

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”.**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**DISEÑO HIDRAULICO E INSTALACION DE UN SISTEMA DE PIVOTE  
CENTRAL EN LA PEQUEÑA PROPIEDAD LOS ARENALES.**

**POR**

**TOMAS MARTÍNEZ GASPAR.**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO  
DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**TORREÓN, COAHUILA**

**DICIEMBRE DE 2010**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DISEÑO HIDRAULICO E INSTALACION DE UN SISTEMA DE PIVOTE CENTRAL  
EN LA PEQUEÑA PROPIEDAD LOS ARENALES.

TESIS DEL C. **Tomás Martínez Gaspar** QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

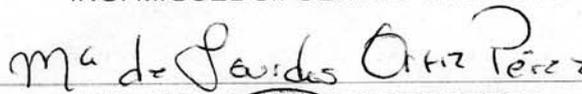
ASESOR PRINCIPAL

  
Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

ASESOR

  
ING. MIGUEL SIFUENTES CABRERA

ASESOR

  
ING. MA. LOURDES ORTIZ PEREZ

ASESOR

  
M.C. VICTOR MARTINEZ CUETO

  
M.C. VICTOR MARTINEZ CUETO  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA

DICIEMBRE DEL 2010

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Diseño hidráulico e instalación de un sistema de pivote central en la  
pequeña propiedad los arenales”

Tomás Martínez Gaspar

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

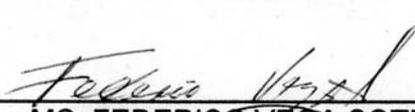
PRESIDENTE:

  
Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

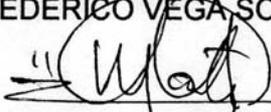
VOCAL:

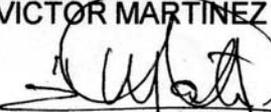
  
ING. MIGUEL SIFUENTES CABRERA

VOCAL:

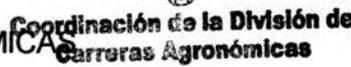
  
MC. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL SUPLENTE:

  
MC. VICTOR MARTINEZ CUETO

  
MC. VICTOR MARTINEZ CUETO



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS 

TORREÓN COAHUILA

DICIEMBRE DEL 2010

## **DEDICATORIA**

**A dios:** cuídame en mi vida, dándome la oportunidad de conocerte y creer en ti gracias por todo este mundo tan maravilloso.

**A mis hermanos:** hermanos Dora Alicia Martínez Gaspar, Fermín Martínez Gaspar, Ana Cristina Martínez Gaspar y Joaquín Martínez Gaspar, por su apoyo y confianza que tuvieron en mi.

**A mi madre:** Magdalena Gaspar Martínez por darme la vida y su gran esfuerzo que hizo por mí, para que yo realizara mis sueños. Gracias a sus consejos para seguir adelante y su cariño. Una madre tan luchadora que hizo todo su esfuerzo, espero cuidar de ella como lo hizo conmigo gracias mamá te quiero.

**A mi esposa e hijo:** Karen Mishel Jiménez Jiménez, y Naxim Gael Martínez Jiménez por ser motivo de inspiración para esforzarme y lograr mis metas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al mi “Alma Terra Mater” por darme la oportunidad de estudiar y proporcionarme sus conocimientos.

Al departamento de riego por soportarme cuatro años y medio y darme la facilidad de aprender las técnicas del uso y manejo del agua.

Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna por asesórame en la tesis y esfuerzo que hizo para yo poder presentar mi examen profesional, gracias.

Ing. Miguel Sifuentes Cabrera por ayudarme y asesorarme en el cálculo del diseño de pivote central y por proporcionarme sus conocimiento, gracias.

Prof. Walter Teele Abaroa por permitirme realizar mi trabajo de tesis en su empresa Ultra Riegos de la Laguna.

A mis amigos y compañeros de noveno de riego por convivir conmigo durante el transcurso de la carrera y estar unidos ante cualquier problema que tuvimos, gracias a todo ellos y les deseo todo lo mejor, espero algún día volvernos a reunir después de egresar.

## INDICE DE CONTENIDO

## PÁGINAS

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
INDICE DE CONTENIDO.....	III
INDICE DE CUADROS .....	VI
RESUMEN .....	VII
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.2. HIPOTESIS .....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Origen del pivote .....	3
2.2. Características generales .....	3
2.3. Tipo de boquilla.....	5
2.3.1. Aspersores de impacto.....	5
2.3.2. Boquillas Rociadoras.....	6
2.4. Manejo del pivote central.....	7
2.4.1. Lámina y distribución de presión .....	9
2.4.2. Eficiencia del pivote central .....	10
2.5. Rendimiento de cultivos .....	11
2.5.1. Rendimiento en la comarca lagunera de maíz con pivote central	12
2.6. Separación de emisores .....	12
2.7. Consideraciones de diseño.....	13
2.8. Ventajas y desventajas del equipo. ....	14
2.8.1. Ventajas .....	14
2.8.2. Desventajas .....	15
2.9. Información sobre la tubería de la marca de pivote central de Zimmatic, Valley y Reinke.....	16
2.9.1. Pivote central Zimmatic.....	16
2.9.2. Pivote central Valley .....	17
2.9.2.1. Base de pivote.....	17
2.9.3. Pivote central Reinke .....	18
2.9.3.1. Base del pivote.....	18

<b>III. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1. Localización geográfica.....	20
3.2. Clima.....	20
3.3. Característica del área del diseño .....	20
3.4. Característica del suelo .....	20
3.5. Análisis del agua .....	21
3.6. Ecuaciones para el diseño hidráulico .....	22
3.6.1. Requerimiento total de riego (GIR) .....	22
3.6.2. Gasto de diseño sin cañón final (Qs) .....	23
3.6.2.1. Sistema con cañón final o con un sistema esquinero (Qs) .....	24
3.6.3. Longitud hidráulica (Lh) .....	24
3.6.4. Pérdida de presión con más de 3 diámetros diferentes. ....	25
3.6.4.1. Grafica para calcular el porcentaje de pérdida de presión en la tubería .....	27
3.6.5. Perdida de carga localizada .....	28
3.6.6. Presión de trabajo del pivote .....	28
3.6.7. Determinación de gasto del aspersor.....	29
3.6.8. Determinación de la línea de conducción .....	30
3.6.9. Perdida de carga en conducción .....	30
3.6.10. Determinación de potencia del equipo.....	31
3.6.11. Horas por revolución con el temporizador a 100% .....	31
3.6.12. Profundidad de agua distribuida.....	32
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>33</b>
4.1. Calculo de evapotranspiración ( Etc). ....	33
4.2. Calculo de requerimiento total de riego (GIR) .....	33
4.3. Calculo de gasto de diseño sin cañón final (Qs) .....	34
4.4. Calculo de lateral con un solo diámetro de tubería de 6 5/8” por ser un diámetro estándar. ....	34
4.5. Análisis de # torres y diámetros a utilizar.....	35
4.6. Grafico para calcular la pérdida por fricción en un pivote central con más de un diámetro de tubería. ....	36
4.7. Calculo de presión de trabajo del pivote.....	38
4.7.1. Determinación de requerimiento para usar reguladores de presión.....	38
4.8. Cálculo de gasto de aspersor (qr en lps) .....	47

<b>4.9. Cálculo de diámetro de línea de conducción.....</b>	<b>47</b>
<b>4.9.1. Cálculo de pérdida de carga en conducción .....</b>	<b>48</b>
<b>4.10. Cálculo de pérdida por fricción total .....</b>	<b>48</b>
<b>4.11. Cálculo de potencia de la bomba.....</b>	<b>49</b>
<b>4.12. Cálculo de horas por revolución con el temporizador a 100% .....</b>	<b>49</b>
<b>4.13. Profundidad del agua distribuida .....</b>	<b>50</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>VI. RECOMENDACIÓN .....</b>	<b>51</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Aprovechamiento del área en equipos individuales.....	8
CUADRO 2. Necesidad de reguladores de presión.....	9
CUADRO 3. Comparación de rendimientos con varios tipos de sistema de riego.....	11
CUADRO 4. Longitudes de span Zimmatic.....	16
CUADRO 5. Voladizo disponibles Zimmatic.....	17
CUADRO 6. Longitudes de span Valley .....	18
CUADRO 7. Voladizo disponible Valley.....	18
CUADRO 8. Longitudes de span y voladizo Reinke.....	19
CUADRO 9. Calculo de pérdida por fricción en un pivote central con más de 3 diámetros diferentes.....	26
CUADRO 10. Pivote central perfil de presión.....	27
CUADRO 11. Calculo de pérdida por fricción en la lateral.....	36
CUADRO 12. Ejemplo de cálculo del % de pérdida de carga en cada diámetro.....	37
CUADRO 13. Uso de reguladores de presión.....	38
CUADRO 14. Calculo de gasto y presión de boquillas.....	39
CUADRO 15. Calculo de la tabla de precipitación.....	50
CUADRO 16. Velocidades de la maquina.....	54
CUADRO 17. Presión de neumático recomendado.....	54

## RESUMEN

El agua es un elemento vital para la humanidad, que ha sido afectado por el mal uso que se le da en la actividad agropecuaria, sector mayor demandante de agua.

En virtud de lo cual en el campo se han implementado sistemas de riego presurizado, más eficientes que incrementan el rendimiento en los cultivos que en riego por gravedad. En el sistema de riego por gravedad se tienen que aplicar grandes volúmenes para poder regar, además se genera estrés hídrico en la planta que afecta fuertemente en la producción si no se aplica oportunamente..

Ante esta situación este trabajo pretende proporcionar información de cómo diseñar un sistema de riego de pivote central para hacer un uso más eficiente del agua. Este tipo de sistemas es mas practico en su manejo y operación.

El análisis hidráulico realizado indica que los diámetros adecuados fueron de 8", 6 5/8" y 5 de voladizo para obtener un pivote central económico en su operación. Además se determino la presión de trabajo del pivote para un buen manejo que fue de 22.22 m.c.a. La capacidad de la bomba fue de 36 hp que se requiere para el funcionamiento del sistema, también se presenta el cálculo de la presión y gasto de la boquilla.

Adicionalmente se dan algunas recomendaciones a considerar antes de establecer un sistema de pivote central adecuado a el campo donde se vaya a diseñar e instalar.

**Palabras claves: Riego presurizado, pivote central, agua, eficiencia, análisis hidráulico, presión.**

## I. INTRODUCCION

En la actualidad el uso de sistemas de riego presurizado constituye una alternativa en el uso eficiente del agua, principalmente en las zonas agrícolas donde el recurso es escaso como es el norte de México. Actualmente se ha implementado el sistema de riego de pivote central, que puede regar gran superficie y permitir una mayor eficiencia de aplicación comparando con el sistema tradicional.

EL origen del riego con sistema de pivote central se remota a 1952 en Estados Unidos de América, y a partir de finales de la década de los 70, se produce una generalización a nivel mundial en su uso (Reynaldo 2006). El concepto básico del pivote central consiste en distribuir el agua de riego en 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 se cuenta con aspersores ya sea en la parte superior o mediante bajantes de manguera o metal, distribuidos de acuerdo a los requerimientos, cuya cabeza de riego o aspersor pueden ser ubicadas a distancia variable del suelo (Figuroa, 2008).

El sistema de pivote central puede alcanzar eficiencia tan alta como otros sistemas de riego, que varía de 80 a 95% de uniformidad con una selección adecuada de boquillas, condiciones de operación y ambiente (Stanley 2002). El diseño e instalación del sistema de pivote central en la pequeña propiedad las Arenas busca eficientar el uso del agua. Y proporcionar información necesaria sobre las láminas aplicadas en función del tiempo de avance.

