

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**MEDELADO Y SIMULACION DE LA PLUVIOMETRIA PARA UNA
LATERAL PIVOTE**

POR:

SEVERO LINARES MEDINA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio del 2012

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

**MODELADO Y SIMULACION DE LA PLUVIOMETRIA PARA UNA
LATERAL PIVOTE**

Por:

SEVERO LINARES MEDINA

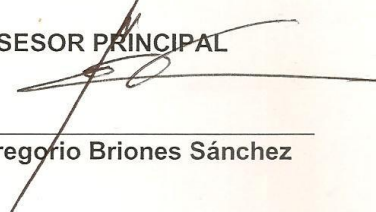
TESIS

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

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

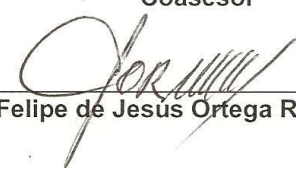
Aprobada por:

ASESOR PRINCIPAL



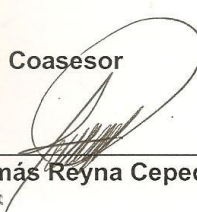
M.C. Gregorio Briones Sánchez

Coasesor



Dr. Felipe de Jesús Ortega Rivera

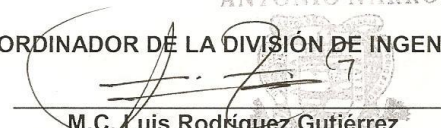
Coasesor



M.C. Tomás Reyna Cepeda

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinación de

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio del 2012

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la oportunidad de vivir y por darme el Don de la sabiduría.

A mis padres

Faustino Linares Calero y Tomasa Medina Morales

Por darme todo su amor y cariño, por apoyarme en todo momento, por confiar en mí y darme sus consejos para salir adelante en los momentos difíciles, por eso y más mil gracias.

A mis hermanos

Armando, Laureano, Magdalena, Humero, Faustino, Hermenegildo, Cristino, Saray, Yenizer.

Por el apoyo incondicional que me brindaron como hermanos, por confiar en mí, por sus apoyos que me brindaron durante mi estancia en mi desarrollo profesional, lo cual les tendré siempre en mi corazón.

A mi novia

Dora Nelly Méndez Hernández

Con mucho amor y cariño por estar conmigo en los momentos más importantes de mi vida, por apoyarme y por su comprensión, la cual le estoy agradecido.

A mis amigos

Oscar Ángel, Benito, Irving, Emmanuel, Eloy, Tirzo, Salas, Ever, Jesús, etc.

Por nuestra amistad de toda la vida y por apoyarme a salir adelante en los momentos difíciles, por compartir conmigo tristezas y alegrías por eso y más les estaré agradecido. A mis compañeros de GENERACIÓN 2011, por su amistad y por las cosas que pasamos juntos gracia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por darme la vida y por permitirme lograr uno de mis más grandes sueños ser

Ing. Agrónomo en Irrigación.

A mi alma terra mater

Por haberme brindado mi preparación durante mi estancia en sus instalaciones y por prepararme para ser un hombre de bien durante la vida.

Al M.C. Gregorio Briones Sánchez y A mis coasesores por participar en mi formación profesional y transmitir sus conocimientos, pero sobretodo sin ellos no habría sido posible la realización de esta tesis, mil gracias por su tiempo y paciencia.

A Mi hermano Armando y Laureano por haberme ayudado en todo momento y por confiar en mí para lograr lo que ahora con mucho esfuerzo he logrado uno de mis mas grandes sueños, ser un profesionista.

A todos los maestros del "Departamento de riego y drenaje" que me brindaron su amistad y apoyo, por los sus conocimientos que ellos nos adquirieron, lo cual sin ellos no sería posible alcanzar mis sueños, por su amistad les agradezco de corazón.

A todos los amigos que conocí durante mi desarrollo profesional, por su amistad y su compañía les agradezco haber estado conmigo en aquellos momentos de tristeza y por su cordial apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO.

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
RESUMEN.....	X

I. INTRODUCCION.....1

<i>1.1 Objetivos.....</i>	<i>2</i>
---------------------------	----------

<i>1.2 Hipótesis.....</i>	<i>2</i>
---------------------------	----------

I. REVISION DE LITERATURA.....3

<i>2.1 Los sistemas de pivote central</i>	<i>3</i>
---	----------

<i>2.1.1. Las características del sistema de riego pivote central.....</i>	<i>5</i>
--	----------

<i>2.1.2. Las tasas de precipitación de aspersion</i>	<i>6</i>
---	----------

<i>2.2. Componentes básicos del sistema pivote.....</i>	<i>7</i>
---	----------

<i>2.2.1. Descripción de los componentes.....</i>	<i>7</i>
---	----------

<i>2.3. Ventajas y Desventajas.....</i>	<i>13</i>
---	-----------

<i>2.4 Longitud de la lateral en el sistema.....</i>	<i>15</i>
--	-----------

<i>2.5 Selección del paquete de boquillas</i>	<i>15</i>
---	-----------

<i>2.6 Características de las boquillas.....</i>	<i>15</i>
--	-----------

<i>2.7 Eficiencia de aplicación del paquete de boquillas.....</i>	<i>16</i>
---	-----------

<i>2..8 Uniformidad del riego pivote central.....</i>	<i>17</i>
---	-----------

<i>2.9 Factores que afectan la uniformidad del riego.....</i>	<i>17</i>
---	-----------

II. MATERIALES Y MÉTODOS	18
<i>3.1 Localización.....</i>	<i>18</i>
<i>3.2 Características Generales.....</i>	<i>18</i>
<i>3.3 Tamaño de boquillas evaluadas.....</i>	<i>19</i>
<i>3.4 Calculo de los gastos aplicados por boquilla.....</i>	<i>21</i>
<i>3.5 Ecuaciones para predecir la cobertura individual de los rociadores.....</i>	<i>21</i>
<i>3.6 Predicción de la precipitación aplicada.....</i>	<i>22</i>
<i>3.7 Desarrollo del modelo</i>	<i>22</i>
<i>3.8 Aplicación del modelo.....</i>	<i>24</i>
<i>3.9 Validación del modelo.....</i>	<i>27</i>
III. RESULTADOS.....	29
<i>4.1 Gasto Aplicado por boquilla y presiones de operación.....</i>	<i>29</i>
<i>4.2 Comparación de la pluviometría calculada con el modelo contra la pluviometría observada en campo.....</i>	<i>30</i>
<i>4.1 Resultados de la validación del modelo.....</i>	<i>35</i>
IV. CONCLUSIONES.....	36
V. BIBLIOGRAFIA.....	37
APENDICE.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>2.1 Esquema de un sistema de riego "pivote central".....</i>	<i>4</i>
<i>2.2 Esquema del centro pivote.....</i>	<i>7</i>
<i>2.3 Esquema del sistema de propulsión.....</i>	<i>8</i>
<i>2.4 Tubería porta rociadoras.....</i>	<i>9</i>
<i>2.5 Sistema eléctrico automático.....</i>	<i>10</i>
<i>3.1 Patrón simple de aspersión (en ausencia de viento).....</i>	<i>22</i>
<i>3.2 Comparación de Láminas observadas contra las láminas calculadas por el modelo.</i>	<i>27</i>
<i>4.1 Span No. 10 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.</i>	<i>30</i>
<i>4.2 Span No. 9 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.</i>	<i>31</i>
<i>4.3 Span No. 8 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.</i>	<i>31</i>
<i>4.4 Span No. 7 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.</i>	<i>32</i>
<i>4.5 Span No. 6 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.</i>	<i>32</i>
<i>4.6 Span No. 5 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.</i>	<i>33</i>
<i>4.7 Span No. 4 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.</i>	<i>33</i>

