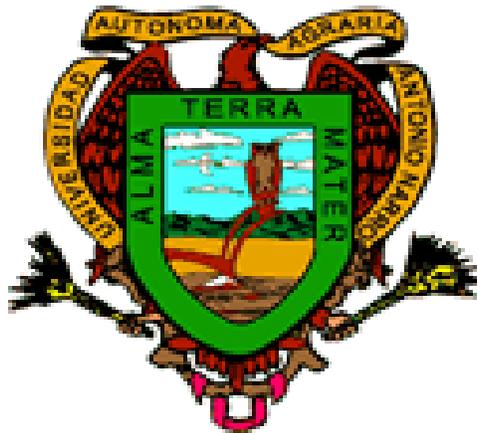


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Evaluación hidráulica del riego mecanizado tipo pivote  
central**

**Por**

**GEOVANNI MORENO RAMÍREZ**

**Tesis**

**Presentado como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México Junio del 2016**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Evaluación Hidráulica del Riego Mecanizado Tipo Pivote Central

Por

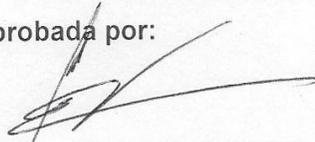
GEOVANNI MORENO RAMÍREZ

TESIS

Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como Requisito  
Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

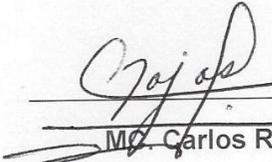
Aprobada por:



MC. Gregorio Briones Sánchez  
ASESOR PRINCIPAL



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho  
ASESOR



MC. Carlos Rojas Peña

ASESOR  
Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



Dr. Luis Samaniego Moreno

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
Coordinación de  
Ingeniería



Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Junio Del 2016

# **AGRADECIMIENTO**

## **PRIMERO QUIERO DARLE LAS GRACIAS A DIOS**

Por permitirme terminar mis estudios, por acompañarme y estar presente en todo momento, y por darme fuerzas en los momentos que más necesite.

## **A MIS PADRES**

Les agradezco por todo el apoyo que me brindaron durante mi formación como ingeniero, por los consejos brindados y por alentarme siempre de seguir adelante para terminar la carrera.

## **A MI ALMA TERRA MATER**

Por haberme brindado la formación académica para enfrentar los retos que se me presenten fuera de la institución.

## **AL M.C. GREGORIO BRIONES SÁNCHEZ**

Por la confianza y el tiempo brindado durante la redacción de la tesis, que sin su apoyo no hubiera sido posible terminarla.

## **AL DR. JAVIER DE JESÚS CORTEZ BRACHO Y EL M. C. CARLOS ROJAS PEÑA**

Por el tiempo y apoyo brindado en la revisión de esta tesis.

## **A TODOS LOS MAESTROS DEL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

Por los conocimientos otorgados durante mi formación como profesional, pero sobre todo por sus consejos brindados y el tiempo prestado.

# DEDICATORIA

## **DEDICO CON GRATITUD A MIS QUERIDOS PADRES:**

**Luis Moreno León**

**Soledad Ramírez Gomes**

Quienes me enseñaron que los logros solo se consiguen con esfuerzo y trabajo, y que todo lo bueno cuesta, que nada sería fácil pero con esmero y sacrificio todo se puede.

## **TAMBIÉN QUIERO DEDICARLES A MIS HERMANOS:**

**Eliseo Moreno Ramírez**

**Anselmo Moreno Ramírez**

**Lucia Moreno Ramírez**

**Raúl Moreno Ramírez**

**Estefany Moreno Ramírez**

Por el apoyo incondicional que me brindaron y sobre todo por la confianza depositada en mí, por los consejos que me dieron ya que esto influyo en mucho para lograr terminar la carrera.

## **A MIS AMIGOS:**

**Eric Javier Santiago López, Filadelfo Ricardo Zunun Cifuentes y Juan Carlos Quiroz Cueto.**

Por nuestra amistad, el apoyo otorgado en momentos difíciles, por compartir conocimientos y por los concejos brindados.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	3
<b>DEDICATORIA</b> .....	4
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	5
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	8
<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>Objetivos</b> .....	11
<b>Hipótesis</b> .....	11
<b>Prueba de hipótesis y ensayo de significancia</b> .....	11
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	12
<b>Los pivotes centrales</b> .....	12
<b>Uniformidad del riego</b> .....	14
<b>Factores que afectan la uniformidad del riego</b> .....	15
<b>Evaluación del sistema tipo pivote central</b> .....	15
<b>Características de precipitación de aspersion en los sistemas tipo pivote central</b> .....	15
<b>Sistema tipo “pivote central” descripción del equipo</b> .....	16
<b>El punto pivote</b> .....	16
<b>El lateral</b> .....	17
<b>Sistema de propulsión</b> .....	18
<b>Tubería porta emisores</b> .....	19
<b>Sistema Eléctrico Automático</b> .....	20
<b>El alineamiento</b> .....	21
<b>Los rociadores</b> .....	22
<b>Bajantes</b> .....	24
<b>Reguladores de presión</b> .....	26
<b>Los principales factores que se deben considerar en el diseño de un sistema de riego por pivote central son los siguientes:</b> .....	26
<b>Ventajas y desventajas del sistema tipo pivote central</b> .....	27

Ventajas del sistema tipo Pivote Central.....	27
Desventajas del sistema tipo Pivote Central.....	28
Efecto del viento sobre la distribución del agua.....	28
Patrón de aspersión.....	29
<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>30</b>
Localización.....	30
Materiales y equipos requeridos para realizar una prueba de pluviometría en pivote central.....	30
Metodología para la pluviometría observada.....	31
Característica general de los pivotes.....	32
Pivotes recabados de otros autores.....	32
Pivote central de la UAAAN.....	32
Simulación de la pluviometría en sistemas de pivote central.....	33
Tamaño de boquillas evaluadas.....	33
Gastos aplicados por rociador.....	35
Cálculo para predecir el radio de alcance para cada rociador.....	35
Tasa máxima de aplicación.....	36
Metodología para la predicción de la lámina precipitada por rotor con el modelo de Hermann y Hein.....	36
Aplicación del modelo.....	36
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>38</b>
Comparación de la pluviometría calculada con el modelo contra la pluviometría observada.....	39
Validación de los resultados del modelo.....	43
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de un sistema de riego tipo pivote central .....	13
Figura 2.2. Estructura del punto pivote.....	17
Figura 2.3. Estructura de la lateral pivote.....	18
Figura 2.4. Sistema de propulsión de una lateral pivote.....	19
Figura 2.5. Tubería porta emisores.....	20
Figura 2.6. Tablero de control de un sistema tipo pivote central.....	21
Figura 2.7. Sistema de alineamiento.....	22
Figura 2.8. Rociadores para pivote central.....	24
Figura 2.9. Tipo de bajantes con adaptadores, conectores y cuello de ganso.....	25
Figura 2.10. Definiciones de patrones de aspersion.....	29
Figura 3.1 pivote central UAAAN.....	33
Figura 3.2 Rotor del pivote central de la UAAAN.....	35
Figura 4.1. Pivote central 1 comparación de las láminas calculadas con el modelo contra las láminas observadas.....	39
Figura 4.2. Pivote central 2 comparaciones de las láminas calculadas con el modelo contra las láminas observadas .....	40
Figura 4.3. Pivote central 3 comparaciones de las láminas calculadas con el modelo contra las láminas observadas .....	41
Figura 4.4. Pivote central de la UAAAN, comparación de las láminas calculadas con regulador y sin regulador (pendiente a favor y pendiente en contra).....	42

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Coeficientes de uniformidad.....	14
Cuadro 3.1. Paquete de boquillas utilizadas para la simulación de la pluviometría con el modelo de Hermann y Hein.....	33
Cuadro 3.2. Simulación de la pluviometría.....	36
Cuadro 3.3. Traslape para predecir la lámina por colector.....	37
Cuadro 4.1. Valores estadísticos de la prueba de t-student encontrados en la comparación de las láminas calculadas y observadas.....	42

Correo electrónico; Geovanni Moreno Ramirez, [gmoreno-93@hotmail.com](mailto:gmoreno-93@hotmail.com)

## **Evaluación Hidráulica del Riego Mecanizado Tipo Pivote Central**

### **RESUMEN**

La evaluación de pivote central resulta necesaria para validar en condiciones de campo sus reales parámetros de funcionamiento. Generalmente la evaluación hidráulica proporciona los datos necesarios para corroborar el correcto funcionamiento hidráulico de la máquina de riego.

Pero también indican (Briones y Casillas, 1986), que la tasa de precipitación a lo largo de la línea lateral en un sistema de pivote central tiene características únicas, puesto que los aspersores o emisores más alejados del punto pivote irrigarán una mayor área por unidad de tiempo de la que riegan, los que están cerca del punto pivote.

En este trabajo se calculó la lámina precipitada por cada rotor con un modelo de simulación que se basa en el primer modelo presentado por (Hermann y Hein, 1968), que fue verificada con datos de campo. Su modelo de simulación requiere la entrada del gasto de descarga de los rociadores, radio de cobertura y una forma de patrón asumido ya sea de forma triangular, elíptica o dona.

Los datos de tamaño de boquillas, presión y caudal del paquete de rociadores instalados en el pivote central fueron utilizados para alimentar el modelo. La rutina del modelo matemático fue resuelta en Excel para obtener las láminas aplicadas por rociador y luego se traslaparon los patrones simples de aspersión para predecir la lámina precipitada por colector simulado a un espaciado de 3, 6, 10 y 3 metros en los pivotes 1, pivote 2, pivote 3 y pivote central de la UAAAN.

En tres pivotes de longitud estándar se compararon los datos del modelo con los datos observados en campo, según el análisis estadístico t-Student en dos de los pivotes evaluados se acepta la hipótesis  $H_0$ , mientras que en el otro pivote central se rechazó  $H_0$ . Esto indicó que el modelo de Hermann y Hein si es preciso y confiable en sus predicciones sobre todo en pivotes recién emboquillados.

El modelo de simulación calibrado se utilizó para determinar la distribución de la pluviometría para un pivote central Wade Rain 800 instalado en la Universidad, con una longitud de 116 m y 6.36" en diámetro prediciendo las láminas que se colectarían en campo con los rotores con y sin regulador de presión, y la variación esperada al funcionar con pendiente a favor o en contra.

**Palabras claves:** Tasa de precipitación, pivote central, lámina precipitada, coeficiente de uniformidad, presión, caudal, simulación, modelo.

## INTRODUCCIÓN

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.

El concepto básico del pivote central 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, cuyos rociadores, rotores o aspersores pueden ser ubicados a distancias variables del suelo.

Los primeros sistemas de riego autopropulsados fueron desarrollados en Nebraska, Estados Unidos, en 1948. Desde ese momento, se ha producido un constante mejoramiento de los equipos, hasta llegar a los actuales pivotes centrales. Los fabricantes de pivotes primero intentaron agregando cañones de alto caudal en los extremos de los pivotes, los que se activaban automáticamente cuando el extremo móvil llegaba a la esquina.

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. En la actualidad, casi todos los pivotes se mueven sobre ruedas de goma de diversos diámetros y anchos de neumático, 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 evaluación de pivote central resulta necesaria para validar en condiciones de campo sus reales parámetros de funcionamiento. Generalmente la evaluación hidráulica proporciona los datos necesarios para corroborar el correcto funcionamiento hidráulico de la máquina de riego.

Para el análisis hidráulico de estas máquinas existen en Cuba varios programas, por ejemplo el "Pivot", referido por (González y Navarro, 1999) y el "simufre" referido por (Pérez, 1998), los cuales como resultado ofrecen las soluciones para mejorar la distribución del agua. El análisis hidráulico, sin embargo debe estar siempre acompañado de una correcta evaluación pluviométrica.

El uso de coeficientes de uniformidad ponderados por superficie para pivote central, se planteó desde el pasado siglo, destacándose los trabajos de (Hermann y Hein, 1968), que modifica el conocido coeficiente de uniformidad de (Christiansen, 1942) para ponderarlo por superficie.

## Objetivos

- Predecir la pluviometría de los aspersores, rociadores o rotores con regulador y sin regulador.
- Modelar la pluviometría de paquetes de rociadores.
- Comparación de la pluviometría calculada por el modelo de Herman y el observado en campo por otros autores.
- Modelar la pluviometría del paquete de rotores Nelson con regulador y sin regulador simulando el avance de un pivote central WR800 sobre el terreno.

## Hipótesis

**Ho:** La pluviometría que predice el modelo es igual a la pluviometría observada en campo.

**Ha:** La pluviometría que predice el modelo es diferente a la pluviometría observada en campo. Se rechaza Ho.

## Prueba de hipótesis y ensayo de significancia

Si  $T_{cal} \leq T_a$  se acepta Ho., deduciendo que el modelo es preciso.

Si  $T_{cal} > T_a$  se rechaza Ho., deduciendo que el modelo es erróneo.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## Los pivotes centrales

Las máquinas de riego han hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de riego no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción. Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado mucho según (Camacho, 1998) citado por (Broner, 2005).

Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico, según menciona (Keller y Bliesner, 1990). Gracias a los pivotes centrales y laterales móviles automáticos, es relativamente fácil manejar los niveles de riego en forma adecuada según menciona (González, 2006).

El nivel tecnológico utilizado en la aplicación de agua a los cultivos, depende directamente de los recursos disponibles y de los beneficios que son posibles de obtener al optimizar dichos recursos. Sin embargo, el uso de un mayor nivel tecnológico permite garantizar un mejor control de algunos de los factores que afectan el rendimiento de los cultivos y con ello disminuir los riesgos producto de las fluctuaciones de dichos factores (Becerra, 1995).

El pivote central, corresponde a uno de los equipos de mayor nivel tecnológico en la aplicación del agua mediante aspersión a los cultivos, con grandes ventajas que han incentivado su adopción durante los últimos años en Chile. Definido según (Tarjuelo, 1999) como ramales auto desplazables, donde el agua es aplicada a través de emisores localizados sobre o bajo una tubería elevada (aspersores de alta presión tipo impacto, de media presión tipo spray, wobblers, rotadores, spiners y de baja presión, LDN y LEPA). La tubería se divide en tramos, que son soportados por un número variable de torres automotrices que se desplazan en círculo sobre el terreno, alrededor del punto fijo denominado punto pivote (Martínez, Sánchez y Serrano, 2001).

Este último. Integra el tablero de comando, la interconexión hidráulica proveniente del sistema de impulsión y las de suministro eléctrico que permiten el accionamiento de toda la unidad. Creado en 1948 por Frank Zybach en los

Estados Unidos y patentado en 1952 (Uribe, Lagos y Holzapfel, 2001), se ha perfilado a través de los años en dicho país como una de las máquinas de riego más populares, lo que se evidencía al predominar en las 125.000 unidades de equipos autopropulsados que riegan más de 7,9 millones de hectáreas, equivalentes al 29% del área total de riego en los Estados Unidos (Evans, 1999).