## **1.1. OBJETIVOS**

1. Determinar la información requerida para un diseño.
2. Realizar el diseño hidráulico de un sistema de riego por pivote central.

## **1.2. HIPOTESIS**

Un buen diseño hidráulico y operación del pivote central permiten eficientar el uso del agua de riego.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. Origen del pivote**

A fines de los años 40, en Colorado (EEUU) un agricultor de 55 años llamado Frank Zybach inventó una manera de dormir tranquilo por la noche. El granjero Zybach patentó su invento, hoy conocido como pivote central y actualmente estos sistemas riegan millones de hectáreas en todo el mundo. Enorme economía de mano de obra, mayor rendimiento, seguridad de cosecha, mayor eficiencia en el uso del agua, ahorro en energía y agroquímicos, además de irrigar terrenos que difícilmente podrían ser regados por otros métodos, son algunos de los argumentos que han llevado al uso de los pivotes, desplazando al riego tradicional (superficial) y ahora, en algunas situaciones, se sobreponen incluso al riego localizado (goteo, goteo subterráneo, micro aspersión). Hoy, en todo el mundo, son decenas de miles los agricultores que duermen tranquilos, arrullados durante la noche por el zumbido de sus pivotes al regar o que a miles de kilómetros de distancia controlan sus equipos en un PC o teléfono móvil (Figuerola, 2008).

### **2.2. Características generales**

El sistema consiste en una tubería lateral, de acero galvanizado, que gira en torno a un punto fijo en el centro de la parcela regada de ahí, su denominación de "pivot" (Santos 2004). El pivote central es fabricados principalmente de acero galvanizado o aluminio. En general las secciones del pivote está conformadas por tubería de 6 5/8, 8 5/8 y 10 pulgadas y se ofrecen varias alturas de despeje, por ejemplo: perfil bajo: 1,85 – 1,95 m, perfil alto: 3,9 – 4 m, perfil ultra alto: 4,9 – 5 m. Entre más alto el pivote se eleva su costo que todas las piezas deben ser más robustas, y la base de las torres más anchas, etc. La altura también incide en la presión de trabajo ya que entre 2 y 5 m hay 3 m.c.a (4,27 psi) de diferencia de presión (Figuerola, 2008).

Se trata de una tubería de conducción porta emisores, dividida en tramos por una serie de torres cuya separación oscila generalmente entre 34 y 62 m. Tanto los elementos de cada tramo como las torres deben estar contruidos con materiales inalterables (aceros de calidad) y sometidos a tratamientos de galvanizado. La unión entre tramos se hace con coplees flexibles que varía de unas marcas a otras, además de permitir la articulación y giro entre tramos para adaptarse a los terrenos ondulados. Al final del pivote se suele disponer un tramo de tubería en voladizo, de longitud variable (6-30 m.) donde se instala el cañón final, en caso de llevarlo. La tubería porta emisores es simultáneamente tubería de conducción de agua y estructura portante del pivote. Adicionalmente, algunos equipos cuentan con sistema de esquina o cañón final que contribuye a aumentar, aún más, la superficie mojada, (De Santa, 2008). La longitud más común del pivote es 400 m y su vida útil es de 15 a 20 años (Morillo 2001).

La mayoría de pivotes son eléctricos, aunque también usan motores hidráulicos que son más caros. Un motor eléctrico normalmente de 3/4 HP va en cada torre para su movimiento en forma autónoma. Cables eléctricos y líneas hidráulicas van colocados longitudinalmente a la tubería lateral, contando con cajas de control en cada torre. Cada caja tiene un micro de seguridad. Si por cualquier causa el sistema se desalinea demasiado. Con ello se evitan daños estructurales. (Rodolf D. 2008). El panel de control usualmente se localiza en la estructura base o centro de pivote (Holzaphel, 2001).

Generalmente la torre más alejada del punto de Pivote controla el movimiento de la máquina. El tiempo de rotación es función de su longitud y velocidad, al considerar llantas de mayor diámetro o cajas reductoras de mas revoluciones se puede aumentar la velocidad de la ultima torre de (3.2 m/min.), normalmente se maneja con llantas de 14.9"x24". Un panel de control regula la velocidad media de la torre más alejada, que actúa como guía para el sistema completo. Esta torre se hace funcionar un cierto porcentaje de tiempo de cada minuto, un 100% produce que la máquina avance a máxima velocidad (mínimo tiempo de rotación), mientras al 50% de avance, la última torre se mueve a la mitad de la velocidad máxima, por lo cual la rotación más lenta aplica mayor cantidad de agua (Holzaphel, 2001).

## **2.3. Tipo de boquilla**

La clasificación más común de boquillas de los aspersores son de impacto y mecanismos de baja presión. Existen otras clasificaciones que incluyen los rociadores, y diversos tipos de boquilla con varias técnicas para aumentar el área de cobertura de cada boquilla (Allen et al, 2000).

### **2.3.1. Aspersores de impacto**

Los aspersores de impacto son mecanismos que se utilizan en el sistema portátil manual, de avance lateral y fijo. El chorro de agua golpea un brazo y se precipita en el terreno. El brazo regresa mediante un resorte, que se mueve un mecanismo de impacto que causa una ligera rotación de la boquilla. Normalmente se necesitan de 100 o más impactos para hacer girar la boquilla 360° (Allen et al , 2000).

La gran ventaja de los aspersores de impacto es que lanzan el agua a mayor distancia que cualquier tipo de boquilla. Esto es importante en laderas o suelo pesado que no infiltra el agua rápidamente, debido que una franja ancha significa menor agua por superficie (Allen et al , 2000)..

La mayor desventaja de los aspersores de impacto es que requieren de una mayor presión y el agua es lanzada al aire y expuesta al viento.

### **2.3.2. Boquillas Rociadoras**

El tipo básico de aspersores de baja presión es un plato estacionario con estrías, que al pasar el agua por una boquilla llega al plato que lanza el agua causando que el chorro se distribuya en un patrón circular. Estos rociadores operan con un patrón totalmente circular o parcial, y se manejan bien a baja presión. En muchos casos, esto significa que las boquillas deben estar menos espaciadas o más juntas, por lo tanto se necesitarían más boquillas (Allen et al , 2000)..

El sistema LEPA (del inglés: "bajo uso de energía en aplicación de precisión") ofrece considerables ventajas en los sistemas de Pívor Central. Consiste en un aspersor cónico que cuenta con cuatro opciones de aplicación del agua, incluidas por rociadura y tipo goteo, con la aptitud de regar el cultivo, a medida que el sistema avanza. Cuando se aplica junto con las técnicas agrícolas de ahorro de agua, este método puede tener una eficiencia máxima del 95 por ciento. Como este sistema funciona con baja presión, los costos energéticos se reducen de un 20 a un 50 por ciento, en comparación con los sistemas corrientes. En la actualidad, el Pívor Central se puede programar para regar y aplicar productos agroquímicos en el momento preciso. El sistema de riego de Pívor Central ofrece ventajas sobre el riego tradicional por inundación, especialmente en lo que se refiere, ahorros de mano de obra y agua, Uniformidad de aplicación (Montico 2010).

De los 6 emisores que se ofertan en el mercado internacional se han comprobado en Cuba hasta el momento tres (Spray, Rotator y Wobbler), los resultados obtenidos han sido buenos. Es factible la utilización de emisores del tipo Spray para suelos con altas velocidades de infiltración (suelos medios y ligeros). Para los suelos pesados se recomienda utilizar emisores del tipo Rotator y Wobbler, debido a la aplicación instantánea que ellos proporcionan (Gonzales 2002).

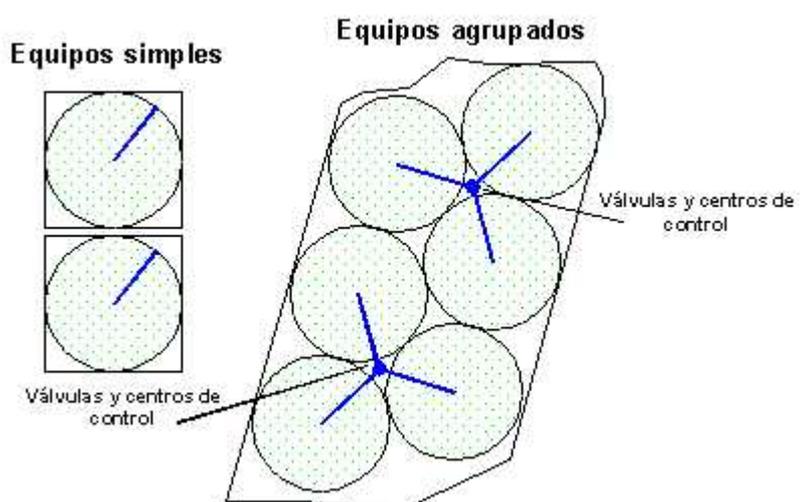
## **2.4. Manejo del pivote central**

La tecnología del Pivote Central con corriente eléctrica es considerada confiable, segura, simple de operar y requiere poca supervisión. Sin embargo, el manejo de estos equipos es diferente, comparado a otros métodos de riego. Estos sistemas se caracterizan por aplicar riegos pequeños, frecuentes (por ejemplo diarios) lo que ofrece numerosas ventajas en el manejo del agua y nutrientes, como también desventajas para el cultivo. Desde el punto de vista del agua y nutrientes, estos pueden ser aplicados en forma precisa.

Las pequeñas aplicaciones de agua pueden potencialmente reducir la lixiviación en suelo arenoso (o en arcilla agrietada). Desde el punto de vista del cultivo, el humedecimiento frecuente del follaje crea condiciones para enfermedades fungosas, especialmente en la zona más cercana al centro del pivote. El desarrollo radicular superficial es favorecido en muchos cultivos por riego frecuente y suave, habiendo poca amortiguación del efecto del estrés hídrico cuando el equipo falla. Razón por la cual, el nivel de agua en la zona superior a la zona radicular debe ser mantenido a niveles relativamente altos (Holzaphel, 2001).

El riego frecuente también requiere ajuste del tiempo de rotación, tal que la máquina no esté en el mismo punto del terreno cada día a la misma hora, ello para promediar pérdidas y sobre aplicación a través del campo en el tiempo. Así los tiempos de rotación múltiplos de 12 hrs. deben ser evitados (Holzaphel, 2001). Es importante destacar que el 75% del área se encuentra en la mitad externa del radio. Por ello el manejo se enfoca a las torres externas, pero enfermedades y problemas de distribución de agua ocurren en las porciones internas. El estado actual de la tecnología, trata el campo entero como un sistema suelo-cultivo uniforme (Holzaphel, 2001).

Los Pivotes son utilizados para regar de 2 a 200 hectáreas, aunque lo normal son 50 hectáreas. Consideraciones económicas limitan su uso a áreas menores de 25 hectáreas. Las áreas regadas con un pivote dependen del radio del lateral principal, más el radio producido por el cañón final y sistema de esquina. Si el pivote central es posicionado en el centro de un cuadrado de suelo sin cañón final, regará casi el 80% del área total. (Tabla 1). Los Pivotes son generalmente agrupados cuando son instalados sobre una gran extensión de suelo, tal que el 85% ó 95% del área sea regada.



