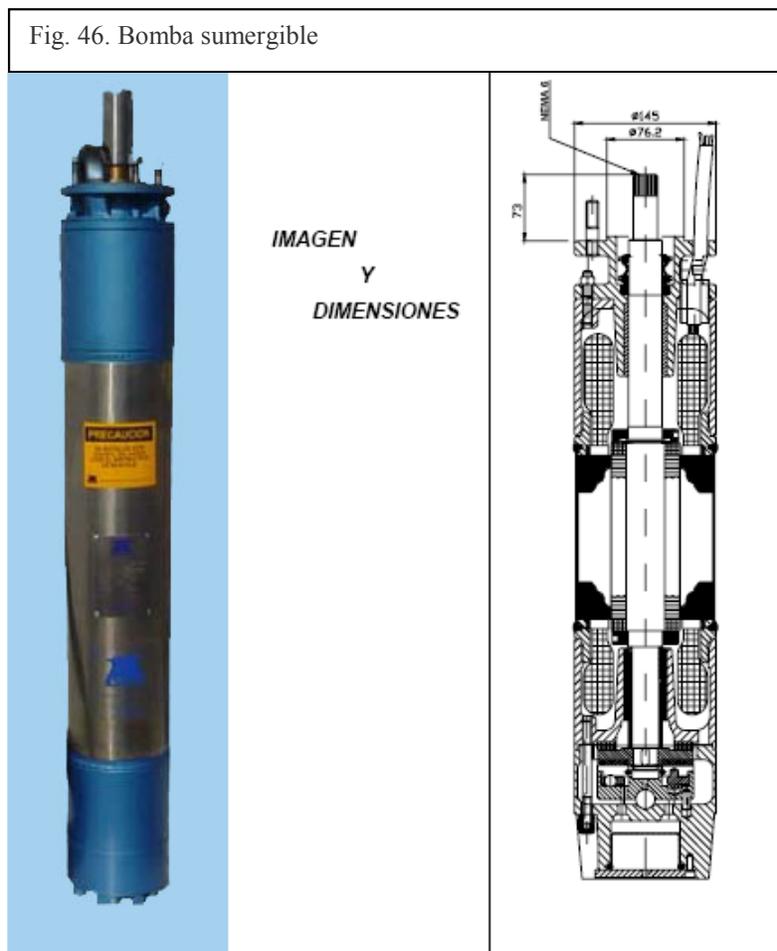
Los álabes de la entrada guían el agua axialmente hacia el impulsor, de tal manera que entre sin velocidad de remolino; las aspas del impulsor imparten al agua una componente de remolino y los álabes de salida le quitan al agua nuevamente ese movimiento; con lo cual ésta escurre axialmente a lo largo de la tubería de descarga. Esta rutina de impartir y enseguida quitar la componente de remolino corresponde exactamente a lo que tiene lugar en la bomba turbina, con el anillo difusor.

Fig. 45. Bomba hélice



Bomba sumergible

La bomba sumergible se puede emplear en cárcamos y en pozos profundos. El cuerpo de los impulsores tiene acoplado un motor de alta velocidad de rotación, de 3500 rpm o mayor, por esta razón, los impulsores se fabrican con material de alta resistencia como el acero inoxidable; y no se recomienda su uso cuando el agua presenta alta concentración de sólidos en suspensión como la arena. Debido a que no dispone de una flecha de gran longitud para transmitir la potencia; su eficiencia se incrementa ligeramente con respecto a la BTV; adaptándose mejor que la BTV a los pozos profundos con problemas de verticalidad. El motor eléctrico queda totalmente sumergido en el agua del pozo o del estanque; por lo que es necesario un conductor totalmente aislado



Elementos básicos de una bomba centrífuga

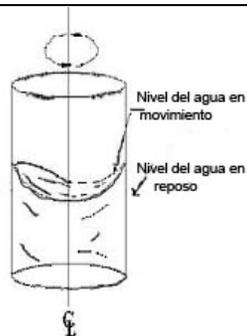
Como se recordará una bomba centrífuga puede definirse como un dispositivo mecánico que sirve para elevar agua de un nivel inferior a otro superior, derivando la presión necesaria, de la fuerza centrífuga que es impartida a las partículas del líquido por un impulsor giratorio. Ya que, las bombas centrífugas son máquinas de alta velocidad de rotación, el diseño de los impulsores está ligado a la velocidad de rotación de los motores de combustión interna o eléctrica. Los elementos de una bomba centrífuga se pueden agrupar de la siguiente manera: los impulsores, los dispositivos para mejorar la eficiencia, los dispositivos de la succión y los dispositivos en la descarga.

Impulsor

En una bomba centrífuga el líquido entra en un juego de álabes rotatorios, mediante la presión atmosférica. Estos álabes integran un impulsor que descarga el líquido en su periferia a más alta velocidad, la cual se convierte en energía de presión. El impulsor es el dispositivo encargado de transformar la energía mecánica en energía centrífuga, sus partes básicas son el espacio anular a través del cual entra el agua, conocido como "ojo del impulsor" y una serie de alabes que guían la dirección del agua.

El funcionamiento hidráulico del impulsor se puede explicar a partir de la teoría de los vasos giratorios. Cuando un vaso con agua se mueve de tal forma que el líquido en su interior gire respecto a la línea centro del vaso; la superficie del agua en el centro del vaso sufrirá un abatimiento, mientras que la superficie del agua cercana a la pared del vaso se elevará. La fuerza centrífuga proporcionada, obliga al líquido a desplazarse hacia la periferia del vaso, mientras que la pared de este se lo impide; esto provoca que la superficie del agua adopte una forma parabólica

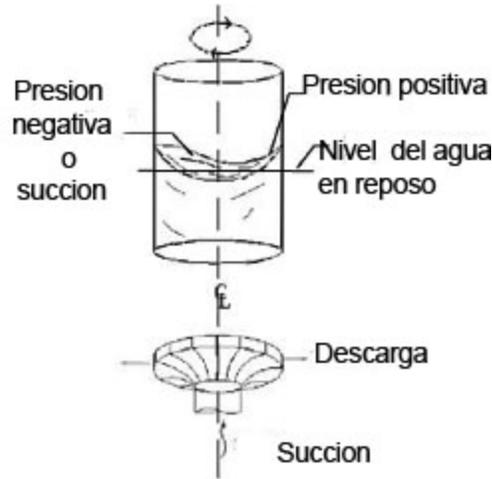
Fig. 47. Superficie del agua en un vaso



Cuando el líquido se encuentra en reposo está sometido únicamente a la presión atmosférica o barométrica. Sin embargo, cuando el líquido se encuentra en movimiento su presión, en el centro del vaso, disminuye por abajo de la presión atmosférica; por lo que se abate el nivel del agua. La fuerza centrífuga provoca un aumento de la presión del líquido, arriba de la presión atmosférica por lo que el agua se eleva. El funcionamiento de un impulsor es análogo al de un vaso giratorio, el ojo del impulsor corresponde al centro del vaso, cuando el impulsor gira, la presión disminuye abajo de la presión barométrica, creándose una presión negativa o de succión. La periferia del impulsor corresponde a la pared del vaso; en donde la

presión aumenta arriba de la presión atmosférica, creándose una zona de alta presión que provoca que el agua se eleve.

Fig. 48. Analogía de un vaso giratorio y un impulsor



Tipos de impulsor

Los impulsores se pueden clasificar según su construcción en abiertos, semiabiertos o cerrados. La geometría de los álabes del impulsor definen el ángulo de salida del agua, éste a su vez define el tipo de flujo del agua. Según el tipo de flujo, los impulsores se pueden clasificar en radial, mixtos y axiales. En los impulsores de flujo radial el agua entra por el "ojo del impulsor" en forma axial y sale en forma radial a su periferia; en los impulsores de flujo mixto, el agua entra en forma axial y sale con una dirección entre radial y axial, estos impulsores son de una sola entrada; y en los impulsores de flujo axial, el agua entra y sale en forma axial.

Fig. 49. Tipos de impulsor

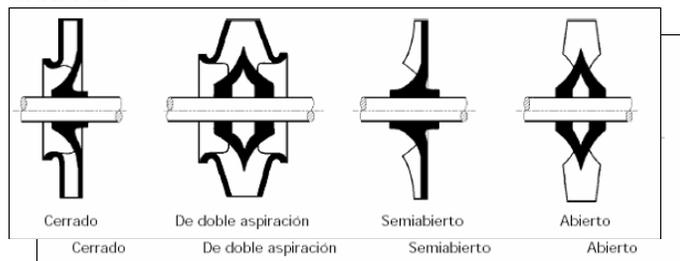
a) Cerrado



b) semiabiertos



c) Abierto



Cuando la velocidad de rotación del impulsor rebasa cierto límite, el agua desgasta el metal de la parte interior del impulsor, de los álabes del impulsor, así como las superficies interiores de la bomba, debido a que se produce el fenómeno llamado "cavitación". En el contexto de las bombas centrífugas, el término cavitación implica un proceso dinámico de formación de burbujas dentro del líquido, su crecimiento y subsecuente colapsamiento a medida que el líquido fluye a través de la bomba.

Generalmente las burbujas que se forman dentro de un líquido son de dos tipos: Burbujas de vapor o burbujas de gas. Las burbujas de vapor se forman debido a la vaporización del líquido bombeado. La cavitación inducida por la formación y colapso de estas burbujas se conoce como Cavitación Vaporosa. Las burbujas de gas se forman por la presencia de gases disueltos en el líquido bombeado (generalmente aire pero puede ser cualquier gas presente en el sistema). La cavitación inducida por la formación y colapso de estas burbujas se conoce como Cavitación Gaseosa. Cuando se produce cavitación, la bomba no solamente no cumple con su servicio básico de bombear un líquido sino que también experimenta daños internos, fallas de los sellos, rodamientos, etc. En resumen, la cavitación es una condición anormal que puede producir pérdidas de producción, daños al equipo y lo peor de todo, lesiones al personal.

Por esta razón es necesario un índice que permita identificar en qué momento la velocidad de rotación rebasa estos límites. Este índice es la velocidad específica (N_s) y está dada por la fórmula siguiente:

$$N_s = NQ^{1/2} / H^{3/4}$$

Donde N es la velocidad de rotación, Q es el gasto y H es la carga neta

Esta velocidad, N_s , se da bajo condiciones especiales de gasto, carga y velocidad de rotación para una eficiencia óptima con base en el concepto de bomba específica que corresponde a una bomba hipotética que trabaja con carga y gasto unitarios y la velocidad de la bomba específica es la velocidad N_s . Esta velocidad específica o número específico N_s , en este contexto, se define como aquella velocidad en revoluciones por minuto a la cual un impulsor desarrollaría una altura unitaria con un caudal unitario.

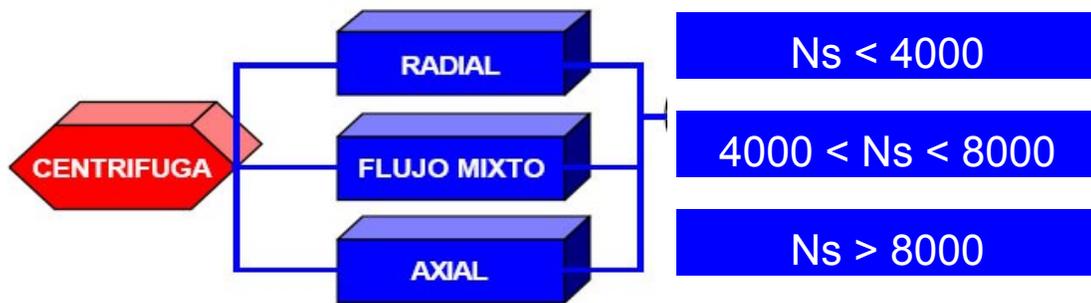
Debido a que en México se utiliza en general el sistema de unidades inglesas, para el cálculo de la velocidad específica se utilizara este tipo de unidades, el gasto se expresa en galones por minuto (GPM) y la carga en pies (ft). La equivalencia de l/s a GPM es:

$$1 \text{ (l/s)} = 15.851 \text{ (GPM)}$$

La eficiencia de las bombas está relacionada con su gasto y su velocidad específica. En el Apéndice D, Fig. D12, se incluyen las gráficas que indican esas relaciones para diferentes gastos.

Con base en el índice de velocidad específica, en unidades inglesas, se clasifica a los impulsores respecto a sus similitudes geométricas. Los impulsores de flujo radial pueden ser de una entrada, con velocidad específica menor de 4,000; o de doble entrada con velocidad específica menor de 6,000. En los impulsores de flujo mixto su velocidad específica varía de 4,000 a 8,000. Una bomba con impulsor de flujo axial

dispone de un solo impulsor; y tiene velocidad específica mayor de 8000.



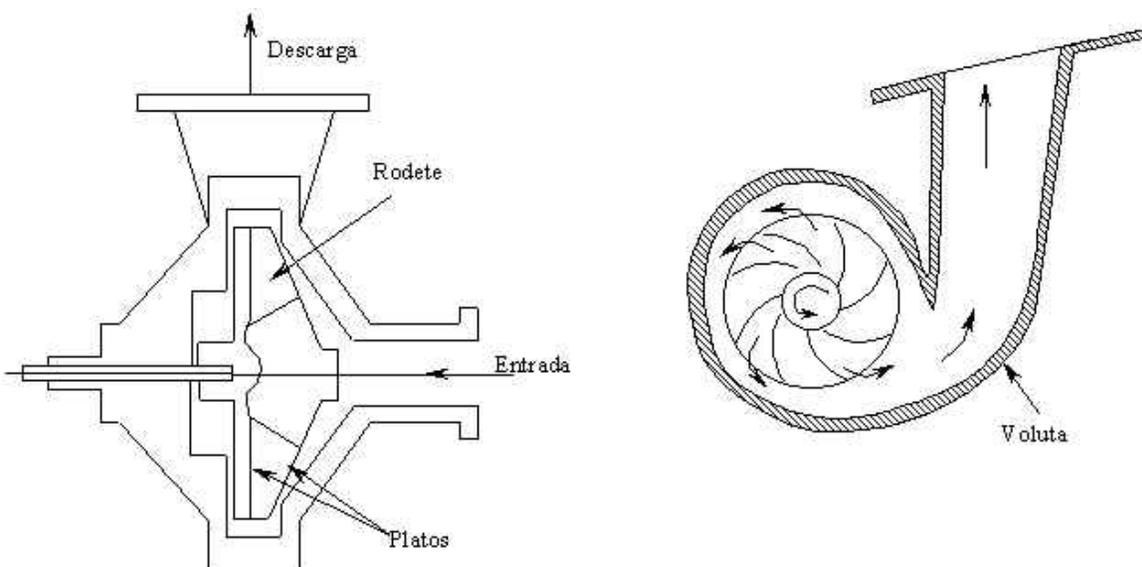
Dispositivos para mejorar la eficiencia

Con objeto de reducir la pérdida de energía que ocurre a la salida del tubo de descarga y en consecuencia aumentar la eficiencia de una bomba centrífuga, han sido ideados dispositivos tales como el anillo difusor o la cámara en forma de voluta, dispositivos que son capaces de transformar la carga de velocidad en carga de presión aprovechable, recuperando así una parte de la energía que de otro modo sería pérdida.

a) Armadura o cámara en forma de voluta

La voluta es una cubierta en forma de espiral que rodea al impulsor, aumenta su área a partir de un punto inicial, hasta que abarca los 360 grados completos alrededor del impulsor y después se abre hacia la descarga. El medio más sencillo y más barato, aunque ligeramente menos eficiente, para conseguir la conversión de carga de velocidad en carga de presión es la armadura en forma de voluta, cuya apariencia es igual al de las cámaras cerradas en espiral empleadas en las turbinas hidráulicas.