Las grandes ventajas del pivote central como sistema de riego, han despertado interés entre los productores agrícolas, no solo por el menor costo de inversión por hectárea regada (a mayor longitud del equipo), sino también por otras características tales como: su versatilidad para ser utilizado en diferentes condiciones de suelo, clima y cultivo, alto grado de automatización, posibilidad de aplicar cargas diferenciadas de agua acordes a las reales necesidades del cultivo, inyección de agroquímicos y la uniformidad en la aplicación de agua (Allen, Keller y Martín, 2000) Esta última, será alta, cuando el diseño del equipo en fabrica, montaje en terreno y operación, se ajusten a las características de la explotación y demanda hídrica del cultivo según su estado de desarrollo (Tarjuelo, 1999).

La evaluación técnica de un pivote central, considera entre otros aspectos, la determinación de dos coeficientes que reflejan la calidad del riego y que se asocian a la uniformidad del cultivo. Estos son la Uniformidad de Distribución, indicador de la magnitud de los problemas en el proceso de aplicación de agua y el Coeficiente de Uniformidad de Hermann y Hein. Este último, corresponde a una modificación del Coeficiente de Christiansen, donde cada pluviómetro representa una corona circular de área creciente a medida que se aleja del punto pivote (Hermann y Hein, 1968).



Figura 2.1 esquema de un sistema de riego tipo pivote central.

## Uniformidad del riego

Algunos investigadores indican que la afectación que tienen las bajas uniformidades de distribución del riego en los sistemas de aspersión, es de suma importancia en la afectación de los rendimientos agrícolas (Pérez et al., 2003; Buendía et al., 2004), ya que en las áreas que se riegan de manera insuficiente debido a la des uniformidad ocurre una reducción de los rendimientos agrícolas.

Actualmente el coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein es el parámetro utilizado por la norma internacional UNE-EN ISO 11545 para evaluar la uniformidad de distribución de agua entregada por un sistema de riego tipo pivote central.

La uniformidad se deduce por la forma del patrón de aspersión, simétrico o asimétrico. En la mayoría de los aspersores, la simetría del patrón elíptico de aspersión podría dividirse en dos mitades equivalentes, cada una imagen espejo de la otra, con excepciones de los aspersores de giro parcial. La proporción adecuada de la precipitación está en función del traslape y la armonía en la posición de las partes o puntos unos respecto de otros, y con referencia a la posición de la línea regante por donde pasa el eje de simetría. Al mover el eje de simetría cada aspersor llega a traslapar consigo mismo y los puntos de la parte izquierda encuentran posición de coincidencia con los puntos de la parte derecha. En campo se pierde la simetría de las partes debido a la distorsión del patrón de aspersión influida por el viento (dirección y velocidad) variaciones en la presión, desgaste de las boquillas y la falta de verticalidad de los aspersores o variaciones en la velocidad del giro.

Cuadro 2.1 Coeficientes de uniformidad.

Sistema	CU (%)
Laterales móviles	70 a 86 %
Aspersión fija	70 a 88 %
Laterales auto desplazables	75 a 94 %
Cañones de riego	60 a 75 %

## **Factores que afectan la uniformidad del riego**

Según (Foley and Raine, 2001). Entre los principales factores que afectan la uniformidad del riego en los sistemas tipo pivote central se encuentran:

- El incorrecto espaciamiento de los emisores, la presión de operación y el tipo de emisor.
- El tamaño de la boquilla y su distribución a través del equipo.
- La altura de la boquilla y el ángulo de la descarga.
- El desplazamiento del equipo, a través de la secuencia de avance.
- La variación de la tasa de descarga originada por una discontinua operación del cañón del extremo (si existe), o por una variación en el caudal bombeado.
- La escorrentía superficial ocurrida por exceso de tasas de aplicación a la tasa de infiltración del suelo.

## **Evaluación del sistema tipo pivote central**

Según Zazo et al (2007), la evaluación hidráulica de un sistema de riego tipo pivote central consiste en analizar a través de técnicas basadas en mediciones de campo, su correcto funcionamiento bajo condiciones reales de uso, y en determinar la eficiencia del sistema. Además verificar los parámetros de funcionamiento de la máquina, entre ellos: la presión, el caudal descargado, la velocidad de avance, la tasa de aplicación.

(Chu y Moe, 1972) estudiaron el sistema hidráulico de una sistema de pivote central y desarrollaron una aproximación rápida para determinar la pérdida de presión desde el pivote, al extremo exterior del lateral como una constante (0.543) veces la pérdida que se produciría si toda la descarga fluía la longitud total del lateral.

## **Características de precipitación de aspersion en los sistemas tipo pivote central**

Indicaron (Briones y Casillas, 1986) que la tasa de precipitación a lo largo de la línea lateral en un sistema de pivote central tiene características únicas, puesto

que los aspersores o emisores más alejados del punto pivote irrigarán una mayor área por unidad de tiempo de la que riegan, los que están cerca del punto pivote.

También mencionan que la tasa de precipitación varía a lo largo de la línea lateral desde valores muy bajos cerca del punto pivote, hasta valores relativamente altos en el otro extremo de la línea. Indicando que la tasa de precipitación de aspersión es determinada por el tamaño de las boquillas de los aspersores o emisores, la presión a la boquilla, el espaciamiento entre aspersores o emisores, la longitud de la línea lateral y el tipo de aspersor o emisor usado.

## **Sistema tipo “pivote central” descripción del equipo**

Es un ala de riego con un extremo fijo, por el que recibe el agua y la energía eléctrica, y otro móvil que describe un círculo girando sobre el primero, caracterizándose porque se mueve mientras riega. Está formado por una tubería porta emisores que va sustentada sobre torres automotrices, dotadas normalmente de un motor eléctrico y dos ruedas neumáticas. La tubería, que normalmente es de acero galvanizado, sirve de elemento resistente para vencer el vano entre torres juntamente con barras o cables, formando una viga en celosía, dejando un vano hasta el suelo de unos 3 m.

Cada tramo va unido a una torre soporte y articulado con el tramo anterior, debiendo permitir giros según un eje vertical y otro horizontal. La unión debe ser estanca y sólida ya que tiene que transmitir esfuerzos importantes, especialmente en equipos trasladables.

### **El punto pivote**

Consta de una estructura de acero en forma de pirámide, que va anclado a una placa gruesa de hormigón, y sostiene un tramo vertical de tubería que lleva adjunta una barra estabilizadora, con anillos deslizables, que permiten el giro.

Arriba del codo inferior existe una válvula de compuerta, una válvula de retención y un cuello de cisne que conecta con la tubería enterrada así como algunos elementos de control como manómetro.

El codo superior, que puede girar libremente, lleva asociado un colector de cinchos que conecta las escobillas de los cables de alimentación de los motores

de las torres, los de seguridad y control con el tablero de maniobra que va fijo en la estructura pivote, el cual suele recibir la alimentación eléctrica trifásica desde la caseta de bombeo, mediante un cable enterrado.

Al tablero llega además un cable bipolar de automatismos que pone en contacto el pivote con la estación de bombeo para su funcionamiento coordinado.

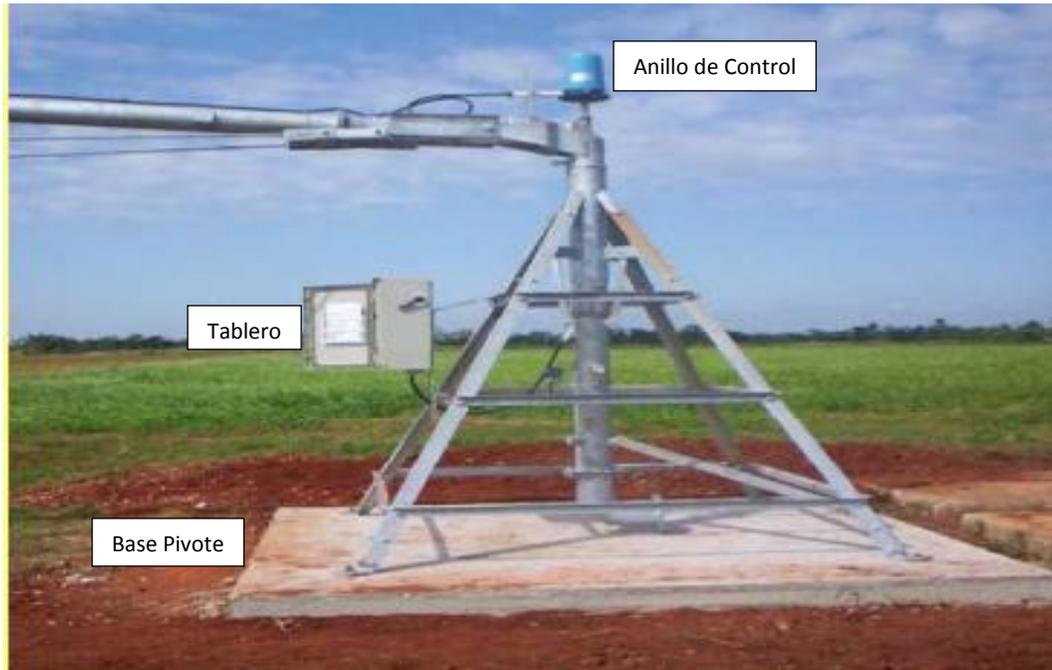


Figura 2.2 Estructura del punto pivote.

## El lateral

La separación entre torres varía entre 25 y 75 m, aunque las más frecuentes son de unos 38 m (tramo corto) y 50 m (tramo largo).

Los equipos de tramo largo son, normalmente, más económicos por llevar menos torres, pero se adaptan peor a topografías onduladas y transmiten más peso al terreno, con mayor posibilidad de atascamientos. Por esta razón, los tramos finales de los equipos grandes suelen ser tramos cortos.

Las longitudes de lateral van desde 60 a 800 m. La inversión por hectárea regada disminuye al aumentar la longitud del equipo, pero el coste de aplicación de agua, que contempla además el mantenimiento, la mano de obra, la energía y el agua consumida, permanece prácticamente constante a partir de 50-60 ha regadas (400-450 m de lateral) por crecer en gran medida el coste energético.



Figura 2.3 Estructura de la lateral pivote.

### **Sistema de propulsión**

La propulsión es normalmente con motores eléctricos, por tener ventajas sobre los otros sistemas al permitir una fácil regulación de la velocidad y el sentido de avance así como poder moverse sin necesidad de regar.

En cada torre lleva un motor de 1,5; 1; 3/4 o 1/2 CV que transmite el movimiento a las dos ruedas.

La velocidad de avance del equipo se regula actuando sobre el motor de la torre extrema, haciéndola funcionar en fracciones de minuto, en cuyo caso alcanza una velocidad de 1,5 a 1,8 m/min, e incluso 3 m/min cuando se trata de laterales de gran longitud.

Las ruedas suelen ser neumáticas, de unos 50 cm de radio, aunque existen las denominadas "de alta flotación" que son más anchas y de radio 52,5 cm, que tienden a evitar el hundimiento en el terreno, aunque no siempre se consigue.



Figura 2.4 Sistema de propulsión de un lateral pivote.

### **Tubería porta emisores**

Suele ser de diámetro único y adecuado al caudal a transportar, el cual depende de las necesidades del cultivo y de la superficie a regar. Debe ser sólida y resistente a la corrosión en sus diversas formas ya que el agua llevará disueltos abonos y productos fitosanitarios.

Los diámetros nominales de tubería (los exteriores) suelen ser de 4 1/2" (114,3 mm), 5 9/16" (141,3 mm), 6" (152,4 mm), 6 5/8" (168,3 mm), 8 " (203,2 mm) y 10" (254 mm).

En los laterales de gran longitud (a partir de 500 m aproximadamente) suele emplearse dos diámetros diferentes, tubería de 8" en un primer tramo y 6 5/8" en el segundo tramo.

El diámetro 4 1/2" suele utilizarse para longitudes menores de 300 m, los denominados "mini pivote", al ser competitivos económicamente con otros sistemas como la aspersión fija.

Las tuberías se fabrican principalmente de acero galvanizado, interior y exteriormente, aunque también pueden ser de aluminio o acero revestido con pintura epoxi.

El espesor de tubería de acero está comprendido normalmente entre 2,5 y 4,0 mm según los diámetros, siendo los más frecuentes de 2,65 y 3,2 mm.



Figura 2.5 Tubería porta emisores.

### **Sistema Eléctrico Automático**

El sistema eléctrico está formado por: El tablero de control, funciones de mando y el colector de anillos rozantes, localizados en el pivote central, los cuales se comunican con los cables conductores de las armaduras y las cajas de alineación de las torres de transmisión. Para transmitir corriente a los motor reductores y transmitir las señales a los mecanismos (sis, paro automático, opción de cañón final y auto reversa).

El tablero central controla los siguientes automatismos:

- La velocidad de desplazamiento y el sentido de avance.
- El arranque/realineación: interruptor manual, que elimina momentáneamente el sistema de seguridad y sirve para realinear la máquina.
- La parada en una posición y el conmutador sectorial (sis) que permiten regar un sector circular.

- El funcionamiento coordinado de bomba y pivote de forma automática.

El colector realiza las conexiones eléctricas entre las partes móviles y las fijas.

Las cajas de torre pueden ser de varios tipos: de torre intermedia, de torre final y otras particulares, como la instalada en la penúltima torre cuando existe la unidad anti patinaje.

La torre final no lleva mecanismo de alineamiento y la anti patinaje lleva dos relés sincronizados, en caso de que la última torre patine durante un tiempo fijado (3-5 minutos), para todo el equipo.

Los mecanismos de seguridad se centran fundamentalmente en la parada completa del equipo cuando se supera un cierto ángulo entre tramos.



Figura 2.6 Tablero de control de un sistema tipo pivote central.

## El alineamiento

Para mantener recto el lateral se dispone de un "mecanismo de alineamiento" que, arranca o para el avance de cada torre conductora mediante un contacto eléctrico, cuando los dos tramos que concurren en la torre forman un ángulo de unos 20°.

El accionamiento del contacto de alineamiento suele ser a través de una leva dispuesta en un plano horizontal, que normalmente lleva asociados los otros mecanismos de seguridad.

Si el ángulo formado por los dos tramos que concurren en la torre sobrepasa un valor umbral (por avería del sistema de alineamiento o porque alguna rueda se atasca, patina, o encuentra algún obstáculo), un mecanismo de seguridad para automáticamente todo el sistema.

De la misma forma, existen mecanismos que paran el sistema cuando la última torre, que es la de control, patina.

Es importante, que los contactos sean seguros y duraderos para que cumplan su función con garantía en condiciones de campo a espacio abierto.



Figura 2.7 Sistema de alineamiento.