4.8 Span No. 3 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.34

4.9 Comparación de los datos calculados con el modelo de Heerman y Hein (1985), datos reportados por Tarjuelo Benito (1995) para una prueba de pluviometría realizada en una lateral pivote de 6 torres.34

ÍNDICE DE CUADROS

<i>3.1 Paquete de Boquillas utilizados en el pivote I para la simulación de la pluviometría aplicando el modelo de Heermann y Hein.</i>	<i>19</i>
<i>3.2 Paquete de Boquillas utilizados en el pivote II para la simulación de la pluviometría aplicando el modelo de Heermann y Hein.</i>	<i>20</i>
<i>3.3 Ecuaciones de ajuste para predecir el diámetro de alcance de los rociadores RAIN BIRD con plato CMH.</i>	<i>21</i>
<i>3.4 Simulación de la Pluviometría Span # 9 Pivote I.....</i>	<i>26</i>
<i>3.5 Determinación de la t-student calculada, t-student de tabla, y la decisión de la Hipótesis “Ho” para el pivote I.</i>	<i>26</i>
<i>3.6 Promedio de la Simulación de la pluviometría del Span # 9 Pivote I.....</i>	<i>26</i>
<i>4.1 Valores estadísticos t-student encontrados en la comparación de tendencias en la pluviometría (y ensayo de hipótesis).</i>	<i>35</i>

MODELADO Y SIMULACION DE LA PLUVIOMETRIA PARA UNA LATERAL PIVOTE

Por: Severo Linares Medina

RESUMEN

El presente trabajo se desarrollo en el centro de cómputo del departamento de "Riego y Drenaje", de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" ubicado en Buenavista Saltillo, Coahuila. Este trabajo tiene como objetivo: predecir la distribución de la lluvia artificial aplicada por el paquete de boquillas instalado en una lateral pivote, y traslapar los patrones de aspersion para encontrar las láminas de agua precipitadas sobre el terreno durante el avance circular de la tubería pivote.

Los datos utilizados para validar el modelo span por span provienen de una prueba de pluviometría realizada en terrenos de la propiedad del Rancho "San Pablo" situada en el kilometro 32 de la carretera federal No. 57 Monclova-Piedras Negras (Hernández 1995) y adicionalmente se valido el algoritmo procesando información de una prueba de pluviometría reportada por Tárjuelo-Benito (1995); realizada en un lugar llamada las Tiesas en España para una tubería pivote completa.

El modelo se realizara mediante el paquete de Excel, el cual Será eficiente para ayudar a simular la pluviometría en el sistema pivote. Y de esta manera ser una herramienta para poder ser utilizada por diseñadores o personas interesadas. **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 errático.

Los fundamentos del modelo son la ecuación de la elipse, la pluviometría del patrón simple de aspersión para cada boquilla y el método del elemento finito para visualizar el traslape de los perfiles individuales para el paquete de boquillas. La lámina precipitada se estima, colector por colector; como un producto de: lámina = intensidad promedio x tiempo de paso. La lámina calculada con el modelo muestra excelente uniformidad a lo largo de la tubería pivote y se acerca mucho al promedio evaluado en campo pero al visualizar los datos individualmente se desvía la tendencia de las observaciones de campo debido a que la conceptualización del modelo no está considerando la influencia del viento, la variación topográfica y las características de la bomba.

En 9 simulaciones de 11 realizadas, se aceptó la hipótesis nula (H_0 : Lámina calculada con el modelo = Lámina observada en prueba de pluviometría de campo); deduciendo que el modelo de Heerman y Hein es altamente confiable en sus predicciones como ha quedado demostrado en otros estudios por lo cual se recomienda su aplicación en la evaluación de la uniformidad de distribución para los paquetes de boquillas de una lateral pivote.

Palabras clave: Pivote central, Algoritmo lógico Matemático, eficiencia de Uniformidad, irrigación por aspersión, Pluviometría, gasto, span.

I. INTRODUCCIÓN

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

El manejo de todos estos datos tomados en el campo y su posterior procesamiento y almacenamiento es lo que se facilita con el software "Pluviopivot", el cual guarda en un fichero los datos sistematizados y los resultados del análisis.

Para el análisis hidráulico de estas máquinas existen en Cuba varios programas, como 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 estudio de la pluviometría en las máquinas de riego de pivote central resulta más complejo que en otros sistemas de aspersión, porque la corona circular representada por cada pluviómetro es mayor en la medida que su posición se aleja del pivote. Luego, el peso relativo de los diferentes pluviómetros en el cálculo de los parámetros de uniformidad no puede ser igual, lo que da lugar a que se introduzca un factor de ponderación que se corresponde con la superficie que representa cada pluviómetro y por consiguiente todos los coeficientes de uniformidad calculados resultan ponderados por la superficie. El uso de coeficientes de uniformidad ponderados por superficie para máquinas de pivote central, se planteó desde el pasado siglo, destacándose los trabajos de (Heermann y Hein, 1968), que modificaron el conocido Coeficiente de Uniformidad de (Christiansen, 1942) para ponderarlo por superficie. Posteriormente (Merriam y Keller 1978), Merriam, 1980) y (Marek, 1986) citado este último por (Faci y Bercero, 1990) contribuyeron todos al desarrollo de los actuales conceptos de la ponderación por superficie.

En Cuba se publica sobre la ponderación por superficie para las máquinas de pivote central en los trabajos de (Pacheco, 1995), (Pérez, 1998) y (Pacheco, 2003).

1.1 OBJETIVOS

- Predecir la distribución de la lluvia artificial aplicada por el paquete de boquillas instalado en un lateral pivote, y traslapar los patrones de aspersión para encontrar las láminas de agua precipitadas sobre el terreno durante el avance circular de la tubería pivote.
- Aplicar el modelo para el cálculo de la pluviometría y predecir la uniformidad del riego.
- Mejorar la eficiencia y uniformidad del riego mediante el ajuste del paquete de boquillas utilizadas en el sistema pivote.

1.2 Hipótesis

El modelo se realizara mediante el paquete de Excel, el cual Será eficiente para ayudar a simular la pluviometría en el sistema pivote. Y de esta manera ser una herramienta para poder ser utilizada por diseñadores o personas interesadas.