Fig. 50. Cámara en forma de voluta



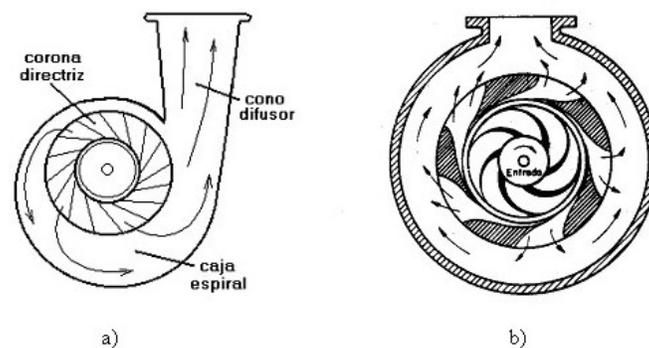
Las armaduras en forma de voluta se construyen en dos formas de velocidad constante y de velocidad variable. En la primera, la velocidad del agua que circula en la cámara o armadura se mantiene uniforme; la velocidad constante se consigue aumentando progresivamente la sección transversal de la cámara, adquiriendo ésta por tal motivo la apariencia de una voluta. Las secciones sucesivas de la cámara alrededor del impulsor se calculan de tal forma que la velocidad en la voluta se mantenga con un valor uniforme e igual a la velocidad de remolino (V_{1t}) con que el agua deja al impulsor, consiguiéndose con esto además de aumentar la carga de presión, que las pérdidas de energía por choque se vean reducidas.

En las volutas de velocidad variable la sección transversal de la cámara aumenta en forma más rápida que en la voluta de velocidad uniforme y, por tanto, la velocidad media del agua que circula en la cámara continuamente disminuye del valor V_{1t} en la sección transversal; la cámara o armadura puede así considerarse como un conducto divergente enrollado alrededor de la periferia total del impulsor.

b) Anillo difusor

En las bombas con anillo difusor, el impulsor descarga en unos álabes de difusión, generalmente los álabes de difusión se usan siguiendo la dirección del flujo en el impulsor. El dispositivo conocido como Anillo difusor se logra modificando la forma de la cámara o armadura de la bomba centrífuga y dotándola de álabes directrices fijos, con lo que se consigue que el agua al dejar el impulsor con una velocidad absoluta v_1 pueda escurrir a través de una serie de pasos o canales divergentes en los cuales gradualmente es reducida la velocidad del agua hasta llegar a un valor v_2 , provocando con esto un aumento en la carga de presión aprovechable por transformación de la carga de velocidad .

Fig. 51. Anillo difusor



Difusor. a) de Voluta; b) de Turbina

Por tanto, la carga de presión (H) existente en la bomba tiene lugar en dos etapas, en el impulsor adquiere una carga de presión H_0 y entre los álabes directrices del anillo difusor adquiere el aumento. Puesto que H_0 es menor que H , la energía total que debe ser entregada al agua ha sido reducida y por tanto la eficiencia de

la bomba tiende a aumentar. Debido a la apariencia del anillo difusor que tiene semejanza con el distribuidor de una turbina para generación energía eléctrica, las bombas centrífugas con este dispositivo se conocen como "bombas tipo turbinas". Sin embargo, las bombas turbinas difícilmente desarrollan la alta eficiencia hidráulica de una turbina hidráulica, debido por una parte a que el tamaño medio de las bombas es mucho menor que el de las turbinas y, por otra, a la dificultad inherente para convertir la carga de velocidad en carga de presión.

Succión

El sistema de succión comprende los elementos necesarios para que la bomba extraiga el agua del cárcamo o del pozo profundo. Este sistema está integrado por la tubería y accesorios. Mientras que, el diseño debe evitar la entrada de aire en la tubería de succión y mantener la sumergencia de la bomba.

Tubería de succión; en una bomba centrífuga de eje horizontal la tubería de succión debe ser lo más recta y corta posible. Para reducir las pérdidas de carga por fricción en la succión, minimizar el riesgo de cavitación, y que la bomba pierda el cebado, se deben evitar las siguientes prácticas: los reductores concéntricos, ya que el aire permanece en la parte superior de éstos; una tubería de succión de menor diámetro que la brida de succión de la bomba; tubería con varios cambios de dirección; dirigir la tubería hacia la bomba en forma descendente, para evitar la formación de bolsas de aire; además, el motor se debe apoyar completamente en la base para evitar que se acelere o sobrecargue. En una BTV la tubería de succión prácticamente no existe, ya que el cuerpo de la bomba se conecta en forma directa a la campana de succión.

Accesorios; en las bombas centrífugas de eje horizontal, que extraen el agua de un nivel inferior a su línea centro, los accesorios son: la entrada en forma de campana; la válvula de pie y el colador, el codo con radio grande que genera menos fricción, el manómetro de vacío o vacuómetro, las silletas para soportar la tubería, y la reducción excéntrica con el lado recto arriba. El colador es una malla cuya área de paso debe ser al menos cuatro veces el área de la tubería; el tamaño de los orificios debe ser menor que el diámetro de las partículas que se pretende filtrar. El colador es indispensable en la succión, ya que una bomba no debe manejar agua con sólidos en suspensión que pueden obstruirla, reduciendo o imposibilitando su acción de bombeo.

Fig. 52. Succión de una bomba centrífuga de eje horizontal. Elementos mínimos en tubería de succión

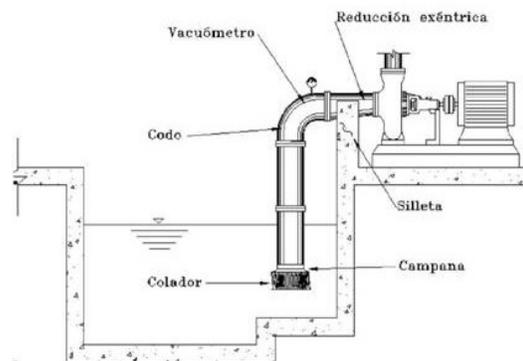


Fig. 53. Instalación típica de la tubería de succión



Entrada de aire; las burbujas de aire disminuyen la capacidad, eficiencia y cebado de la bomba. La formación de burbujas de aire se debe básicamente a la presencia de turbulencias internas en el flujo y a la formación de vórtices en la superficie del agua. Las turbulencias se generan cuando el conducto de abastecimiento descarga por arriba del nivel del agua en el cárcamo o descarga muy por arriba del fondo del cárcamo. Para evitar la formación de burbujas de aire, el conducto debe descargar ahogado lo más cerca del fondo del cárcamo; si es necesario se debe instalar una pantalla entre el conducto de llegada y la tubería de succión, tratando de evitar el efecto de pre rotación.

Fig. 54. Tubería de succión con entrada de aire

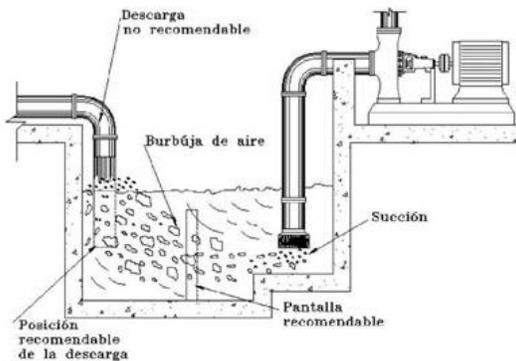
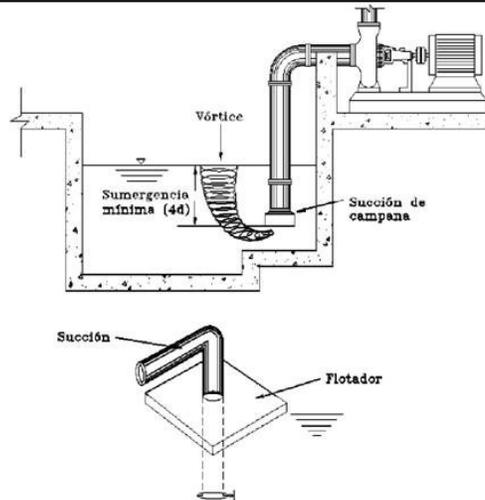


Fig. 55. Tubería de succión sin entrada de aire



Sumergencia (bomba centrífuga horizontal): en las bombas centrífugas de eje horizontal, cuyo impulsor se encuentra por arriba del nivel del agua, la sumergencia corresponde a la distancia desde la entrada de la campana de succión hasta el nivel del agua. La mayoría de los fabricantes recomiendan una sumergencia mínima de cuatro veces el diámetro de la tubería de succión, para evitar la formación de vórtices. En algunas ocasiones el nivel del agua en el cárcamo de bombeo varía grandemente durante la operación del sistema de riego; en este caso, se recomienda la instalación de flotadores para romper los vórtices que se forman en la superficie del agua.

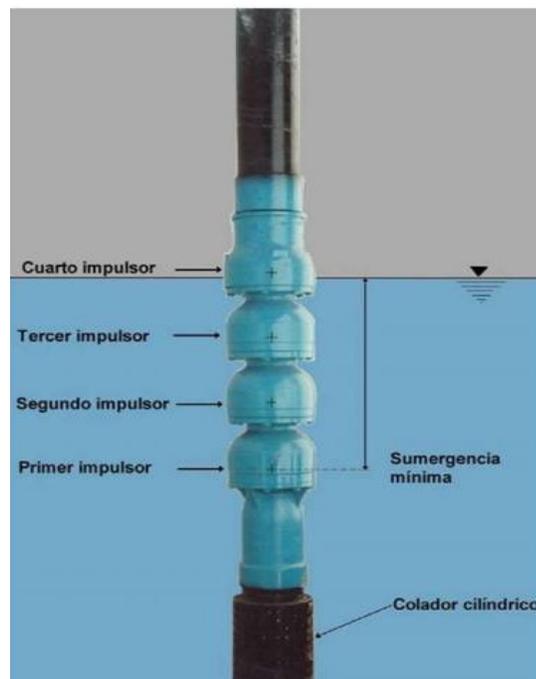
Fig. 56. Sumergencia de una bomba centrífuga



Los vórtices se forman en la superficie del agua cuando la tubería de succión no permanece con la sumergencia mínima o cuando la velocidad superficial de llegada a la tubería de succión es mayor de 0.5 metros por segundo.

Sumergencia (bomba tipo turbina vertical): en el caso de una BTV, la sumergencia corresponde al ahogamiento mínimo del primer impulsor. El primer impulsor es el adyacente a la campana de succión. La sumergencia es la distancia del nivel del agua a la línea centros del primer impulsor; su valor debe ser proporcionado por el fabricante y debe ser respetado por el técnico, durante el proceso de selección del equipo de bombeo.

Fig. 57. Sumergencia de una bomba tipo turbina vertical



Los vórtices se forman en la superficie del agua cuando la columna de succión no permanece con la sumergencia mínima o cuando la velocidad superficial de llegada a esta columna de succión es mayor de 0.5 m/s.

Descarga

El sistema de descarga comprende los elementos necesarios para conducir el agua desde la bomba hasta la red de conducción del sistema de riego. Las partes de la descarga son la tubería, el tanque, los accesorios y los controles.

Fig. 58. Elementos mínimos en la descarga de una bomba centrífuga

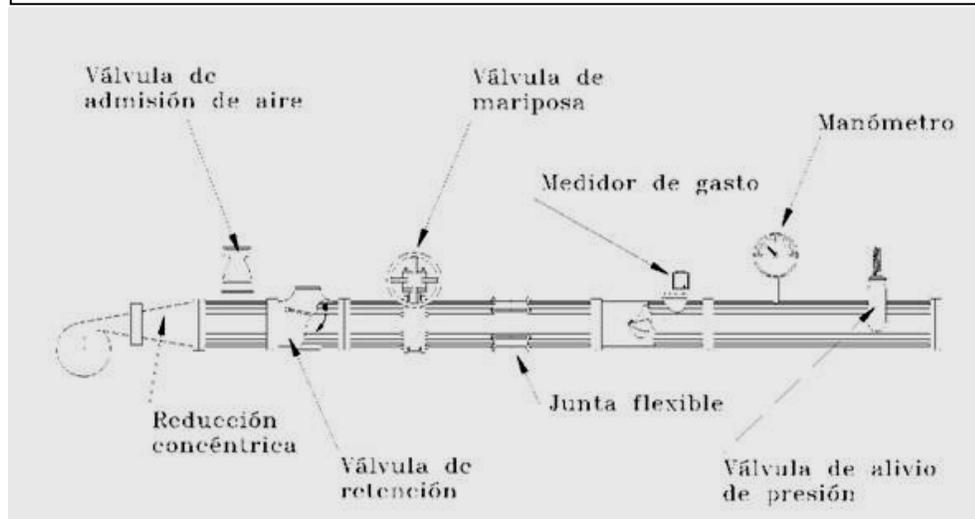


Fig. 59. Instalación típica de la descarga de una bomba centrífuga



Tubería de descarga; cuando la planta de bombeo tiene varias unidades de bombeo cada una de ellas puede descargar individualmente. Sin embargo, por razones económicas, es común conectar cada tubería de descarga a una de mayor diámetro. Si la bomba descarga a una tubería de gran longitud su diámetro debe ser mayor que la descarga de la bomba, para reducir las pérdidas de energía por fricción.

Con objeto de minimizar las pérdidas de energía por fricción en la descarga se deben evitar las siguientes prácticas: diseñar el sistema para operar con la válvula de descarga parcialmente cerrada, emplear una tubería de descarga de menor diámetro que la brida de descarga de la bomba, aumentar en forma brusca el diámetro de la tubería, conectar la tubería de descarga a otra de mayor diámetro en ángulo recto (la conexión debe ser en Y en la dirección del flujo), tuberías con cambios de dirección horizontal y vertical para eliminar codos y otras piezas especiales, apretar los tornillos en forma desalineada ya que se pueden desgastar las superficies de contacto, cojinetes o sobrecargar el motor.

Los materiales más usados para las tuberías son el acero, el fierro y el PVC. La selección del material y espesor de la tubería depende de los esfuerzos generados durante la operación del equipo y por el fenómeno transitorio de golpe de ariete, causado por la circulación inversa del líquido, este fenómeno se presenta al abrir o cerrar una válvula y durante el paro o arranque de las bombas.