## Los rociadores

Pueden ser de tres tipos:

- Aspersores giratorios
- Toberas pulverizadoras
- Cañones de extremo.

La intensidad y uniformidad de lluvia que proporciona el lateral depende de:

- ❖ El tipo de rociador

- ❖ Su espaciamiento en la tubería
- ❖ La presión en las boquillas
- ❖ El tamaño de las boquillas.

Es principalmente en los emisores donde se producen mayores innovaciones, al tratar de conseguir que trabajen a baja presión, con tamaño medio de gota y con la mayor anchura posible.

Existen tres modelos de aplicación de agua que se diferencian en:

- El tipo de rociador
- Su disposición a lo largo del lateral
- El diámetro de alcance de cada emisor

Pudiendo conseguir con todos ellos una distribución uniforme.

- A. Sistemas con aspersores de tamaño creciente del centro pivote al extremo, que funcionan a alta presión (más de 300 kPa o 3 kg/cm<sup>2</sup>), con anchura de mojado en el extremo entre 35 y 50 m.
  
- B. Sistemas con aspersores de tamaño medio pero con menor espaciamiento a medida que se aproximan al extremo, que trabajan a media presión (200-300 kPa o 2-3 kg/cm<sup>2</sup>), con anchura de mojado en casi todo el lateral de 20 a 30 m.
  
- C. Sistemas con toberas pulverizadoras que trabajan a baja presión (70-170 kPa o 0,7-1,7 kg/cm<sup>2</sup>) y necesitan reguladores de presión. Su separación disminuye al acercarse al extremo y la anchura de mojado es de 6 a 15 m en todo el lateral. Normalmente se utilizan espaciamientos de 12 m entre emisores en el primer tercio del lateral, espaciamientos de 6 m en el segundo tercio y de 3 m en el tercio final. Esto permite fabricar los tubos con salidas cada 3 m.

Conviene que las aguas sean limpias para evitar la obstrucción de las toberas más pequeñas, y en algunas instalaciones se colocan filtros de malla a la entrada del pivote.

La tendencia actual es la baja presión, por el importante ahorro energético que supone, pero tiene como limitación la alta pluviometría en el extremo, y la peor adaptabilidad a la topografía irregular.

Tratando de incrementar la anchura de mojado, las toberas se pueden localizar en pequeños tubos horizontales (llamados booms) que se disponen casi perpendiculares al lateral y albergan entre 2 y 5 emisores.

En el extremo del lateral puede ponerse uno o varios cañones, con una o varias boquillas, que funcionen a presiones entre 350 y 500 kPa (3,5 y 5 kg/cm<sup>2</sup>), haciéndose necesaria una bomba de sobrepresión.

Los fuertes vientos provocan la distorsión del chorro de los cañones provocando la falta de uniformidad en el riego, no estando indicado para zonas con vientos.

La principal ventaja de estos cañones es cubrir una longitud entre 15 y 30 m más allá del extremo del lateral, lo que supone una superficie importante, aunque la uniformidad del riego suele ser mala.



Figura 2.8 Rociadores para pivote central (*Cortesía de Nelson Irrigation*).

## **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.

Los bajantes son piezas de acero galvanizado rígidos o de manguera flexible que permiten acercar la aspersión 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.

La Manguera para bajante, especialmente diseñada para instalarse en pivotes y sistemas laterales es fabricada en tubería flexible y reforzada, de 20 mm 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.



Figura 2.9 Tipo de bajantes con adaptadores, conectores y cuello de ganso.

## **Reguladores de presión**

Se requieren los reguladores de presión para prevenir fluctuaciones, evitar el exceso de riego y mantener la eficacia general del sistema de irrigación.

El exceso de riego aumenta la intensidad de aspersion y puede producir compactación del suelo 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 permita 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.

## **Los principales factores que se deben considerar en el diseño de un sistema de riego por pivote central son los siguientes:**

- El rango máximo de uso de agua para el área de diseño.
- La capacidad del sistema.
- Las características de infiltración del suelo.
- La configuración de las boquillas de los aspersores.
- El sistema de suministro de agua y energía.

- Existen cinco tipos de fuente de energía para propulsar un equipo de aspersión de Pivote Central, estas son: Movimiento por medio de agua; pistón, Rotatorio, Movimiento por medio de aceite; Pistón, Rotatorio, Eléctrica, Neumática y Mecánica.

## **Ventajas y desventajas del sistema tipo pivote central**

### **Ventajas del sistema tipo Pivote Central.**

- El abastecimiento de agua es regular y sumamente fácil, ya que el punto central estacionario permite esta particularidad.
- El punto central fijo facilita también el control del movimiento y la alineación del brazo rotatorio.
- Al terminar la aplicación de un riego, la lateral se encuentra en posición adecuada para el inicio del siguiente.
- Con los aspersores regantes en movimiento se pueden obtener uniformidades de aplicación muy altas, disminuyendo así, el efecto que pudiera tener el viento sobre la distribución del agua.
- La característica de tener un punto fijo, elimina o disminuye problemas neumáticos u operacionales difíciles asociados a otros sistemas de riego autopropulsados.
- Según (Jensen, 1980), los equipos de aspersión de Pivote central son mejores sobre los equipos estacionarios bajo condiciones de viento.
- El lateral en continuo movimiento representa un infinito número de posiciones a lo largo del área a regar, por lo que solo afecta a aquellos lugares donde el lateral este en sentido contrario a la dirección del viento.
- El espaciamiento entre aspersores en la mayoría de estos equipos no son mayores de 12 m obteniéndose altas uniformidades de distribución.

- Posibilidad de aplicación de fertilizantes y químicos con el agua de riego.
- Fácil automatización.

### **Desventajas del sistema tipo Pivote Central.**

- Debido a la particularidad de regar superficies circulares tratándose de campos con lados rectos como son la mayoría, el equipo que se proyecte solo podrá regar un máximo de 90% de la superficie, ya que no puede hacerlo en las esquinas.
- La intensidad de aplicación en el extremo del lateral, oscila entre 25 a 50 ml/h, lo cual para reducir o eliminar los problemas de escurrimiento y encharcamiento, obliga a programar aplicaciones rápidas pero frecuentes.
- Las diferencias de elevación que puedan existir entre los extremos del lateral hacen más difícil el diseño hidráulico del equipo.
- El pivote central requiere una inversión bastante alta, debiéndose efectuar un estudio económico financiero, para poder seleccionar este sistema.
- Estos equipos presentan aspersores a mayores alturas sobre la superficie del suelo, por lo tanto, están sujetos a los efectos de altas velocidades del viento.
- Intensidad de aplicación alta en el extremo del lateral.
- Mano de obra especializada para mantenimiento del sistema.

### **Efecto del viento sobre la distribución del agua**

(Jensen, 1980), asegura que es muy importante tomar en cuenta este factor climático, ya que modifica apreciablemente la uniformidad de aplicación sobre el terreno.

Por ello las condiciones del viento (velocidad y dirección) se deben determinar de antemano, para considerarlas en el diseño, y poder reducir su efecto al mínimo.

(Pair, 1975), reporta coeficientes de uniformidad entre 80-85% bajo velocidades del viento de 1.3 a 4.5 m/segundo y dirección del viento igual a la de la lateral.

(Hart y Hermann, 1976), citado por (Jensen, 1980), reportan que el efecto principal del viento en este tipo de equipos es el aumento o disminución del área regada, de acuerdo a la dirección del viento respecto a la posición del lateral; encontrando un aumento del 19% del área regada cuando la posición del lateral fue paralela a la dirección del viento.

### Patrón de aspersión

Hay tres patrones de aspersión disponibles. Ellos son: triangular, elíptica, y dona. Los cuales están asociados con el modelo de aspersión utilizado. En sistemas de boquillas individuales de alta presión generales tienen patrones triangulares, sistemas duales de boquilla tienen patrones elípticos, y baja sistemas de pulverización de presión tienen un patrón de dona.

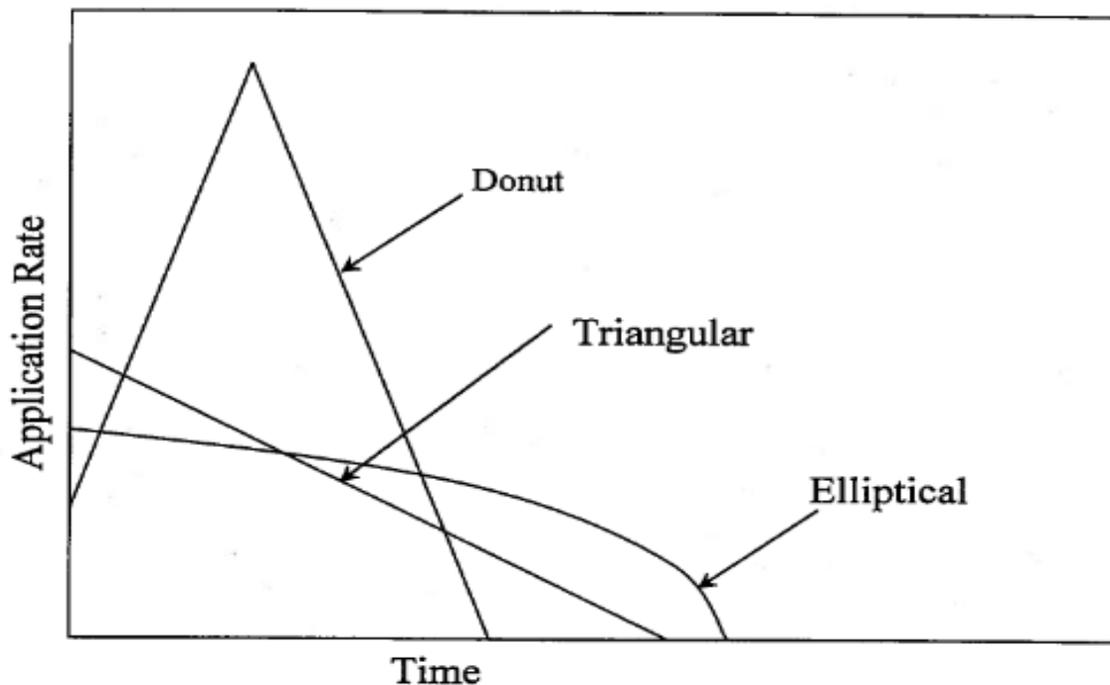


Figura 2.10 Definiciones de patrones de aspersión.

## **MATERIALES Y METODOS**

Para desarrollar el estudio de la pluviometría de distribución de agua de un pivote central, es necesario contar con una metodología clara, precisa y que sea lo más simple posible de desarrollar. Es necesario contar con una forma de evaluación que permita hacer comparables los resultados de distintas evaluaciones en diferentes lugares y tiempos.

### **Localización**

El presente trabajo se realizó en Buena Vista Saltillo Coahuila, en el centro de cómputo académico de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

### **Materiales y equipos requeridos para realizar una prueba de pluviometría en pivote central**

- Un manómetro Bourdon con carátula graduada (de 0 a 60 libras/pulgada cuadrada) con aditamento pitot, para medir presión de los rociadores.
- Un cronómetro o reloj con segundero fácilmente legible, para tomar el tiempo de desplazamiento de las torres de transmisión.
- Un juego de 60 a 100 envases colectores (pluviómetros) de un litro de capacidad (cilíndricos con 10 cm en diámetro y unos 12 cm en altura).
- Una probeta de 250 cm<sup>3</sup> de capacidad, para medir los volúmenes de agua colectados en los pluviómetros durante la prueba.
- Una cinta métrica no metálica para medir la distancia entre colectores, la longitud de las armaduras, la anchura de mojado de las boquillas y usarla para estimar la velocidad de la última torre.
- Una sonda de suelo o barrena de muestreo.

- Un nivel de arquitecto y un estatal para revisar la altimetría del campo (o hacer el reconocimiento topográfico con un GPS recorriendo el área de prueba).
- Una pala para emparejar el suelo en los puntos de localización correspondiente a los colectores y para excavar el perfil de suelo, explorar la profundidad de raíces y apreciar la penetración del agua infiltrada.
- Un formato para el registro de datos, literatura de los fabricantes para cotejar la descarga y presión de las boquillas codificadas por color y el manual del usuario para establecer las funciones de mando y la velocidad de la máquina.
- Una cubeta de 10 a 25 litros de capacidad para aforar volumétricamente el caudal de las boquillas.

Se recopilarán los datos de pluviometría para laterales pivote evaluados por otros investigadores, reportados en documentos de la WEB y en el banco de tesis de la Universidad, en dichas pruebas los datos se recabaron aplicando la metodología siguiente.

## **Metodología para la pluviometría observada**

Se colocan los colectores a cada 3 metro de separación.

Se hace funcionar el sistema tipo pivote central a una velocidad tal que deposite una lámina de riego media.

Se registran los datos de lámina de riego mediante la medición del volumen, o alternativamente, la masa o profundidad de agua recogida en los colectores.

Debe eliminarse cualquier punto de recogida de datos erróneos que sea evidente, provocado por fugas, colectores ladeados o cualquier variación justificada en el análisis de la distribución del riego. El número de observaciones eliminadas no debe superar el 3% del número total de láminas medidas.

Se eliminan del análisis aquellas observaciones más allá del radio o longitud efectiva de la máquina.

Si el conjunto de rociadores se diseña con un cañón en el extremo del pivote, el ensayo se realiza con éste funcionando. El número de rociadores debe

permanecer constante durante el ensayo. Si se desea, la evaluación también se puede llevar a cabo sin que funcione el cañón para poder evaluar la distribución del riego en esas condiciones.

## **Característica general de los pivotes**

### **Pivotes recabados de otros autores**

Pivote central 1: de 395 m de longitud incluyendo el voladizo, posee 10 torres, sin cañón final, (evaluado por Hanson y Wallender, 1986).

Pivote central 2: marca Dizzy Lizzy, su longitud es de 349 m de 6 torres de 54 m c/u más un voladizo de 25 m, sin cañón final, con rotores Nelson R3000 (evaluación reportada por Smith, 2010).

Pivote central 3: marca Valley 6000, su longitud es de 398.59 m con 7 torres de 55.74 m c/u más un voladizo de 10 m, con Rociadores Súper Spray de Senninger (evaluado por estudiantes de la carrera de Irrigación del Departamento de Riego y Drenaje, 2004).

### **Pivote central de la UAAAN**

El equipo utilizado en el estudio es un pivote central marca Wade Rain 800 de 116 m de longitud, con dos torres de 55 m cada uno más un voladizo de 6 m. Este pivote central corresponde a un equipo diseñado para regar en condiciones de baja presión, con bajantes desde la tubería principal que posee en el extremo inferior rociadores R3000BR de Nelson, los cuales riegan en un ángulo de 360°. El largo del pivote central se diseñó en base a la superficie de riego a cubrir.

Los rociadores instalados en el pivote central, corresponden a la marca Nelson modelo R3000BR, los cuales funcionan a una presión determinada por un regulador de presión de 15 PSI. Las boquillas se codifican según número y color en base al diámetro del orificio (del #14 al #20).