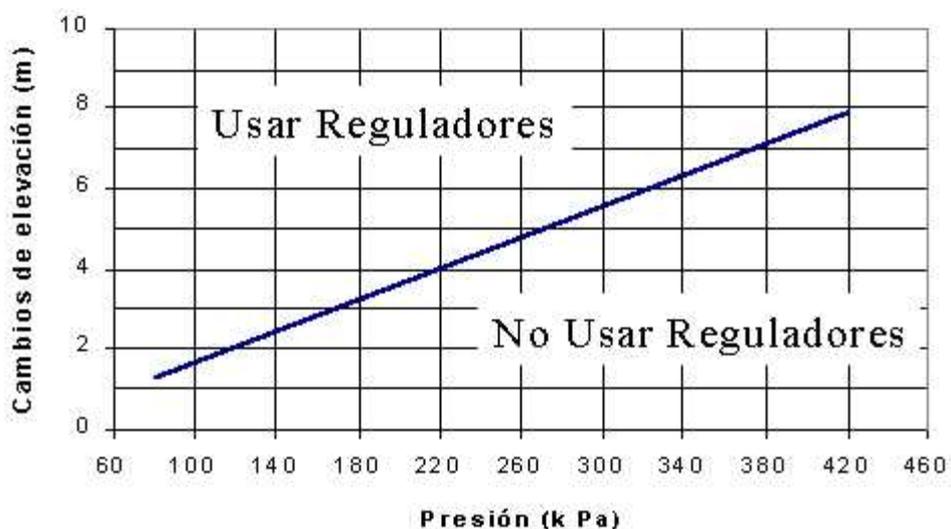
**Cuadro 1. Aprovechamiento del área en equipos individuales y agrupados.**

La presión de operación promedio del lateral de un pivote varía si la tubería va pendiente arriba o abajo. Esto puede resultar en gran variación en la descarga de los aspersores, por lo que puede ser necesario colocar reguladores de presión o boquillas reguladoras de flujo en cada aspersor (Holzaphel, 2001).

### 2.4.1. Lámina y distribución de presión

La tasa de flujo de los aspersores varía cuando el lateral avanza sobre suelo con pendiente a menos que se usen reguladores de presión. Los reguladores de presión son necesarios en cada aspersor si la presión varía en más de un 10% sobre el lateral, en cualquier punto del campo (Lagos 2001).

Los reguladores son casi siempre requeridos en sistemas de baja presión en terrenos con pendiente. La tabla 2 muestra una recomendación general sobre la necesidad del uso de reguladores de presión. La selección del regulador de presión depende de la presión del sistema y aspersor seleccionado. Boquillas de control de flujo también pueden ser una opción, pero grandes fluctuaciones en presión podrían afectar adversamente el patrón de distribución y tamaño de las gotas (Lagos 2001).



**Cuadro 2. Fuente Nelsonirrigation. Necesidad de reguladores de presión.**

#### **2.4.2. Eficiencia del pivote central**

La uniformidad de riego se relaciona con la uniformidad de rendimiento, cuando el agua no es una limitación. Sin embargo existen factores que afectan la operación normal de un sistema de pivote central en el campo, relacionados con la distribución del agua y por consiguiente, su uniformidad. Estos factores pueden ser divididos en tres categorías: climáticos, de equipamiento y operación (Stanley 2002).

Los climáticos son variables ambientales que pueden incidir en la distribución del agua de los aspersores. Entre los más importantes están la velocidad, dirección de viento y temperatura.

El equipamiento es un aspecto esencialmente constante en el diseño del sistema. Incluye características de los aspersores tales como, modelo, configuración y tamaño de boquilla, altura, condición hidráulica y espaciamiento entre uno y otro a lo largo del pivote.

La operación, son aquellas condiciones que el agricultor puede operar en forma conveniente. Correctamente la única variación que se considera es la presión de las boquillas. Sin embargo, también es posible cambiar la posición de la boquilla según el movimiento y parada del sistema con diferente lámina en un mismo ciclo.

Las boquillas difusoras deben de estar a un 1 m por encima del suelo y no es necesario usar reguladores de presión donde la pendiente muy suaves al menos de que el pivote sea de una longitud grande (Esquivel, 2010).

El patrón de aspersion tiene gran influencia en la uniformidad. Los aspersores de cabezal rotativo han maximizado la uniformidad en la irrigación mecanizada, actualmente la selección correcta del paquete de aspersores y diseño por computadora permite obtener valores de CU (Coeficientes de Uniformidad de Cristianasen) del 90 al 95%. Resultado de un buen patrón de superposición de aspersores y la cuidadosa consideración de las alturas de montaje con relación a altura del cultivo e interferencias estructurales de la máquina propiamente dicha. La uniformidad es limitada por un correcto diseño y calidad del equipo. La programación del mantenimiento preventivo y reparaciones son una buena estrategia para optimizar el desempeño (Nelsonirrigation, 2002).

Una buena práctica es evaluar el desgaste de boquillas y reguladores de presión, y reemplazando el paquete aspersor cuando sea necesario. Generalmente, cada cinco o seis años es lo máximo para asegurar la máxima uniformidad posible de vida del sistema de irrigación. La vida de un paquete de aspersores instalado en un sistema de irrigación mecanizado depende de la cantidad de abrasivos en el agua y otras condiciones (Nelsonirrigation, 2002).

El sistema LEPA (Aplicación Precisa de Baja Energía) en el pivote central el objetivo es minimizar la pérdida de arrastre de las gotas al caer por efecto del viento y evaporación, prevenir el escurrimiento, maximizar la infiltración de la lluvia y aprovechamiento del agua. Lo cual constituye una alternativa más en la búsqueda de mayor eficiencia en el uso del agua (Roque 2005).

## 2.5. Rendimiento de cultivos

Algunos de los cultivos que son regados con los sistemas de pivote central son: maíz, diferentes hortalizas, soja, trigo, algodón, maní, papa, girasol, alfalfa, sorgo, pasturas naturales, etc. Incluso existe experiencia internacional en riego con pivote de cultivos comerciales perennes como café, cítricos y otros (Arrieta 2007). En el sistema de riego de pivote central en alfalfa se ha tenido mayor rendimiento que los demás sistemas de riego como power roll y superficial (Rodríguez, 2004).

Cuadro 3. Comparación de rendimiento con varios tipos de sistema de riego (Rodríguez, 2004).

Forma de pago	Producción en ton/ha			
	Año 1	Año 2	Año 3	Promedio
Pivote central	136.1	135.6	108.5	126.7
Power Roll	110.8	124.8	96.3	110.4
Riego Superficial	91	100.2	52.4	81.2

### **2.5.1. Rendimiento en la comarca lagunera de maíz con pivote central**

Los rendimientos que se han tenido en la comarca lagunera con el uso de pivote central son las siguientes (anónimo). En el maíz amarillo de la variedad 31y43 se obtuvo un rendimiento de 60 toneladas con aspersores tipo LEPA.

### **2.6. Separación de emisores**

La configuración de las boquillas de los aspersores usados en muchas laterales del pivote central podrán ser algunas de las siguientes (Pérez 2001).

1. Espaciamiento uniforme: de 30 a 40 pies entre aspersores con incremento de descarga proporcional a la distancia del centro del pivote.
2. Aspersores con descarga uniforme: pero con disminución de las distancias entre ellos, desde 30 pies cerca del punto del pivote hasta 5 pies en proporción inversa a las distancia al mismo.
3. Combinación de las alternativas 1 y 2: el espaciamiento uniforme entre salidas es lo más comúnmente usado por sencillez de fabricación y facilidad de armado en el campo. Sin embargo cuando se usa el espaciamiento uniforme de aspersores se requerirán boquillas relativamente grandes así como de altas presiones. Para evitar los problemas asociados con el uso de boquillas grandes, a menudo se usan la combinación con espaciamiento. Una estrategia típica de combinar espaciamientos, es usar aspersores separados a 40 pies a lo largo del primer tercio del lateral, a 20 pies a lo largo del tercio medio y a 10 pies para el último tercio del lateral.

4. Una configuración de emisores puede ser uniformemente espaciada a intervalos de 10 pies (3 m) a lo largo del lateral, y los emisores que no se usen se cierran con tapones en las mangueras o salidas de la tubería principal. Por ejemplo, los aspersores se instalan a cada cuatro emisores a lo largo del primer tercio, cada dos emisores a lo largo del tercio medio y a cada emisor a lo largo de último cuarto de lateral.

Las máquinas modernas tienen espaciamiento uniforme de aspersores que varía entre 2,3 a 3 m, dependiendo del fabricante. Cerca del centro, donde el avance es lento, puede ocurrir que no todas las salidas tengan un aspersor instalado, con el fin de reducir la aplicación de agua. Después de la primera torre todas las salidas tienen su aspersor. Las máquinas son generalmente diseñadas para operar a 250 KPa o menos. Estas presiones son insuficientes para los cañones finales, por lo que se colocan bombas eléctricas en la última torre. La descarga de los cañones finales y el sistema esquinero deben ser controlados para no mojar caminos, flujos de agua, redes de drenaje, especialmente cuando se aplican químicos (Holzaphel, 2001).

## **2.7. Consideraciones de diseño**

Las máquinas deben ser diseñadas adecuadas a cada sitio. La información colectada debe incluir 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 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 (Holzaphel, 2001).

## **2.8. Ventajas y desventajas del equipo.**

En general, las ventajas como desventajas del equipo vienen dadas del sistema de riego por aspersión, que se complementan, con las características propias del sistema con Pivote Central (Montemayor 2008).

### **2.8.1. Ventajas**

Las ventajas del pivote central son las siguientes:

- Debido a que la dosis de riego es únicamente función de la velocidad de rotación, puede adaptarse tanto a dosis grandes como pequeñas.
- 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
- El poder modificar la pluviometría permite al sistema adaptarse a distinto tipo de suelo.
- El sistema permite realizar riego de alta uniformidad.
- No necesita nivelación, adaptándose a topografía ondulada. Esto permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil.
- Posee bajo costo por hectárea.
- Bajo costo de operación.
- El sistema trabaja a baja presión requiriendo menor energía.
- Permite una rotación de cultivos, con la condición de que el dimensionamiento se realice para el cultivo más exigente.

### **2.8.2. Desventajas**

Las desventajas del pivote central son las siguientes:

- Un alto costo inicial.
- 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 asperjada por los rociadores, el 40 al 25% se evapora directamente a la atmósfera y no es aprovechada por el cultivo.
- 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.
- Necesita de adaptación de los predios para su funcionamiento (mover cercos, realizar nuevos trazados de líneas eléctricas, eliminar arboles, modificar caminos, etc).
- Al ser un sistema de riego circular se puede perder la superficie en las esquinas de los predios.
- Para un buen manejo del riego y presencia de varios cultivos bajo el Pivote, el sistema obliga a cultivar en sectores circulares.
- Requiere de sistemas de decantación y filtraje cuando se presenta problema con la calidad del agua.
- En suelo muy arcilloso o problemas de sodicidad puede ser no costable este sistema de riego.

## 2.9. Información sobre la tubería de la marca de pivote central de Zimmatic, Valley y Reinke.

### 2.9.1. Pivote central Zimmatic

El punto de pivote consta de patas angulares de acero galvanizado fuerte de 3/8 pulg (0.95 cm) y travesaños de alta resistencia (3/16 pulg/0.48 cm) que forman una base sólida, aun para los sistemas más largos.

En el cuadro 4 se muestra las longitudes de span que dispone Zimmatic.