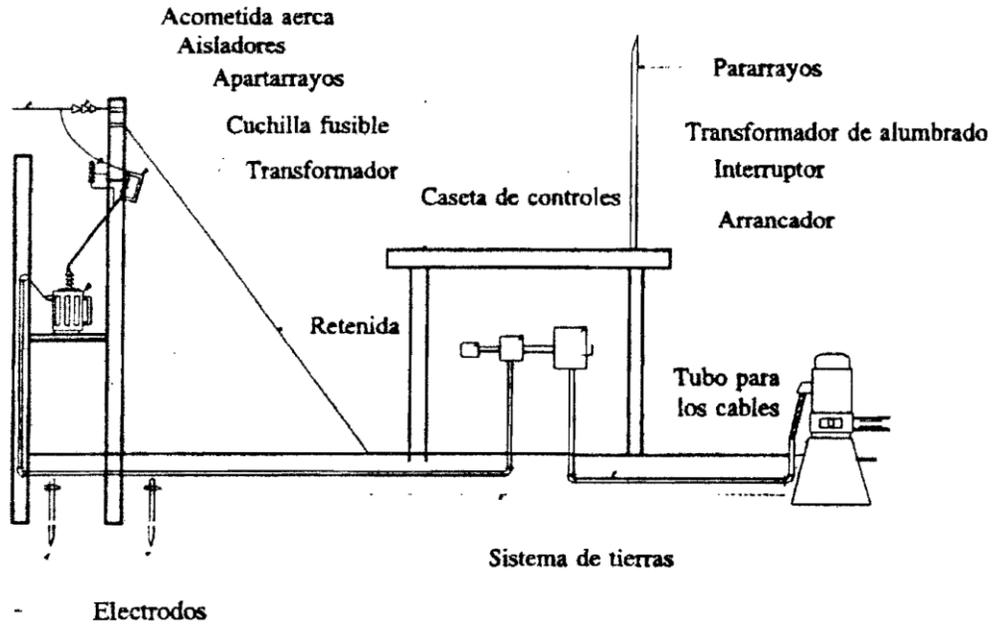
Tanque; su instalación es necesaria cuando el equipo de bombeo descarga a la atmósfera y se puede ubicar sobre la superficie o semienterrado. El tanque permite manejar un gasto mayor con menos tiempo de riego. En general, el tanque es de forma rectangular; puede abastecer a un sistema de riego por gravedad o a uno presurizado; en el primer caso, su localización está condicionada por la topografía; en el segundo, a partir del tanque se bombea el agua para abastecer al sistema de riego presurizado.

Accesorios; todas las tuberías de descarga deben disponer de ciertos accesorios: la ampliación concéntrica, los medidores, la junta flexible, las silletas y los atraques.

Subestación eléctrica

Para conducir la corriente eléctrica se emplean tensiones altas e intensidades pequeñas, esto ocasiona que la tensión de llegada a los sitios de consumo sea alta. Los motores eléctricos de las plantas de bombeo, para los sistemas de riego, requieren tensiones moderadas de 220 a 440 voltios. Por esta razón se instala la subestación eléctrica, cuyos dispositivos permiten cambiar la tensión, intensidad y frecuencia de la corriente. Las partes de la subestación eléctrica son: transformador, cuchillas fusible, pararrayos, aisladores, acometida aérea, sistema de tierra, arrancador, interruptor y equipo de medición. El transformador es un dispositivo que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro, conservando la frecuencia bajo el principio de inducción electromagnética. Los transformadores que se utilizan en las subestaciones para los equipos de bombeo son trifásicos y las conexiones de sus devanados más comunes son delta estrella. Esta conexión es un arreglo que se emplea para obtener dos voltajes diferentes sin hacer cambios en las conexiones de los devanados.

Fig. 60. Partes de la subestación eléctrica



El cárcamo de bombeo es un depósito enterrado, en general de concreto, la función de básica del cárcamo es tomar el agua de la fuente de abastecimiento; eliminar la mayor cantidad de sólidos en suspensión y azolves del agua; y ponerla a disposición del equipo de bombeo para que este la impulse al sistema de riego. Las partes básicas del cárcamo de bombeo son: la obra de toma, el sedimentador, el sistema de prefiltrado y el foso de bombeo.



IX Caso Práctico. Sistema de Riego por Pivote Central para la Huerta La Trinidad en Huamantla Tlaxcala

En este trabajo se propone tecnificar los terrenos de cultivo de la Huerta la Trinidad con la aplicación de riego mediante un sistema de pivote central a fin de lograr el uso eficiente del agua, lograr reducir los costos de mano de obra, combustible, mantenimiento y operación en horas riego / día; además de lograr un incremento en la producción / hectárea. Lo anterior se puede lograr debido a que un sistema de riego de pivote central requiere menos energía para su operación, así mismo un menor número de operarios con respecto a otros sistemas. El riego con el pivote central puede ser controlado, oportuno, uniforme y abastecer las máximas demandas evapotranspirativas del cultivo, lo que permite un incremento en la productividad

Al combinar el incremento de la productividad con la aplicación de riego a un menor costo, se obtienen bajos costos de producción, mayores utilidades e índices financieros como: Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno, una mayor relación Beneficio Costo y un menor período de recuperación de la inversión al establecer el sistema de riego de pivote central.

Ubicación geográfica del área de riego.

La Huerta de la Trinidad está situada en el Municipio de Huamantla en el Estado de Tlaxcala. Tiene 9 habitantes. Esta situada a 40 kilómetros aproximadamente de la capital del Estado, a 170 kms. de la Ciudad de México, a 74 km. de Puebla y de 271 Km. del puerto de Veracruz.

Se ubica en un valle de la ladera noreste del volcán Matlalcuéye o La Malintzi, que forma parte del eje Volcánico transversal.

El municipio de Huamantla se sitúa en un eje de coordenadas geográficas entre los 19 grados 18 minutos 41 segundos latitud norte y 97 grados 55 minutos 24 segundos longitud oeste.

Características geométricas y topográficas del terreno.

El predio tiene una superficie de 84 ha y el levantamiento topográfico para la elaboración del proyecto se llevo a cabo con personal y equipo requerido para realizar dicho levantamiento topográfico y de catastro con equipos de medición, como son: la estación total y distanciómetros.

Para el control horizontal se obtuvo una poligonal de la superficie del terreno de acuerdo con las siguientes tolerancias:

Tolerancia lineal fue de 1:20,000

Tolerancia angular $T = 2 n$

Donde n el número de vértices y T en segundos.

Para vértices que definen los limites de las parcelas y utilizados para configuración La tolerancia lineal fue de 1:10,000.

El punto de partida fue un lado de la poligonal a trazar orientado a partir del norte magnético.

Todos los vértices de la poligonal fueron identificados en todos los casos con trompos y una estaca marcada con pintura roja.

El control vertical se llevo a cabo simultáneamente con el control horizontal, ya que la estación total permite las mediciones de ángulos cenitales y se generen las coordenadas en (x, y, z), siendo z la elevación del punto correspondiente. Se ubicaron los bancos fijos de nivel en lugares que garanticen la permanencia (árboles, rocas etc.) y se registró en la bitácora el número correspondiente con sus respectivas coordenadas y elevación. Estos bancos sirvieron como puntos de partida o de cierre en las nivelaciones. También se procedió a levantar las cotas del brocal y la cota del tubo de la descarga del pozo y a levantar las cotas de los niveles máximos y mínimos del agua y las cotas de la obra de toma a la salida.

Se realizó un levantamiento topográfico de la zona de proyecto para determinar la planimetría de la zona de riego y el perfil altimétrico de las líneas de conducción y distribución. Con esta información se realizó el trazo de la red de distribución, la localización del punto pivote y de la fuente de abastecimiento. El levantamiento topográfico se complemento con la siguiente información: sitios de cruce canales, puentes de paso, cruces, líneas de transmisión, vías de comunicación, etcétera.

El levantamiento catastral incluye linderos de las propiedades.

El plano topografico y del sistema de riego del terreno de La Huerta La Trinidad se presenta en el Apéndice A.

Clima

El clima se considera moderadamente frío, con régimen de lluvias en los meses de mayo, junio, agosto y septiembre. Los meses más calurosos son marzo, abril y mayo.

Temperatura

La temperatura promedio mínima anual registrada es de 5.4 grados centígrados y la máxima es de 23.2 grados centígrados.

Precipitación pluvial

La precipitación media anual durante el periodo 1961-1996 en el municipio, es de 640.7 milímetros. La precipitación pluvial ocurre generalmente desde los meses de mayo a octubre, y en promedio la mínima registrada es de 6.3 milímetros y la máxima de 119.2 milímetros.

Suelo

Corresponden a los cambisoles aquellos suelos de sedimentos piroclásticos translocados, con frecuencia y horizontes duripan ó tepetate y suelos fluvisoles, comprenden sedimentos aluviales poco desarrollados y profundos.

De acuerdo con la clasificación textural, los suelos de la zona de riego poseen buena capacidad de retención: 189 mm/m. La capacidad de campo CC volumétrica del suelo seco es de 0.27 cm³/cm³, la capacidad mínima PMP es de 0.13 cm³/cm³ y la densidad aparente es de 1.35 gr/cm³. La infiltración básica estimada es de 8 milímetros por hora.

Superficie de riego y cultivos

En la Huerta la Trinidad el principal cultivo es la papa en 40 hectáreas antes de tecnificar el riego y el resto de la superficie con cultivo de temporal, que es aproximadamente el 50% de la totalidad de su extensión, debido a que el agua no era suficiente utilizando el sistema existente de riego con bombeo y gravedad.

Los requerimientos de grandes caudales para el área irrigada por gravedad se ha disminuido en los últimos 5 años, debido a la disminución de caudales de las fuentes de agua superficial por lo que se propuso la utilización de sistemas de riego más eficientes en el uso del agua, con menores costos de operación y mano de obra y menor requerimiento de energía. En función de lo anterior, se ha implementado un sistema de pivote central, el cual permite una gran ventaja técnica y económica en relación con el sistema tradicional de gravedad

Fuente de abastecimiento

El área considerada en el proyecto se abastece de un pozo profundo y de un tanque de almacenamiento.

El gasto disponible en el periodo de secas varía de 34 a 40 l/s. El equipo de bombeo para extraer el agua del tanque de almacenamiento, fue rehabilitado y posee una eficiencia electromecánica de 54.7% y para el pozo profundo se propuso una bomba sumergible.

El análisis de salinidad del agua y del suelo se basó en el análisis de muestras de agua del pozo y en muestras de suelo. La calidad del agua tiene una clasificación, según el USDA (Departamento de Agricultura de los E.U.A.) C2Si que puede considerarse regular en sales y baja en sodio. La conductividad eléctrica CE del agua medida en la descarga es de 0.335 dS/m, que corresponde a un total de sales disueltas de 214 ppm, La relación de adsorción de sodio RAS de la muestra de agua es de 1.35 y no se constata una presencia de carbonatos CO₃. Sin embargo, la presencia en la muestra de agua de 4.19 meq/l de bicarbonatos puede inducir su precipitación si el pH rebasa 7.5, dado que el pH es prácticamente neutro este problema no es significativo.

La información obtenida de la evaluación electromecánica es como sigue:

- Profundidad nivel estático (m) 29
- Profundidad nivel dinámico (m) 60
- Diámetro tubería descarga (pulgadas) 8
- Área del tubo a la descarga (m²) 0.03
- Gasto (l/s) 44.0
- Eficiencia electromecánica (%) 54,7
- Promedio (amp) 77.3
- Medido (volt) 415
- Factor de potencia (medido) 0.867
- Potencia consumida (multímetro) (HP) 64.6

- Potencia aprovechada de bomba (HP) 35.1

Los requerimientos de riego para el cultivo de papa, se calcularon con base en los valores de referencia de los coeficientes de cultivo publicados por la FAO y de la evapotranspiración de referencia calculada con el método de Penman-Monteith, basado en datos mensuales promedio de temperatura, precipitación, velocidad del viento y horas de radiación solar.

Se realizó el trazo de la red a partir de la localización de la fuente de abastecimiento y del plano topográfico para cubrir la demanda de riego.

Para la línea de conducción se determinaron las cotas topográficas inicial y final, la capacidad de conducción, la longitud y la carga mínima de operación requerida. La capacidad de cada tramo se determinó en función del área dominada por cada tramo y de la descarga demandada.

El sistema de riego propuesto la mayor parte del área del terreno cultivado, es para regar una superficie de aproximadamente 65 ha, con un sistema de dos equipos de pivote central:

1. Pivote central fijo que riega un círculo de 210 m. La estructura del lateral se compone de tres tramos de 63.1 m y un volado de 20.1 m., con un cañón final eléctrico modelo SR 100 NVC con una bomba reforzadora de 130 gpm
2. Pivote central remolcable que riega un círculo de 285 m. La estructura del lateral se compone de cinco tramos de 54.4 m y un volado de 13.4 m., con un cañón final eléctrico modelo SR 100 NVC

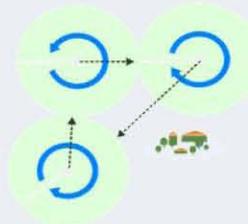


con una bomba reforzadora de 130 gpm

Fig. 61. Vista aérea del sistema de riego con los dos pivotes



Fig. 62. Pivote central remolcable



- Desplazamiento rápido de un área de cultivo a otra.
- Dispositivos de acoplamiento al tractor simples y de fácil manipulación.
- Capacidad de irrigación de hasta 100 ha.
- Accionamiento por generador o red eléctrica.
- Torre central con cuatro ruedas o sistema de base deslizante.
- Versátil y económico, el sistema remolcable hizo que la irrigación mecanizada sea accesible a más agricultores.
- Fácilmente adaptable a diferentes tamaños de áreas de cultivo.



Para contar con un sistema eficiente de riego se consideraron cuidadosamente las relaciones Agua-planta y Agua-suelo. El diseño de los pivotes se realizo en función de la lámina de aplicación de riego y del caudal disponible, y se así se determinaron las longitudes de los equipos, el número de tramos y la longitud de cada uno.

Fig. 63. Formulas de cálculo para las condiciones de operación de los pivotes

Indicador	Pivote Central
Area de cobertura (Ha)	$\frac{(\text{Longitud del sistema m})^2 \times \pi}{10,000}$
Tiempo de operación por vuelta o día en horas (Top)	Es el tiempo que da una vuelta en función de la velocidad de desplazamiento a la que se programe.
Lámina bruta de riego (mm/riego)	$\frac{Q(\text{m}^3/\text{hora}) \times \text{Top}/\text{vuelta}(\text{hr}) \times 1000 \text{ mm/m}}{\text{Area del sistema (ha)} \times 10000 \text{ m}^2/\text{ha}}$
Eficiencia del sistema (%)	Evaluación de campo
Lamina neta de riego (mm/riego)	$\frac{\text{Lámina bruta de riego} \times \text{Ef} (\%)}{100}$
Lámina bruta de riego (mm/día)	$\frac{\text{Lamina bruta de riego (mm/riego)}}{\text{F.R. (días)}}$
Lámina neta de riego (mm/día)	$\frac{\text{Lamina neta de riego (mm/riego)}}{\text{F.R. (días)}}$
Frecuencia de riego F.R. (días)	$\frac{\text{Top}/\text{vuelta (hr)}}{24 \text{ hr/día}}$
Días de operación al año – DOA-	
Numero de riegos al año -N.R.-	
Area regada por día	$\frac{\text{Area de cobertura del sistema (ha)}}{\text{F.R.}}$
Rendimiento del equipo (ha/hr)	$\frac{\text{Area de cobertura del sistema (ha)}}{\text{Top}/\text{vuelta (hr)}}$
Rendimiento del equipo (hr/ha)	$\frac{\text{Top}/\text{vuelta (hr)}}{\text{Area de cobertura del sistema (ha)}}$

Para el cálculo del caudal requerido para el sistema de riego de pivote central se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \text{Etm} * \pi * R^2 / (864 * \text{Ea})$$

De donde:

Q = Caudal a utilizar por el sistema de riego de pivote central (l/s)

Etm = Evapotranspiración máxima diaria del cultivo (mm/día)

Para los dos pivotes se construyeron las losas de concreto reforzado con base en las especificaciones del fabricante

Aspersores de los sistemas de pivote central

Los aspersores o emisores del pivote, se eligieron en función de la lámina de aplicación, tipo de suelo (velocidad de infiltración) y condiciones de viento, para el presente caso, se realizó un diseño del tipo, caudales y diámetros de boquillas para cada uno de los aspersores del pivote, para lo cual se utilizó un programa de diseño propiedad del fabricante de los pivotes centrales. Los aspersores son D3000 con reguladores de presión.