Figura 3.1 Pivote central UAAAN.

## **Simulación de la pluviometría en sistemas de pivote central**

El modelo de simulación se basa en el primer modelo presentado por (Hermann y Hein, 1968), que fue validado con datos de campo. Su modelo de simulación requiere la entrada del gasto de descarga de los rociadores, radio de cobertura y una forma de patrón asumido ya sea de forma triangular, elíptica o dona. Se determinaron las tasas de aplicación a una distancia especificada desde el pivote.

Las horas por revolución de entrada y cada torre se supone que debe moverse a una velocidad constante para el círculo completo. (Kincaid y Hermann, 1970) añaden el cálculo de la resistencia al flujo y verificado con distribución de la presión medida a lo largo del lateral de pivote central.

## **Tamaño de boquillas evaluadas**

El tamaño de boquillas utilizadas para la predicción de la pluviometría en el pivote central instalado en la UAAAN de la marca Wade Rain se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 3.1. Paquete de boquillas utilizadas para la simulación de la pluviometría con el modelo de Hermann y Hein.

# de boquilla	gasto	regulador	Código
	GPM	Modelo	Color
14	1.3	LB15	Lima
14	1.3	LB16	Lima
14	1.3	LB17	Lima
14	1.3	LB18	Lima
14	1.3	LB19	Lima
14	1.3	LB20	Lima
15	1.6	LB21	Lima/Lavanda
15	1.6	LB22	Lima/Lavanda
15	1.6	LB23	Lima/Lavanda
15	1.6	LB24	Lima/Lavanda
18	2.2	LB25	Gris
19	2.5	LB26	Gris/Turquesa
17	2	LB27	Lavanda/gris
14	1.3	LB28	Lima
14	1.3	LB29	Lima
15	1.6	LB30	Lima/Lavanda
15	1.6	LB31	Lima/Lavanda
15	1.6	LB32	Lima/Lavanda
15	1.6	LB33	Lima/Lavanda
16	1.8	LB34	Lavanda
16	1.8	LB35	Lavanda
16	1.8	LB36	Lavanda
16	1.8	LB37	Lavanda
16	1.8	LB38	Lavanda
16	1.8	LB39	Lavanda
16	1.8	LB40	Lavanda
17	2	LB41	Lavanda/Gris
20	2.7	LB42	Turquesa



Figura 3.2 Rotor del pivote central de la UAAAN.

### **Gastos aplicados por rociador**

Para calcular el gasto que aplica cada rociador se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{GPM} = 28.51 * (\# \text{boquilla} / 64)^2 * \text{Raíz (psi del rociador)}$$

Que es la multiplicación del coeficiente 28.51 por el calibre de boquilla dividido entre sesenta y cuatro elevado al cuadrado por la raíz de la presión en cada rociador. Esto es cuando no se conoce el gasto de cada rociador; en el pivote de la UAAAN ya se tiene el paquete de boquillas con los gastos de cada uno.

### **Cálculo para predecir el radio de alcance para cada rociador**

El radio de alcance de cada rociador en metros fue estimado con la siguiente función de Excel programada en una rutina creada para la simulación.

$$\text{Radio} = 0.1524 * (18 + 0.3 * (M7 / (2.45 * (G7 / 64)^2)) + 0.5 * G7)$$

Donde:

Gasto del rociador "M7".

Numero de boquilla "G7"

## Tasa máxima de aplicación

El cálculo de la tasa máxima de aplicación, (do) fue dado por:

$$(do=1.5*((M7*60*3.785)/(3.1416*N7^2)))$$

Uno punto cinco por el gasto de cada rociador por sesenta por tres punto setecientos ochentaicinco dividido entre tres punto mil cuatrocientos dieciséis por el radio de alcance del rociador al cuadrado.

## Metodología para la predicción de la lámina precipitada por rotor con el modelo de Hermann y Hein

$$Dp = \frac{r}{2} * \pi * (do) * (1-m^2) / v$$

Donde:

Dp = Lámina Precipitada (mm)

r = Radio de Mojado de los Rotores o Rociadores (m)

do = Tasa máxima de precipitación (mm/ha)

v = Velocidad de Giro del Rotor o Rociador (mm/hora) calculado como ( $v = w * x$ ) siendo x la distancia radial del punto pivote al rotor analizado, y w la velocidad angular de la tubería pivote (radianes/hora).

m = Posición adimensional del colector (x/r) siendo x el espaciado entre el rotor y el colector.

## Aplicación del modelo

Los datos del tamaño de boquillas, presión y caudal del paquete de rociadores instalados en el pivote central de la UAAAN fueron utilizados para alimentar el modelo. La rutina del modelo matemático fue resuelta en Excel para obtener las láminas aplicadas por rociador y luego se traslapan los patrones simples de aspersión para predecir la lámina precipitada por colector simulado a un espaciamiento de 3 metros.

Cuadro 3.2 Simulación de la pluviometría Pivote Central UAAAN.

# boquilla	distancia a rociador (xj) en m	distancia a colector (xp) en m	gasto real rociador gpm	radio de alcance r m	Tasa máx. do mm/hora	$r*do*To/4*xj$	lamina Dp calculada mm
	0	0	0				mm
14	7.34568	3	1.3	5.83790384	4.13606145	19.7225545	8.7939
14	13.07592	6	1.3	5.83790384	4.13606145	11.0795703	18.6746
14	18.80616	9	1.3	5.83790384	4.13606145	7.7036234	23.8175
14	24.56688	12	1.3	5.83790384	4.13606145	5.89719062	17.88
14	30.29712	15	1.3	5.83790384	4.13606145	4.7818266	14.3
14	36.05784	18	1.3	5.83790384	4.13606145	4.01786614	10.75
15	41.78808	21	1.6	6.06039024	4.72363474	4.11032091	10.31
15	47.51832	24	1.6	6.06039024	4.72363474	3.61465681	7.4476
15	53.24856	27	1.6	6.06039024	4.72363474	3.22567257	8.1293
15	56.96712	30	1.6	6.06039024	4.72363474	3.01511502	5.5588
18	62.14872	33	2.2	6.19084971	6.22414446	3.7200518	6.6723
19	67.87896	36	2.5	6.30835112	6.81186132	3.79837402	4.5971
17	73.6092	39	2	6.15448583	5.72537515	2.87220132	6.2377
14	76.5048	42	1.3	5.83790384	4.13606145	1.89367954	4.723
14	79.36992	45	1.3	5.83790384	4.13606145	1.82532091	5.9463
15	82.23504	48	1.6	6.06039024	4.72363474	2.08867679	4.3981
15	85.13064	51	1.6	6.06039024	4.72363474	2.01763336	5.2953
15	87.99576	54	1.6	6.06039024	4.72363474	1.95193972	5.4684
15	90.86088	57	1.6	6.06039024	4.72363474	1.89038912	6.1517
16	93.726	60	1.8	6.11217306	5.22442772	2.04421013	5.5319
16	96.6216	63	1.8	6.11217306	5.22442772	1.98294831	5.2033
16	99.48672	66	1.8	6.11217306	5.22442772	1.92584134	5.7417
16	102.35184	69	1.8	6.11217306	5.22442772	1.87193155	4.9396
16	105.18648	72	1.8	6.11217306	5.22442772	1.82148541	5.6193
16	108.0516	75	1.8	6.11217306	5.22442772	1.7731865	5.2959
16	110.36808	78	1.8	6.11217306	5.22442772	1.73596966	5.9732
17	113.2332	81	2	6.15448583	5.72537515	1.86712414	5.5361
20	116.22024	84	2.7	6.33098214	7.30430825	2.38736962	5.6395

		87					5.6455
		90					5.5903
		93					5.578
		96					5.5538
		99					5.4275
		102					5.2748
		105					5.4273
		108					5.4745
		111					5.6371
		114					5.1486

Cuadro 3.3 Traslape para predecir la lámina por colector.

xroc-xbot	$1-(x/r)^2$	Dp mm
-7.65432	-0.719092932	-14.1823496
-1.92408	0.891374353	9.87604477
3.80616	0.574930242	4.42904607
9.56688	-1.68551003	-9.93977394
15.29712	-5.866026461	-28.0503214
21.05784	-12.01109263	-48.2589623
26.78808	-18.538085	-76.1974785
32.51832	-27.79088542	-100.454513
	lamina/bote	14.3050908

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Comparación de la pluviometría calculada con el modelo contra la pluviometría observada.

En las figuras siguientes se muestran las comparaciones encontradas al graficar la lámina calculada con el modelo y la observada en campo de los pivotes centrales.

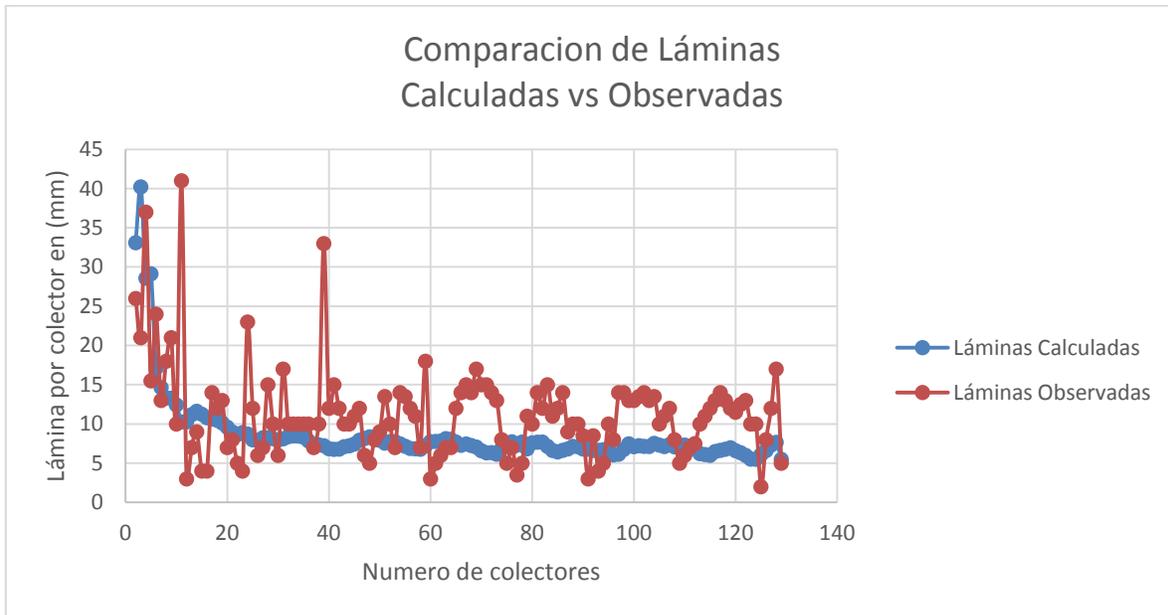


Figura 4.1 Pivote central 1 comparación de las láminas calculadas con el modelo contra las láminas observadas.

En la figura 4.1 representa las comparaciones encontradas al graficar las láminas tanto las calculadas, como las observadas en el pivote central evaluado por Hanson y Wallender, y cómo se puede apreciar es demasiado el desfase entre ellas con esto podemos explicar que las láminas observadas en campo son muy altas esto pudo ser porque emboquillaron mal o por fallas en los reguladores de presión.

Las variaciones observadas en lámina de agua que aplica el pivote central durante su funcionamiento reflejan mal funcionamiento de aplicación ya que puede haber un encharcamiento por el exceso de agua. En este pivote se observa las mayores láminas cerca del punto pivote y muy baja uniformidad ocurre cerca de las torres intermedias, donde los datos observados muestran una tendencia muy irregular.

Mientras que las láminas calculadas representadas con el color azul, según el modelo la aplicación de la pluviometría del paquete de boquilla Rain Bird, es más

uniforme ya que en los colectores no hubo mucha diferencia en las láminas de agua predichas, las únicas variaciones en la lámina solo se dan en los primeros colectores.

En el pivote central numero 1 la hipótesis  $H_0$  es rechazada por la prueba de t-student, esto se debe a como se observa en la figura 4.1 la variación en las láminas observadas es demasiada en comparación con las láminas calculadas. Pero además porque la t-calculada es mayor que la t-tabla, siendo ( $t\text{-cal}=4.25$  y  $t\text{-tabla}=2.28$ ).

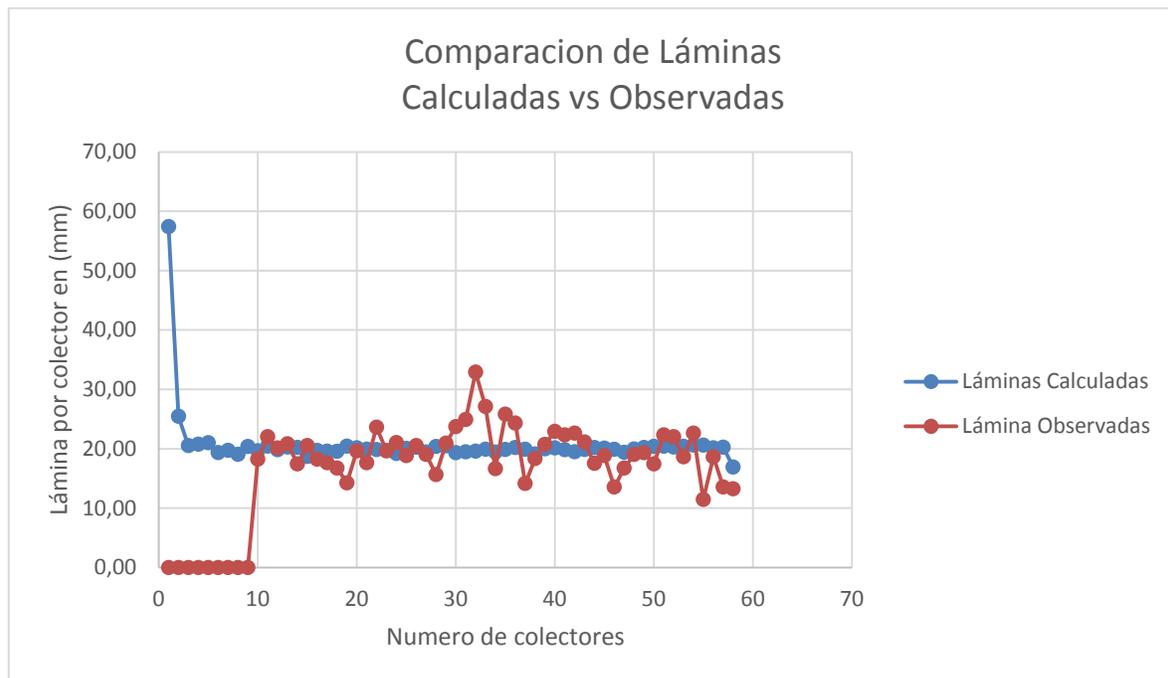


Figura 4.2 Pivote central 2 comparaciones de las láminas calculadas con el modelo contra las láminas observadas.