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 errático.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los sistemas de pivote central

El riego por pivote central es una tecnología que ha sido desarrollada a partir de la década del 50, en Nebraska, Estados Unidos; en 1968 se fabrica el primer sistema de riego reversible de transmisión eléctrica.

Actualmente su uso está muy difundido a nivel mundial, fundamentalmente para el riego de cultivos y forrajeras. A mediados de la década del 90, se comienzan a instalar en nuestro país, totalizando a la fecha, no más de una veintena de equipos, para el riego de cultivos como maíz y soja fundamentalmente.

Aunque se trata del sistema de riego más antiguo de este tipo, y el que da nombre al grupo de sistemas de mayor actualidad en el mercado, no por eso ha perdido vigencia en la actualidad, representado el 60-70% de las nuevas instalaciones que están realizándose en Castilla y León en las últimas campañas. Miller (1973), se trata de una máquina automática de riego por aspersión, accionada por corriente eléctrica (atrás han quedado los primitivos sistemas hidráulicos), compuesta por una tubería porta emisores, suspendida sobre unas unidades motorizadas llamadas torres, que están alineadas entre sí y que, en conjunto, giran de forma sincronizada alrededor de un centro pivotante o unidad central anclada sobre una plataforma de hormigón. Cada uno de los tramos que forman el Pivote, hasta alcanzar la longitud requerida, es de longitud variable y está compuesto por la tubería de conducción de agua o porta emisores, en tubos de 11,23 m y/o 5,67 m, de diámetro variable (4 1/2" (114,3 mm), 5" (127 mm.), 5 9/16" (141,3 mm.), 6 5/8" (168,3 mm), 8" (203,2 mm) y 10" (254 mm)) según el caudal requerido por la instalación, y soportados por un armazón metálico de tirantes y diagonales que configuran, junto a la propia tubería, una estructura en celosía triangular auto portante. Todo ello descansa sobre las escaleras y eje de la torre correspondiente, sobre el que va instalado el motorreductor eléctrico que, mediante transmisiones tipo cardan,

transmite el movimiento a los engranes de las ruedas y, con ello, del conjunto en sí.

Este tipo de construcción permite adaptar la longitud de la máquina tanto a la planimetría como a la propia orografía de la parcela, realizando una correcta disposición de los tramos de diferentes longitudes de manera que permitan, con la longitud total de la máquina deseada, salvar los desniveles existentes sin que la estructura arrastre, o esté demasiado próxima al suelo, lo que impediría el desarrollo normal de los cultivos, siempre y cuando el tipo de enganche entre tramos permita solventar los ángulos que se forman entre tramos contiguos en estos desniveles. (Fuente Valmon)



Figura 2.1 Esquema de un sistema de riego "pivote central"

2.1.1. Las características del sistema de riego pivote central

El riego por pivote (Dennis C. Kincaid 1997), implica aplicar una lluvia controlada, más o menos intensa y uniforme, sobre la parcela con el objetivo de que el agua, infiltre en el mismo punto donde cae. Es un sistema de desplazamiento continuo mientras se realiza la aplicación del agua. (White John G. 1985)

Por estar muy ligado a la parcela, es muy adecuado para la aplicación de grandes cantidades de agua, durante la estación de desarrollo del cultivo.

Este sistema permite el riego nocturno, cuando hay menor evaporación, velocidad del viento y costo energético.

Por ser un riego de alta frecuencia, la uniformidad se compensa en los sucesivos riegos, al ir cambiando la dirección del viento.

En el proceso de aplicación, el agua que se difunde por el aire en un conjunto de gotas, que se distribuyen sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir una distribución uniforme entre varios emisores.

La pluviosidad que recibe un punto del terreno, está determinada por la presión en la boquilla, el diámetro del orificio de salida del emisor, la distancia y ubicación de estos, y la velocidad de avance.

Los efectos derivados de esta aplicación son:

- producción de escorrentía, cuando la velocidad de aplicación (pluviosidad del sistema) es mayor a la infiltración de agua del suelo.
- el posible deterioro de la superficie del terreno por la escorrentía, formando costra y erosión.
- la redistribución del agua dentro del suelo por diferencias de potencial hidráulico, mejora sensiblemente la uniformidad real del agua en el suelo.

2.1.2 Las tasas de precipitación de aspersión

Aarstad y Miller (1973) reportan que la tasa de aplicación esta determinada por el tamaño de boquilla y el espaciamiento entre aspersores.

Menciona también que las tasas de aplicación alta, muchas veces es obtenido con boquillas grandes, que pueden causar una película compacta en la superficie del suelo y de este modo disminuir la tasa de infiltración.

Briones y casillas (1986) indican 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 mas alejados del punto pivote regaran una mayor unidad de tiempo de la que riegan los que están cerca del punto pivote.

La tasa de precipitación de aspersión es determinada por el tamaño de boquillas de los aspersores, la presión en la boquilla, el espaciamiento entre aspersores o emisores la longitud de la línea lateral y el tipo de aspersor o emisor.

Kincaid y Heermann (1970) indicaron que en el análisis de este sistema con respecto a la uniformidad y tasas de aplicación en varias distancias desde el punto pivote, muestran relativamente una alta uniformidad de aplicación para una selección correcta de la boquilla rociadora individual.

Merrian y Keller (1978) reportaron que la tasa de precipitación a lo largo del lateral pivote crecen progresivamente hacia el más grande emisor/rociador del movimiento final. Por lo tanto; los aspersores deberán estar diseñados para tener progresivamente descargas cada vez más grandes y/o espaciamientos más cercanos hacia el extremo final, esto para lograr una aplicación uniforme cerca del último tramo al final del pivote.

2.2 Componentes básicos del sistema pivote

Las unidades básicas que componen el sistema de riego por pivote son: el grupo de bombeo, el grupo de suministro de energía eléctrica, las tuberías de conducción en PVC ó aluminio con sus hidrantes, y un ramal de riego con sus emisores y reguladores de presión.

Por lo general, son sistemas semifijos, siendo la toma de agua y el abastecimiento de energía fijas, al igual que la tubería e hidrantes, siendo móvil el ramal de riego. La máquina de riego se compone de un centro pivote, los tramos de tuberías con sus torres de desplazamiento mediante ruedas, y los emisores. El centro pivote sobre el que gira, puede estar fijo al terreno en un punto, ó puede ser remolcado de una base a otra, en aquellas máquinas que se desplazan a diferentes puntos.

2.2.1. Descripción de los componentes



Figura 2.2 Esquema del centro pivote

a) **El centro pivote**, estructura de acero en forma de pirámide, anclada en un macizo de hormigón, que sostiene un tramo vertical de tubería con una junta estanca a base de anillos rasantes, que permite el giro.

- También suele llevar al principio una válvula de compuerta y otra de retención, así como algún elemento de control como un manómetro.