**Cuadro 4. Longitudes de span Zimmatic ([www.zimmatic.com](http://www.zimmatic.com)).**

Diámetro de tubería	Longitud ft	Longitud m
10"	113	34.44
10"	135	41.14
8"	113	34.44
8"	135	41.14
8"	157	47.85
8"	179	54.55
6 5/8"	135	41.14
6 5/8"	157	47.85
6 5/8"	179	54.55
6 5/8"	201	61.26
5 9/16"	135	41.14
5 9/16"	157	47.85
5 9/16"	179	54.55

**En el cuadro 5 se presentan las longitudes disponibles por Zimmatic.**

**Cuadro 5. Voladizos disponibles Zimmatic ([www.zimmatic.com](http://www.zimmatic.com)).**

Diámetro de la tubería	Longitud ft	Longitud m
5 9/16"	11	3.35
5 9/16"	22	6.7
5 9/16"	33	10
5 9/16"	44	13.4
5 9/16"	66	20.1
5 9/16"	88	26.82

## **2.9.2. Pivote central Valley**

### **2.9.2.1. Base de pivote**

Equipado con juego completo de riostras en los cuatro lados como equipo estándar para mayor resistencia y estabilidad. El pivote flexible opcional permite el uso en terrenos accidentados. La camisa resistente a corrosión gira uniformemente dentro del sello del elevador. El sello de reborde triple impregnado con Teflon evita las fugas. El buen contacto de las escobillas con el anillo colector asegura el suministro confiable de energía a las unidades propulsoras. La escalera de acceso opcional facilita la lubricación del codo giratorio y los ajustes mecánicos de control de posición. El tubo elevador de acero inoxidable y el sello de Delrin opcionales se ofrecen para uso con agua corrosiva.

En el cuadro 6 se presentan las longitudes de span disponibles de la Valley

**Cuadro 6. Longitudes de span Valley ([www.valmont.com/irrigation/](http://www.valmont.com/irrigation/)).**

Diámetro pulgada	Diámetro mm	Span ft	Span m
10	254	109.7	33.43
10	254	119	36.54
10	254	127.8	38.95
8 5/8"	219	115.8	35.29
8 5/8"	219	136	41.45
8 5/8"	219	140	42.67
8 5/8"	219	160.8	49.01
6 5/8"	168	115.8	35.29
6 5/8"	168	136	41.45
6 5/8"	168	140.8	42.91
6 5/8"	168	160.8	49.01
6 5/8"	168	180.8	55.11
6 5/8"	168	185.6	56.57
6 5/8"	168	187.5	57.15
6 5/8"	168	205.7	62.69

En el cuadro 7 se presenta los voladizos disponibles de la Valley.

**Tabla 7. Voladizos disponibles de Valley ([www.valmont.com/irrigation/](http://www.valmont.com/irrigation/)).**

Diámetro	Longitud ft	Longitud m
65/8"	18.10	5.52
65/8"	27.42	8.36
65/8"	36.20	11.03
65/8"	54.84	16.71
65/8"	63.62	19.39
6 5/8	82.30	25.08

### 2.9.3. Pivote central Reinke

#### 2.9.3.1. Base del pivote

Tubería de elevación de 8" o de 10", codo inferior que reduce la fricción, patas de acero rolado de 8"x3" y chumacera de 18" en un punto del pivote.

En el cuadro 8 se muestran las longitudes disponibles de los span y voladizos de la Reinke.

**Cuadro 8. Span y voladizo de la Reinke ([www.reinke.com](http://www.reinke.com))**

Dímetro de tubería	Longitud ft	Longitud m	Diámetro Voladizo	Longitud ft Voladizo
10"	118	35.97	6"	13
10"	120	36.58	6"	23
10"	140	42.68	6"	32
8 5/8"	118	35.97	6"	42
8 5/8"	137	41.76	6"	51
8 5/8"	156	47.55	6"	61
8 5/8"	160	48.77	6"	85
6 5/8"	118	35.97		
6 5/8"	137	41.76		
6 5/8"	156	47.55		
6 5/8"	160	48.77		
6 5/8"	175	53.34		
6 5/8"	180	54.87		
6 5/8"	186.7	56.91		
6 5/8"	194	59.14		
6"	118	35.97		
6"	137	41.76		
6"	156	47.55		
6"	160	48.77		
6"	175	53.34		
6"	180	54.87		
6"	186.7	56.1		
6"	194	59.14		
6"	213	64.93		

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Localización geográfica**

El predio las Arenas del municipio de Tlahualilo Durango se localiza en las coordenadas latitud: 13°65'2641" N longitud: 28°62'376" W, con una altura de 1102 m.s.n.m. Para llegar al sitio del proyecto se sigue por la carretera Gómez Palacio – Tlahualilo, en el poblado Lucero se sigue por terracería al margen izquierdo del ejido y a 8 km esta el sitio.

#### **3.2. Clima**

El clima característico del lugar, es muy seco o estepario. La temperatura media anual es de 21°C. La precipitación media anual es de 211 milímetros. La primera helada se registra en el mes de noviembre y la última en el mes de marzo.

#### **3.3. Característica del área del diseño**

La pequeña propiedad las Arenas cuenta con una superficie de 75.5 hectáreas, desnivel de 0.61 m y altura del aspensor de 1.5 m.

#### **3.4. Característica del suelo**

De acuerdo al análisis de suelo se encontró que es de textura migajón arenoso, llevándose a cabo un muestreo en varios puntos y tomándose como muestra representativa la numero s-24882. Una capacidad de campo de 30.05% y un punto de marchites permanente de 16.42%, capacidad de intercambio catiónico de 30.00 meq/100 gr de suelo, siendo medio, pudiéndose deber lo anterior al contenido de arcilla y materia orgánica. Un pH de 7.96 considerado como moderadamente alcalino. La infiltración básica es de 2.5 cm/hr. Una conductividad eléctrica de 4.63 mscm-1 siendo mediamente salino y Materia orgánica de 3.41 % siendo un suelo regular, recomendándose la

aplicación de abonos orgánicos (estiércol) con el fin de mejorar la estructura y retención de agua no se debe aplicar demasiado estiércol para evitar el incremento de sales. El contenido de nitrógeno fue de 73.02 ppm, siendo alto su contenido y esperando algo de respuesta a la aplicación de este elemento. El contenido de fósforo fue de 54.11 ppm siendo medio en caso de cultivar forrajes, como en este caso, es importante hacer aplicación de estos elementos ya que se reflejaría en incremento en la producción. El contenido de potasio es 373.4 ppm siendo alto, en el extracto el potasio encontrado fue de 1.87 meq/l. Recomendándose en un rango de 1.5 a 3 meq/l observándose que no es necesario aplicar este elemento. No recomendándose adición de calcio pero sí de magnesio ya que se encuentra en abundancia siendo el rango óptimo de Ca 3-6 y Mg 2-5 ambos en meq/l.

### **3.5. Análisis del agua**

Se tomó una muestra del agua del pozo agrícola a utilizar en el proyecto, encontrándose una conductividad eléctrica de 0.88 ms/cm, siendo un agua de salinidad baja. La relación de absorción de sodio ajustado fue de 5.51 meq/l, esperando no tener problemas de infiltración, es de esperar alta infiltración, lo anterior considerando el tipo de textura, no obstante se recomienda llevar a cabo aplicación de mejoradores para acidificación de agua, pudiéndose lograr esto mediante el equipo de fertilización.

El contenido de bicarbonato fue de 5.52 meq/l, no presentando grado de restricción. El contenido de sulfatos fue de 2.67 meq/l, siendo bajo el contenido, buscando la aplicación de productos que lleven las sales a una solubilidad alta. Se recomienda aplicar fertilizantes que contengan calcio y magnesio para incrementar su contenido en relación al sodio.

El pH del agua fue de 6.74 siendo ligeramente alcalino y en sólidos se encuentra en un rango de restricción moderada por estar dentro del rango de leve a moderado, para lo cual se considera un rango de 450-2000. En relación a elementos tóxicos se encuentra que para el caso del cloro no presento problemas de toxicidad.

### 3.6. Ecuaciones para el diseño hidráulico

#### 3.6.1. Requerimiento total de riego (GIR)

Requerimiento total de riego es la lámina total de agua aplicada que se requiere para completar la demanda de evapotranspiración y pérdidas. El GIR es calculado para el periodo de mayor demanda de agua cuando la evapotranspiración (Etc.) es mayor. El GIR depende del uso consuntivo (evapotranspiración del cultivo) y es reducida por cualquier aportación, como la precipitación efectiva P, que ocurre durante el periodo máximo de consumo.

La ecuación básica para calcula el GIR es:

$$GIR = \left[ \frac{k_f * ET_c - P_e}{E_a/100} \right] * f$$

Donde

GIR = Requerimiento total de riego, pulgadas o en mm para (“f”) días.

ETc = Evapotranspiración diario expresado en pulgadas por día o en mm/día

Pe = Lamina de precipitación diaria durante el periodo máximo de consumo que puede depender que ocurra y que llegue a la zona radicular (por ejemplo si es “efectiva), en pulgadas o mm.

Ea = Eficiencia de aplicación del sistema del pivote central, %.

Kf =Factor de frecuencia de humedad para incrementar el valor estándar ETc para contabilizar las perdidas elevadas de evaporación del suelo debido a la falta de frecuencia de riego (general Kf = 1.0)

F = Número de días representados por el GIR (f es el intervalo de riego durante el periodo máximo consumo). Para GIR diario use f = 1. Para GIR de 3 días use f = 3.

### 3.6.2. Gasto de diseño sin cañón final (Qs)

El gasto total del sistema se calcula con las formulas siguientes:

En el sistema ingles

$$Q_s = 18.86 \frac{A * GIR}{f * t}$$

En el sistema internacional

$$Q_s = 0.1157 \frac{A * GIR}{f * t}$$

Qs = Gasto del diseño en gpm o en l/s sin cañón esquinero

A = Área de riego en acres o en ha

GIR = requerimiento de riego o lamina de riego por aplicación, en pulgadas o mm

f = Número de días representado por el GIR (durante el periodo de máximo uso de agua). Por ejemplo si GIR representa un alamina de 0.3 pulgadas, entonces f = 1 días. Si GIR representa una lamina requerida cada semana durante el periodo máximo consumo, como 1.8 pulgadas, entonces f =7.

t = Fracción de tiempo que el sistema se enciende para un día durante el periodo de máximo consumo. Por ejemplo t = 0.9 indica que el sistema opera el 90% del tiempo, o aproximadamente 21.6 horas cada 24 horas del día, por lo tanto en forma continua será 6.3 días de cada 7 días. Generalmente en diseño, t = 0.9 es usada para contabilizar algo de tiempo de apagado del sistema.

### 3.6.2.1. Sistema con cañón final o con un sistema esquinero (Qs)

El gasto del pivote central con cañón final o un sistema esquinero se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_s = \frac{\pi R^2 GIR}{86.400 * f + t} + Q_g$$

Donde

Qs = Gasto de diseño en lps

R = Radio del área circular irrigada (sin cañón final o sistema esquinero) en metro.

GIR = Necesidad de riego, o lamina de riego por aplicación, en milímetros en un periodo de riego de longitud f.

Qg = Gasto del diseño de un cañón final o de un sistema esquinero totalmente extendido en l/s.

### 3.6.3. Longitud hidráulica (Lh)

La longitud hidráulica siempre es mayor Lh es siempre mayor que la longitud física actual L del lateral si un cañón final está presente. De otra forma las 2 longitudes son iguales. Utilizando una longitud hidráulica artificial en la ecuación de fricción es necesario para la fricción en salidas múltiples (boquillas) un ajuste para el factor Fp para trabajar adecuadamente.

El factor Fp requiere que el gasto en el lateral sea exactamente cero al final de la tubería.

En un sistema que tiene un cañón al final, para lograr el cero, debe adicionarse una tubería de longitud "artificial" al pivote central en los cálculos. Por lo tanto, para laterales de pivote central con un cañón final,  $L_h > R > L$  donde  $R$  es el radio de la porción del terreno irrigada.  $L_h$  puede ser calculada mediante:

$$L_h = L \sqrt{\frac{Q_s}{Q_b}}$$

o

$$L_h = L \sqrt{\frac{Q_b + Q_g}{Q_b}}$$

$L_h$  = Longitud hidráulica equivalente del lateral del pivote central. Pies o en metros.