En la figura 4.2 representa las comparaciones encontradas al graficar las láminas tanto las calculadas como las observadas en el pivote central de la marca Dizzy Lizzy reportado por Smith, en este caso los perfiles tienden a coincidir por lo que se menciona que el pivote tiene una muy buena aplicación conforme a lo que el modelo predijo.

La lámina observada que se muestra en la figura 4.2 con el color rojo, muestra la lámina observada en cada colector durante una prueba en campo en un tiempo de giro de 41.2 horas, aquí no ay mucha variación en las láminas solo a excepción de los primeros nueve colectores que no hubo ninguna láminas captada

Mientras que el color azul indica la lámina predicha en cada colector con el modelo previsto, aquí se aprecia una mejor igualdad entre las láminas solo en el caso del primer colector que tiene la lámina más alta que todos los demás.

En este modelo la lámina calculada es aceptada conforme a la prueba de t-studen por lo tanto la hipótesis  $H_0$  es aceptada esto es porque tanto la lámina calculada como la observada son muy parecidas habiendo muy poca diferencia entre estas, y el valor de t-calculada es menor que la t-tabla, ( $t\text{-cal}=0.30$  y  $t\text{-tabla}=2.28$ ).

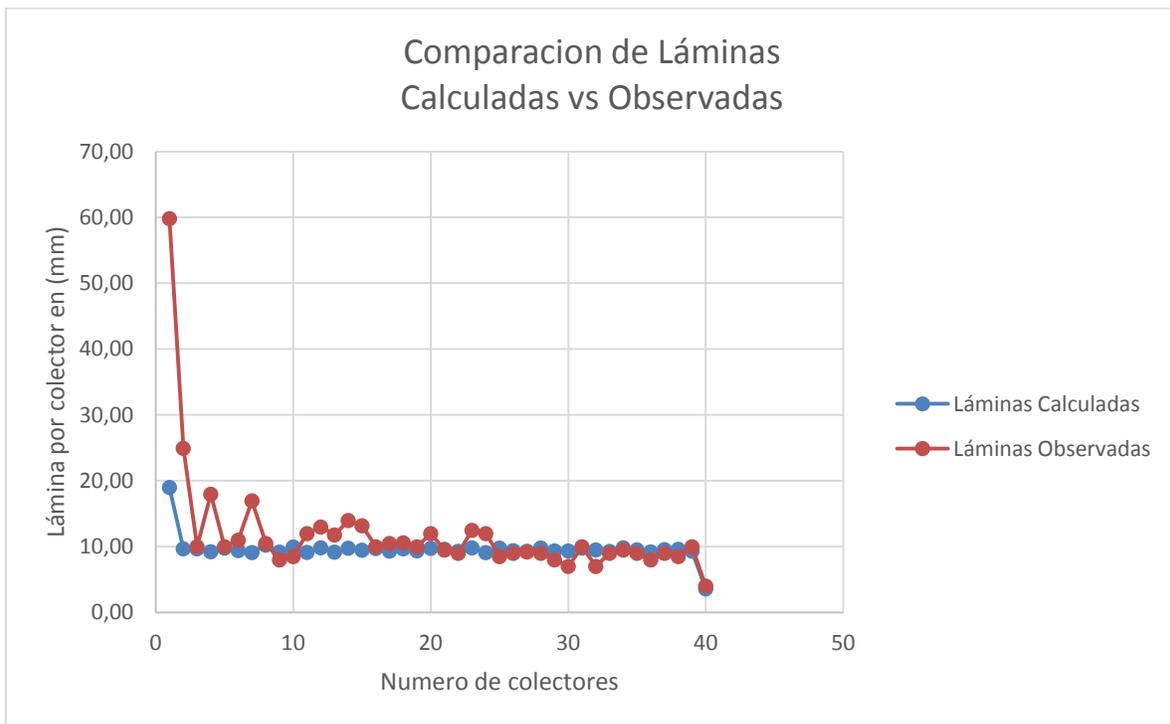


Figura 4.3 Pivote central 3 comparaciones de las láminas calculadas con el modelo con las láminas observadas.

En la figura 4.3 representa las comparaciones encontradas al graficar las láminas tanto las calculadas como las observadas en el pivote central de la marca Valley 600 evaluados por estudiantes de la carrera de irrigación, aquí también los perfiles tienden a coincidir por lo que se menciona que el pivote tiene una muy buena aplicación conforme a lo que el modelo predijo.

La lámina observada que se muestra en la figura 4.2 con el color rojo muestra la lámina observada en cada colector durante una prueba en campo en un tiempo de giro de 24 horas, en estos colectores se muestra en los primeros una mayor

lámina pero sobre todo en el primero y como siguen los demás colectores las láminas tienden a ser más iguales.

Mientras que el color azul indica la lámina predicha en cada colector con el modelo previsto, aquí la única diferencia es el primer colector que tiene una mayor lámina.

En base a esto el resultado de la prueba de hipótesis nos arroja que las láminas calculadas son aceptadas conforme a la prueba de t-studen por lo tanto la hipótesis  $H_0$  se acepta, encontrando una  $t$ -calculada=1.57 siendo este menor que la  $t$ -tabla=2.28.

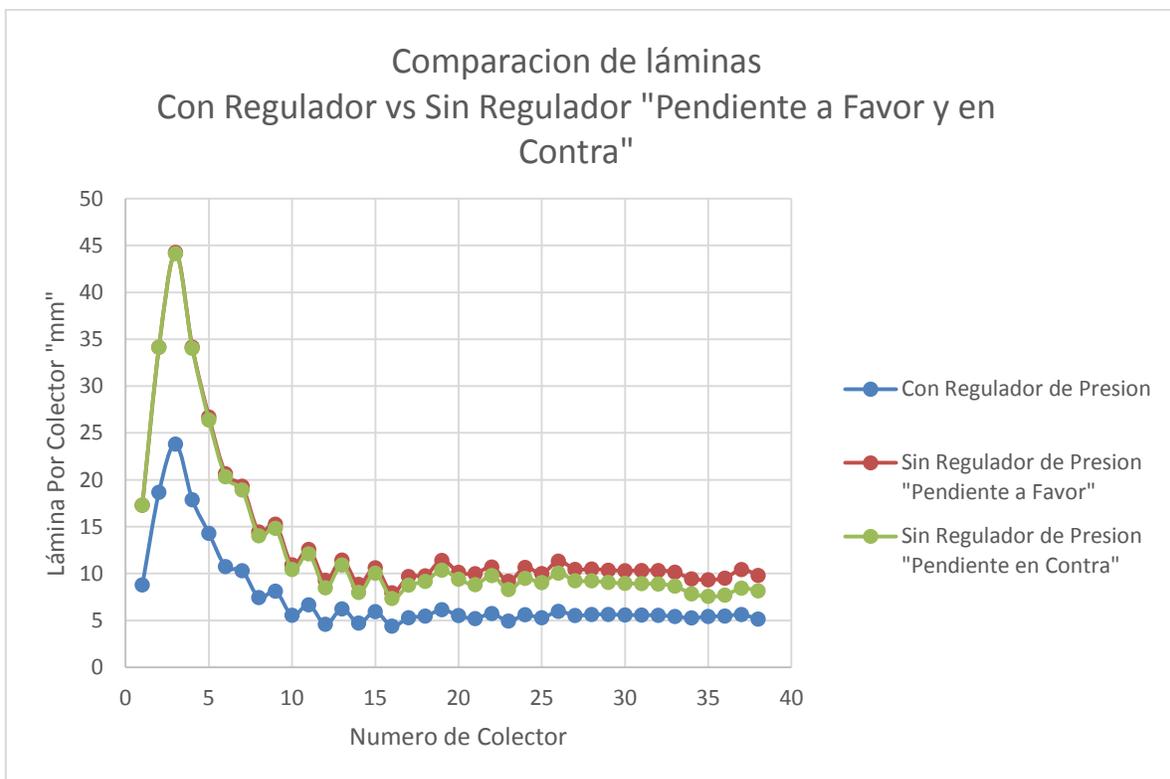


Figura 4.4 Pivote central de la UAAAN, comparación de láminas calculadas con regulador y sin regulador (pendiente a favor y pendiente en contra).

Como se observar en la figura 4.4 estamos comparando tres láminas diferentes que son las calculadas con regulador con las calculadas sin regulador en pendiente a favor y en contra.

El color azul está representando la lámina por colector calculado con el modelo con regulador de presión en los rotores, y se aprecia solo en los primeros colectores una mayor lámina estando estas más cerca del punto pivote y los

demás como se van alejando del punto pivote las láminas tienden a ser más iguales.

Mientras que el color rojo representa las láminas calculadas con el modelo pero sin regulador de presión y con pendiente a favor, y el color verde muestra lo calculado por el modelo sin regulador de presión con pendiente en contra, aquí no hay mucha diferencia entre estas dos comparaciones ya que los colectores que están cerca del punto pivote tienen las mismas láminas calculadas y solo se ve la diferencia en los colectores más alejados.

Por lo tanto se expresa que en este pivote los rotores sin regulador de presión, no hay mucha diferencia en su aplicación aun estando con pendiente a favor y con pendiente en contra, más aun los rotores con regulador de presión tiene una aplicación más baja de agua que los rotores sin regulador de presión.

## Validación de los resultados del modelo

El análisis estadístico permitió comparar las precipitaciones entre si y dar evidencia de la semejanza de las matrices contrastadas.

Cuadro 4.1 Resultados del análisis estadístico de la prueba de t-student encontrado en la comparación de las láminas calculadas y observadas.

pivote #	Probabilidad	Estadístico	Estadístico	Decisión	error de
	t calculada	t calculada	t de tabla		Estima
1	5.7844E-05	4.25398384	2.28549406	Se rechaza H0	43.5572599
2	0.76064223	0.30570688	2.28549406	Se acepta H0	6.07609107
3	0.11871426	1.57755898	2.28549406	Se acepta H0	10.1379345

En el apéndice se anexan las hojas de cálculo de la simulación del modelo.

## CONCLUSIONES

Los modelos de simulación de la pluviometría efectivamente se pueden utilizar en la evaluación de sistemas de riego tipo pivote central.

La ventaja de un procedimiento de simulación es la velocidad de evaluación, menos mano de obra para obtener datos de precisión pero el efecto del viento no está considerado para predecir la pluviometría.

El modelo de simulación también se puede utilizar para determinar la distribución en todo el campo, con los rotores sin regulador de presión, ya sea este con pendiente a favor o en contra.

El los pivotes evaluados con el modelo, según el estudio estadístico t-studen en dos de los pivotes evaluados se acepta la hipótesis  $H_0$ , mientras que en el otro pivote central se rechaza  $H_0$ . Esto nos indica que el modelo de Hermann y Hein si es preciso y confiable en sus predicciones. Conclusión deducida por valores de t calculada igual a 4,25, 0.30 y 1.57; y errores típico de la estima en el orden de 43.55%, 6.07% y 10.13% para los pivotes 1, 2 y 3 respectivamente.

En base a este modelo se calculó las láminas en cada colector de un pivote central de la marca Wades Rain con rotores R3000 instalado en un polígono frente a rectoría Campus Buena Vista de la UAAAN, primero se calculó con regulador de presión y luego sin regulador pero con pendiente a favor y pendiente en contra y en este se obtuvo que la diferencia entre estas láminas es muy poca, en base a esto podemos concluir que no hay mucho problema en dejar los rotores sin regulador de presión ya que trabajaría bien solo que estos aplicarían una lámina mayor durante un riego con el sistema.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ALLEN, R.; KELLER, J.; MARTIN, D. 2000. Center Pivot System Design. The Irrigation Association VA, USA. 300 p.
- Almasraf Sabah, Jennifer Jury and Steve Miller, 2011. Final draft. Field evaluation of center pivot sprinkler irrigation system. Department of Biosystems and Agricultural Engineering. Michigan State University, 9-12 pp.
- BECERRA, F. 1995. Diseño, manejo y evaluación del pivote central y sus perspectivas para Chile. Proyecto de Título. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción Chillan, Chile. 194 p.
- Briones Sánchez Gregorio e Ignacio Garcia Casillas. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersion y goteo, Editada por la UAAAN. Pag.183-196.
- BRONER: Center-pivot irrigation systems, Colorado State University Cooperative Extension, [en línea] Disponible en: [www.ext.colostate.edu/pubs/crops/04704.html](http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/04704.html) [Consulta: mayo 18 2005].
- CAMACHO, E.; M. MARTÍNEZ Y J. ROLDÁN: Diseño hidráulico de máquinas de riego, XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México, 1998.
- EVANS, R. 1999. Center pivot irrigation. Washington State University, Biological System Engineering Department. Disponible en: <http://www.bsye.proser.wsu.edu/report/center>.
- Foley, J.P. and Raine, S.R, 2001. Centre Pivot and lateral move machines in the Australian cotton industry. National Centre for Engineering in Agriculture Publication1000176/1, USQ, Toowoomba.
- GONZÁLEZ, P.: Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las máquinas de riego por aspersion, Informe final. Proyecto 22-18, IIRD, La Habana, Cuba, 2006.
- Hanson B.B. and Wallender,W.W.1986. Bidirectional uniformity of water applied by continuos-move sprinkler machine. Transactions of the ASAE. The National agricultural Library. Vol. 29, No. 4. 1047-1053 pp.Washington, D.C.,SA. [ttp://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8718520](http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8718520).

- HERMANN, D.; HEIN, P. 1968. Performance characteristics of self-propelled center PIVOT sprinkler irrigation system. Transaction of ASAE 31(2): 538-542.
- HERMANN, D.; HEIN, P. 1968. Performance characteristics of self-propelled center PIVOT sprinkler irrigation system. Transaction of ASAE 31(2): 538-542.
- KELLER, J. & R.D. BLIESNER: Sprinkler and trickle irrigation. AVI Book, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- MARTINEZ, J.; SANCHEZ, J. ; SERRANO, I. 2001. Evaluación del sistema de riego por aspersión en pivote central, instalado en Chapingo México. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, México. 14 p.
- Pérez L. R., E. J. Alfonso G. J., F. Cárdenas L., G., López C., y C. Alemán G. 2003. Un estudio de Evaluación de la aplicación del riego en sistemas por pivote central. Ingeniería Hidráulica en México. Revista interdisciplinaria de ciencia y tecnología del agua, Vol. XVIII núm. 3, II Época, Julio – septiembre del 2003 p. 45 – 53.
- PEREZ, J.R. 1998. Un Manual de Práctica Laboral de riego y drenaje para estudiantes de 4to año de Agronomía. Tesis presentada en opción al Título de M. Sc. en Riego y Drenaje. 259p. ISCAH. La Habana, Cuba.
- Smith Peter, 2010. Evaluating a centre pivot irrigation system. Workshop manual template. Industry and Investment NSW Government. Australia. 12-13 pp.  
[http://www.dpi.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0003/317478/Evaluating-a-centre-pivot-irrigation-system.pdf](http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0003/317478/Evaluating-a-centre-pivot-irrigation-system.pdf).
- TARJUELO, J. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. 670 p.
- TARJUELO, J. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. 670 p.
- URIBE, H.; LAGOS, L.; HOLZAPFEL, E. 2001. Pivote central. Comisión Nacional de Riego, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción. 27 p.