También en el codo superior va un colector de anillos rasantes que realiza las conexiones de los cables de alimentación de los motores de las torres y de seguridad y control con el cuadro de maniobra que va fijo en la estructura del pivote

b) El lateral es la **separación entre torres** varía entre 25 y 75m, aunque las más frecuentes son de unos 38m (tramo corto) y 50m (tramo largo).

- Los equipos de tramo largo son, normalmente, más económicos (menos torres), pero se adaptan peor a ondulaciones del terreno y al transmitir más peso hay mayores posibilidades de atascos.

- Las **longitudes del lateral** van de 60 a 800m. La inversión por Ha regada, disminuye al aumentar la longitud del equipo, pero el coste de aplicación de agua, teniendo en cuenta todos los gastos, permanece constante a partir de 50-60 Has regadas (al crecer mucho el coste energético)



Figura 2.3 Esquema del sistema de propulsión

c) Sistema de Propulsión, Normalmente con motores eléctricos, que permiten regular fácilmente la velocidad y moverse sin necesidad de regar.

- En cada torres lleva un motor que va desde 1,5 a $\frac{1}{2}$ 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 (suele ir de 1,5 a 3 m por minuto, según la longitud del lateral)
- Las ruedas suelen ser neumáticas de unos 50 cm de radio, aunque hay algunas variaciones



Figura 2.4 Tubería porta rociadoras

d) La tubería porta rociadoras, 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. Deber ser sólida, para soportar el vano y resistente a la corrosión, pues a veces se distribuye por el agua abonos y fitosanitarios.

- Los diámetros nominales de tubería (exteriores) suelen ser 4 ½ " ; 5 9/16 " ; 6" ; 6 5/8" ; 8" ; y 10" (entre 114mm y 254mm).
- En laterales de gran longitud (más de 500m) a veces se usan dos diámetros.
- El diámetro de 4 ½ " se usa en longitudes menores de 300m (mini pivotes)



Figura 2.5 Sistema eléctrico automático

e) Sistema eléctrico automático, suele estar formado por: cuadro de control y maniobra y el colector de anillos rosantes, localizados ambos en el pivote central, los cables conductores de tramo y las cajas de control de torres.

❖ El cuadro central controla:

* Velocidad de desplazamiento. y sentido de avance

* Arranque- realineación.

* Parada en una posición y conmutador sectorial, que permiten regar un sector circular.

* Funcionamiento coordinado de bomba y pivote, de forma automática, o arranque desde la estación de bombeo.

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

❖ Los mecanismos de seguridad se centran sobre todo en parar el equipo cuando se supera un cierto ángulo entre tramos.

f) El alineamiento, Para mantener esto, la lateral se dispone de un mecanismo de alineamiento, que arrancan o paran el avance de cada torre conductora mediante un contactor eléctrico, cuando los dos tramos que concurren en la torre forman un ángulo de unos 20°. Así, el avance de la unidad conductora extrema produce una reacción en cadena de avances. También existen mecanismos que paran el sistema cuando la última torre (que es la de control) patina.

g) **Los rociadores**, Pueden ser de tres tipos: Aspersores giratorios, toberas pulverizadoras y cañones de extremo.

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

- tipo de emisor.
- Espaciamiento en la tubería.
- Presión en las boquillas.
- Tamaño de las boquillas.

- Existen tres modelos fundamentales de aplicación del agua que se diferencian en el tipo de emisor, su disposición a lo largo del lateral y el diámetro de alcance de cada emisor, pudiendo conseguir con todos ellos una distribución uniforme.

- Sistema con aspersores de tamaño creciente desde el centro del pivote al extremo, que funcionan con alta presión (más de 3 Kg/cm²), con anchura mojada en el extremo entre 35 y 50m.
- Sistemas con aspersores de tamaño medio, pero con menor espaciamiento a medida que se aproximan al extremo, que trabajan a media presión (2-3 Kg/cm²), con anchura mojada en casi todo el lateral entre 20 y 30m.
- Sistemas con tobera pulverizadoras que trabajan a baja presión (0,7-1,7 Kg/cm²). Su separación disminuye al acercarse al extremo y la anchura mojada es de 6 a 15m en todo el lateral.

Normalmente se usan espaciamentos de 12 m en el primer tercio del lateral, de 6 m en el segundo tercio y de 3m en el tercio final.

- Tendencia actual es buscar la baja presión y el ahorro energético (pero echa mucha agua en los extremos al tener poco alcance y se adapta mal a topografía irregular pues lleva poca presión).

- Para incrementar la anchura mojada, las toberas se pueden localizar en pequeños tubos horizontales llamados booms, que se disponen casi perpendicularmente al lateral y portan entre dos y 5 emisores..

- En los extremos del lateral pueden ponerse cañones, que funcionan entre 3,5 y 5 Kg/cm² (se hace necesaria una bomba de sobrepresión) no indicados para zonas con mucho viento. La principal ventaja de los cañones es cubrir una zona entre 15 y 30m más allá del extremo del lateral.

h) Sistema de esquina, Surgen para resolver el problema de las esquinas que quedan sin regar cuando las parcelas no son circulares.

- Consiste en un brazo articulado en el extremo que se extiende únicamente para regar las esquinas.

- Hay diversas modalidades, pero se han extendido muy poco en España.

i) Modelos trasladables, Surgen para un mejor aprovechamiento del equipo. Son modelos que se pueden trasladar de un lugar a otro, bien remolcados o bien guiados por un cable fijo en el terreno

- Los **remolcados**, necesitan levantar las torres y girar las ruedas 90° dejándolas paralelas al eje de la tubería, realizándose el traslado en la dirección del eje del ramal.

- Las que llevan **cable guía** llevan dos pares de ruedas en el centro pivote. Un par iguales a las de las torres y en su misma posición y el otro perpendicular al primero, que es el que apoya en el terreno cuando el equipo está regando y a su vez levantan a las anteriores.

2.3 Ventajas y Desventajas

Ventajas del sistema de riego por Pivote Central

- Es relativamente sencillo diseñar un sistema que satisfaga la demanda pico del cultivo, sin causar un impacto significativo en el costo de la inversión.
- El control del riego solo está limitado por las condiciones atmosféricas (perdidas por evaporación y efecto del viento sobre la uniformidad)
- la uniformidad es independiente de las características Hidrofísicas del suelo. la alta eficiencia de aplicación reduce el volumen de agua durante el ciclo del cultivo, hay autores que indican valores de coeficiente de uniformidad de 94%.
- Se logran altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, agua y energía.
- La dosis de riego únicamente es función del tiempo, se adaptan muy bien tanto a dosis grandes o pequeñas.
- Se adapta bien a terrenos con diferentes permeabilidades, ya que dosifica en forma rigurosa.

- permite la aplicación de fertilizantes mediante la inyección, con muy buena uniformidad y eficiencia.

- se adapta a la rotación de cultivos y a riegos estratégicos

- no requiere nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas

- en el interior de las parcelas no requiere de sistematización especial, adicional a la requerida para la conservación del suelo, lo que permite una buena mecanización.

- se maximiza el uso de la tierra dentro de la parcela, al no requerir canales, acequias, calles de trineos, etc.