Línea de conducción y distribución.

El agua que se conduce de la fuente de abastecimiento al punto pivote es con tubería de PVC de 8", clase 1. Se calcularon las Pérdidas de carga en la tubería de conducción y distribución en los pivotes y las pérdidas de carga en la tubería principal, utilizando el procedimiento descrito en capítulos anteriores.

Diseño de la unidad de bombeo

La unidad de bombeo que alimenta a los pivotes, se diseño para extraer 69 litros por segundo y hacer llegar el agua hasta el punto pivote de cada equipo con la carga hidráulica suficiente para vencer las pérdidas de carga ocasionadas en la tubería de conducción de agua del pivote, por último llegar hasta la el último aspersor con una presión de 14 metros de columna de agua, equivalente a 20 PSI.

Para el diseño de la unidad de bombeo, inicialmente se determina la carga dinámica total con la ecuación siguiente:

$$CDT (m) = P_o + HF (principal) + H_m (lateral) + H_m (principal) + H_{pp} + C_e$$

De donde

P_o = presión de operación de los aspersores (m)

$HF (lateral)$ = pérdida de carga en tubería de distribución del pivote central (m)

$HF (principal)$ = pérdidas de carga en la tubería de conducción hacia el punto pivote (m)

$H_m (lateral)$ = pérdida de carga menores en tubería lateral (m). 10% de $HF (lateral)$

$H_m (principal)$ = pérdida de carga menores en tubería principal (m). 10% de $HF (principal)$

H_{pp} = altura del punto pivote (3.75 m)

C_e = carga estática, diferencia de altura entre el nivel del agua en la fuente y el nivel del terreno en la base del punto pivote.

$$CDT (m) = 14 + 9.8 + 10 + 0.98 + 3.75 + 3.9 = 43.4 (m)$$

Para el cálculo de la potencia requerida para operar la bomba se utiliza la siguiente ecuación:

$$HP = Q * CDT / (76 * E_b)$$

$$HP = 69.4 * 43.4 / (76 * 0.81) = 49$$

Si se considera que un motor diesel puede tener una pérdida del 20% en la transferencia de energía, se requiere ajustar el requerimiento de la siguiente manera:

$$HP \text{ del motor} = 49 / 0.8 = 61 \text{ Hp}$$

Con base en los cálculos se propuso un equipo de bombeo con las siguientes características:

Características de la bomba:

Marca: Berkeley

Lugar de fabricación: Estados Unidos

Modelo: B6JRMBM (ver curva de desempeño en la del apéndice)

Tipo de bomba: Centrífuga

Diámetro del impulsor: 316 milímetros, equivalente a 12.438 pulgadas

Caudal: 1,100 galones por minuto, equivalente a 69 litros por segundo

Carga dinámica total: 45.7 metros de columna de agua, equivalente a 65 PSI.

Revoluciones por minuto: 1,800

Eficiencia de operación: 81%

Características del motor:

Marca: John Deere

Lugar de fabricación: Estados Unidos

Modelo: 4045 DF 150 (ver curva de desempeño en la Fig. D1 del apéndice D)

Tipo de combustible: Diesel

Potencia: 62 caballos de fuerza (Hp)

Revoluciones por minuto: 1,800

El inicio del programa de riego se efectúa por medio de la determinación del contenido de humedad gravimétrica en el suelo, para lo cual se realizó un muestreo aleatorio del suelo a una profundidad de 60 centímetros, la programación del suelo se realizó para adicionar la lámina de agua que el suelo requiere para llegar a capacidad de campo. El sistemas de riego con los pivotes, se programo para aplicar la lámina neta necesaria para llegar el suelo a capacidad de campo, cada día de operación el pivote realiza los riegos requeridos.

Costos del equipo y de operación

Los costos para el Pivote fijo se muestran en la tabla siguiente:

ESTRUCTURA DEL PIVOTE No.1 DE TRES TRAMOS						
No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO DE LISTA EN USD	IMPORTE EN USD	IMPORTE EN PESOS MEXICANOS
1	CON VOLADIZO DE 26.8 MTS	PIEZA	1	5,700.00	5,700.00	\$57,000.00
2	AUTOREVERSA	LOTE	1	230.00	230.00	\$2,300.00
3	PAQUETE FIJO	LOTE	1	2,730.00	2,730.00	\$27,300.00
4	CODO DE 8"PARA PIVOTES	LOTE	1	155.00	155.00	\$1,550.00
5	CANON FINAL ELECTRICO MODELO SR 100 NVc/BOMBA REFORZADORA DE 130 GPM	LOTE	1	2,450.00	2,450.00	\$24,500.00
6	TRAMO DE 63.1 MTS.(157")SOLIDO	TRAMO	3	4,265.00	12,795.00	\$127,950.00
7	14.9x24 LLANTAS/RUEDAS GALVANIZADO	TRAMO	3	650.00	1,950.00	\$19,500.00
8	ASPERSORES D3000 CON REGULADORES DE PRESION	ML	190	3.40	646.00	\$6,460.00
9	BAJANTES DE DOS PIEZAS	ML	190	4.25	807.50	\$8,075.00
10	EXTENSIONES DE 42 "	PZA	90	9.70	873.00	\$8,730.00
11	BARRICADAS	PZA	2	290.00	580.00	\$5,800.00
12	FLETES Y MANIOBRAS	TRAILER	1	5,400.00	5,400.00	\$54,000.00
13	INSTALACION	TRAMO	3	350.00	1,050.00	\$10,500.00
14	DISENO DEL PROYECTO	LOTE	1	1,500.00	1,500.00	\$15,000.00
15	POLIZA DE MANTENIMIENTO ANNUAL	LOTE	1	500.00	500.00	\$5,000.00
				TOTAL	\$37,366.50	\$373,665.00

Los costos para el Pivote central remolcable se muestra en la tabla siguiente:

ESTRUCTURA DEL PIVOTE No.2 DE CINCO TRAMOS						
No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO DE LISTA EN USD	IMPORTE EN USD	IMPORTE EN PESOS MEXICANOS
1	CON VOLADIZO DE 26.8 MTS	PIEZA	1	5,700.00	5,700.00	\$57,000.00
2	AUTOREVERSA	LOTE	1	230.00	230.00	\$2,300.00
3	PAQUETE FIJO	LOTE	1	2,730.00	2,730.00	\$27,300.00
4	CODO DE 8"PARA PIVOTES	LOTE	1	155.00	155.00	\$1,550.00
5	CANON FINAL ELECTRICO MODELO SR 100 NVc/BOMBA REFORZADORA DE 130 GPM	LOTE	1	2,450.00	2,450.00	\$24,500.00
6	TRAMO DE 47.8 MTS.(157")SOLIDO	TRAMO	5	4,265.00	21,325.00	\$213,250.00
7	14.9x24 LLANTAS/RUEDAS GALVANIZADO	TRAMO	5	650.00	3,250.00	\$32,500.00
8	ASPERSORES D3000 CON REGULADORES DE PRESION	ML	285	3.40	969.00	\$9,690.00
9	BAJANTES DE DOS PIEZAS	ML	285	4.25	1,211.25	\$12,112.50
10	EXTENSIONES DE 42 "	PZA	100	9.70	970.00	\$9,700.00
11	BARRICADAS	PZA	2	290.00	580.00	\$5,800.00
12	FLETES Y MANIOBRAS	TRAILER	1	5,400.00	5,400.00	\$54,000.00
13	INSTALACION	TRAMO	5	350.00	1,750.00	\$17,500.00
14	DISENO DEL PROYECTO	LOTE	1	1,500.00	1,500.00	\$15,000.00
15	POLIZA DE MANTENIMIENTO ANNUAL	LOTE	1	500.00	500.00	\$5,000.00
TOTAL					\$48,720.25	\$487,202.50

En la operación del riego, los rubros más importantes son: mano de obra, combustible, mantenimiento preventivo y correctivo.

En el sistema de riego de pivote central participan 2 personas por turno, uno opera el sistema de bombeo que abastece de agua el sistema de riego y el segundo es el operador del panel de control de pivote central y el cálculo se muestra en la tabla siguiente:

Cálculo del costo de mano de obra para riego con pivote central	
DESCRIPCIÓN	VALORES
No. De personas que participan operando el sistema	4
Valor de salarios mensuales incluyendo prestaciones laborales y sociales (USD)	1,000
Valor del salario USD/día	33.3
Hectáreas regadas por día (ver cuadro 6)	50.88
Costo unitario USD/ha para aplicar una lámina bruta de 11.8 mm	0.66

REFERENCIAS:
Tasa de cambio: USD 1.00 es equivalente a Q 8.00
Días laborables del mes: 30 días
Costo unitario USD/ha = Valor del salario USD/día / Area regada ha/día

El costo de consumo para el motor de la bomba del pivote central se muestra como sigue:

Cálculo del costo de combustible para riego con pivote central			
DESCRIPCIÓN	PIVOTE CENTRAL		
	Sistema de bombeo	Generador Eléctrico	Total
Potencia requerida Hp (ver incisos 6.1.2.C y 6.1.3.E)	61	7.2	79.2
Rendimiento de combustible gl/hr	2.96	0.35	3.31
Costo USD/gal	1.079	1.079	1.079
Costo USD/hr	3.19	0.38	3.57
Rendimiento hr/ha	0.47	0.47	0.47
Costo de combustible USD/ha	1.51	0.18	1.69

REFERENCIAS:
*Rendimiento para el pivote central = 0.34 lb. Diesel – hp/hr * Potencia motor (hp) / 7 lb/gal diesel*
*Costo unitario USD/ha = Costo USD/hr * Rendimiento hr/ha*

Los costos de material de instalación de la línea de baja tensión y de la línea de conducción y obra civil, se presentan en la tabla siguiente:

Costos de Instalaciones.					
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
CAP1 INSTALACION ELECTRICA.					
A	SUMINISTRO E INSTALACION DE LINEA DE BAJA TENSION (460 VOLTS).				
A.1	SUMINISTRO E INSTALACION DE CONDUCTOR MONOPOLAR THW DEL NO. 4 INCLUYE: MATERIAL, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	ML	1,000.00	57.90	57,900.00
A.2	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA CONDUIT DE 38MM CED. 40; INCLUYE: MATERIAL, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS.	ML	1,000.00	27.75	27,750.00
A.3	CONSTRUCCION DE REGISTRO ELECTRICO DE 60X60X60 CM; INCLUYE: MATERIAL, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	PZA	3.00	1,584.00	4,752.00
A.4	SUMINISTRO E INSTALACION DE CONDUCTOR MONOPOLAR THW DEL NO. 12 INCLUYE: MATERIAL, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	ML	1,000.00	6.75	6,750.00
	Total de SUMINISTRO E INSTALACION DE LINEA DE BAJA TENSION (460 VOLTS).				97,152.00
	Total de INSTALACION ELECTRICA				97,152.00
CAP2 BASES DE CONCRETO					
C	BASES DE CONCRETO				
C.1	SUMINISTRO E INSTALACION DE BASES DE CONCRETO ARMADO INCLUYE: CIMENTACION, ARMADO CON ACERO DE REFUERZO DE 1/2", MALLA PARA REFUERZO POR TEMPERATURA ASI COMO ANCLAJE PARA PIVOTE FIJO O MOVIL.	PZA	1.00	6,966.96	6,966.96
	Total de BASES DE CONCRETO				6,966.96
	Total de BASES DE CONCRETO ARMADO				6,966.96
CAP3 INSTALACION HIDRAULICA					
D	SUMINISTRO E INSTALACION DE LINEA DE CONDUCCION DE 6" (EXCAVACIONES Y RELLENOS POR CUENTA DEL PRODUCTOR).				
D.1	TUBO HID. METR.C/C 160 MM. CLA 5. SUMINISTRO DE MATERIAL LAB HUAMANTLA	MT	150.00	346.21	51,931.50
D.2	COPEL TE C/VALV. HIDRANTE METR. 200X8". SUMINISTRO DE MATERIAL LAB TESECHOACAN	PZA	1.00	1,792.97	1,792.97
D.3	COPEL METR. REPARACION 160MM. SUMINISTRO DE MATERIAL LAB TESECHOACAN	PZA	2.00	397.69	795.38
D.4	REDUC. METR-METR. CAMP. 200-160MM. INSTALACION Y PRUEBA	PZA	1.00	145.75	145.75
	Total de SUMINISTRO E INSTALACION DE LINEA DE CONDUCCION DE 6" (EXCAVACIONES Y RELLENOS POR CUENTA DEL PRODUCTOR).				54,665.60
	Total de INSTALACION HIDRAULICA				54,665.60
	Total				158,784.56

Para la
equipo se
siguiente:

Personal

- un supervisor
- un electricista con experiencia
- un soldador
- un operador de la grúa
- 5 ayudantes

Equipo y herramientas

- Camión grúa
- Tractor con remolque
- Camioneta de carga
- Compresor de aire
- Herramientas de mano
- Llave inglesa de impacto

Los trabajos desarrollados para la instalación de los pivotes fueron:

- Ubicación de los puntos pivote y construcción de las losas de cimentación de 3.8 x 3.8 m, con

instalación del
requirió lo

- concreto reforzado con los tornillos de anclaje del pivote
- Excavaciones en las líneas de conducción e instalación de las tuberías de PVC, relleno y compactado de cepas.
 - Revisión y recepción de los materiales
 - Descargar la tubería y conexiones
 - Tender la tubería de la lateral
 - Ensamblaje y montaje de piezas tensores y ángulos
 - Instalación de las torres
 - Armar los tramos
 - Colocación de aspersores
 - Levantar torres y colocación de llantas
 - Instalación del equipo motriz
 - Instalación eléctrica
 - Colocación de paneles de control,
 - Unir tramos
 - Alineación del equipo
 - Puesta en marcha y revisión del funcionamiento global del equipo.

En el Apéndice E, con el fin de ilustrar el montaje de un pivote central, se muestran en el apartado E2 un conjunto de fotografías relativas al montaje.

Los sistemas de riego de Pivotes instalados en la Huerta la Trinidad funcionaron de acuerdo a las especificaciones y se obtuvieron ahorros de agua del 40% y ahorros de energía eléctrica del 30% y en costos de operación y mano de obra ahorros del 70%, permitiendo aumentar el área de cultivo de la papa con la misma disponibilidad de agua y tanto la densidad de plantas y cobertura del cultivo fueron mayores bajo riego por aspersión que el riego superficial por gravedad,

Con estos sistemas de pivote fue posible aumentar la productividad del agua aumentando los rendimientos y se incrementa la longevidad del cultivo, disminuyendo al mismo tiempo la presencia de malezas.