- Zazo S., T., Ramirez L., J. y Pinilla H., I. 2007. Evaluacion Hidraulica de maquinas de riego moviles: pivote de riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Catalogación de la Biblioteca Central. Madrid. España. 112 p.

## **APÉNDICE**

Pivote central 1: hojas de cálculo de las plantillas elaboradas para la simulación del modelo, también se muestran los resultados estadísticos de la prueba de t-

student aplicada para validar la significancia de las predicciones y el ensayo de hipótesis.

distancia a rociador Xj	distancia a colector Xp	Gasto/rociad. qj en lpm	radio (rj) de alcance m	Tasa max. mm/hora	Calc. Interm. r*do*To/4*xj	lamina "Dp" mm/bote
0	0	0				
3.2	3	0	3.823716	0	0	8.453176
6.4	6	5	4.06371077	8.67393265	28.17940638	33.1069
9.6	9	6	4.11170972	10.1671207	22.28035827	40.2192
12.8	12	5	4.06371077	8.67393265	14.08970319	28.5836
16	15	5	4.06371077	8.67393265	11.27176255	29.1382
19.2	18	5	4.06371077	8.67393265	9.39313546	17.1155
22.4	21	5	4.06371077	8.67393265	8.051258966	14.6458
25.6	24	5.5	4.08771025	9.42961809	7.703839394	13.3266
28.8	27	6.5	4.1357092	10.886919	7.998995907	13.2839
32	30	6	4.11170972	10.1671207	6.684107482	12.4282
35.2	33	5.5	4.08771025	9.42961809	5.602792287	10.2686
38.4	36	7	4.15970868	11.5894768	6.423452238	10.2686
41.6	39	8	4.20770763	12.9446555	6.699088273	11.192
44.8	42	7.8	4.19810784	12.678826	6.078936376	11.6256
48	45	8	4.20770763	12.9446555	5.805876503	11.2447
51.2	48	8.5	4.23170711	13.5981349	5.750398783	10.81
54.4	51	9	4.25570658	14.2360917	5.69818483	10.6532
57.6	54	9.3	4.27010627	14.6115808	5.542253436	10.4836
60.8	57	9.5	4.27970606	14.8589234	5.351440288	10.1365
64	60	9.5	4.27970606	14.8589234	5.083868274	9.5987
67.2	63	10	4.30370554	15.4670156	5.068188716	8.9849
70.4	66	11	4.35170449	16.6404671	5.262901348	8.6477
73.6	69	10.5	4.32770501	16.0607425	4.831905519	8.8998
76.8	72	10	4.30370554	15.4670156	4.434665126	8.7228
80	75	11.5	4.37570397	17.2065419	4.815312981	7.9851
83.2	78	11.5	4.37570397	17.2065419	4.630108636	7.8992
86.4	81	11	4.35170449	16.6404671	4.288289987	8.2346
89.6	84	11.5	4.37570397	17.2065419	4.29938659	8.2507
92.8	87	11	4.35170449	16.6404671	3.99254585	8.1264
96	90	13	4.4477024	18.8262375	4.462733968	7.9566
99.2	93	13	4.4477024	18.8262375	4.318774808	8.12
102.4	96	13	4.4477024	18.8262375	4.183813095	8.3795
105.6	99	15	4.54370031	20.8143821	4.582286741	8.4813
108.8	102	13	4.4477024	18.8262375	3.937706443	8.4629
112	105	13	4.4477024	18.8262375	3.825200544	8.3198
115.2	108	16	4.59169926	21.7402599	4.433622042	7.8454

118.4	111	14	4.49570135	19.8437958	3.855169518	7.3302
121.6	114	15	4.54370031	20.8143821	3.979354275	7.3449
124.8	117	14.5	4.51970083	20.334816	3.767977734	7.2336
128	120	15	4.54370031	20.8143821	3.780386561	6.8527
131.2	123	16	4.59169926	21.7402599	3.892936428	6.7719
134.4	126	15	4.54370031	20.8143821	3.600368153	6.798
137.6	129	17	4.63969821	22.6235668	3.903061137	7.1107
140.8	132	19	4.73569612	24.2704354	4.176684964	7.2212
144	135	17	4.63969821	22.6235668	3.729591753	7.4416
147.2	138	20.5	4.80769455	25.4080741	4.245939317	7.9308
150.4	141	17.5	4.66369769	23.0498916	3.65699546	8.1466
153.6	144	18	4.68769717	23.4663223	3.664260502	8.3641
156.8	147	20	4.78369508	25.037712	3.908274402	8.1222
160	150	21	4.83169403	25.7698605	3.981662889	7.939
163.2	153	20	4.78369508	25.037712	3.755008739	7.5667
166.4	156	21	4.83169403	25.7698605	3.828522008	7.7555
169.6	159	22	4.87969298	26.4684985	3.896448445	7.7532
172.8	162	19	4.73569612	24.2704354	3.403224785	7.4717
176	165	20	4.78369508	25.037712	3.481917194	7.1643
179.2	168	24	4.97569089	27.7712916	3.945340072	6.8862
182.4	171	23	4.92769194	27.1351582	3.750801252	6.8456
185.6	174	21	4.83169403	25.7698605	3.432468007	6.7864
188.8	177	25	5.02368984	28.378275	3.863490063	7.2301
192	180	26	5.0716888	28.957414	3.913669266	7.7518
195.2	183	21	4.83169403	25.7698605	3.263658105	7.7779
198.4	186	24	4.97569089	27.7712916	3.563532969	7.8211
201.6	189	23	4.92769194	27.1351582	3.393582086	8.1344
204.8	192	25	5.02368984	28.378275	3.561654902	8.0416
208	195	24	4.97569089	27.7712916	3.399062216	7.7019
211.2	198	23.5	4.95169141	27.456953	3.293707101	7.2904
214.4	201	23	4.92769194	27.1351582	3.19098017	7.4575
217.6	204	25	5.02368984	28.378275	3.35214579	7.2622
220.8	207	25	5.02368984	28.378275	3.303563967	7.0644
224	210	28	5.16768671	30.0370515	3.545507728	6.5969
227.2	213	21	4.83169403	25.7698605	2.80398795	6.3334
230.4	216	39	5.6956752	34.4402106	4.356136869	6.353
233.6	219	21	4.83169403	25.7698605	2.727166362	6.1543
236.8	222	28	5.16768671	30.0370515	3.353858661	6.9101
240	225	27	5.11968775	29.5099475	3.220873349	7.0704
243.2	228	32	5.35968252	31.9126941	3.598420748	7.731
246.4	231	30	5.26368461	31.0193831	3.390433975	7.3148

249.6	234	29	5.21568566	30.539843	3.265176087	7.6935
252.8	237	27	5.11968775	29.5099475	3.057791154	6.8405
256	240	25.5	5.04768932	28.6712461	2.89249221	7.6043
259.2	243	30	5.26368461	31.0193831	3.223005136	7.6841
262.4	246	33	5.40768147	32.3283363	3.408816365	7.6967
265.6	249	30	5.26368461	31.0193831	3.145342362	7.1584
268.8	252	32	5.35968252	31.9126941	3.255714011	6.633
272	255	31	5.31168357	31.4766805	3.145032912	6.4431
275.2	258	30	5.26368461	31.0193831	3.035621117	6.6459
278.4	261	29	5.21568566	30.539843	2.927399251	6.824
281.6	264	31	5.31168357	31.4766805	3.037815881	7.1523
284.8	267	31	5.31168357	31.4766805	3.003683118	7.1118
288	270	29.5	5.23968514	30.7824553	2.865424288	6.8121
291.2	273	22	4.87969298	26.4684985	2.269360083	6.7953
294.4	276	35	5.50367938	33.1019374	3.166224552	6.6345
297.6	279	40	5.74367415	34.7353777	3.430061213	6.6521
300.8	282	35	5.50367938	33.1019374	3.098858073	6.7223
304	285	31.5	5.33568304	31.6972897	2.846502349	6.7186
307.2	288	39	5.6956752	34.4402106	3.267102652	6.0723
310.4	291	38	5.64767624	34.1299485	3.177288795	6.1495
313.6	294	34.5	5.4796799	32.9154909	2.942743782	6.7542
316.8	297	40	5.74367415	34.7353777	3.222178715	7.4738
320	300	36.5	5.57567781	33.6348229	2.998539785	7.1113
323.2	303	36.5	5.57567781	33.6348229	2.968851272	7.2389
326.4	306	42	5.83967206	35.2828773	3.229797404	7.1499
329.6	309	38	5.64767624	34.1299485	2.992204011	7.1387
332.8	312	40	5.74367415	34.7353777	3.067266277	7.5326
336	315	36	5.55167834	33.4615097	2.828808367	7.313
339.2	318	36	5.55167834	33.4615097	2.802121496	7.1262
342.4	321	30	5.26368461	31.0193831	2.43984501	7.376
345.6	324	36	5.55167834	33.4615097	2.750230357	7.0975
348.8	327	36	5.55167834	33.4615097	2.724998886	7.1436
352	330	42	5.83967206	35.2828773	2.994903047	7.3178
355.2	333	39	5.6956752	34.4402106	2.825602294	6.974
358.4	336	38.5	5.67167572	34.2870063	2.776169229	6.8151
361.6	339	40.3	5.75807384	34.8210777	2.837030432	6.2231
364.8	342	35	5.50367938	33.1019374	2.555198762	6.1088
368	345	35	5.50367938	33.1019374	2.532979642	6.0109
371.2	348	33	5.40768147	32.3283363	2.409680534	6.4944
374.4	351	31	5.31168357	31.4766805	2.28485297	6.6415
377.6	354	40.1	5.74847405	34.7640883	2.707848807	6.7834

380.8	357	51	6.27166264	37.1446627	3.130077904	6.9761
384	360	49	6.17566473	36.8061405	3.028626684	6.6036
387.2	363	52	6.3196616	37.29987	3.114861718	6.3436
	366					5.9941
	369					5.5273
	372					5.5084
	375					6.0824
	378					6.606
	381					7.3182
	384					7.66
	387					5.4967

Probabilidad t-calculada	5.78438E-05
Estadístico T calculada	4.253983841
Estadístico T tabla	2.285494065
Decisión	Se rechaza H0
Error de estima	43.55725994

## Pivote central 2: marca Dizzy Lizzy.

distancia a	distancia a	gasto real	radio de	Tasa max. do	$r*do*To/4*xj$	lamina Dp
rociador (xj)	colector (xp)	rociador gpm	alcance m	mm/hora		Colectada
0		0				
2.8194		0.554126473	5.6952137	1.8524494	38.54223618	
5.6388	6	0.552771958	5.68874281	1.85212762	19.24587862	57.4046276
8.4582		0.551415092	5.68226069	1.851799	12.81369179	
11.2776	12	0.550056181	5.6757688	1.85146353	9.597550275	25.4674932
14.097		0.548695536	5.66926863	1.85112123	7.667829035	
16.9164	18	0.547333469	5.66276166	1.8507721	6.381319754	20.5320928
19.7358		0.853078589	5.73244942	2.81492018	8.42148744	
22.5552	24	0.850947402	5.72593341	2.81428215	7.358757156	20.7706707
25.3746		0.848815483	5.71941516	2.81363368	6.532165741	
28.194		1.219224006	5.78909622	3.9447499	8.342779617	
31.0134	30	1.216154119	5.78257814	3.94369301	7.573775965	21.0121752
33.8328		1.21308537	5.77606247	3.94262169	6.932921325	
36.6522	36	1.210018498	5.76955079	3.94153615	6.390644969	19.354186
39.4716		1.642798836	5.83924467	5.22430527	7.960451713	
42.291	42	1.638632635	5.8327457	5.22267523	7.419170179	19.7348278
45.1104		1.634472041	5.82625548	5.22102715	6.9455401	
47.9298	48	1.630318084	5.81977562	5.2193614	6.527625316	19.0636579

50.7492		2.123979485	5.88950771	6.63972104	7.93664312	
53.5686	54	2.118575293	5.88305338	6.63736697	7.508022184	20.3756356
56.388		2.113183828	5.87661426	6.63499216	7.122265065	
59.2074	60	2.107806457	5.87019197	6.63259727	6.773250947	19.659456
62.0268		2.102444545	5.41299063	7.78049995	6.993629612	
64.8462	66	2.654141512	5.93360441	8.17418386	7.703989533	20.4403374
67.6656		2.64739969	5.92724243	8.17093277	7.372140705	
70.485		2.640682654	5.92090384	8.16766097	7.066855816	
73.3044	72	2.633992151	5.91459029	8.16436947	6.785072572	19.8349928
76.1238		2.627329928	5.90830342	8.16105937	6.524182377	
78.9432	78	3.235429301	5.97824489	9.81616877	7.65663979	20.2924575
81.7626		3.22728064	5.97201635	9.81188076	7.381689634	
84.582	84	3.21917337	5.96581945	9.80757551	7.125101258	20.2236029
87.4014		3.211109649	5.95965583	9.80325458	6.885100693	
90.2208	90	3.20309163	5.95352715	9.79891953	6.660135736	18.6927923
93.0402		3.195121465	5.59977607	11.048506	6.849215127	
95.8596	96	3.856513572	6.01758115	11.5480447	7.466757132	19.7246038
98.679		3.846993259	6.01156712	11.5425969	7.242753672	
101.4984	102	3.837538615	6.00559457	11.5371421	7.031245829	19.5890015
104.3178		3.828152209	5.99966512	11.5316826	6.831223538	
107.1372	108	3.818836599	5.9937804	11.5262206	6.641783067	19.5650906
109.9566		3.80959433	5.67976377	12.8048852	6.812741113	
112.776	114	4.522823322	6.05835154	13.3615914	7.393212617	20.432078
115.5954		4.512007833	6.05261059	13.3549382	7.202467199	
118.4148		4.501288595	6.04692073	13.3482955	7.020876384	
121.2342	120	4.490668553	6.04128353	13.3416662	6.847804645	20.1570496
124.0536		4.480150626	6.03570052	13.3350533	6.682674226	
126.873	126	4.469737704	5.75540089	14.6314843	6.836471059	19.9346027
129.6924		5.233639707	6.10090325	15.2466015	7.387370592	
132.5118	132	5.221675491	6.095492	15.2387678	7.220068018	19.8586406
135.3312		5.209844465	6.09014099	15.2309702	7.059829422	
138.1506	138	5.198149863	6.08485169	15.2232124	6.906225478	19.7254762
140.97		5.186594871	6.07962552	15.215498	6.758861183	
143.7894	144	5.175182629	6.07446392	15.2078308	6.61737249	19.2026123
146.6088		5.163916222	5.82383183	16.5089344	6.754684248	
149.4282	150	5.976026873	6.14053997	17.1852922	7.273913695	20.0636946
152.2476		5.963309255	6.13558033	17.1764553	7.129777221	
155.067		5.950771111	6.13069069	17.1676931	6.990998122	
157.8864	156	5.938415744	6.12587233	17.1590098	6.857292348	20.2509048
160.7058		5.926246378	6.1211265	17.1504097	6.728395736	
163.5252	162	5.914266156	6.11645443	17.141897	6.604062293	19.4546757