Desventajas del sistema de riego por Pivote Central

- requiere altas inversiones iniciales, los costos de operación y mantenimiento son intermedios, respecto al sistema de cañón ó gravedad.

- requiere mayor presión de funcionamiento, si lo comparamos con riego por gravedad.

2.4 Longitud de la lateral en el sistema

(MONTERO, J.; TARJUELO), La longitud de las tuberías laterales está condicionada entre otros factores, por la topografía del terreno, siendo menor la longitud del lateral cuando la pendiente es ascendente pudiéndose aumentar a medida que la pendiente es menor y se hace descendente.

Evidentemente, al variar los datos técnicos (diámetro de la tubería, caudales y presiones) las longitudes máximas de las laterales serán distintas.

2.5 Selección de paquete de las boquillas

Una configuración del tamaño de boquillas calculada a lo largo de la tubería pivote a través de la aplicación de las relaciones hidráulicas y considerando las modificaciones del sistema hecha por el productor.

Paquete de boquillas basado en la solución por computadora del algoritmo que incorpora una serie de ecuaciones hidráulicas para tubería de pivote central; la salida de una computadora fue corregida por el productor cancelando “bastones” para no regar las áreas cerca de las torres y el span alrededor del punto pivote.

2.6 Características de las boquillas

La uniformidad y la intensidad del agua aportada por el pivote en cada uno de los riegos dependen de cuatro factores: el tipo de emisor, el espaciamiento de los emisores en la tubería, la presión en las boquillas y el tamaño de las mismas.

(Soares, A. A.; L. S. Willardson;) Existen actualmente en el mercado un gran número de emisores de diferentes características según los fabricantes, pero que se pueden agrupar en cuatro categorías básicas:

- Aspersores de impacto, de ángulo bajo.
- Toberas rotativas.
- Toberas pulverizadoras o sprays.
- Cañones o pistolas finales.

La tendencia actual, basada en los últimos estudios que se están realizando sobre la uniformidad de riego con los pivotes, es el empleo de emisores de media presión, con un tamaño medio de gota y con los que se pueda conseguir el mayor alcance posible, con el fin de favorecer el ahorro de energía y lograr una uniformidad de riego mayor sin pérdidas de agua por escorrentía o por evaporación, siendo cada vez más frecuente la utilización de los drops o cañas descendentes que sitúan al emisor por debajo de la estructura del pivote y tan próximos al suelo como se quiera.

Toda esta descripción que se ha realizado (tramos, torres, automatismos, etc.), aunque está enmarcada dentro del Pivote Central es igualmente válida para todos los demás tipos de pivotes que se van a describir a continuación, señalando en cada uno de ellos aquellas características específicas que les hacen diferentes.

2.7 Optimización de la eficiencia de riego.

(HERMANN Y HEIN) La eficiencia del riego implica la capacidad de minimizar las pérdidas de agua. Factores tales como la dispersión por el viento o la evaporación del agua de la superficie del suelo y de la planta afectan el nivel de eficiencia. Simplemente hacer llegar el agua al suelo y controlar la escorrentía también incrementa la eficiencia. En el campo del riego mecanizado, el avance más significativo en lo que respecta a la eficiencia ha sido la instalación de los aspersores en bajantes, hacia abajo fuera del viento. Los bajantes deben su éxito a productos que distribuyen el agua sobre un gran área, aun cuando están montados debajo de los tirantes del pivote.

2.8 Uniformidad del riego en pivote central

Muños (2004) señala que la uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego y que además interviene en su diseño, tanto en el agronómico, como en el hidráulico. Niveles altos de uniformidad, incidirán notablemente en la eficiencia de riego, ya que de esta depende el agua que se suministra a unas plantas y a otras, lo que repercutirá en los rendimientos de manera significativa.

2.9 Factores que afectan la uniformidad del riego

La uniformidad que se suele manejar en sistemas de riego con pivote suele andar entre 70 y 88% dependiendo fundamentalmente del tipo de cultivo y del sistema radicular del mismo. Pueden sobrepasar el 90% cuando los vientos son flojos.

Los sistemas autopulsados tienen ciertas ventajas frente a los estacionarios en cuanto a los efectos distorsionadores del viento ya que:

- * El lateral ocupa infinitas posiciones en su recorrido, compensándose en parte las distorsiones entre riegos sucesivos.
- * El espaciamiento de emisores en el lateral es bastante pequeño, con un gran solapamiento entre ellos.

Y así como algunos factores que distorsionan la uniformidad de reparto tienden a compensarse en los sucesivos riegos, otros tienden a acentuarse cada vez más como son:

- * El funcionamiento defectuoso de algún aspersor.
- * La existencia de escorrentía.
- * La mala distribución del agua en los bordes.

I. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización

Los datos utilizados para validar el modelo span por span provienen de una prueba de pluviometría realizada en terrenos de la propiedad del Rancho “San Pablo” situada en el kilometro 32 de la carretera federal No. 57 Monclova-Piedras Negras (Hernández 1995) y adicionalmente se valido el algoritmo procesando información de una prueba de pluviometría reportada por Tárjuelo-Benito (1995); realizada en un lugar llamada las Tiesas en España para una tubería pivote completa.

“Las Tiesas” es una comunidad rural de valencia (Alicante, España) situada al sureste de su cabecera municipal, entre el rio Vinalopó, por el rumbo de castilla-la mancha.

Los ensayos se plantean sobre una parcela de regadío, sistema de aspersión mediante pivote, el cual garantiza una uniformidad adecuada en el reparto del agua en maíz.

3.2 Características generales

Pivote central I del Rancho “San Pablo” de la marca VALLEY caracterizado por una longitud de 590 m de radio (aprox. 1938 ft) constituida por 11 torres montadas en llantas de tracción de alta flotación y motorreductores de 1.5 Hp de velocidad baja en cada una de las torres, la estructura de los pivotes son de fierro galvanizado (FG) teniendo un diámetro al inicio de 8” y 6 5/8” Ø al final y los diámetros de las vacantes de las boquillas regantes es de 3/4” Ø utilizándose boquillas rociadoras de impacto de la marca Senninger para irrigación agrícola utilizadas en el sistema por aspersión para regar una superficie de 109. 72 ha.

Pivote central II de la Finca “Las Tiesas” de la marca AGROCAJA caracterizado por una longitud de 303 m de radio (aprox. 994 pies) constituida por 6 torres montadas en llantas de tracción de alta flotación y motorreductores de 1 Hp para mover los trenes de transmisión en cada una de las torres, la estructura de los pivotes también de fierro galvanizado (FG) teniendo un solo diámetro toda la tubería 6 5/8” Ø los diámetros de los coples de 3/4” Ø con aspersores Wright de doble boquilla.

3.3 Tamaño de boquillas evaluadas

Los tamaños de boquillas utilizados para la predicción de la pluviometría se muestran en el cuadro 3.1 y en el cuadro 3.2; para el pivote I la simulación se hizo con las boquillas que tenía instalada la tubería de riego.