El análisis económico realizado por unidad de superficie, considerando los costos para equipar la superficie de las 79 hectáreas, permite concluir la obtención de mayores beneficios del cultivo bajo riego por pivote comparados los beneficios obtenidos con el riego por gravedad

X Conclusiones y recomendaciones.

La tecnología del Pivote Central es confiable, segura, simple de operar y requiere poca supervisión.

El sistema de pivote central tiene requerimientos mínimos de energía y mano de obra. Se obtuvieron, en los sistemas instalados en La huerta la Trinidad, ahorros de agua del 40% y ahorros de energía eléctrica del 30% y en costos de operación y mano de obra ahorros del 70%.

Con el riego por pivote pueden lograrse eficiencias de aplicación y de uniformidad altas.

Los avances en la tecnología de control y el desarrollo de software para el cálculo de las diferentes condiciones de operación del pivote, permiten que un operador sólo deba realizar una rápida programación en el panel de control para seleccionar la dirección y la velocidad deseada de varios sistemas de riego con Pivote. Es decir, que el operador puede regular al detalle de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo, cuándo, cuánta y cómo aplicar el agua en cualquier fracción del círculo regado por el pivote, pudiendo aplicar laminas pequeñas mas frecuentes.

El operador puede pre-programar el riego con varias semanas de antelación. Las instrucciones pueden incluir diferentes tasas de aplicación de agua, programadas dependiendo del sector del círculo, según los requerimientos del cultivo. En los controles de última generación también pueden programarse operaciones tales como aplicaciones de fertilizantes y pesticidas. Paneles de control con GPS incorporado, ya disponibles, permiten aprovechar los beneficios de la tecnología GPS para gestionar la aplicación precisa de agua y fertilizante. Todas estas operaciones pueden así mismo realizarse desde un teléfono móvil o un PC desde cualquier parte del mundo donde se cuente con servicios de Internet o teléfono. Los sistemas de control además, cuentan con varios sistemas de alarmas que alertan al operador en caso de mal funcionamiento.

Se reducen costos de combustible, agua, fertilizante y otros factores. Permiten todos los cálculos de posición GPS necesarios, desapareciendo la necesidad de ordenadores externos a la máquina. Son compatibles con diferentes tipos de receptores GPS.

Si la presión del agua en la tubería cambia con la elevación del terreno se recomienda colocar reguladores de presión y caudal en los aspersores, tecnología que compensa los cambios de presión que se producen a lo largo del Pivote cuando éste recorre terrenos ondulados.

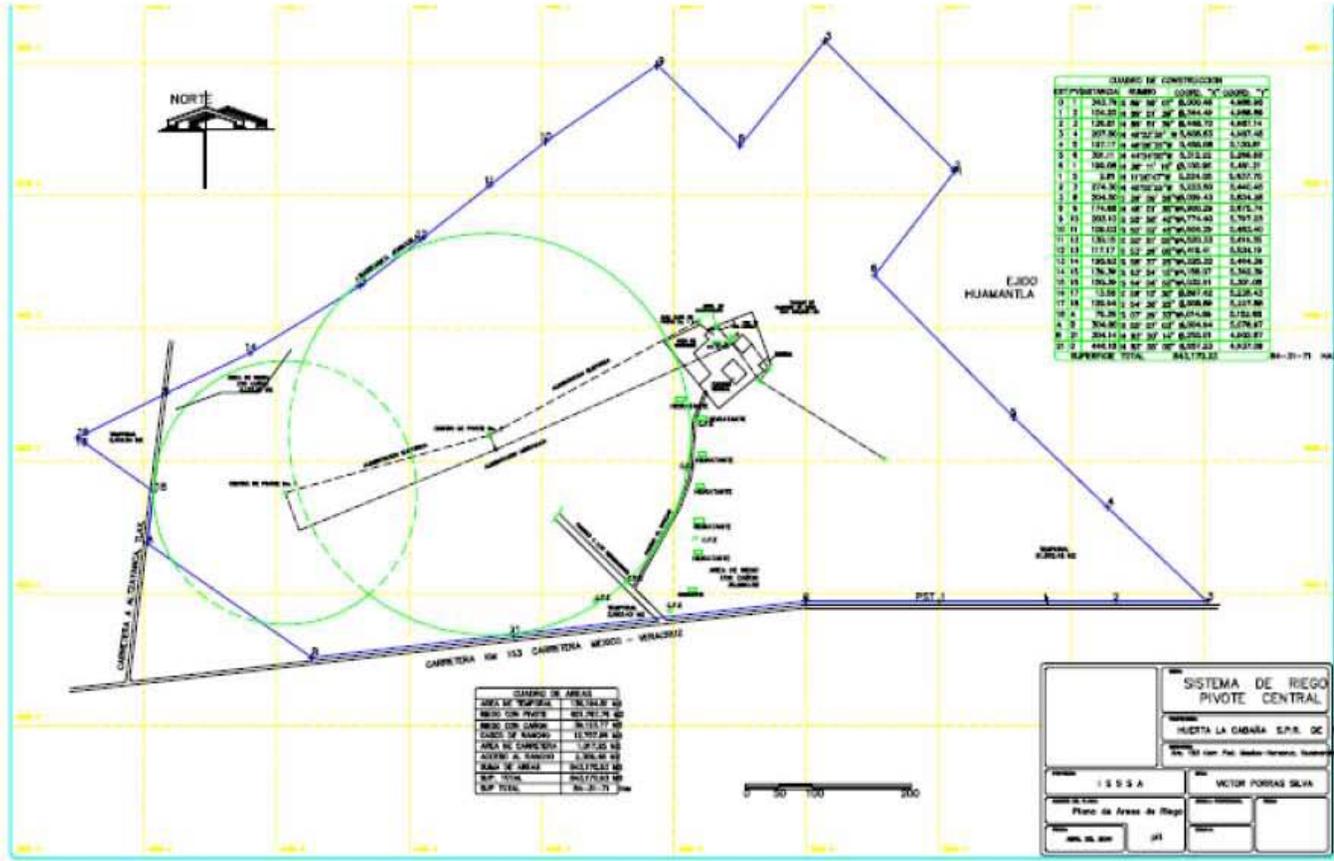
Mantener la alineación de pivote es fundamental para el correcto funcionamiento del equipo, a fin de evitar grandes daños si falla el alineamiento.

Al iniciar un proyecto de establecimiento de cultivo como el de papa, deberá tomarse en consideración preferentemente se utilice riego de pivote central siempre que la topografía y el relieve del terreno lo permitan, pues debido a su potencial de incrementar la producción por unidad de área, permite diluir costos fijos tal como el arrendamiento de la tierra, costo de inversión, costos de mano de obra, combustible, mantenimiento y administración.

Bibliografía.

- El riego por aspersión y su tecnología. José M. Tarjuelo Martín-Benito, 2005 Ediciones Mundi – Prensa
- El Riego por Pivote Central. Waldo Ojeda Bustamante, Mauricio Carrillo García, Juan Carlos Herrera, Vicente Ángeles Montiel. México: SEMARNAT, IMTA, 2001.
- Manual de diseño de zonas de riego pequeñas. Comisión Nacional del Agua. Instituto de Tecnología del Agua. Junio 1996
- Fundamentos del Riego. Ing. Mg.Sc. Lorenzo Hurtado Leo, Profesor Principal – UNALM Perú, 2006
Manual de Riego. GRUNDFOS SUMINISTRO DE AGUA, www.grundfos.es
- Hidráulica General. Volumen I Fundamentos. Gilberto Sotelo Ávila. Editorial Limusa. 2005
- Aprovechamientos hidráulicos y de bombeo. Humberto Gardea Villegas. México Trillas. UNAM, Facultad de Ingeniería, 1992.
- Agua y Sociedad: una historia de las obras hidráulicas en México. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México 1988.
- La infraestructura Hidroagropecuaria en la modernización del campo. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México 1992.
- México Noble Caudal. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México 1994
- Seminario 2000. Equipos de Pivotes central y Avance Frontal. Zimmatic. 1-4 de noviembre, 1999. Lindsay, Nebraska, USA.
- Lindsay Zimmatic Design Manual. Lindsay, Nebraska, USA.
- PIVOTE CENTRAL .Hamil Uribe C. Ingeniero Civil Agrícola, INIA Quilamapu.
[www.cnr.gob.cl/.../download.aspx?...Pivote%20Central%20\(1\)...](http://www.cnr.gob.cl/.../download.aspx?...Pivote%20Central%20(1)...)
- VII Curso Internacional de Sistemas de Riego. Vol. II, Sistemas de riego por aspersión y equipos de bombeo, Universidad Autónoma Chapingo, México, 2001.
- Tubos Flexibles, Manual de construcción de sistemas para abastecimiento de agua potable con tubería de PVC, Instituto Nacional de Tuberías Plásticas, A. C. México, 1991.
- Ángeles, Vicente, Diseño agronómico de sistemas de riego presurizado; aspersión, micro aspersión y goteo, Universidad Autónoma Chapingo, México, 2000.
- Riego - Sistemas de riego REGAR, México.2010. <http://www.rregar.com/>
- Catalogo General Sistema Urapivot. Grupo Chamartin, 2009.
- Hidráulica y Riegos. Open Course Ware. Antonio Franco Salas y Luis Pérez Urrestarazu. Ingeniería Técnica Agrícola. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Universidad de Sevilla, 2007

Apéndice A. Plano topográfico del terreno y del sistema de riego de La Huerta La Trinidad



Apéndice B. Impactos ambientales de los sistemas de riego

Los impactos dependen del tipo de riego, de la fuente del agua (superficial o subterránea), de su forma de almacenamiento, de los sistemas de transporte y distribución, y de los métodos de entrega o aplicación en el campo.

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

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 subterránea con los biocidas agrícolas; reducir la calidad del agua; y, aumentar los niveles de nutrientes en el agua de riego y drenaje, produciendo el florecimiento de las algas, la proliferación de las malezas acuáticas y la eutrofización de los canales de riego y vías acuáticas, aguas abajo. Así, se requieren mayores cantidades de productos químicos agrícolas para controlar el creciente número de plagas y enfermedades de los cultivos.

Los grandes proyectos de riego que represan y desvían las aguas de los ríos, tienen el potencial de causar importantes trastornos ambientales como resultado de los cambios en la hidrología y limnología de las cuencas de los ríos.

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 nutrientes, provocar el crecimiento de malezas acuáticas que obstruirán las vías fluviales, con consecuencias ambientales para la salud.

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 impactos positivos 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 (p. ej. 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.

Apéndice C. Saturación y Salinización

La saturación y salinización de los suelos son problemas comunes con el riego superficial. A nivel mundial, se ha estimado que, cada año, el riego saca de la producción una cantidad de terreno que es igual a la porción que entra en servicio bajo riego, debido al deterioro del suelo, principalmente, la salinización. La saturación es causada, principalmente, por el drenaje inadecuado y el riego excesivo, y en un grado menor, por fugas de los canales y acequias. El riego exagera los problemas de la salinidad, que, naturalmente, son más agudos en las áreas áridas y semiáridas, donde la evaporación superficial es más rápida y los suelos, más salinos. La saturación concentra las sales absorbidas de los niveles más bajos del perfil del suelo, en la zona de arraigamiento de las plantas. La alcalinización (acumulación de sodio en los suelos) es una forma, especialmente perjudicial, de salinización que es difícil de corregir. Aunque los suelos de las zonas áridas y semiáridas tienen una tendencia natural de sufrir salinización, muchos de los problemas relacionados con el suelo podrían ser atenuados si se instalan sistemas adecuados de drenaje. El drenaje es el elemento crítico para los proyectos de riego y, muy a menudo, se lo planifica y se lo maneja mal. El uso del riego por aspersión o por goteo, reduce el problema de la saturación porque el agua se aplica más precisamente, y se puede limitar las cantidades.

Impactos sociales

Los trastornos sociales causados por los grandes sistemas de riego que cubren áreas vastas son inevitables. La gente local puede ser desplazada por el sistema de riego, y enfrenta los problemas clásicos del reasentamiento: puede reducirse su nivel de vida, podrían presentarse 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 de la implementación del sistema de riego. Las demandas contradictorias, con respecto a los recursos acuáticos, y las desigualdades en su distribución pueden ocurrir, fácilmente, tanto en el área del sistema de riego, 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.

La introducción del sistema de riego se asocia con 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 enfermedades helmínticas y, en un grado menor, las enfermedades bacterianas y virales). Los grupos que están expuestos al riesgo son los trabajadores agrícolas, los consumidores de los vegetales (y la carne) de los campos regados con aguas servidas, y los aldeaños. 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.

Apéndice D. Tablas de diseño

Fig. D1. Curva de desempeño

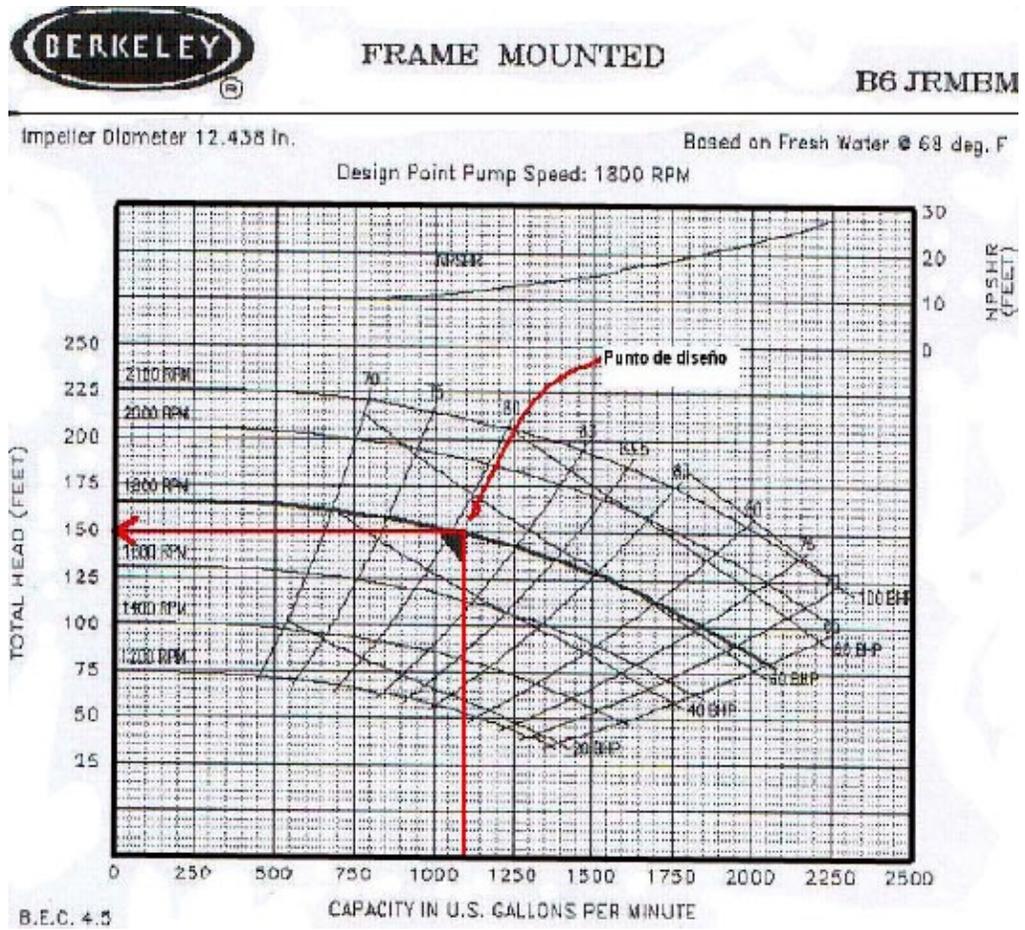


Fig. D2. Tabla 1 para determinar perdidas por friccion para tuberia de 6"