166.3446		5.902478136	5.89137349	18.4399093	6.726727791	
169.164	168	6.762495863	6.18353633	19.1774423	7.22032722	20.374866
171.9834		6.749415091	6.17909256	19.167887	7.093321372	
174.8028	174	6.736564857	6.17472712	19.1584541	6.970550388	20.4852873
177.6222		6.723948237	6.17044103	19.1491479	6.851815181	
180.4416	180	6.711568184	6.16623532	19.1399731	6.736929036	19.3392021
183.261		6.699427531	6.16211093	19.1309341	6.625716651	
186.0804	186	6.687528981	5.95915967	20.4198777	6.735576197	19.4787463
188.8998		6.675875102	5.95568006	20.4081195	6.627352565	
191.7192	192	7.582683965	6.22643468	21.2080914	7.09435049	19.5946234
194.5386		7.569989348	6.22264433	21.198387	6.98408045	
197.358	198	7.557580926	6.21893943	21.1888632	6.877117961	19.9238633
200.1774		7.545460969	6.21532066	21.1795244	6.773325134	
202.9968	204	7.533631567	6.21178864	21.1703746	6.672571635	19.4448544
205.8162		7.522094629	6.20834394	21.1614177	6.574734166	
208.6356		7.510851877	6.02511313	22.4344946	6.673141072	
211.455	210	7.499904843	6.0222178	22.4233421	6.577730356	19.8776293
214.2744		8.454666619	6.27473866	23.2842743	7.023042346	
217.0938	216	8.442980404	6.27164782	23.2750145	6.925664153	20.2071051
219.9132		8.431631851	6.26864629	23.2659939	6.830953074	
222.7326	222	8.420621763	6.26573428	23.2572156	6.738808733	19.9184261
225.552		8.409950699	6.26291194	23.2486824	6.649135634	
228.3714	228	8.399618965	6.26017934	23.2403969	6.561842861	19.1157771
231.1908		8.389626614	6.25753651	23.2323613	6.476843789	
234.0102	234	8.379973434	6.09175925	24.4858218	6.565379768	19.9885973
236.8296		9.38440657	6.32871983	25.4057827	6.992777232	
239.649	240	9.374342901	6.32634566	25.3975899	6.905689171	20.1459281
242.4684		9.364656947	6.3240606	25.3896861	6.820801844	
245.2878	246	9.355347238	6.3218643	25.3820723	6.738039051	19.8416093
248.1072		9.346411977	6.31975634	25.3747491	6.657327894	
250.9266	252	9.337849037	6.31773622	25.3677165	6.578598581	19.4973316
253.746		9.329655958	6.31580335	25.3609744	6.501784254	
256.5654		9.321829934	6.16475871	26.5966241	6.582361575	
259.3848	258	9.314367812	6.16317871	26.588961	6.507270039	19.8759882
262.2042		10.37013289	6.38672125	27.5667713	6.916102893	
265.0236	264	10.36261741	6.38512996	27.560525	6.839272435	20.2038867
267.843		10.35549445	6.38362178	27.5545961	6.764226187	
270.6624	270	10.34875887	6.38219562	27.5489816	6.690906448	20.104032
273.4818		10.34240514	6.38085031	27.5436783	6.619257703	
276.3012	276	10.33642724	6.37958458	27.5386824	6.549226507	19.912898
279.1206		10.33081877	6.37839707	27.5339896	6.480761379	

281.94		10.32557285	6.37728633	27.5295953	6.4138127	
284.7594	282	10.32068216	6.23938884	28.7462901	6.48758427	19.4016139
287.5788		10.31613891	6.23852067	28.7416337	6.422046202	
290.3982	288	11.42596659	6.45059868	29.7749066	6.81229954	19.954369
293.2176		11.42167449	6.4497785	29.7712921	6.745119892	
296.037	294	11.4177383	6.44902633	29.7679748	6.679357206	20.2102217
298.8564		11.41414726	6.44834012	29.7649464	6.61496734	
301.6758	300	11.41089	6.44771768	29.7621977	6.551907572	20.4028172
304.4952		11.4079546	6.44715675	29.7597193	6.490136535	
307.3146	306	11.40532851	6.44665493	29.7575009	6.429614144	20.4269696
310.134		11.40299858	6.4462097	29.7555318	6.370301535	
312.9534	312	11.40095103	6.31947114	30.9554495	6.438362139	20.2826789
315.7728		11.39917141	6.31916269	30.9536392	6.380192161	
318.5922	318	12.56590313	6.5213866	32.0384369	6.754813328	20.4029824
321.4116		12.564481	6.52114011	32.0372328	6.695055873	
324.231	324	12.56330177	6.52093572	32.0362341	6.636423103	20.6106441
327.0504		12.56234624	6.5207701	32.0354247	6.57887925	
329.8698	330	12.56159426	6.52063976	32.0347877	6.522389437	20.6087401
332.6892		12.56102467	6.52054104	32.0343052	6.466919619	
335.5086		12.56061519	6.52047007	32.0339582	6.412436507	
338.328	336	12.56034225	6.52042276	32.0337269	6.358907493	20.1536175
341.1474		12.56018083	6.52039478	32.0335902	6.306300552	
343.9668	342	12.56010408	6.40317197	33.2170004	6.369073727	20.2608405
346.7862		12.56008266	6.40316858	33.2169789	6.317285203	
349.6056	348	13.78476192	6.59657776	34.3494195	6.675701853	16.9207337

Probabilidad t-calculada	0.760642234
Estadístico T calculada	0.305706884
Estadístico T tabla	2.285494065
Decisión	Se acepta H0
Error de estima	6.076091069

Pivote central 3: marca Valley 6000.

distancia a	distancia a	gasto real	radio de	Tasa max. do	$r*do*To/4*xj$	lamina Dp
rociador (xj)	colector (xp)	rociador gpm	alcance m	mm/hora		colectada
0		0				

2.8194		0.554537936	5.69717937	1.85254592	22.4607073	
5.6388		0.553087459	5.69025004	1.85220313	11.214619	
8.4582	10	0.551633976	5.68330636	1.85185244	7.46587553	18.9856592
11.2776		0.550177734	5.67634949	1.8514938	5.59146939	
14.097		0.548718981	5.66938063	1.85112718	4.46679913	
16.9164		0.547257966	5.66240096	1.85075256	3.71699762	
19.7358	20	0.545794944	5.65541171	1.85036992	3.18140751	9.66350409
22.5552		0.850515889	5.72461407	2.81415172	4.28546833	
25.3746		0.848224841	5.7176093	2.8134522	3.8036983	
28.194		0.845931861	5.71059861	2.81274017	3.41826562	
31.0134	30	0.843637357	5.70358327	2.81201566	3.10289722	9.65241471
33.8328		1.211532109	5.77276453	3.94207377	4.0357281	
36.6522		1.208225419	5.76574366	3.94089454	3.71964374	
39.4716	40	1.204918328	5.75872194	3.93969769	3.44870086	9.21689337
42.291		1.201611442	5.75170065	3.93848332	3.21387204	
45.1104		1.198305371	5.74468109	3.93725154	3.00838669	
47.9298		1.626528772	5.81386457	5.21782408	3.79751919	
50.7492	50	1.622033577	5.8068524	5.21597824	3.58095289	9.7711363
53.5686		1.617542019	5.7998459	5.21410973	3.38717453	
56.388		1.613054949	5.7928464	5.21221882	3.21276687	
59.2074	60	1.608573227	5.78585525	5.21030579	3.05496358	9.3878093
62.0268		2.095148036	5.85507378	6.6268551	3.75328654	
64.8462		2.089311712	5.84810335	6.62415773	3.58436661	
67.6656		2.08348577	5.84114532	6.62143349	3.42952005	
70.485	70	2.077671355	5.83420106	6.61868288	3.28705909	9.087549
73.3044		2.071869617	5.82727194	6.61590645	3.15555568	
76.1238		2.614884663	5.89655933	8.15478841	3.79002575	
78.9432	80	2.607578314	5.88966463	8.15105331	3.6487224	10.215259
81.7626		2.600292409	5.88278922	8.14728891	3.51716678	
84.582		2.593028426	5.8759345	8.14349606	3.39438529	
87.4014		2.585787848	5.86910186	8.13967568	3.27953001	
90.2208	90	2.578572161	5.86229272	8.13582868	3.17185899	9.1512366
93.0402		3.174546735	5.93170846	9.78317077	3.74231248	
95.8596		3.165705463	5.92495051	9.77819189	3.62625985	
98.679	100	3.156900451	5.91822028	9.77318546	3.51684945	9.9341467
101.4984		3.148133551	5.91151918	9.76815284	3.41352906	
104.3178		3.139406613	5.90484863	9.76309547	3.31580617	
107.1372		3.130721492	5.89821004	9.75801479	3.22324015	
109.9566	110	3.122080041	5.89160482	9.75291232	3.13543554	9.1152642
112.776		3.767315778	5.96123441	11.4952158	3.64575847	
115.5954		3.756972032	5.95470021	11.4888263	3.55096395	

118.4148		3.746687852	5.94820363	11.4824182	3.46070399	
121.2342	120	3.736465475	5.9417461	11.4759936	3.37466361	9.8088779
124.0536		3.726307133	5.93532902	11.4695547	3.29255647	
126.873		3.716215053	5.9289538	11.4631034	3.21412171	
129.6924	130	3.706191457	5.92262183	11.4566422	3.13912114	9.150403
132.5118		4.39882936	5.99253453	13.2823075	3.60396672	
135.3312		4.387071349	5.98629328	13.2744404	3.52312076	
138.1506		4.375402711	5.98009948	13.266572	3.44560591	
140.97	140	4.363826045	5.97395449	13.2587052	3.37122374	9.7478954
143.7894		4.352343937	5.96785969	13.2508429	3.29979141	
146.6088		4.340958955	5.96181645	13.2429879	3.23114014	
149.4282	150	4.32967365	5.95582612	13.2351433	3.1651139	9.4429799
152.2476		5.068228498	6.02609004	15.1336072	3.5940066	
155.067		5.055226793	6.02020955	15.1242878	3.52304675	
157.8864		5.042350909	6.01438596	15.1149941	3.45466392	
160.7058	160	5.029603737	6.00862059	15.1057298	3.38872395	9.7059667
163.5252		5.016988137	6.00291473	15.0964986	3.32510195	
166.3446		5.004506937	5.99726965	15.0873042	3.26368148	
169.164	170	4.992162931	5.99168663	15.0781505	3.20435386	9.3090499
171.9834		4.979958874	5.9861669	15.0690411	3.14701751	
174.8028		5.761585245	6.0569117	17.0293085	3.54039012	
177.6222		5.747765445	6.05152223	17.018735	3.47893179	
180.4416	180	5.734117256	6.04619969	17.0082292	3.4194493	9.6589404
183.261		5.720643675	6.04094525	16.9977957	3.36185286	
186.0804		5.707347642	6.03576004	16.9874386	3.30605813	
188.8998	190	5.694232039	6.0306452	16.9771626	3.25198579	9.3540675
191.7192		5.681299685	6.02560182	16.9669721	3.19956116	
194.5386		5.668553334	6.02063098	16.9568713	3.14871387	
197.358		6.492852175	6.09193372	18.9706705	3.51345476	
200.1774	200	6.478656102	6.08711107	18.9591988	3.45913421	9.7285644
202.9968		6.464682556	6.08236402	18.947848	3.40638992	
205.8162		6.450934367	6.07769352	18.9366231	3.35515839	
208.6356		6.437414272	6.07310051	18.9255289	3.30537951	
211.455	210	6.424124915	6.06858589	18.9145702	3.25699634	9.5886899
214.2744		6.41106884	6.06415051	18.9037516	3.20995494	
217.0938		6.398248488	6.05979522	18.8930777	3.1642041	
219.9132	220	6.385666196	6.0555208	18.8825532	3.11969524	9.2797453
222.7326		7.251426636	6.12752801	20.9416238	3.4567114	
225.552		7.237659976	6.12341756	20.9299374	3.40930907	
228.3714		7.22417139	6.11939014	20.9184384	3.36315543	
231.1908	230	7.210963014	6.11544639	20.9071313	3.31820575	9.7923584