Por su parte, el pivote II fue emboquillado con rociadores RAIN BIRD aplicando la hidráulica de la tubería pivote y ajustando la variación de carga a las tomadas en campo.

Cuadro 3.1 Paquete de Boquillas utilizados en el pivote I para la simulación de la pluviometría aplicando el modelo de Heermann y Hein.

Pivote 1			
No de Torre	# de boquillas	No de Torre	# de boquillas
1	-		
		7	6/20.0
2	2/8.0		5/20.5
	3/8.5		4/21.0
	3/9.0		4/21.5
	1/8.5	8	1/21.5
	1/9.0		4/22.0
	1/9.5		7/22.5
	1/10.0		5/23.0
	1/10.5		2/23.5
	1/10.0	9	1/23.5
	2/10.5		6/24.0
1/11.0	6/24.5		
3	3/11.0		5/25.0
	5/11.5		2/25.5
	3/12.0		1/12 (180°)

3	2/12.5	10	2/25.5
	3/13.0		6/26.0
1/15.5	8/18-18		
4	4/15.5		3/19-18
	7/14.0		8/19-19
	1/14.5		5/20-19
	4/15.0		1/13 (180°)
	1/12.0		
5	3/15.5		
	5/16.0		
	2/15.0		
	2/16.5		
	4/17.0		
	1/17.5		
6	3/17.5		
	5/18.0		
	4/18.5		
	5/19.0		
	2/19.5		

Cuadro 3.2 Paquete de Boquillas utilizados en el pivote II para la simulación de la pluviometría aplicando el modelo de Heermann y Hein.

Pivote II			
No de Torre	# de boquillas	No de Torre	# de boquillas
1	2/5.0	4	4/10.0
	2/6.0	5	6/11.0
	3/7.0		8/12.0
	1/8.0		2/13.0
2	1/8.0	6	5/13.0
	3/9.0	Colgante	5/14.0
	3/10.0		1/14.0
	3/11.0		
3	4/12.0		
	4/13.0		
	2/14.0		

3.4 Cálculo de los gastos aplicados por boquilla.

Para el cálculo del gasto por boquilla (qj) se multiplica el coeficiente 28.51 por el calibre de boquilla sobre sesenta y cuatro, y elevado al cuadrado, por la raíz de la presión tomada en campo. Utilizando esta ecuación (basada en el teorema de Torricelli para el flujo a través de orificios, toberas y boquillas) se pudo determinar el gasto utilizado en el modelo para la predicción de la pluviometría.

3.5 Ecuaciones para predecir la cobertura individual de los rociadores

El diámetro de mojado para cada rociador fue estimado sustituyendo el gasto de la boquilla en una ecuación de ajuste tomada del cuadro 3.3; la pendiente y la intercepción para tales ecuaciones fueron determinadas previamente aplicando regresión lineal para ajustar las tendencias de los datos publicados por el fabricante para el rendimiento de las boquillas comerciales.

Cuadro 3.3 Ecuaciones de ajuste para predecir el diámetro de alcance de los rociadores RAIN BIRD con plato CMH.

Tamaño de boquilla (64avos de pulg)	Rango presión (psi)	Rango gasto (gpm)	Rango radio (pies)	Pendiente	Intercepción	r ²
6	10 a 40	0.79 a 1.58	18 a 30	14.505	7.584	0.9938
8	10 a 40	1.41 a 2.82	25 a 36	8.298	14.1216	0.988
11	10 a 40	2.66 a 5.33	32 a 45	4.7496	20.109	0.982
14	10 a 40	4.31 a 8.63	35 a 49	3.202	22.127	0.978
17	10 a 40	6.36 a 12.72	35 a 50	2.436	20.427	0.981
20	10 a 40	8.8 a 17.61	33 a 51	2.035	16.238	0.985
24	10 a 40	12.68 a 25.3	30 a 54	1.8844	7.2593	0.992

3.6 Predicción de la precipitación aplicada por las boquillas

La tasa de precipitación (d) se determinó dividiendo el gasto aplicado (q_j) de la boquilla sobre el área mojada por la misma para cada rociador. La tasa máxima de precipitación ($d_o = 1.5 d$) que se alimenta en el modelo se estimó multiplicando la tasa de precipitación por 1.5, asumiendo un patrón paraboloide para la pluviometría de cada rociador. Que considera que “ d_o ” se localiza sobre la trayectoria del rociador y esta disminuye conforme se aleja un colector del centro del patrón de aspersión simple.

3.7 Desarrollo del modelo

Un patrón elíptico fue asumido para la distribución del agua aplicada dentro de la cobertura de un rociador con radio “ r ” y tasa de precipitación “ i ”; el área de una elipse completa es $A = \pi * i * X / 2$ y la mitad de dicha elipse es $A/2 = (\pi/4) * i * X$. Al pasar el patrón completo de pluviometría sobre un colector dispuesto en el terreno a una velocidad uniforme se precipita la lluvia a una intensidad promedio dada por:

$$i_{promedio} = \frac{3.1416 * i * \sqrt{(r^2 - x^2)}}{4 * \sqrt{(r^2 - x^2)}} = \pi i$$

Es asumido que el patrón elíptico gira alrededor de “ d_o ”, la tasa máxima de precipitación, el perfil se extiende desde el centro del patrón donde $x=0$ hasta $x=r$, el área cubierta es circular y la velocidad de viaje determina el tiempo de paso.

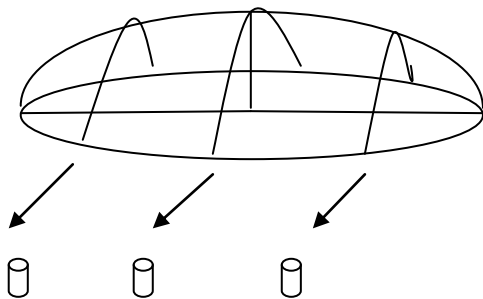


Figura 3.1 Patrón simple de aspersión (en ausencia de viento)

Ahora considerando que la tendencia del patrón elíptico de pluviometría en ausencia de viento se puede estimar aplicando la ecuación de una elipse y haciendo el correlato pertinente para expresar la función como: $1 = (i/do)^2 - (x/r)^2$; de donde se despeja "i" la intensidad de lluvia.

$$i = (do) \sqrt{1 - (x^2/r^2)}$$

Y al sustituir la ecuación 2 en la ecuación 1 se obtiene que:

$$i \text{ promedio} = \frac{1}{4} \pi (do) \sqrt{1 - (x^2/r^2)}$$

La lámina precipitada "Dp" sobre un colector "x" dispuesto en el campo es un resultado de la intensidad promedio multiplicada por la duración de la precipitación.