Flow U.S. Gallons per Minute	Inside Diameter = 5.761" C = 100				Flow U.S. Gallons per Minute	Inside Diameter = 5.761" C = 100			
	Velocity Feet per Second	Velocity Head Feet	Head Loss Feet per 100 Feet	Head Loss psi per 100 Feet		Velocity Feet per Second	Velocity Head Feet	Head Loss Feet per 100 Feet	Head Loss psi per 100 Feet
200	2.4616	0.0942	0.7506	0.3250	750	9.2311	1.3243	8.6567	3.7484
250	3.0770	0.1471	1.1342	0.4911	800	9.8465	1.5068	9.7545	4.2237
300	3.6925	0.2119	1.5891	0.6881	850	10.4620	1.7011	10.9122	4.7250
350	4.3079	0.2884	2.1136	0.9152	900	11.0774	1.9071	12.1293	5.2520
400	4.9233	0.3767	2.7058	1.1716	950	11.6928	2.1248	13.4053	5.8045
425	5.2310	0.4253	3.0270	1.3107	1000	12.3082	2.3544	14.7396	6.3822
450	5.5387	0.4768	3.3646	1.4569	1100	13.5390	2.8488	17.5818	7.6129
475	5.8464	0.5312	3.7185	1.6101	1200	14.7698	3.3903	20.6525	8.9425
500	6.1541	0.5886	4.0887	1.7704	1300	16.0006	3.9789	23.9487	10.3698
525	6.4618	0.6489	4.4749	1.9376	1400	17.2315	4.6146	27.4678	11.8936
550	6.7695	0.7122	4.8771	2.1118	1500	18.4623	5.2974	31.2073	13.5128
575	7.0772	0.7784	5.2951	2.2928	1600	19.6931	6.0273	35.1649	15.2264
600	7.3849	0.8476	5.7288	2.4806	1700	20.9239	6.8042	39.3385	17.0336
625	7.6926	0.9197	6.1782	2.6752	1800	22.1547	7.6282	43.7261	18.9334
650	8.0003	0.9947	6.6432	2.8765	2000	24.6164	9.4176	53.1364	23.0081
700	8.6157	1.1537	7.6194	3.2992	2200	27.0780	11.3953	63.3824	27.4446
					2400	29.5396	13.5613	74.4522	32.2378

Shaded Area indicates optimum velocity range

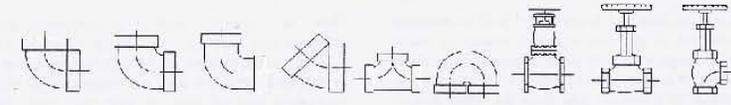
Fig. D3. Tabla 2 para determinar perdidas por friccion para tuberia de 6"

Flow U.S. Gallons per Minute	Inside Diameter = 6.065" C = 100				Flow U.S. Gallons per Minute	Inside Diameter = 6.065" C = 100			
	Velocity Feet per Second	Velocity Head Feet	Head Loss Feet per 100 Feet	Head Loss psi per 100 Feet		Velocity Feet per Second	Velocity Head Feet	Head Loss Feet per 100 Feet	Head Loss psi per 100 Feet
200	2.2210	0.0767	0.5844	0.2530	750	8.3289	1.0781	6.7405	2.9186
250	2.7763	0.1198	0.8831	0.3824	800	8.8842	1.2267	7.5953	3.2888
300	3.3316	0.1725	1.2374	0.5358	850	9.4395	1.3848	8.4967	3.6791
350	3.8868	0.2348	1.6457	0.7126	900	9.9947	1.5525	9.4444	4.0894
400	4.4421	0.3067	2.1069	0.9123	950	10.5500	1.7298	10.4379	4.5196
425	4.7197	0.3462	2.3569	1.0205	1000	11.1052	1.9167	11.4769	4.9695
450	4.9974	0.3881	2.6198	1.1344	1100	12.2158	2.3192	13.6900	5.9278
475	5.2750	0.4324	2.8954	1.2537	1200	13.3263	2.7600	16.0809	6.9630
500	5.5526	0.4792	3.1836	1.3785	1300	14.4368	3.2392	18.6475	8.0744
525	5.8303	0.5283	3.4843	1.5087	1400	15.5473	3.7567	21.3876	9.2608
550	6.1079	0.5798	3.7978	1.6444	1500	16.6579	4.3125	24.2994	10.5216
575	6.3855	0.6337	4.1230	1.7853	1600	17.7684	4.9067	27.3809	11.8559
600	6.6631	0.6900	4.4607	1.9315	1700	18.8789	5.5392	30.6307	13.2631
625	6.9408	0.7487	4.8107	2.0830	1800	19.9894	6.2100	34.0471	14.7424
650	7.2184	0.8098	5.1727	2.2398	2000	22.2105	7.6667	41.3744	17.9151
700	7.7737	0.9392	5.9328	2.5689	2200	24.4315	9.2767	49.3524	21.3696
					2400	26.6526	11.0400	57.9718	25.1018

Shaded Area indicates optimum velocity range

Fig. D4. Tabla 3 para determinar perdidas por friccion en conexiones en terminos de la longitud equivalente de tubo recto

FRICTION LOSSES THROUGH PIPE FITTINGS IN TERMS OF EQUIVALENT LENGTHS OF STANDARD PIPE



Size of pipe (small diameter)	Standard Elbow	Medium Radius Elbow	Long Radius Elbow	45° Elbow	Tee	Return Bend	Gate Valve Open	Globe Valve Open	Angle Valve Open
<i>Length Of Straight Pipe (Feet) Giving Equivalent Resistance Flow</i>									
1/2"	1.5	1.4	1.1	0.77	3.4	3.8	0.35	16	8.4
3/4"	2.2	1.8	1.4	1.0	4.5	5.0	0.47	22	12
4"	11	9.1	7.0	5.0	22	24	2.3	110	58
5"	14	12	8.9	6.1	27	31	2.9	140	70
6"	16	14	11	7.7	33	37	3.5	160	83
8"	21	18	14	10	43	49	4.5	220	110
10"	26	22	17	13	56	61	5.7	290	140
12"	32	26	20	15	66	73	6.7	340	170
14"	36	31	23	17	76	85	8	390	190

Source: Berkeley Pump Co.

Fig. D5. Tabla 3 para determinar perdidas por friccion en bombas

PIPE FRICTION FOR OFFSET JET PUMPS (Friction Loss in Feet Per 100 Feet Offset)

JET SIZE (H.P.)	<i>Suction And Pressure Pipe Sizes (Inches)</i>												
	3/4	1	1	1-1/4	1-1/4	1-1/2	1-1/2	2	2	2-1/2	2-1/2	3	
	x 1	x 1	x 1-1/4	x 1-1/4	x 1-1/2	x 1-1/2	x 2	x 2	x 2-1/2	x 2-1/2	x 3	x 3	
1/4	27	18	7	5	3	2	--	--	--	--	--	--	
1/3			12	8	6	4	--	--	--	--	--	--	
1/2			18	12	8	6	3	2	--	--	--	--	
3/4				22	16	11	6	4	--	--	--	--	
1					25	16	9	6	--	--	--	--	
1-1/2							13	8	5	3	--	--	
2	<i>Operations below line are not recommended</i>							20	13	7	5	--	--
3	<i>Operations below line are not recommended</i>									13	9	6	4

Source: Berkeley Pump Co.

Fig. D6 Ejemplo 1.

Determinar pérdidas por fricción en un pivote de 18 torres

Example: Combination Pivot/18 Tower

11 spans 135' - 10"
6 spans 157' 8"
1 span 157' - 6-5/8"
@ 1600 gpm

From Chart A:

Fig. D7.

Line 11 Large and 7 Small 12.0 PSI

From Chart B:

Fig. D8

Line 17 Large and 1 Small 35.0 PSI

Line 18 Large and 0 Small 35.0 PSI

0.0 PSI

12.0 PSI

0.0 PSI

Total Loss 12.0 PSI

Large Pipe I.D. 9.800		Span Length 135.00														
Small Pipe I.D. 7.800		Span Length 135.00														
Flow In GPM																
1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300
34.0	38.1	42.5	47.1	51.9	57.0	62.3	67.8	73.6	79.6	85.8	92.3	99.0	106.0	113.1	120.5	128.2
31.7	35.5	39.5	43.8	48.3	53.0	57.9	63.1	68.5	74.0	79.8	85.9	92.1	98.6	105.3	112.2	119.3
29.3	32.9	36.6	40.6	44.7	49.1	53.7	58.4	63.4	68.6	73.9	79.5	85.3	91.3	97.5	103.9	110.5
27.0	30.3	33.8	37.4	41.2	45.3	49.5	53.9	58.5	63.2	68.2	73.3	78.7	84.2	89.9	95.8	101.9
24.8	27.8	31.0	34.4	37.9	41.6	45.4	49.5	53.7	58.1	62.6	67.4	72.3	77.3	82.6	88.0	93.6
22.7	25.5	28.4	31.5	34.7	38.1	41.6	45.3	49.2	53.2	57.3	61.7	66.2	70.8	75.6	80.6	85.7
20.8	23.3	25.9	28.7	31.7	34.8	38.0	41.4	44.9	48.6	52.4	56.3	60.4	64.7	69.1	73.6	78.3
19.0	21.3	23.7	26.2	28.9	31.8	34.7	37.8	41.0	44.4	47.8	51.4	55.2	59.0	63.0	67.2	71.4
17.3	19.4	21.6	24.0	26.4	29.0	31.7	34.5	37.5	40.5	43.7	47.0	50.4	53.9	57.6	61.4	65.3
15.9	17.8	19.8	22.0	24.2	26.6	29.0	31.6	34.3	37.1	40.0	43.0	46.2	49.4	52.7	56.2	59.8
14.6	16.4	18.2	20.2	22.3	24.4	26.7	29.1	31.6	34.1	36.8	39.6	42.5	45.4	48.5	51.7	55.0
13.5	15.2	16.9	18.7	20.6	22.7	24.8	27.0	29.3	31.6	34.1	36.7	39.4	42.1	45.0	47.9	51.0
12.7	14.2	15.8	17.5	19.3	21.2	23.2	25.2	27.4	29.6	31.9	34.3	36.8	39.4	42.1	44.8	47.7
12.0	13.4	15.0	16.6	18.3	20.1	21.9	23.9	25.9	28.0	30.2	32.5	34.9	37.3	39.8	42.5	45.2
11.5	12.9	14.4	15.9	17.5	19.2	21.0	22.9	24.8	26.9	29.0	31.2	33.4	35.8	38.2	40.7	43.3
11.2	12.5	13.9	15.4	17.0	18.7	20.4	22.2	24.1	26.1	28.2	30.3	32.5	34.8	37.1	39.5	42.1
11.0	12.3	13.7	15.2	16.7	18.4	20.1	21.9	23.7	25.7	27.7	29.8	31.9	34.2	36.5	38.9	41.3
10.9	12.2	13.6	15.1	16.6	18.2	19.9	21.7	23.5	25.5	27.5	29.5	31.7	33.9	36.2	38.6	41.0
10.9	12.2	13.6	15.0	16.6	18.2	19.9	21.7	23.5	25.4	27.4	29.5	31.6	33.8	36.1	38.5	40.9

Fig. D7 Tabla (Chart A). Utilizada en el Ejemplo 1, para determinar pérdidas por fricción en un pivote de 18 torres

		Center Pivot Pressure Loss in PSI																	
		Large Pipe I.D. 7.800									Span Length 157.00								
		Small Pipe I.D. 6.395									Span Length 157.00								
main pipe pairs	Flow In GPM																		
	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300
18	83.0	94.4	106.6	119.5	133.1	147.5	162.6	178.5	195.1	212.4	230.5	249.3	268.8	289.1	310.1	331.9	354.4	377.6	401.6
17	77.6	86.3	99.7	111.8	124.5	138.0	152.1	167.0	182.5	198.7	215.6	233.2	251.5	270.4	290.1	310.4	331.5	353.2	375.6
16	72.3	82.3	92.9	104.1	116.0	128.6	141.7	155.0	170.0	185.1	200.9	217.3	234.3	252.0	270.3	289.3	308.9	329.1	350.0
15	67.2	76.4	86.3	96.7	107.8	119.4	131.6	144.5	157.9	171.9	186.5	201.8	217.6	234.0	251.0	268.6	286.8	305.6	325.0
14	62.2	70.7	79.9	89.5	99.8	110.5	121.9	133.8	146.2	159.2	172.7	186.8	201.5	216.7	232.4	248.7	265.6	283.0	301.0
13	57.5	65.4	73.8	82.7	92.2	102.1	112.6	123.6	135.1	147.1	159.6	172.6	186.1	200.2	214.7	229.8	245.4	261.5	278.1
12	53.0	60.3	68.1	76.3	85.1	94.3	103.9	114.0	124.7	135.7	147.3	159.3	171.8	184.7	198.2	212.1	226.4	241.3	256.6
11	48.9	55.7	62.8	70.5	78.5	87.0	95.9	105.3	115.0	125.3	135.9	147.0	158.5	170.5	182.9	195.7	209.0	222.7	236.8
10	45.2	51.5	58.1	65.1	72.6	80.4	88.6	97.3	106.3	115.8	125.6	135.9	146.5	157.6	169.0	180.9	193.2	205.8	218.9
9	41.9	47.7	53.9	60.4	67.3	74.5	82.2	90.2	98.6	107.3	116.5	126.0	135.9	146.1	156.7	167.7	179.1	190.8	203.0
8	39.1	44.5	50.2	56.3	62.7	69.5	76.6	84.1	91.9	100.0	108.6	117.4	126.6	136.2	146.1	156.3	166.9	177.9	189.2
7	36.7	41.7	47.1	52.8	58.8	65.2	71.9	78.9	86.2	93.9	101.9	110.2	118.8	127.8	137.1	146.7	156.7	166.9	177.5
6	34.7	39.5	44.6	50.0	55.7	61.7	68.1	74.7	81.6	88.9	96.5	104.3	112.5	121.0	129.8	138.9	148.3	158.0	168.1
5	33.2	37.8	42.7	47.8	53.3	59.0	65.1	71.4	78.1	85.0	92.3	99.8	107.6	115.7	124.1	132.8	141.9	151.2	160.7
4	32.1	36.5	41.2	46.2	51.5	57.1	62.9	69.1	75.5	82.2	89.2	96.5	104.0	111.9	120.0	128.4	137.1	146.1	155.4
3	31.4	35.7	40.3	45.2	50.3	55.8	61.5	67.5	73.8	80.3	87.2	94.3	101.7	109.3	117.3	125.5	134.0	142.8	151.9
2	31.0	35.2	39.8	44.6	49.7	55.0	60.7	66.6	72.8	79.2	86.0	93.0	100.3	107.9	115.7	123.8	132.2	140.9	149.8
1	30.8	35.0	39.5	44.3	49.4	54.7	60.3	66.2	72.3	78.8	85.5	92.5	99.7	107.2	115.0	123.1	131.4	140.0	148.9
0	30.7	35.0	39.5	44.3	49.3	54.6	60.2	66.1	72.3	78.7	85.4	92.3	99.6	107.1	114.9	122.9	131.3	139.9	148.7