$L$  = Longitud física del lateral del pivote central, pies o en metros

$Q_b$  = La descarga base para el círculo en lps

$Q_s$  = La descarga para toda el área irrigada por el lateral del pivote central, lps generalmente  $Q_s = Q_b + Q_g$ .

$Q_g$  = La descarga en el cañón final, si está presente, lps.

#### 3.6.4. Pérdida de presión con más de 3 diámetros diferentes.

Esto se realiza para obtener un diseño de pivote central económico en lo que respecta a la energía eléctrica y potencia de la bomba.

Pérdida de presión en todo el sistema con diámetro de 6 5/8"

$$H_f = \text{longitud del sistema en pies} * \left(\frac{gpm}{12180}\right)^{1.85}$$

Pérdida de presión de todo el sistema con diámetro de 10" = (6 5/8") \* (0.13)

Pérdida de presión de todo el sistema con diámetro de 8" = (6 5/8") \* (0.39)

Pérdida de presión de todo el sistema con diámetro de 7" = (6 5/8") \* (0.76)

Pérdida de presión de todo el sistema con diámetro de 6" = (6 5/8") \* (1.65)

Perdida de presión de todo el sistema con diámetro de 5 9/16"

$$=(6\ 5/8") * (2.55)$$

Perdida de presión de todo el sistema con diámetro de 5"  $=(6\ 5/8") * (4.4)$

Perdida de presión de todo el sistema con diámetro de 4 1/2"  $=(6\ 5/8") * (7)$

Perdida de presión de todo el sistema con diámetro de 4"  $=(6\ 5/8") * (13.97)$

En el cuadro 9 se presenta el método grafico para calcular las pérdidas de fricción en más de un diámetro de tubería.

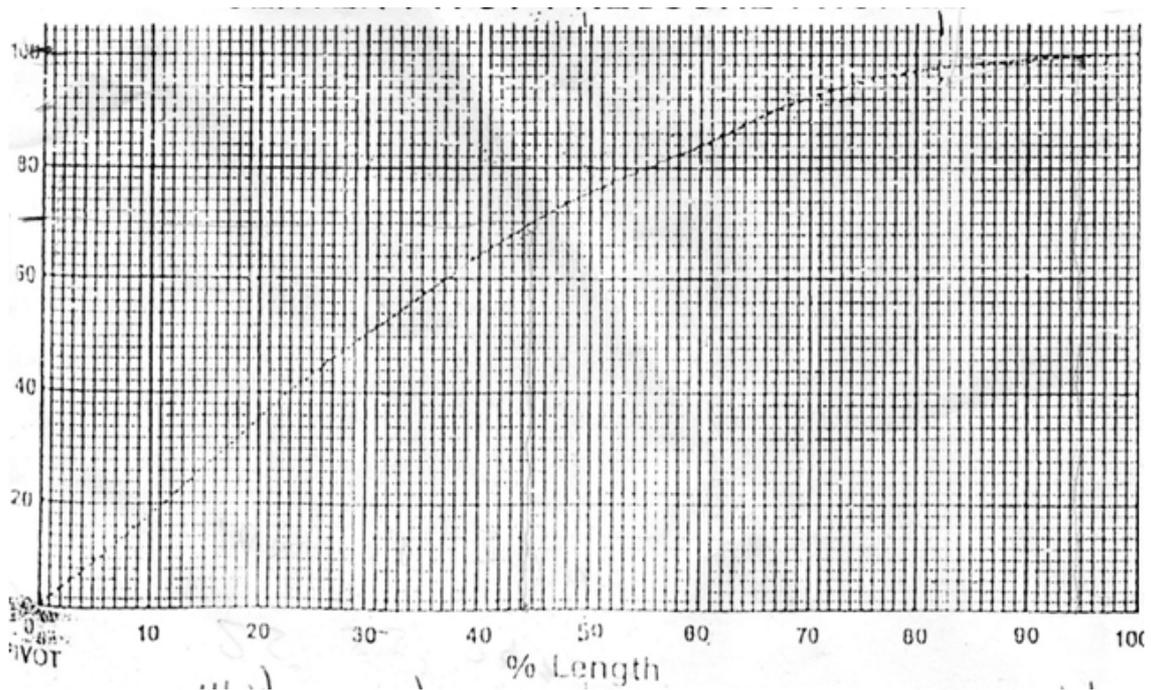
Cuadro 9. Calculo de la perdida por fricción en un pivote central con más de un tamaño de diámetro de tubería (Pérez 2001).

Tamaño de tubería	Longitud de tubería	% de longitud	% de pérdida de presión		Perdida de presión en 6 5/8"		Perdida en cada diámetro de tubería
10"					( ) * ( ) * (0.13)		
			A				
10"+8"			[ - ]		( ) * ( ) * (0.39)		
			B A				
10"+8"+6" 5/8"			[ - ]		( ) * ( ) * (1)		
			C B				
10"+8"+6"5/8" +5"			[ - ]		( ) * ( ) * (4.4)		
			D C		Hf total en el lateral		

### 3.6.4.1. Grafica para calcular el porcentaje de pérdida de presión en la tubería

Perdida de presión se encuentra en la cuadro 10 de pivote central por la longitud del perfil de presión leyendo en % de la tabla, hasta la curva de punto, y leer % de pérdida de presión en escala de la izquierda (Pérez 2001).

Cuadro 10. Pivote central perfil de presión



### 3.6.5. Pérdida de carga localizada

Las pérdidas de energía localizada o de forma son aquellas que se generan en accesorios del sistema de conducción. Por ejemplo en válvulas, codos, coplees, nipples, reducciones, ampliaciones, etc. Dichas pérdidas se determinan con la ecuación de Darcy.

$$HL = KL \frac{V^2}{2g}$$

Donde

HL = Pérdida de carga localizada en metros.

V = velocidad del agua en m/s.

g = fuerza de gravedad en m/s<sup>2</sup>.

### 3.6.6. Presión de trabajo del pivote

La presión con la que trabaja el pivote tomando en cuenta las presiones mínima para el trabajo del aspersor, la pérdida por fricción en el lateral, diferencia de elevación, las pérdidas por fricción en la tubería lateral más de un 10% para cubrir las pérdidas diversas,

$$P_p = P_n + H_f + 10\%H_f + z_{pivote} + \Delta Z_p$$

Donde:

P<sub>p</sub> = Presión en el punto del pivote a nivel del terreno, m.

P<sub>n</sub> = Presión mínima o deseada al final del lateral en la salida de la boquilla o, (aguas arriba de cualquier regulador).

H<sub>f</sub> = Pérdida por fricción total a lo largo del lateral del pivote central más un 10% para cubrir las pérdidas de carga localizada.

Z pivote = Altura de la boquilla sobre el terreno, m.

$\Delta z_p$  = Cambio de elevación entre el punto del pivote y al final del pivote (positivo cuando esta cuesta arriba) cuando el final del lateral a mayor elevación en el terreno, m.

### 3.6.7. Determinación de gasto del aspersor

El gasto requerido para cada aspersor cualquier salida a lo largo del lateral que se aplica para un círculo básico irrigado es función de la distancia r desde el punto del pivote. El gasto requerido por aspersor es igual a la fracción de  $Q_b$  que es equivalente a su forma proporcional del área de riego; por lo tanto:

$$q_r = \frac{2r * S_r}{L^2} * Q_b$$

Donde:

$q_r$  = Gasto necesario en la boquilla a un radio r desde un punto del pivote, gpm (o l/s).

r = Cualquier distancia radial desde el pivote, pies (o m)

$S_r$  = Espaciamiento de aspersores a r, pies (o m)

$Q_b$  = Gasto para el círculo irrigado completo, gpm ( l/s)

L = Radio en el círculo irrigado completo (Cuando el sistema esquinero o cañón final está ausente o no operando), pies (m)

### 3.6.8. Determinación de la línea de conducción

El cálculo del diámetro de la tubería de conducción se realiza considerando las siguientes, parámetros a tomar: una velocidad no mayor a 1.5 m/s y una pérdida de carga no mayor de 7 m.c.a.

$$D = 29.13\sqrt{Q}$$

Donde:

D= Diámetro de la línea de conducción en mm.

Q = Gasto en lps.

### 3.6.9. Perdida de carga en conducción

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C - 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería.

Donde:

$$H_f = 1.21 * 10^{10} * \left[\frac{Q}{C}\right]^{1.852} * [1/D]^{4.87} * L$$

Hf = Pérdida de energía en metros columna de agua (m).

L = Longitud de la tubería (m).

Q = De la tubería en lps.

C= Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams.

D = Diámetro de la tubería en mm.

### 3.6.10. Determinación de potencia del equipo

En la determinación de potencia del equipo se usa la siguiente ecuación.

$$PotB = \frac{Hf * Qs}{76 * Eb}$$

Donde:

PotB = Energía requerida por la bomba (hp).

Hf = Carga total de operación (m).

Qs = Gasto del diseño en lps.

Ep = Eficiencia de la bomba %.

76 = Factor para convertir a caballos de fuerza.

### 3.6.11. Horas por revolución con el temporizador a 100%

El tiempo para dar una rotación el pivote central se determina con la siguiente ecuación.

Donde:

Hr = Horas por revolución (h).

R = Distancia hasta la última torre (m).  $Hr = \frac{\text{Radio de la última torre} + L}{\text{velocidad de la última torre}} * 0.105$

Vt = Velocidad de la última torre (m/min).

### 3.6.12. Profundidad de agua distribuida

La profundidad de agua distribuida se determina con la siguiente ecuación.

Donde:

D = Profundidad de riego en mm.

Qpz = Caudal del pozo lps.

$$D = \left[ \frac{Q_{pz}}{A} \right] * \left[ \frac{H_r}{2.78} \right]$$

Hr = Horas por revolución (h).

A = Área del terreno agrícola.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Calculo de evapotranspiración ( Etc).

En el cálculo de la evapotranspiración se uso el software Raspawin lo cual requiere datos de la ubicación del lugar, altitud, suelo y cultivo determinando una evapotranspiración de 5.79 mm/día.

### 4.2. Calculo de requerimiento total de riego (GIR)

Resultado del requerimiento total de riego tomando en cuenta la eficiencia del sistema de riego

$$GIR = \left[ \frac{kf * ETC - Pe}{Ea/100} \right] * f$$

Datos

Kf = para 100% de cobertura 1 tomado de la tabla de Keller y Bliesner, 1990.

Etc = 5.79 mm/día.

$$GIR = \left[ \frac{1 * 5.79 - 0}{85/100} \right] * 1$$

Pe = 0 mm/día.

Ea = 85%

$$GIR = 6.81 \text{ mm/día}$$

f= 1

### 4.3. Calculo de gasto de diseño sin cañón final (Qs)

Resultado del gasto del sistema tomando en cuenta el GIR y la superficie total.

$$Q_s = 0.1157 \frac{A * GIR}{f * t}$$

Datos

Calculo del área

$$A = \pi * r^2$$

r = 490 m

$$A = 3.1416 * 490^2$$

$\pi = 3.1416$

$$A = 754298.16 \text{ m}^2 = 75.42 \text{ ha.}$$

GIR = 6.81 mm/día.

f = 1

t = 1

$$Q_s = 0.1157 \frac{75.42 * 6.81}{1 * 1}$$

$$Q_s = 59.42 \text{ lps}$$

Se maneja un gasto de 78 lps que se tiene disponible en el estanque con el fin de tener tiempos muertos para posible riego en otras áreas agrícolas.