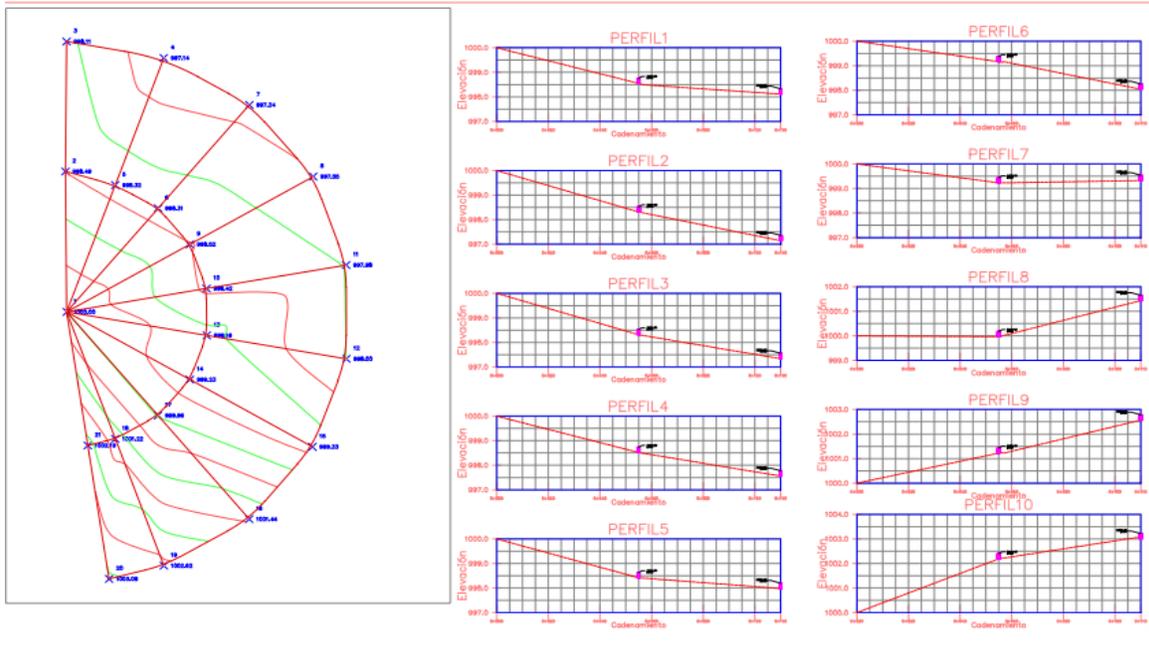
234.0102		7.198036844	6.1115869	20.8960206	3.27441741	
236.8296		7.185394734	6.10781223	20.8851107	3.23174978	
239.649	240	7.173038388	6.10412287	20.874406	3.19016409	9.0745522
242.4684		7.160969357	6.10051931	20.8639104	3.14962333	
245.2878		7.149189036	6.09700194	20.8536278	3.11009213	
248.1072		8.057792628	6.16977115	22.9527898	3.42465178	
250.9266	250	8.045149599	6.16642725	22.941637	3.38269285	9.7682061
253.746		8.032836118	6.16317051	22.9307387	3.34175244	
256.5654		8.020853009	6.16000115	22.9200983	3.30179748	
259.3848	260	8.009200896	6.15691933	22.9097191	3.26279626	9.3779739
262.2042		7.997880201	6.15392517	22.8996043	3.22471839	
265.0236		7.98689114	6.15101872	22.8897565	3.18753471	
267.843		7.976233715	6.14819998	22.8801783	3.15121721	
270.6624	270	7.965907712	6.1454689	22.8708721	3.11573901	9.2865021
273.4818		8.91943154	6.21902537	25.0063339	3.4118912	
276.3012		8.908596398	6.2164692	24.9965008	3.37436053	
279.1206	280	8.898130603	6.21400016	24.9869795	3.33767758	9.7778329
281.94		8.8880329	6.21161796	24.9777713	3.30181683	
284.7594		8.878301772	6.20932225	24.968877	3.26675368	
287.5788		8.868935431	6.20711259	24.9602972	3.23246446	
290.3982	290	8.859931816	6.2049885	24.9520322	3.19892629	9.3439545
293.2176		8.851288587	6.20294944	24.9440819	3.16611715	
296.037		8.843003121	6.20099478	24.9364457	3.13401574	
298.8564	300	8.835072511	6.19912383	24.929123	3.10260152	9.3263259
301.6758		8.827493554	6.19733584	24.9221124	3.07185463	
304.4952		9.827514982	6.27182999	27.0902283	3.34794058	
307.3146		9.81984213	6.27020538	27.0831066	3.31549442	
310.134	310	9.812548395	6.26866104	27.0763265	3.28372213	9.7757796
312.9534		9.805628865	6.26719593	27.0698851	3.25260452	
315.7728		9.799078278	6.26580894	27.0637789	3.22212301	
318.5922		9.792891016	6.26449888	27.0580039	3.1922596	
321.4116	320	9.787061104	6.26326448	27.0525559	3.16299683	9.492447
324.231		9.781582202	6.26210441	27.04743	3.13431777	
327.0504		9.776447598	6.26101723	27.0426212	3.10620596	
329.8698	330	9.771650204	6.26000145	27.0381236	3.07864545	9.2637577
332.6892		9.767182551	6.25905549	27.0339313	3.05162072	
335.5086		10.81776928	6.33437769	29.2339373	3.31160751	
338.328		10.81352314	6.33356629	29.2299504	3.28314231	
341.1474	340	10.80961491	6.33281946	29.2262782	3.25521595	9.8104465
343.9668		10.80603455	6.33213529	29.2229118	3.22781322	
346.7862		10.80277154	6.33151176	29.2198419	3.20091928	

349.6056	350	10.79981489	6.33094677	29.2170587	3.17451969	9.5019278
352.425		10.79715313	6.33043813	29.2145519	3.14860035	
355.2444		10.79477427	6.32998355	29.2123105	3.12314752	
358.0638		10.79266583	6.32958065	29.2103231	3.0981478	
360.8832	360	10.79081477	6.32922692	29.2085776	3.07358807	9.1881043
363.7026		10.78920752	6.32891979	29.2070617	3.04945553	
366.522		10.78782992	6.32865655	29.205762	3.02573766	
369.3414	370	11.89230062	6.40463437	31.4365372	3.27078729	9.5280515
372.1608		11.89123871	6.40445031	31.4355368	3.24581203	
374.9802		11.89037908	6.40430132	31.4347269	3.22124949	
377.7996		11.88970321	6.40418417	31.4340901	3.19708706	
380.619	380	11.88919175	6.40409552	31.4336081	3.17331235	9.5885464
383.4384		11.8888244	6.40403185	31.4332619	3.14991316	
386.2578		11.88857978	6.40398945	31.4330314	3.12687746	
389.0772	390	11.88843524	6.4039644	31.4328951	3.10419333	9.3108536
391.8966		11.88836657	6.4039525	31.4328304	3.08184893	
394.716		11.88834742	6.40394918	31.4328124	3.05983238	
397.5354	400	11.88834742	6.40394918	31.4328124	3.03813144	3.5647896

Probabilidad t-calculada	0.11871426
Estadístico T calculada	1.577558979
Estadístico T tabla	2.285494065
Decisión:	Se acepta H0
Error de estima	10.13793447

Pivote de la UAAAN marca Wade Rain.

Pendiente del terreno.



Sin regulador de presión con pendiente a favor.

Dist. roc. En m	Dist. Colec. M	Qp GPM, tubería	fric/tramo hf, psi	prec./roc Pj, psi	cota ft	tamaño boquilla	gasto real GPM	radio de alcance m	tasa max. do mm/hora	r*do*To/4*xj	lamina Dp colectada
0					304.8						
7.34568	3	49.65646871	0.001593035	17.4912912	304.40717	14	1.4264097	6.03509363	4.24652578	35.9354425	17.3029
13.07592	6	48.22471782	0.001509015	17.6225287	304.10073	14	1.43175089	6.04342549	4.25068208	20.2351657	34.1487
18.80616	9	46.78764219	0.001434383	17.7538502	303.79429	14	1.43707563	6.05173168	4.25478678	14.1024498	44.266
24.56688	12	45.34522998	0.001346402	17.8859528	303.48622	14	1.44241221	6.06005635	4.25886202	10.8207522	34.1561
30.29712	15	43.89752571	0.001274621	18.017437	303.17978	14	1.44770427	6.06831157	4.26286537	8.79438282	26.7081
36.05784	18	42.4445175	0.001191252	18.1496994	302.87171	14	1.45300821	6.07658533	4.26684013	7.40633734	20.6538
41.78808	21	40.77048536	0.001105704	18.2813387	302.56527	15	1.67403215	6.16099022	4.78211769	7.26198899	19.3212
47.51832	24	39.09043298	0.001022805	18.4130635	302.25883	15	1.68005238	6.16917092	4.78659542	6.40073239	14.4409
53.24856	27	37.4043781	0.000611692	18.5448712	301.95239	15	1.68605488	6.17732754	4.79101966	5.72476863	15.2745
56.96712	30	35.71443703	0.000782413	18.630458	301.75353	15	1.68994108	6.18260837	4.79386271	5.35883383	10.942
62.14872	33	33.27314084	0.00075892	18.7497883	301.47643	18	2.44129619	6.41855101	6.42545643	6.835118	12.5805
67.87896	36	30.54349147	0.000647661	18.8818599	301.16999	19	2.72964938	6.50285047	6.99933589	6.90657366	9.2854
73.6092	39	28.35062415	0.000285095	19.0140428	300.86355	17	2.19286731	6.35852843	5.88107372	5.23261002	11.4448
76.5048	42	26.86080846	0.000255256	19.0808795	300.7087	14	1.48981569	6.13400227	4.29340822	3.54564015	8.8567
79.36992	45	25.36841216	0.000229614	19.1470395	300.55548	14	1.49239631	6.13802785	4.29520565	3.42132317	10.6224
82.23504	48	23.65224364	0.000203824	19.2132251	300.40226	15	1.71616852	6.21824803	4.8126176	3.74826004	7.9537
85.13064	51	21.93308908	0.000175374	19.2801431	300.24741	15	1.71915456	6.22230566	4.81470569	3.62470288	9.6953
87.99576	54	20.21098385	0.000150729	19.346383	300.09419	15	1.72210523	6.22631524	4.8167597	3.51044008	9.7646
90.86088	57	18.48593189	0.000127773	19.4126475	299.94097	15	1.72505196	6.23031945	4.8188017	3.40337384	11.4091
93.726	60	16.51985795	0.000104856	19.478935	299.78775	16	1.96607394	6.31051822	5.35337051	3.7125257	10.1383

96.6216	63	14.55040478	8.20149E-05	19.5459519	299.6329	16	1.96945316	6.31455408	5.35571905	3.60515112	9.99
99.48672	66	12.57761258	6.26187E-05	19.6122852	299.47968	16	1.9727922	6.31854196	5.35802949	3.50504894	10.7042
102.35184	69	10.601486	4.51422E-05	19.6786378	299.32646	16	1.97612658	6.32252427	5.36032663	3.41054143	9.1844
105.18648	72	9.085991951	3.42889E-05	19.7443014	299.17487	14	1.51549405	6.17405862	4.31092278	2.60626334	10.6636
108.0516	75	7.343344588	1.86883E-05	19.8106824	299.02165	15	1.74264736	6.2542293	4.83080401	2.88004478	10.0017
110.36808	78	5.357914751	1.28928E-05	19.8643611	298.89777	16	1.98542984	6.33363532	5.36668298	3.17214282	11.3329
113.2332	81	3.112807521	4.91659E-06	19.9307635	298.74455	17	2.24510723	6.41379528	5.91785617	3.45257358	10.4492
116.22024	84	0		20	298.58481	20	3.11280752	6.64651725	7.64049508	4.50060702	10.4905
	87										10.3619
	90										10.3082
	93										10.3276
	96										10.3261
	99										10.1493
	102										9.4358
	105										9.3404
	108										9.5163
	111										10.4343
	114										9.8054

Sin regulador de presión con pendiente en contra.

Dist.	distancia	Qp	fric/tramo	prec./roc	cota	tamaño	gasto real	radio de	Tasa max. do	r*do*To/4*xj	lamina Dp
Roc. (xj) m	colect. m	GPM, tubería	hf, psi	Pj, psi	ft	boquilla	GPM	alcance m	mm/hora		colectada
0	0				304.8						
7.34568	3	43.8564663	0.001265681	17.4928328	305.439897	14	1.42647256	6.03519168	4.24657492	35.9364422	17.304
13.07592	6	42.4388953	0.00119096	17.2751941	305.939069	14	1.41757099	6.02130589	4.23956152	20.1083577	34.1498
18.80616	9	41.0302791	0.001124738	17.0576302	306.438241	14	1.40861626	6.00733717	4.23239493	13.9253235	44.1306
24.56688	12	39.6307199	0.00104914	16.8389816	306.940069	14	1.39955916	5.99320876	4.22503153	10.616383	34.0297
30.29712	15	38.2402255	0.000987211	16.6215595	307.439241	14	1.39049437	5.97906836	4.21754477	8.57292644	26.3903
36.05784	18	36.8589013	0.000917307	16.4030484	307.941069	14	1.38132424	5.96476364	4.20985037	7.1729436	20.3352
41.78808	21	35.2837353	0.000846031	16.1857581	308.440241	15	1.57516596	6.02664404	4.70254265	6.98542913	18.9241
47.51832	24	33.7191747	0.000777869	15.9685391	308.939414	15	1.5645606	6.01223274	4.69330011	6.11632082	14.0374
53.24856	27	32.1652885	0.000462553	15.7513883	309.438586	15	1.55388622	5.99772765	4.68385279	5.43399627	14.8325
56.96712	30	30.6183666	0.000588312	15.6105135	309.762517	15	1.54692191	5.98826407	4.67760999	5.0645156	10.4433
62.14872	33	28.4048451	0.000566188	15.4142688	310.213897	18	2.21352154	6.20360943	6.23666423	6.41212303	12.1088
67.87896	36	25.9559616	0.000479121	15.1973297	310.713069	19	2.44888348	6.26505848	6.76511789	6.4313559	8.488
73.6092	39	24.0095353	0.000209563	14.9804776	311.212241	17	1.94642624	6.09780785	5.67607318	4.84313804	10.9181
76.5048	42	22.6943032	0.000186813	14.8709306	311.464483	14	1.31523217	5.8616649	4.15066759	3.2755745	7.9947
79.36992	45	21.3838722	0.000167328	14.7625573	311.714069	14	1.31043097	5.85417538	4.14610403	3.14983066	10.0445
82.23504	48	19.8850818	0.000147814	14.6542035	311.963655	15	1.49879041	5.92285967	4.63271436	3.4367448	7.3497
85.13064	51	18.3919008	0.000126572	14.5447183	312.215897	15	1.49318099	5.91523721	4.62727838	3.31168575	8.7711

87.99576	54	16.90429	0.000108268	14.4364053	312.465483	15	1.48761082	5.90766808	4.62183738	3.19599599	9.1698
90.86088	57	15.4222693	9.13479E-05	14.3281105	312.715069	15	1.48202066	5.90007178	4.61633346	3.08755536	10.3677
93.726	60	13.7424426	7.45656E-05	14.2198327	312.964655	16	1.67982673	5.96864791	5.11293262	3.35369198	9.4082
96.6216	63	12.0690909	5.80109E-05	14.1104207	313.216897	16	1.67335168	5.96091465	5.10644811	3.2448515	8.8223
99.48672	66	10.4021699	4.40516E-05	14.0021762	313.466483	16	1.66692098	5.95323434	5.09995755	3.14334212	9.7937
102.35184	69	8.74170371	3.1582E-05	13.8939457	313.716069	16	1.66046621	5.94552529	5.0933918	3.04746612	8.3014
105.18648	72	7.47531706	2.38897E-05	13.7868786	313.963	14	1.26638665	5.7854695	4.10248132	2.32414128	9.4954
108.0516	75	6.02727324	1.29634E-05	13.6786682	314.212586	15	1.44804382	5.85390171	4.58192902	2.55681794	9.0456
110.36808	78	4.38499813	8.8956E-06	13.5911853	314.414379	16	1.64227511	5.92379933	5.0746108	2.80541306	10.0514
113.2332	81	2.53841771	3.36975E-06	13.4829899	314.663966	17	1.84658042	5.99217667	5.57643331	3.03951692	9.2389
116.22024	84	0		13.3	314.924172	20	2.53841771	6.2074745	7.14316541	3.92971548	9.2356
	87										9.0639
	90										8.9642
	93										8.9356
	96										8.8866
	99										8.6647
	102										7.8422
	105										7.5757
	108										7.7066
	111										8.4496
	114										8.16