D8 Tabla (Chart B). Utilizada en el Ejemplo 1, para determinar pérdidas por fricción en un pivote de 18 torres

Fig. D9 Ejemplo 2, para determinar perdidas por friccion en un pivote de 14 torres

Center Pivot Friction Loss

Example: Combination Pivot/14 Tower

4 spans 157' - 8"
6 spans 157' 6-5/8"
4 spans 157', 5-9/16"
@ 1500 gpm

From Chart A: **Fig. D10**

Line 4 Large and 10 Small 44.4 PSI

From Chart B: **Fig. D11**

Line 10 Large and 4 Small 69.6 PSI

Line 14 Large and 0 Small 68.4 PSI

4.8 PSI

44.4 PSI

4.8 PSI

Total Loss... 49.2 PSI

Fig. D10 Tabla (Chart A). Utilizada en el Ejemplo 2, para determinar perdidas por friccion en un pivote de 14 torres

		Center Pivot Pressure Loss in PSI																		
		Large Pipe I.D. 7.800							Span Length 157.00											
		Small Pipe I.D. 6.395							Span Length 157.00											
		Flow in GPM																		
Large Pipe Spans	Small Pipe Spans	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800
		0	14	28.8	34.8	41.5	48.7	56.4	64.8	73.7	83.2	93.3	103.9	115.2	127.0	139.4	152.3	165.9	180.0	194.6
1	13	26.4	32.0	38.0	44.6	51.8	59.4	67.6	76.3	85.6	95.4	105.7	116.5	127.9	139.7	152.2	165.1	178.6	192.6	207.1
2	12	24.1	29.1	34.7	40.7	47.2	54.2	61.7	69.6	78.0	87.0	96.3	106.2	116.6	127.4	138.7	150.5	162.8	175.6	188.8
3	11	21.8	26.4	31.5	36.9	42.8	49.2	55.9	63.1	70.8	78.9	87.4	96.4	105.7	115.6	125.8	136.6	147.7	159.3	171.3
4	10	19.7	23.9	28.4	33.4	38.7	44.4	50.5	57.1	64.0	71.3	78.9	87.1	95.6	104.4	113.7	123.4	133.5	143.9	154.8
5	9	17.8	21.6	25.7	30.1	34.9	40.1	45.6	51.5	57.7	64.3	71.3	78.6	86.2	94.2	102.6	111.3	120.4	129.9	139.7
6	8	16.1	19.5	23.2	27.2	31.5	36.2	41.2	46.5	52.1	58.1	64.3	70.9	77.9	85.1	92.7	100.5	108.7	117.3	126.1
7	7	14.0	17.7	21.0	24.7	28.5	32.8	37.4	42.2	47.3	52.7	58.4	64.3	70.6	77.2	84.0	91.2	98.6	106.4	114.4
8	6	13.3	16.1	19.2	22.6	26.2	30.0	34.2	38.6	43.2	48.2	53.4	58.9	64.6	70.6	76.9	83.4	90.2	97.3	104.6
9	5	12.4	14.9	17.8	20.9	24.2	27.8	31.6	35.7	40.0	44.6	49.4	54.5	59.8	65.4	71.2	77.2	83.5	90.1	96.9
10	4	11.6	14.1	16.7	19.6	22.8	26.1	29.7	33.6	37.6	41.9	46.5	51.2	56.2	61.5	66.9	72.6	78.5	84.7	91.1
11	3	11.1	13.5	16.0	18.8	21.8	25.0	28.5	32.1	36.0	40.1	44.5	49.0	53.8	58.8	64.0	69.5	75.2	81.0	87.2
12	2	10.8	13.1	15.6	18.3	21.2	24.4	27.7	31.3	35.1	39.1	43.3	47.7	52.4	57.3	62.3	67.7	73.2	78.9	84.9
13	1	10.7	12.9	15.4	18.1	21.0	24.1	27.4	30.9	34.7	38.6	42.8	47.2	51.8	56.6	61.6	66.8	72.3	78.0	83.8
14	0	10.7	12.9	15.4	18.0	20.9	24.0	27.3	30.8	34.6	38.5	42.7	47.0	51.6	56.4	61.4	66.7	72.1	77.8	83.6

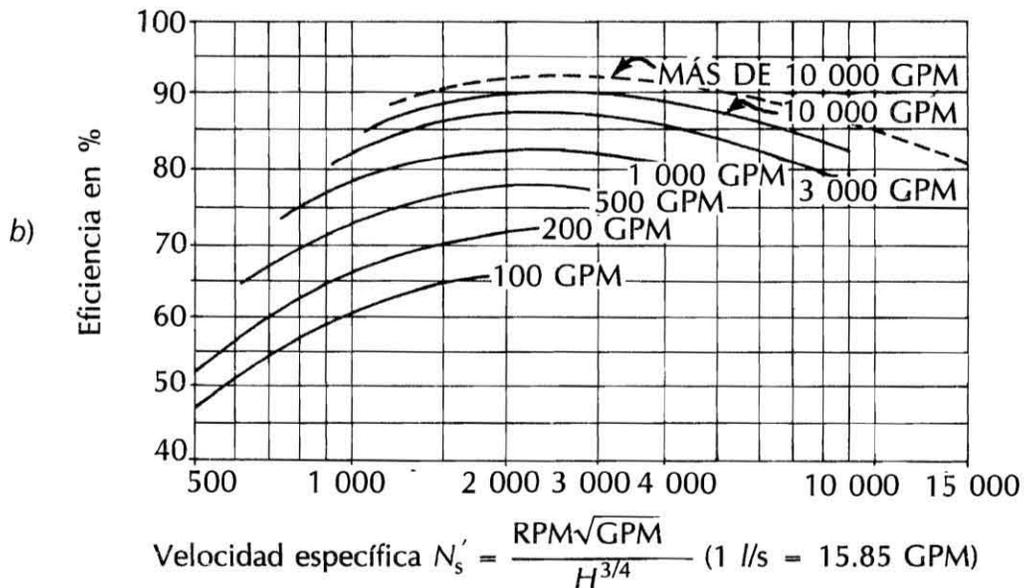
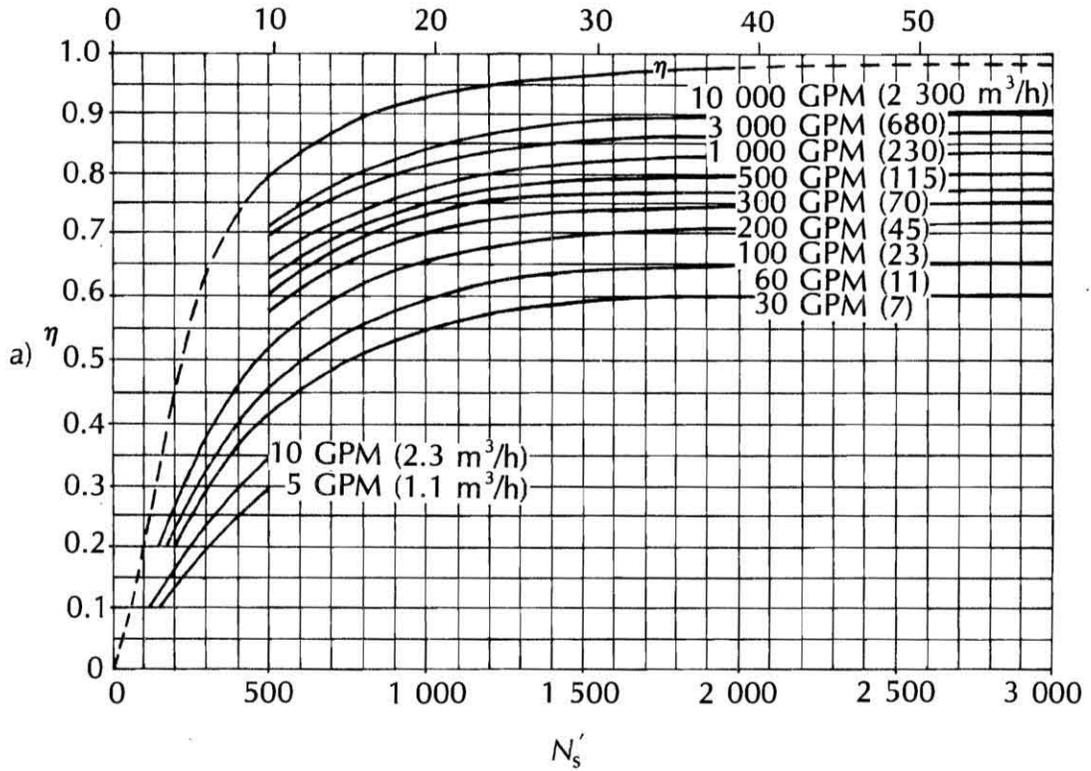
		Flow in GPM																		
		Large Pipe Spans							Small Pipe Spans											
Large Pipe Spans	Small Pipe Spans	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800
		0	15	30.8	37.3	44.4	52.1	60.4	69.3	78.9	89.1	99.8	111.2	123.3	135.9	149.1	163.0	177.5	192.6	208.3
1	14	28.4	34.4	40.9	48.1	55.7	64.0	72.8	82.2	92.1	102.7	113.7	125.4	137.6	150.4	163.8	177.7	192.2	207.3	222.9
2	13	26.1	31.6	37.6	44.1	51.2	58.7	66.8	75.4	84.6	94.2	104.4	115.1	126.3	138.1	150.3	163.1	176.4	190.3	204.6
3	12	23.8	28.8	34.3	40.3	46.7	53.6	61.0	68.9	77.3	86.1	95.4	105.1	115.4	126.1	137.3	149.0	161.2	173.8	186.9
4	11	21.7	26.3	31.3	36.7	42.5	48.8	55.6	62.7	70.3	78.4	86.8	95.7	105.0	114.8	125.0	135.6	146.7	158.2	170.2
5	10	19.7	23.9	28.4	33.3	38.6	44.4	50.5	57.0	63.9	71.2	78.9	87.0	95.4	104.3	113.6	123.2	133.3	143.7	154.6
6	9	17.9	21.7	25.8	30.3	35.1	40.3	45.9	51.8	58.0	64.7	71.7	79.0	86.7	94.8	103.2	112.0	121.1	130.6	140.4
7	8	16.3	19.7	23.5	27.6	32.0	36.7	41.8	47.2	52.9	58.9	65.3	72.0	79.0	86.3	94.0	102.0	110.3	119.0	127.9
8	7	14.9	18.1	21.5	25.3	29.3	33.6	38.3	43.2	48.4	54.0	59.8	65.9	72.3	79.1	86.1	93.4	101.0	109.0	117.2
9	6	13.8	16.7	19.9	23.3	27.1	31.1	35.4	39.9	44.8	49.9	55.3	60.9	66.9	73.1	79.6	86.3	93.4	100.7	108.3
10	5	12.9	15.8	18.6	21.8	25.3	29.1	33.1	37.3	41.9	46.8	51.7	57.0	62.5	68.3	74.4	80.7	87.3	94.2	101.3
11	4	12.3	14.8	17.7	20.7	24.0	27.6	31.4	35.4	39.7	44.3	49.0	54.1	59.3	64.8	70.6	76.6	82.9	89.4	96.1
12	3	11.8	14.3	17.0	20.0	23.2	26.6	30.2	34.1	38.3	42.6	47.3	52.1	57.2	62.5	68.0	73.8	79.9	86.1	92.6
13	2	11.6	14.0	16.6	19.5	22.6	26.0	29.6	33.4	37.4	41.7	46.2	51.0	55.9	61.1	66.5	72.2	78.1	84.2	90.6
14	1	11.4	13.8	16.5	19.3	22.4	25.7	29.3	33.1	37.1	41.3	45.8	50.4	55.4	60.5	65.9	71.5	77.3	83.4	89.7
15	0	11.4	13.8	16.4	19.3	22.4	25.7	29.2	33.0	37.0	41.2	45.7	50.3	55.2	60.4	65.7	71.3	77.2	83.2	89.5

Center Pivot Pressure Loss in PSI															
		Large Pipe I.D. 6.395				Span Length 157.00									
		Small Pipe I.D. 5.363				Span Length 157.00									
Large Pipe Spans	Small Pipe Spans	Flow In GPM													
		1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
0	13	64.5	78.1	92.9	109.1	126.5	145.2	165.2	186.5	209.1	233.0	258.2	284.7	312.4	341.5
1	12	59.2	71.7	85.3	100.1	116.1	133.3	151.6	171.2	191.9	213.8	236.9	261.2	286.6	313.3
2	11	54.0	65.4	77.8	91.3	105.9	121.5	138.3	156.1	175.0	195.0	216.1	238.2	261.5	285.8
3	10	49.1	59.4	70.6	82.9	96.1	110.4	125.6	141.8	158.9	177.1	196.2	216.3	237.4	259.5
4	9	44.4	53.8	64.0	75.1	87.1	100.0	113.8	128.4	144.0	160.4	177.7	196.0	215.1	235.1
5	8	40.3	48.7	58.0	68.0	78.9	90.6	103.1	116.3	130.4	145.3	161.0	177.5	194.8	212.9
6	7	36.6	44.3	52.7	61.8	71.7	82.3	93.7	105.8	118.6	132.1	146.4	161.4	177.1	193.6
7	6	33.5	40.6	48.3	56.6	65.7	75.4	85.8	96.9	108.6	121.0	134.1	147.8	162.2	177.3
8	5	31.0	37.6	44.7	52.5	60.8	69.9	79.5	89.7	100.6	112.1	124.2	136.9	150.3	164.2
9	4	29.2	35.3	42.0	49.3	57.2	65.7	74.7	84.4	94.6	105.4	116.8	128.7	141.3	154.4
10	3	27.9	33.8	40.2	47.2	54.7	62.8	71.5	80.7	90.5	100.8	111.7	123.1	135.2	147.7
11	2	27.2	32.9	39.1	45.9	53.3	61.2	69.6	78.5	88.1	98.1	108.7	119.9	131.5	143.8
12	1	25.8	32.5	38.7	45.4	52.6	60.4	68.7	77.6	87.0	96.9	107.4	118.4	129.9	142.0
13	0	25.8	32.4	38.6	45.2	52.5	60.2	68.5	77.4	86.7	96.6	107.1	118.1	129.6	141.6
Large Pipe Spans	Small Pipe Spans	Flow In GPM													
		1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800
0	14	156.2	177.7	200.6	224.9	250.6	277.7	306.1	336.0	367.2	399.8	433.9	469.3	506.0	544.2
1	13	144.2	164.1	185.2	207.7	231.4	256.4	282.6	310.2	339.0	369.2	400.6	433.3	467.2	502.5
2	12	132.5	150.7	170.1	190.7	212.5	235.5	259.6	284.9	311.4	339.1	367.9	398.0	429.2	461.5
3	11	121.2	137.9	155.6	174.5	194.4	215.4	237.5	260.6	284.9	310.2	336.6	364.0	392.6	422.2
4	10	110.6	125.8	142.0	159.2	177.4	196.6	216.7	237.8	259.9	283.0	307.1	332.2	358.2	385.2
5	9	100.8	114.7	129.5	145.2	161.8	179.2	197.6	216.9	237.0	258.1	280.1	302.9	326.7	351.3
6	8	92.1	104.8	118.3	132.6	147.8	163.8	180.5	198.2	216.6	235.8	255.9	276.8	298.5	321.0
7	7	84.6	96.2	108.6	121.8	135.7	150.4	165.8	181.9	198.8	216.5	234.9	254.1	274.0	294.7
8	6	78.3	89.1	100.6	112.7	125.6	139.2	153.4	168.4	184.1	200.4	217.5	235.2	253.7	272.8
9	5	73.3	83.4	94.1	105.5	117.6	130.3	143.7	157.7	172.3	187.6	203.6	220.2	237.5	255.4
10	4	69.6	79.2	89.4	100.2	111.6	123.7	136.4	149.7	163.6	178.1	193.3	209.0	225.4	242.4
11	3	67.1	76.3	86.1	96.6	107.6	119.2	131.4	144.2	157.7	171.7	186.3	201.5	217.3	233.7
12	2	65.6	74.6	84.2	94.4	105.2	116.6	128.5	141.1	154.2	167.9	182.2	197.0	212.5	228.5
13	1	64.9	73.9	83.4	93.5	104.2	115.4	127.3	139.7	152.6	166.2	180.4	195.1	210.4	226.2
14	0	64.8	73.7	83.2	93.3	103.9	115.2	127.0	139.4	152.3	165.8	179.9	194.6	209.9	225.7

Fig. D11 Tabla (Chart B), Utilizada en el Ejemplo 2, para determinar perdidas por friccion en un pivote de 14 torres



Fig.D12. Gráficas de eficiencia versus velocidad específica. Tomadas del libro Aprovechamientos Hidroeléctricos y de bombeo. Humberto Gardea Villegas. Trillas, 1992, página 157.