### 4.4. Calculo de lateral con un solo diámetro de tubería de 6 5/8" por ser un diámetro estándar.

Longitud del lateral=1608.07 ft

Q del sistema =1236.45 gpm

$$H_f \text{ de la tubería de } 6 \frac{5}{8}'' = 1608.07 \left( \frac{1236.45}{12180} \right)^{1.85}$$

$$H_f = 23.35 \text{ psi}$$

Esta presión es mayor por lo cual no es conveniente económicamente, se tienen que combinar diámetros más grandes en la lateral y el rango óptimo para trabajar el pivote debe de ser de 20 a 30 psi en la base del pivote. Se busca esta presión para utilizar menos energía y tubería de espesor de pared más delgada y por consiguiente más económica.

#### 4.5. Análisis de # torres y diámetros a utilizar.

Este análisis se tiene que hacer para poder encontrar un pivote central económico en su operación.

Calculo de cuantas torres necesita la lateral:

Datos

$$r = 490 \text{ m}$$

$$\text{No de torres} = \frac{r}{l_{ez}}$$

Longitud estándar de Zimmatic por torre = 54.57

$$\text{No de torres} = \frac{490}{54.55}$$

$$\text{No de torres} = 8.9$$

Numero de metros que cubren las 8.9 torres

$$8 * 54.55 = 436.4 \text{ m de 8 torres}$$

$$0.9 * 54.55 = 49.0 \text{ m de voladizo}$$

Nota: como no se tiene un voladizo de 49.13 m se tiene que volver a calcular las longitudes de torres las que están disponible por Zimmatic.

En la realización de los cálculos para ajustar el lateral en el terreno se tomo la longitud más grande que tiene disponible Zimmatic que es de 61.26 m y la estándar de 54.55 m.

Tubería

$$4 * 54.55 = 218.2 \text{ m}$$

$$4 * 61.26 \text{ m} = 245.04 \text{ m}$$

$$\text{Total} = 463.24 \text{ m de las 8 torres}$$

De voladizo =  $490 - 463.24 = 26.76 \text{ m}$  esta longitud si se encuentra disponibles en 26.82 m es la que se va a utilizar.

La suma de las distancias de las torres y el voladizo fue = 490 m.

**4.6. Grafico para calcular la pérdida por fricción en un pivote central con más de un diámetro de tubería.**

Distancia de las longitudes de las tuberías

4 torres de 8" = 218.28 m = 716.14 ft

4 torres de 6 5/8" = 245.04 m = 803.93 ft

Voladizo de 5" = 26.8 m = 88 ft

En la tabla 11 se muestra los cálculos hechos para determinar las perdidas por fricción en el lateral (Pérez 2001).

Cuadro 11. Calculo de las perdidas por fricción en la lateral

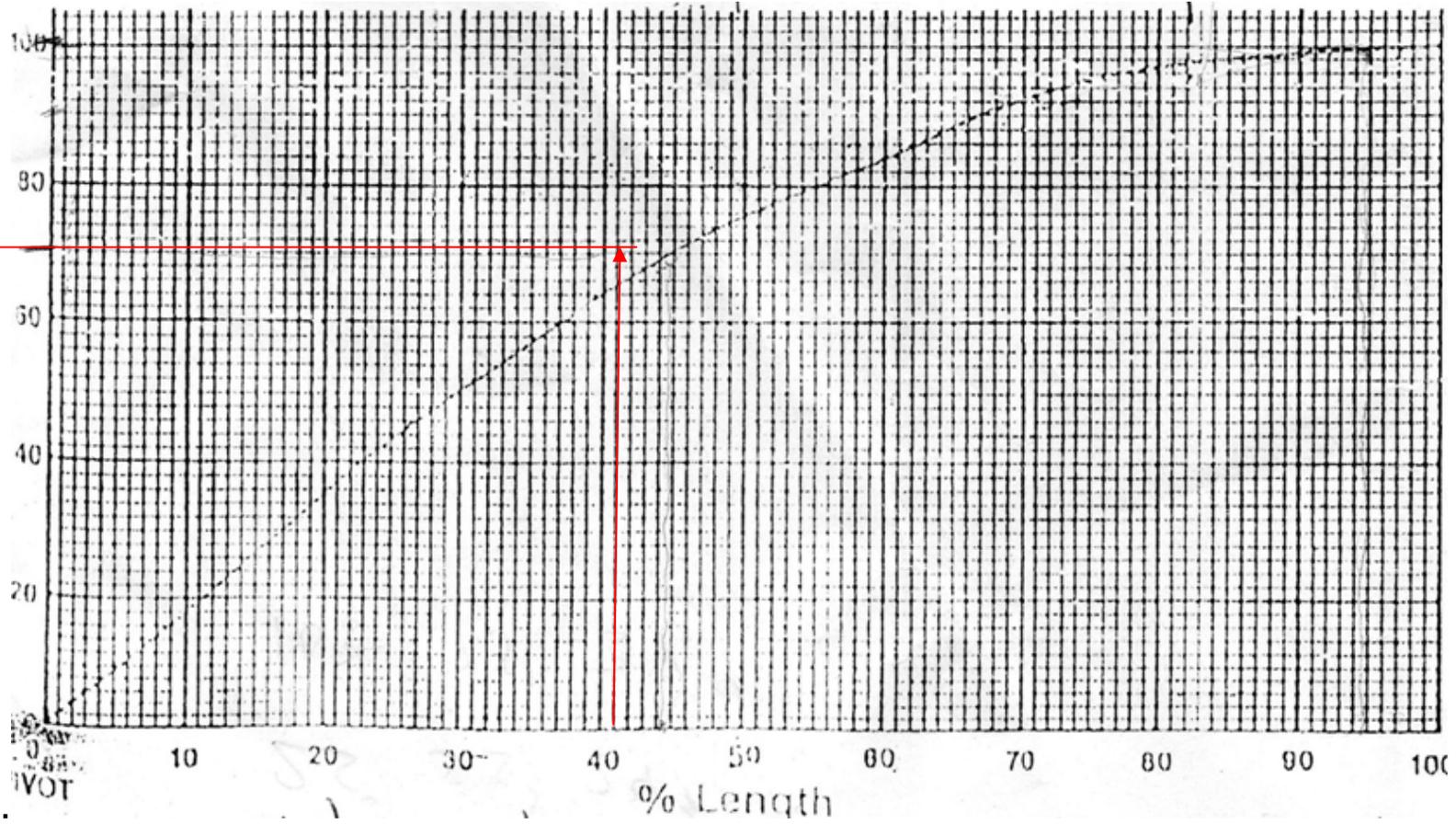
Tamaño de tubería	Longitud de tubería	% de longitud	% de pérdida de presión		Perdida de presión en 6 5/8"	Perdida en cada diámetro de tubería
10"					( ) * ( ) * (0.13)	
			A			
10"+8"	716	44.5	[ 70 - ]		( 0.7 ) * ( 23.35 ) * (0.39)	6.37
			B A			
10"+8"+6" 5/8"	1520	94.5	[ 98 - 70 ]		( 0.28 ) * ( 23.35 ) * (1)	6.53
			C B			
10"+8"+6" 5/8"+5"	1608	100	[ 100 - 98 ]		( 0.02 ) * (23.35 ) * (4.4)	2.05
			D C		Hf total en el lateral	14.95 psi
Hf total en lateral						10.51 m

Nota: primero se debe calcular el lateral con tubería de 6 5/8"

Cuadro 12. Ejemplo de cómo calcular el % de pérdida de carga en cada diámetro (Pérez

70% de pérdida de presión en el

% de pérdida de carga



2001).

#### 4.7. Cálculo de presión de trabajo del pivote

Resultado de la presión con la que tiene que trabajar el sistema para su buena operación.

$$P_p = P_n + H_f + H_f 10\% + z_{\text{pivote}} + \Delta Z_p$$

$$P_n = 8.44 \text{ m} \quad P_p = 8.44 \text{ m} + 10.51 \text{ m} + 1.051 + 1.5 \text{ m} + 0.61$$

$$H_f = 10.51 \text{ m}$$

$$Z_{\text{pivot}} = 1.5 \text{ m} \quad P_p = 22.11 \text{ m}$$

$$\Delta Z_p = 0.61 \text{ m}$$

$$H_f 10\% = 1.051 \text{ m}$$

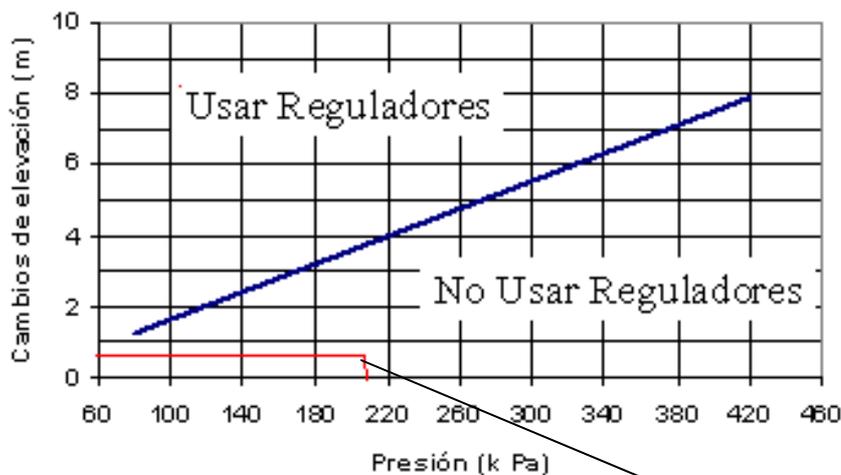
##### 4.7.1. Determinación de requerimiento para usar reguladores de presión

Presión con la que trabaja el pivote central en kilo pascal

$$22.11 \text{ m} = 216.82 \text{ kilo pascal}$$

En la tabla 13 se determinó que el sistema no necesita usar reguladores de presión (nelsonirrigation)

Cuadro 13. Uso de reguladores de presión



No se necesita usar reguladores de presión

**Cuadro 14. Gasto de boquillas, separaciones y presión en cada salida**

<b>Cuadro 14. Calculo de gasto y presión de boquillas</b>						
Gasto del sistema		78	Lps		Longitud m	D interno mm
Presión en el pivote		18,95	M	tubo de 8"	218,28	197,61
P en la base del pivote		22.11	M	tubo de 6 5/8"	245,04	162,56
Presión al final del pivote		8,44	M	tubo de 5"	26,82	136,39
Longitud del pivote		491,18	M	C	140	
P al final del pivote		8,44	M			
# boquilla	distancia r	S de emisor	Hf en cada emisor	P en cada emisor	Q acumulado lps	Q del emisor lps
192	491,18	1,86	3,61331E-05	8,44	0,59	0,59
191	489,32	2,23	0,000185699	8,44	1,30	0,71
190	487,09	2,23	0,00041404	8,44	2,00	0,70
189	484,86	2,23	0,000721611	8,44	2,70	0,70
188	482,63	2,23	0,001103787	8,44	3,39	0,70
187	480,4	2,23	0,001556976	8,44	4,09	0,69
186	478,17	2,23	0,002078197	8,44	4,78	0,69
185	475,94	2,23	0,002664878	8,45	5,46	0,69
184	473,71	2,23	0,003314738	8,45	6,15	0,68
183	471,48	2,23	0,004025716	8,45	6,83	0,68