$Dp = \text{intensidad promedio} * \text{duración} = \text{intensidad promedio} * \text{tiempo de paso}$

$$Dp = i \text{ promedio} * 2 \sqrt{(r^2 - x^2)} / \text{velocidad}$$

y por lo mismo ahora se obtiene el siguiente modelo:

$$Dp = \frac{1}{4} \pi (do) \sqrt{1 - (x^2/r^2)} * 2 \sqrt{(r^2 - x^2)} / \text{velocidad}$$

Y al expresar $x/r = m$ se tendría el siguiente arreglo:

$$Dp = \frac{1}{4} \pi (do) \sqrt{1 - (m^2)} * 2 \sqrt{r^2 - (mr)^2} / \text{velocidad}$$

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

Al hacer la factorización y simplificar la expresión encontrada se obtiene que:

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

Donde:

D_p = Lamina Precipitada (mm)

r = radio de mojado de los rociadores (m)

d_o = tasa máxima de precipitación (mm/ha)

v = velocidad de giro sobre la trayectoria del rociador (mm/hora) calculada como

$v = w * x$, siendo "x" la distancia radial del punto pivote al rociador analizado.

m = posición a dimensional del colector (Ax/r), siendo Ax el espaciado entre colectores.

w = velocidad angular de la tubería pivote (radianes/hora)

Esta última ecuación demuestra la validez teórica de la lógica matemática comprendida en el modelo de Kincaid y Heermann ilustrado por King y Kincaid (1997) que fundamenta la simulación del perfil de pluviometría para una lateral pivote y para laterales de avance frontal.

3.8 Aplicación del modelo

Los datos de tamaño de boquilla, presión y caudal del paquete de rociadores instalado en la armadura #9 de un pivote central evaluado por Hernández (1995) en el Rancho San Pablo fueron utilizados para alimentar el modelo. La ecuación de gasto de los rociadores y una ecuación de ajuste para el diámetro de cobertura fueron utilizadas en interacción con el modelo. Las láminas precipitadas sobre colectores dispuestos a cada 9.14 pies fueron del orden de los 28 mm al operar la tubería pivote para dar un giro completo en 72 horas. 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 9.14 pies.

El modelo CPED disponible en línea (Stahl Kris 2011) realiza la simulación de la distribución del agua en laterales de pivote central y de avance frontal considerando las características de la bomba y la topografía.

La lámina promedio observada en campo en una prueba con colectores fue de 23 mm y la estimación promedio dada por el modelo fue de 28 mm. Esta diferencia entre la lámina teórica y observada es debido a las pérdidas de eficiencia que ocurren durante la aplicación del agua en campo, por efecto del viento y la evaporación.

Cuadro 3.4 Simulación de la Pluviometría Span # 9 Pivote I

No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm	
133	-	-	-	-	-					Modelo .85
134	23.5	11	12.748801	1224.76	106.8807227	31.2831403	60.8569526	15.6415701		
135	24	10	12.678263	1233.9	107.67834	31.1502186	61.0378328	15.5751093	27.769503	23.6040773
136	24	11	13.297074	1243.04	108.4759573	32.3163068	59.4804437	16.1581534	27.951626	23.7588819
137	24	11	13.297074	1252.18	109.2735747	32.3163068	59.4804437	16.1581534	28.56669	24.2816868
138	24	12	13.888341	1261.32	110.071192	33.4304901	58.0532368	16.715245	27.9333	23.7433046
139	24	10	12.678263	1270.46	110.8688093	31.1502186	61.0378328	15.5751093	27.305913	23.2100263
140	24	10	12.678263	1279.6	111.6664267	31.1502186	61.0378328	15.5751093	27.080292	23.0182478
141	24.5	11	13.85689	1288.74	112.464044	33.3712242	58.1276885	16.6856121	27.258144	23.1694224
142	24.5	10	13.212027	1297.88	113.2616613	32.1560428	59.6905788	16.0780214	27.839702	23.663747
143	24.5	11	13.85689	1307.02	114.0592787	33.3712242	58.1276885	16.6856121	27.24134	23.1551393
144	24.5	10	13.212027	1316.16	114.856896	32.1560428	59.6905788	16.0780214	27.453014	23.3350623
145	24.5	11	13.85689	1325.3	115.6545133	33.3712242	58.1276885	16.6856121	26.93424	22.8941038
146	24.6	10	13.3201	1334.44	116.4521307	32.3596963	59.4237641	16.1798482	27.086835	23.0238095
147	25	10	13.756796	1343.58	117.249748	33.1826058	58.3657219	16.5913029	26.841581	22.8153442
148	25	10	13.756796	1352.72	118.0473653	33.1826058	58.3657219	16.5913029	26.925913	22.8870257
149	25	10	13.756796	1361.86	118.8449827	33.1826058	58.3657219	16.5913029	26.745191	22.7334122
150	25	10	13.756796	1371	119.6426	33.1826058	58.3657219	16.5913029	26.140983	22.2198352
151	25	9	13.050842	1380.14	120.4402173	31.8523072	60.0922271	15.9261536	26.271303	22.3306074
152	25.5	10	14.31257	1389.28	121.2378347	34.2299073	57.0647256	17.1149537		

Cuadro 3.5 Determinación de la t-student calculada, t-student de tabla, y la decisión de la Hipótesis “Ho” para el pivote I.

T-student cal.	1.262479274	T calc.	0.21798302
T-student tabla.	2.055529418		
Decision	Se hacepta H0		

Cuadro 3.6 Promedio de la Simulación de la pluviometría del Span # 9 pivote I.

Pivote I	
Promedio =	23.16727845

3.9 Validación del modelo

La validación del modelo verifica que las estimaciones en los parámetros, los supuestos del modelo y la lógica en la programación resulten congruentes con las observaciones de campo. La desviación encontrada entre datos observados y la predicción del modelo se puede apreciar en la siguiente gráfica donde se comparan las láminas precipitadas sobre 11 colectores dispuestos a cada 20 pies radialmente bajo el span #9; la prueba de pluviometría se hizo para evaluar la uniformidad de distribución y aquí se utiliza para cuantificar la confiabilidad del modelo.