Apéndice E. Fotografías

E.1 Fotografías relativas al mantenimiento del Pivote Central

	
<p>PIVOTE CENTRAL</p> <ul style="list-style-type: none">ENGRASAR LA CABEZA GIRATORIACOMPROBAR EL ESTADO DEL COLECTOR ELÉCTRICOCOMPROBAR EL ESTADO DE CABLES Y CUADRO ELÉCTRICOCOMPROBAR LA TOMA DE TIERRA (APRETAR, LIMPIAR)COMPROBAR TUERCAS Y TORNILLOS	<p>ELEMENTOS DEL EQUIPO CON NECESIDADES DE MANTENIMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none">PIVOTE CENTRAL TRAMOS Y MECANISMOS ALINEACIÓN SISTEMA DE TRACCIÓN CARTA DE EMISORES Y SISTEMA HIDRÁULICO 
<p>TUBO GIRATORIO</p>  <p>ENGRASAR PERIÓDICAMENTE</p>	<p>TRAMOS</p>  <p>COMPROBAR UNIONES DE TRAMOS Y BRIDAS</p>

TRAMOS

COMPROBAR DRENAJES

TRAMOS

LIMPIAR ELEMENTOS
INCLUIR REPELENTE DE INSECTOS

SISTEMA MOTRIZ

SISTEMA MOTRIZ : MOTOR

ACEITE

SISTEMA MOTRIZ : REDUCTOR

ACEITE

SISTEMA MOTRIZ : REDUCTOR



COMPROBAR FUGAS EN RETENES

SISTEMA MOTRIZ : REDUCTOR



VACIAR POR EL TAPÓN DE DRENAJE HASTA QUE DEJE DE SALIR AGUA Y COMIENCE A SALIR ACEITE

SISTEMA MOTRIZ : REDUCTOR



SISTEMA MOTRIZ : RUEDAS



Costos de Mantenimiento

Estimación de costos de una revisión anual de un pivote de 5 tramos
Cambios de aceite y engrases
Mecanismos de alineación
Cuadro eléctrico, colector y cajas de torre
Holguras transmisiones
Presión de ruedas
Averías normales: crucetas, transmisiones
6 horas de oficial
Costo aproximado 600 dólares

Costos de funcionamiento

CONSUMO ENERGÉTICO
FUNCIONAMIENTO: 1.000 HORAS/AÑO



GENERADOR
1 L/H

1200 dólares/año



LÍNEA ELÉCTRICA

600 dólares/año

E.2 Fotografías relativas al montaje del Pivote Central







Instalando los aspersores



Levantando las torres



Uniendo los tramos



Gatos de palanca para cambiar reductoras y ruedas



Glosario

1. Agronómico. Relativo a las relaciones suelo - agua - cultivo - clima - hombre.
2. Aspersor. Dispositivo diseñado para distribuir el agua de riego sobre el suelo en forma de lluvia artificial.
3. artificial.
4. Bombeo. Proceso que proporciona agua y presión al sistema de riego, que comprende, además de todos los accesorios necesarios, el conjunto motor-bomba y la fuente de energía.
5. Boquilla. Accesorio del aspersor formado de uno o más orificios sujeto a una carga de presión tal que produce la emisión de un chorro de agua hacia la atmósfera.
6. Cabezal del sistema de riego. Conjunto de válvulas, medidores y otros accesorios que permiten controlar el gasto y la presión al inicio del sistema de riego.
7. Diámetro de cobertura. Diámetro del círculo humedecido por el aspersor durante su funcionamiento.
8. Evapotranspiración. Efecto combinado de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas, expresada en mm/día.
9. Gasto de descarga del bombeo. Gasto a la presión de descarga que debe proporcionar el sistema de bombeo para satisfacer el gasto de proyecto.
10. Gasto de proyecto o diseño. Gasto proyectado a la entrada del cabezal de riego para el funcionamiento del sistema.
11. Gasto de trabajo del aspersor. Gasto a la presión media de operación del aspersor calculada por el proyectista.
12. Hidrante. Dispositivo de control del flujo para operar la línea lateral.
13. Intensidad de riego. Lámina por unidad de tiempo que proporciona el sistema.
14. Lámina bruta. Lámina neta afectada por la eficiencia de aplicación del sistema, medida en milímetros.
15. Lámina neta. Cantidad de agua requerida por el cultivo, medida en milímetros.
16. Línea lateral. Ramal de la tubería principal que abastece de agua a los aspersores que son instalados directamente sobre la misma o por medio de tubos elevadores.
17. Presión de descarga del bombeo. Presión a la descarga del sistema de bombeo que satisface la presión de proyecto.
18. Presión de proyecto o diseño. Presión del agua proyectada a la entrada del cabezal de riego para el funcionamiento del sistema.
19. Presión de trabajo del aspersor. Presión media de operación del aspersor que se encuentra en el intervalo de presiones de trabajo; esta presión puede ser igual a la presión nominal del aspersor.
20. Sección de riego. Conjunto de aspersores, tuberías y accesorios que permiten regar una superficie de terreno al mismo tiempo y con control independiente.

21. Seguridad. Medidas y/o dispositivos de protección que un sistema de riego debe cumplir para reducir al mínimo las posibilidades de ocasionar daños físicos a los operadores, al sistema, y de contaminar el agua y al medio ambiente.
22. Separación entre aspersores. Distancia entre aspersores a lo largo de la línea lateral.
23. Separación entre líneas laterales. Distancia perpendicular entre líneas laterales.
24. Sistema de riego por aspersion. Conjunto de elementos que se emplean para abastecer, conducir, controlar y distribuir el agua a presión hasta los puntos de emisión y aplicarla en forma de lluvia artificial.
25. Tiempo de operación. Es el tiempo máximo diseñado para operar el sistema en un día.
26. Tiempo de riego por posición. Es el tiempo requerido para satisfacer las necesidades de agua del cultivo en una superficie determinada.
27. Tubería secundaria. Tubería que se encarga de conducir el agua desde la unidad de control de la sección hasta las líneas laterales.
28. Verificación. Confirmación del cumplimiento de los requisitos especificados, mediante el examen y aporte de evidencia objetiva.
29. Cárcamo de bombeo. El cárcamo de bombeo es un depósito enterrado, en general de concreto, la función de básica del cárcamo es tomar el agua de la fuente de abastecimiento; eliminar la mayor cantidad de sólidos en suspensión y azolves del agua; y ponerla a disposición del equipo de bombeo para que este la impulse al sistema de riego. Las partes básicas del cárcamo de bombeo son: la obra de toma, el sedimentador, el sistema de prefiltrado y el foso de bombeo.
30. Obra de toma. La obra de toma permite tomar el agua de la fuente de abastecimiento para conducirla hasta el foso. Las partes básicas de la obra de toma son la estructura de entrada, las rejillas, el dispositivo de control y el conducto.
31. Diseño agronómico: este proceso consiste en dimensionar la superficie máxima de cada unidad, así como su tiempo de riego a partir de la lámina de diseño, el gasto disponible y de diseño, el tiempo de operación, el gasto del emisor y otras variables.
32. Diseño de la red hidráulica: consiste en calcular, bajo un criterio de optimización, el diámetro de las tuberías regantes, distribuidoras y de conducción; así como la pérdida de energía de la red.
33. Diseño de la unidad de control general y equipo de bombeo: se seleccionan los elementos de la unidad de bombeo de acuerdo con las necesidades de filtrado y de inyección del sistema de riego; la unidad de bombeo se selecciona para satisfacer la carga dinámica total necesaria para operar el sistema de riego, incluido el sistema de inyección de agroquímicos.
34. Diseño de la obra civil: se diseña el cárcamo de bombeo y en algunos casos también la obra de toma, el canal de llamada, las instalaciones eléctricas, la caseta de controles, los atraques y otros elementos adicionales. El cárcamo de bombeo es la obra civil más importante, ya que es esencial para la correcta operación del sistema de impulsión; el cárcamo de bombeo y el resto de las obras

- se diseñan para satisfacer la demanda de agua del sistema de riego y las solicitudes a las que estarán expuestas.
35. Melga. Se compone de dos surcos tapados con un surco pequeño en sus extremos, el ancho es de aproximadamente 2 m y se utiliza para cultivos de inundación o que requieren mucha agua en el riego (arroz, alfalfa, etc.). así es que una melga es un "canal" donde se regara un cultivo específico y que el agua se infiltrara en el suelo.
 36. Radio de mojado de un aspersor. Es el máximo alcance de mojado del aspersor y cuyo valor es importante conocer para estimar el área de mojado y determinar el espaciamiento máximo entre aspersores para obtener máxima uniformidad.
 37. Cavitación. Procede del latín "cavus", que significa espacio hueco o cavidad. En los diccionarios técnicos se define como 'la rápida formación y colapso de cavidades en zonas de muy baja presión en un flujo líquido. En el contexto de las bombas centrifugas, el término cavitación implica un proceso dinámico de formación de burbujas dentro del líquido, su crecimiento y subsecuente colapsamiento a medida que el líquido fluye a través de la bomba. Generalmente las burbujas que se forman dentro de un líquido son de dos tipos: Burbujas de vapor o burbujas de gas.
 38. La Cavitación Vaporosa. Es la forma de cavitación más común en las bombas de proceso. Generalmente ocurre debido a fenómenos de recirculación interna. Se manifiesta como una reducción del desempeño de la bomba, ruido excesivo, alta vibración y desgaste en algunos componentes de la bomba. La extensión del daño puede ir desde unas picaduras relativamente menores después de años de servicio, hasta fallas catastróficas en un corto periodo de tiempo.
 39. La Cavitación Gaseosa. Se produce por efecto de gases disueltos (más comúnmente aire) en el líquido. Esta cavitación raramente produce daño en el impulsor o carcasa. Su efecto principal es una pérdida de capacidad.
 40. Presión estática, (ps). La presión estática en una corriente de fluido es la fuerza normal por unidad de área actuando sobre un plano o contorno sólido en un punto dado. Describe la diferencia de presión entre el interior y el exterior de un sistema, despreciando cualquier movimiento en el líquido. Por lo tanto, la presión estática en un punto de un ducto, es la diferencia entre la presión interna y externa en ese punto, omitiendo cualquier movimiento del flujo en su interior. En términos de energía, la presión estática es una medida de la energía potencial de un fluido. Presión Dinámica (pd). Un fluido en movimiento ejerce una presión más alta que la presión estática debido a la energía cinética ($mv^2/2$) del fluido. Esta presión adicional se define como presión dinámica. Se puede medir convirtiendo la energía cinética del fluido en energía potencial. Presión Total (pt). Se define como la suma de la presión estática más la presión dinámica. Es una medida de la energía total de una corriente de fluido en movimiento. Esto es, energía cinética más energía potencial.

41. Caudal (Q): Volumen de líquido que maneja una bomba por unidad de tiempo en las condiciones de operación. Altura de elevación de una bomba (H): es el trabajo neto cedido a una unidad de peso del fluido bombeado al pasar desde la brida de aspiración a la de impulsión.
42. Potencia hidráulica (P): es la potencia cedida por la bomba al fluido expresada habitualmente en C.V. Eficiencia o rendimiento hidráulico (η): es el coeficiente resultante de dividir la potencia hidráulica por la potencia suministrada al eje de la bomba, por lo que representa el porcentaje de potencia que se transmite al fluido respecto del total suministrado al eje. Carga neta de aspiración.

$$P(C.V.) = \frac{Q \cdot H \cdot \delta}{75}$$

donde

$$Q(l/seg) \text{ Caudal}$$

$$H(mcl)$$

43. NPSH (Net Positive Suction Head): Es la carga de aspiración total, determinada en la boca de succión de la bomba, menos la presión de vapor del líquido a la temperatura que circula, ambas expresadas en metros.
44. NPSHd (disponible): Es característica del sistema. Es la máxima energía disponible de un líquido en un punto del sistema, que se puede invertir en recorrer la línea desde el punto hasta la boca de succión de la bomba, de forma que no se produzca cavitación en la bomba. Es la diferencia entre la energía total del fluido en la aspiración de la bomba y la presión de vapor del líquido.
45. NPSHr (requerido): Es una característica de la misma. Es la mínima energía necesaria que debe tener un líquido en la entrada de la bomba, para que no se presente cavitación.

$$NPSHd > NPSHr$$

Si no se obtiene el NSPH requerido se producirá una vaporización más o menos parcial del líquido, con el resultado de la formación de bolsas de gas. El fenómeno se conoce con el nombre de cavitación y puede ocasionar desperfectos mecánicos en la bomba al desaparecer las burbujas de gas cuando la presión aumenta que posteriormente implosionan; al mismo tiempo se produce un apreciable aumento de la vibración y del ruido, así como una disminución de las presiones de descarga y de aspiración, lo que puede provocar que la bomba se vacíe de líquido.

46. Velocidad específica (Ns): es una correlación entre la capacidad, altura y velocidad de una bomba a eficiencia óptima. Clasifica el rodete o rodetes de la bomba con respecto a su semejanza geométrica. Su expresión es:

$$N_s (rpm) = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

donde

$$N = rpm$$

$$Q = m^3/seg$$

$$H = mcl$$