CONTINUACION CUADRO 14

# boquilla	distancia r	S de emisor	Hf en cada emisor	P en cada emisor	Q acumulado lps	Q del emisor lps
182	469,25	2,23	0,004795922	8,46	7,50	0,68
181	467,02	2,89	0,003241421	8,46	8,37	0,87
TORRE8180	464,13	2,23	0,0028839	8,46	9,04	0,67
179	461,9	2,23	0,003289538	8,47	9,71	0,67
178	459,67	2,23	0,003717465	8,47	10,37	0,66
177	457,44	2,23	0,004167096	8,47	11,03	0,66
176	455,21	2,23	0,00463787	8,48	11,69	0,66
175	452,98	2,23	0,005129247	8,48	12,34	0,65
174	450,75	2,23	0,005640709	8,49	12,99	0,65
173	448,52	2,23	0,006171753	8,49	13,64	0,65
172	446,29	2,23	0,006721894	8,50	14,28	0,64
171	444,06	2,23	0,007290659	8,51	14,92	0,64
170	441,83	2,23	0,007877591	8,51	15,56	0,64
169	439,6	2,23	0,008482244	8,52	16,19	0,63
168	437,37	2,23	0,009104183	8,53	16,82	0,63
167	435,14	2,23	0,009742984	8,54	17,45	0,63
166	432,91	2,23	0,010398232	8,55	18,08	0,62
165	430,68	2,23	0,011069523	8,56	18,70	0,62
164	428,45	2,23	0,011756459	8,57	19,31	0,62
163	426,22	2,23	0,012458652	8,58	19,93	0,61
162	423,99	2,23	0,013175721	8,59	20,54	0,61
161	421,76	2,23	0,013907292	8,61	21,15	0,61
160	419,53	2,23	0,014652999	8,62	21,75	0,60
159	417,3	2,23	0,015412479	8,64	22,36	0,60
158	415,07	2,23	0,01618538	8,65	22,95	0,60

CONTINUACION CUADRO 14

# boquilla	distancia r	S de emisor	Hf en cada emisor	P en cada emisor	Q acumulado lps	Q del emisor lps
157	412,84	2,23	0,016971352	8,67	23,55	0,60
156	410,61	2,23	0,017770053	8,68	24,14	0,59
155	408,38	2,23	0,018581146	8,70	24,73	0,59
154	406,15	2,23	0,019404297	8,72	25,32	0,59
153	403,92	3,2	0,02957113	8,74	26,15	0,84
TRAMO7152	400,72	2,23	0,021458565	8,77	26,73	0,58
151	398,49	2,23	0,022320704	8,79	27,30	0,57
150	396,26	2,23	0,023193485	8,81	27,88	0,57
149	394,03	2,23	0,024076603	8,84	28,44	0,57
148	391,8	2,23	0,024969753	8,86	29,01	0,56
147	389,57	2,23	0,025872637	8,89	29,57	0,56
146	387,34	2,23	0,02678496	8,91	30,13	0,56
145	385,11	2,23	0,027706429	8,94	30,68	0,56
144	382,88	2,23	0,028636757	8,97	31,24	0,55
143	380,65	2,23	0,02957566	9,00	31,78	0,55
142	378,42	2,23	0,030522857	9,02	32,33	0,55
141	376,19	2,23	0,031478071	9,06	32,87	0,54
140	373,96	2,23	0,032441026	9,09	33,41	0,54
139	371,73	2,23	0,033411453	9,12	33,95	0,54
138	369,5	2,23	0,034389084	9,15	34,48	0,53
137	367,27	2,23	0,035373654	9,19	35,01	0,53
136	365,04	2,23	0,0363649	9,22	35,54	0,53
135	362,81	2,23	0,037362565	9,26	36,06	0,52
134	360,58	2,23	0,038366392	9,30	36,58	0,52
133	358,35	2,23	0,039376128	9,33	37,10	0,52

CONTINUACION CUADRO 14

# boquilla	distancia r	S de emisor	Hf en cada emisor	P en cada emisor	Q acumulado lps	Q del emisor lps
132	356,12	2,23	0,040391523	9,37	37,61	0,51
131	353,89	2,23	0,04141233	9,41	38,12	0,51
130	351,66	2,23	0,042438303	9,46	38,63	0,51
129	349,43	2,23	0,043469199	9,50	39,13	0,50
128	347,2	2,23	0,04450478	9,54	39,63	0,50
127	344,97	2,23	0,045544808	9,59	40,13	0,50
126	342,74	3,1	0,06533548	9,63	40,82	0,69
TRAMO6125	339,64	2,23	0,048049123	9,70	41,31	0,49
124	337,41	2,23	0,049102513	9,75	41,79	0,49
123	335,18	2,23	0,050159338	9,79	42,28	0,48
122	332,95	2,23	0,051219372	9,84	42,76	0,48
121	330,72	2,23	0,052282395	9,90	43,23	0,48
120	328,49	2,23	0,053348186	9,95	43,71	0,47
119	326,26	2,23	0,054416527	10,00	44,18	0,47
118	324,03	2,23	0,055487205	10,06	44,64	0,47
117	321,8	2,23	0,056560005	10,11	45,11	0,46
116	319,57	2,23	0,057634716	10,17	45,57	0,46
115	317,34	2,23	0,05871113	10,23	46,03	0,46
114	315,11	2,23	0,059789041	10,28	46,48	0,45
113	312,88	2,23	0,060868242	10,34	46,93	0,45
112	310,65	2,23	0,061948533	10,40	47,38	0,45
111	308,42	2,23	0,063029711	10,47	47,82	0,44
110	306,19	2,23	0,064111579	10,53	48,27	0,44
109	303,96	2,23	0,065193941	10,59	48,70	0,44
108	301,73	2,23	0,0662766	10,66	49,14	0,44

CONTINUACION CUADRO 14

# boquilla	distancia r	S de emisor	Hf en cada emisor	P en cada emisor	Q acumulado lps	Q del emisor lps
107	299,5	2,23	0,067359365	10,73	49,57	0,43
106	297,27	2,23	0,068442046	10,79	50,00	0,43
105	295,04	2,23	0,069524452	10,86	50,43	0,43
104	292,81	2,23	0,070606398	10,93	50,85	0,42
103	290,58	2,23	0,071687697	11,00	51,27	0,42
102	288,35	2,23	0,072768167	11,07	51,68	0,42
101	286,12	2,23	0,073847627	11,15	52,10	0,41
100	283,89	3,23	0,109228693	11,22	52,69	0,59
99	280,66	3,14	0,108321848	11,33	53,26	0,57
TRAMOS 98	277,52	2,23	0,078003141	11,44	53,66	0,40
97	275,29	2,23	0,079075205	11,52	54,06	0,40
96	273,06	2,23	0,080145231	11,59	54,45	0,39
95	270,83	2,23	0,081213052	11,67	54,84	0,39
94	268,6	2,23	0,082278498	11,76	55,23	0,39
93	266,37	2,23	0,083341404	11,84	55,61	0,38
92	264,14	2,23	0,084401607	11,92	55,99	0,38
91	261,91	2,23	0,085458943	12,01	56,37	0,38
90	259,68	2,23	0,086513253	12,09	56,74	0,37
89	257,45	2,23	0,087564377	12,18	57,12	0,37
88	255,22	2,23	0,088612157	12,27	57,48	0,37
87	252,99	2,23	0,089656438	12,35	57,85	0,36
86	250,76	2,23	0,090697066	12,44	58,21	0,36
85	248,53	2,23	0,091733889	12,53	58,57	0,36
84	246,3	2,23	0,092766754	12,63	58,92	0,36
83	244,07	2,23	0,093795515	12,72	59,27	0,35

CONTINUACION CUADRO 14

# boquilla	distancia r	S de emisor	Hf en cada emisor	P en cada emisor	Q acumulado lps	Q del emisor lps
82	241,84	2,23	0,094820021	12,81	59,62	0,35
81	239,61	2,23	0,095840128	12,91	59,97	0,35
80	237,38	2,23	0,096855691	13,00	60,31	0,34
79	235,15	2,23	0,097866567	13,10	60,65	0,34
78	232,92	2,23	0,098872615	13,20	60,99	0,34
77	230,69	2,23	0,099873694	13,30	61,32	0,33
76	228,46	2,23	0,100869667	13,40	61,65	0,33
75	226,23	2,23	0,101860397	13,50	61,97	0,33
74	224	2,23	0,102845748	13,60	62,30	0,32
73	221,77	2,23	0,103825587	13,70	62,62	0,32
72	219,54	3,17	0,057791718	13,81	63,07	0,45
TRAMO4 71	216,37	2,23	0,041027997	13,86	63,38	0,31
70	214,14	2,23	0,04139895	13,90	63,69	0,31
69	211,91	2,23	0,041767552	13,95	63,99	0,31
68	209,68	2,23	0,042133753	13,99	64,30	0,30
67	207,45	2,23	0,042497507	14,03	64,60	0,30
66	205,22	2,23	0,042858766	14,07	64,89	0,30
65	202,99	2,23	0,043217482	14,12	65,18	0,29
64	200,76	2,23	0,04357361	14,16	65,47	0,29
63	198,53	2,23	0,043927104	14,20	65,76	0,29
62	196,3	2,23	0,044277919	14,25	66,04	0,28
61	194,07	2,23	0,04462601	14,29	66,32	0,28
60	191,84	2,23	0,044971333	14,33	66,60	0,28
59	189,61	2,23	0,045313846	14,38	66,87	0,27
58	187,38	2,23	0,045653504	14,43	67,14	0,27

CONTINUACION CUADRO 14

# boquilla	distancia r	S de emisor	Hf en cada emisor	P en cada emisor	Q acumulado lps	Q del emisor lps
32	128,46	2,23	0,053461568	15,74	73,12	0,19
31	126,23	2,23	0,053708303	15,79	73,30	0,18
30	124	2,23	0,053951188	15,84	73,48	0,18
29	121,77	2,23	0,054190195	15,90	73,65	0,18
28	119,54	2,23	0,054425299	15,95	73,83	0,17
27	117,31	2,23	0,054656471	16,01	74,00	0,17
26	115,08	2,23	0,054883687	16,06	74,16	0,17
25	112,85	2,23	0,055106921	16,12	74,32	0,16
24	110,62	4,66	0,11611444	16,17	74,66	0,33
TRAMO2 23	105,96	4,46	0,111974863	16,29	74,96	0,31
22	101,5	4,46	0,112785972	16,40	75,26	0,29
21	97,04	4,46	0,113563957	16,51	75,54	0,28
20	92,58	4,46	0,114308479	16,62	75,80	0,27
19	88,12	4,46	0,115019212	16,74	76,06	0,25
18	83,66	4,46	0,115695848	16,85	76,30	0,24
17	79,2	4,46	0,116338094	16,97	76,53	0,23
16	74,74	4,46	0,116945673	17,09	76,74	0,22
15	70,28	4,46	0,117518323	17,20	76,94	0,20
14	65,82	4,46	0,1180558	17,32	77,13	0,19
13	61,36	4,46	0,118557873	17,44	77,31	0,18
12	56,9	4,6	0,122775633	17,56	77,48	0,17
TRAMO1 11	52,3	4,46	0,119468496	17,68	77,63	0,15
10	47,84	4,46	0,119862004	17,80	77,77	0,14
9	43,38	4,46	0,120219341	17,92	77,89	0,13
8	38,92	4,46	0,120540355	18,04	78,01	0,11

CONTINUACION CUADRO 14

# boquilla	distancia r	S de emisor	Hf en cada emisor	P en cada emisor	Q acumulado lps	Q del emisor lps
7	34,46	4,46	0,120824912	18,16	78,11	0,10
6	30	4,46	0,121072892	18,28	78,19	0,09
5	25,54	4,46	0,121284189	18,40	78,27	0,07
4	21,08	4,46	0,121458716	18,52	78,33	0,06
3	16,62	4,46	0,121596398	18,64	78,38	0,05
2	12,16	4,46	0,121697179	18,77	78,41	0,04
1	7,7	7,7	0,210295286	18,89	78,45	0,04

Nota: para calcular la presión en cada emisor se le tiene que ir sumando a la presión final las pérdidas de carga en cada tramo entre emisor. Las pérdidas de carga son calculadas con la ecuación de Hazen-Williams.

#### 4.8. Cálculo de gasto de aspersor (qr en lps)

Determinación del gasto de aspersor en un punto dado del lateral.

$$q_r = \frac{2r * S_r}{L^2} * Q_b$$

Datos

$$r = 7.7 \text{ m}$$

$$q_r = \frac{2 * (7.7) * 7.7}{491.18^2} * 78$$

$$S_r = 7.7 \text{ m}$$

$$L = 491.18 \text{ m}$$

$$q_r = 0.038 \text{ lps}$$

$$Q_b = 78 \text{ lps}$$

#### 4.9. Calculo de diámetro de línea de conducción

El cálculo del diámetro de la tubería de conducción se calcula con los siguientes parámetros, velocidad no mayor a 1.5 m/s y una pérdida de carga no mayor de 7 m.c.a.

$$D = 29.13 \sqrt{Q}$$

Datos

$$Q = 78 \text{ lps.}$$

$$D = 29.13 \sqrt{78}$$

$$D = 257 \text{ mm} = 25.7 \text{ cm} = 10 \text{ pulgadas}$$

#### 4.9.1. Calculo de pérdida de carga en conducción

Pérdida por fricción en la línea de conducción para alimentar al sistema de pivote central.

$$H_f = 1.21 * 10^{10} * \left[ \frac{Q}{C} \right]^{1.852} * [1/D]^{4.87} * L$$

Datos

$$L = 788 \text{ m} \quad H_f = 1.21 * 10^{10} \left[ \frac{78}{150} \right]^{1.852} * \left[ \frac{1}{246} \right]^{4.87} * 788$$

Q = 78 lps

C = 150 PVC  $H_f = 6.39 \text{ mca}$

D interno = 246 mm

#### 4.10. Calculo de perdida por fricción total

Suma de la pérdida de carga para calcular la potencia de la bomba.

$$H_{ftotal} = P_n + H_F + z_{pivot} + \Delta Z_p + H_L + H_f \text{ en la conduccion}$$

Hf total= en mca.

$$P_n = 8.44 \text{ m} \quad H_f = 8.44 + 10.51 + 1.5 + 0.61 + 1.051 + 6.39$$

Z pivot = 1.5 m

$$\Delta Z_p = 0.61 \text{ m} \quad H_f = 28.5 \text{ m}$$

HL = 1.051 m

Hf = 10.51 m

Hf en conducción = 6.39 m.

#### 4.11. Calculo de potencia de la bomba

Calculo de la potencia de la bomba en caballos de fuerza para que trabaje el sistema de pivote central.

Datos

Qs = 78 lps

factor para convertir a caballos de fuerza = 76

EfB= 80 %

Hf total = 28.5 m

$$PotB = \frac{Hf_{total} * Qs}{76 * Eb}$$

$$PotB = \frac{28.5 * 78}{76 * 0.8}$$

$$PotB = 36.56 Hp$$

#### 4.12. Calculo de horas por revolución con el temporizador a 100%

Cuántas horas tarda en dar una vuelta el sistema en el terreno irrigado.

Datos

Hr = en horas

$$Hr = \frac{\text{Radio de la ultima torre} * L}{\text{velocidad de la ultima torre}} * 0.105$$

R = 461.3 m

$$Tr = \frac{461.3}{3.1} * 0.105$$

Vt = 3.1 m/min.

$$Tr = 15.62 h/revolucion$$

Nota: la velocidad de la última torre depende del tamaño de neumático que se utiliza (ver anexos y tabla de velocidades de maquinaria). Y además para calcular las demás horas de rotación con diferente porcentaje de timer se divide la rotación calculada al 100% entre los demás porcentaje en decimales.

#### 4.13. Profundidad del agua distribuida

En el cuadro 15 se muestra los cálculos de las horas que tarda en dar la vuelta el sistema a diferentes % del timer y la lamina distribuida.

Datos

$$D = \left[ \frac{Q_{pz}}{A} \right] * \left[ \frac{Hr}{2,78} \right]$$

$$Q_{pz} = 78 \text{ lps}$$

$$Hr = 15.62 \text{ h/revolución} \quad D = \left[ \frac{78}{75,5} \right] * \left[ \frac{15,62}{2,78} \right]$$

$$A = 75.5 \text{ Ha}$$

$$D = 5.81 \text{ mm}$$

Cuadro 15. Cálculo de la tabla de precipitación ( <a href="http://www.zimmatic.com">www.zimmatic.com</a> )					
radio de la ultima torre	463,6	M	Q del sistema	78	lps
velocidad de la ultima torre	3,11	m/minuto	Área del campo	75,5	ha
Porcentaje de del timer %	lamina aplicada mm		tiempo de rotación en horas		
100	5,82		15,65		
95	6,12		16,48		
90	6,46		17,39		
85	6,84		18,41		
80	7,27		19,57		
75	7,76		20,87		
70	8,31		22,36		
65	8,95		24,08		
60	9,69		26,09		
55	10,58		28,46		
50	11,63		31,30		
45	12,93		34,78		
40	14,54		39,13		
35	16,62		44,72		
30	19,39		52,17		
25	23,27		62,61		
20	29,08		78,26		
15	38,78		104,35		
10	58,17		156,52		

## **V. CONCLUSIONES**

El análisis hidráulico realizado del pivote central permitió obtener la presión adecuada para una buena eficiencia de aplicación de agua y mejor uso de este recurso.

En la selección de boquillas para que el pivote funcione adecuadamente se toma en cuenta los diámetros de tubería a utilizar para reducir la potencia de la bomba para que el sistema sea económico en su operación.

## **VI. RECOMENDACIÓN**

Antes diseñar se debe considerar la fuente de abastecimiento para el sistema, gasto disponible, distancia de la fuente hasta el pivote central, tipo de cultivo a establecer, la evapotranspiración crítica del cultivo, altura de aspersores, la energía eléctrica y de la pendiente del área donde se va a diseñar el sistema de pivote central. El gasto se toma en cuenta para saber cuánta cantidad de agua disponemos para el sistema que se vaya a instalar, también la evapotranspiración máxima para el cálculo de gasto del sistema, así como la altura del cultivo a establecer para poner a una altura adecuada el aspersor y tomar en cuenta la pendiente ya que esto depende también de que tengamos una buena eficiencia de aplicación del sistema ya que puede ser necesario el uso de reguladores y la energía eléctrica para que trabaje el sistema de pivote central.

## VII. BIBLIOGRAFIA

AHORRE AGUA, AHORRE ENRGIA Y MEJORE EL RIEGO.  
[WWW.NELSONIRRIGATION.COM](http://WWW.NELSONIRRIGATION.COM) (consultada en día 1 de octubre de 2010).

Arrieta J. Pivote novedosa solución para el riego en el norte. Chile riego. Edición Número 31. Octubre 2007.

De Santa O, M., Juan V, J, A. 1993. Agronomía del Riego. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. Primera Edición. P. 549.

Esquivel. R. et al. Estudio de la uniformidad de riego, en una maquina de pivote central. Revista Ciencia Técnica Agropecuaria. Vol. 19. No 1, 2010.

Figueroa. V.P. Especial pivote. Revista Chile Riego. No 33, 2008.

Gonzales B.P. et al. Algunas consideraciones para el diseño, explotación y adquisición de maquinas de pivote central. Revista Ciencia Técnica Agropecuaria. Vol. 11. Numero 1. 2002.

<http://www.sesa-dgo.gob.mx/diagnostico%20municipal/minicipios/10036a.htm>  
(consultada en día 20 de octubre de 2010).

[http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso\\_eficiente/rodriguez.html](http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/rodriguez.html) (1 de 6)  
[4/1/2004 1:49:59 PM]. (consultada en día 15 de octubre de 2010).

Holzalphel. E, Pivote central, INTA-CARILLANGA, febrero 2001.

Montemayor José A. El sistema de riego pivote central en la comarca lagunera, agropecuaria. El siglo de Torreón. Febrero 2008

Montico M. Riego presurizado. La nueva provincia. Noviembre 2010.

Morrillo R. et al. Técnicas de riego en la remolacha azucarera. Valladolid. Marzo 2001.

Pérez. J. Pivote central diseño y operación. 2001.

Pivote de centro Manual de operación LINSAY ( [www.zimmatic.com](http://www.zimmatic.com))

Reynaldo. R. Uso de maquinas de pivote central en el riego de aguas negras. Revista Ciencia Agropecuaria No 1. Vol. 15, 2006.

Robertl Mott. Mecánica de fluidos. Editorial Hall Hispanoamérica S.A. Naucalpan de Juárez Edo. de México. 1996. Pg 254.

Rodolf D. 2008. (En línea) [www.traxco.es/pages/posts/informacion-general-del-pivot-central177.php](http://www.traxco.es/pages/posts/informacion-general-del-pivot-central177.php) (pivote) (Consultada el 9 de agosto del 2010)

Rodríguez. A. et al. Los sistemas de riego por aspersion en el cultivo de alfalfa en el norte de México (Comarca Lagunera). Richard G. et al. Diseño de sistemas de pivotes centrales. 2000.

Roque. R. Emisores LEPA. Filosofía de manejo del agua en los pivotes centrales. Revista Ciencia Técnica Agropecuaria. Vol. 14, No 3. 2005.

Santos L. El riego y sus tecnologías. Editorial Europa América en Lisboa, 2004. Pg. 20.

Stanley. S. Manejo de pivotes centrales. Tierra adentro No 46, 2002.

[www.irrigation.org](http://www.irrigation.org) (consultada en día 15 de octubre de 2010).

[www.reinke.com](http://www.reinke.com) (consultada en día 15 de octubre de 2010).

[www.zimmatic.com](http://www.zimmatic.com) (consultada en día 15 de octubre de 2010).

[www.valmont.com/irrigation/](http://www.valmont.com/irrigation/) (consultada en día 15 de octubre de 2010).

## ANEXOS

CUADRO 16. VELOCIDADES DE LA MAQUINARIA

(Para establecer la tasa de aplicación de agua)

Impulsores central tipo	Relación	Impulsor central (RPM)	Rueda velocidad (RPM)	Tamaño de neumático	Distancia por ruedas Rev. (m)	Velocidad de la última torre al 100% (mpm)
Engranaje recto Lindsay (30 RPM)	40:1	29.4	0.59	11X22.5	2.99	1.77
				11.2X24	3.23	1.92
				11X24.5	3.44	2.04
				11.2X38	4.42	2.62
				14.9X24	3.60	2.13
				16.9X24	3.81	2.56
Engranaje recto Lindsay (43 RPM)	40:1	43	0.86	11X22.5	2.99	2.59
				11.2X24	3.23	2.77
				11X24.5	3.44	2.96
				11.2X38	4.42	3.81
				14.9X24	3.60	3.11
				16.9X24	3.81	3.29
Engranaje recto Lindsay (59 RPM)	40:1	86	1.72	2.99	2.99	3.54
				3.23	3.23	3.81
				3.44	3.44	4.05
				4.42	4.42	5.21
				3.60	3.60	4.24
				3.81	3.81	4.51

TABLA 17. PRESION DE NEUMATICO RECOMENDADO

Conjunto de ruedas	Presión de aire	
	Psi	Bar
14.29x24	22-24	1.52-1.65
16.9x24	22-24	1.52-1.65
11.2x24	26-28	1.79-1.93
11.2x38	26-28	1.79-1.93
11x24.5	38-42	2.62-2.90
11x22.5	38-42	2.62-2.90
15"	30-35	2.07-2.41