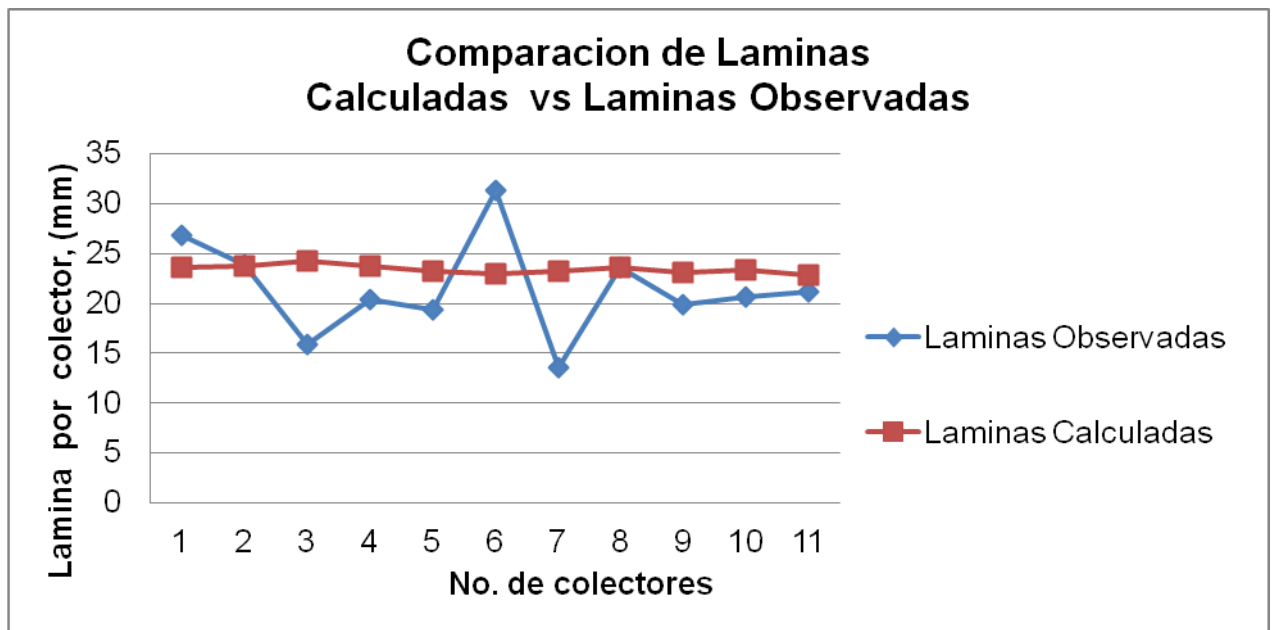


Figura 3.2 Comparación de Laminas observadas contra las laminas calculadas por el modelo.

Para comprobar estadísticamente la confiabilidad del modelo se aplicó una prueba t-student que evalúa la diferencia de medias al comparar dos matrices de datos, en este caso la matriz 1 agrupa las láminas observadas en la prueba de pluviometría y la matriz 2 agrupa las láminas calculadas con el modelo.

En el cuadro 3.4 se puede apreciar para el span # 9 que la t-student es menor que la t- de tablas por lo tanto como t-student calculada es menor que la t-de tabla entonces se acepta H_0 : UE% calculada = UE% evaluada en campo por lo mismo se deduce que el modelo predice con una buena precisión. En el capítulo de Resultados y Discusión se proporcionan los resultados para todos los span del pivote 1 y del pivote 2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Gasto aplicado por las boquillas y presiones de operación

En el pivote I Rancho "San Pablo" en el Span 2 el gasto fue de (2-4 gpm/boquilla) y la presión tomada en campo fue muy variable de (10-54 psi) debido a fallas en los reguladores, por el cual rechaza "Ho", en el Span 3 el gasto fue de (2-3 gpm/boquilla), la presión variable(8-12 psi), por lo cual también hubo fallas en los reguladores, en este caso también se rechaza la "Ho", para el caso de los demás Span ya no hubo fallas en los reguladores, en el Span 4 el gasto fue de (3-5 gpm/boquilla), la presión variable de (8-12 psi), se acepta la hipótesis "Ho", en el Span 5 el gasto fue de (5-7 gpm/boquilla) y la presión variable de (11-14 psi), se acepta "Ho", en el Span 6 el gasto fue de (6-9 gpm/boquilla) y la presión variable (9-13 psi), se acepta "Ho", en el Span 7 el gasto fue de (9-10 gpm/boquilla) y la presión variable de (11-14 psi), se acepta "Ho", en el Span 8 el gasto fue de (9-11 gpm/boquilla) y la presión variable de (8-12 psi), se acepta "Ho", en el Span 9 el gasto fue de (12-14 gpm/boquilla) y la presión variable de (9-11 psi), se acepta "Ho", y en el Span 10 el gasto fue de (14 gpm/boquilla) la presión variable de (9-10 psi), se acepta "Ho".

Para el pivote II de la Finca las "Tieras" sin uso de reguladores se obtuvo un gasto de (0.70-64 lpm/boquilla) y una presión variable de (2.7-3.2 kg/cm²), se acepta "Ho".

4.2 Comparación de la pluviometría calculada con el modelo contra la pluviometría observada en campo.

En las figuras 4.1 a 4.9 se muestran las comparaciones encontradas al graficar la pluviometría calculada vs la pluviometría observada en el pivote del Rancho “San Pablo” y en la figura 4.8 se muestra el perfil de distribución calculado vs el perfil de distribución observado para el pivote 2.

Cuando la prueba de t-student rechaza la “Ho” los perfiles se desfazan y cuando la prueba t-student acepta la “Ho” los perfiles tienden a coincidir.

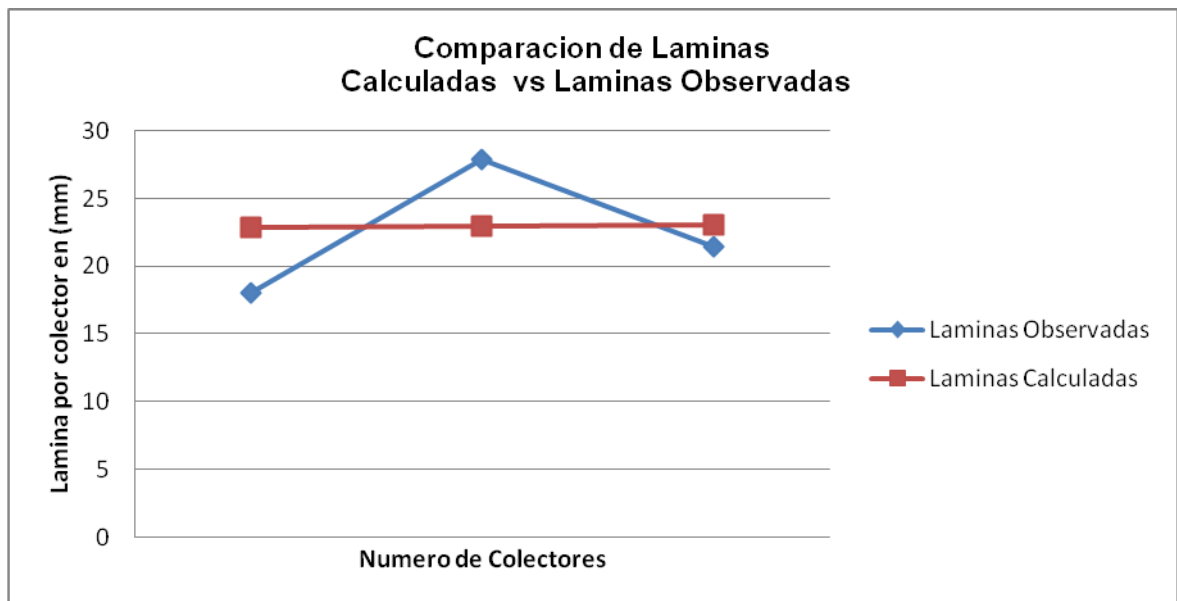


Figura 4.1 Span No. 10 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.

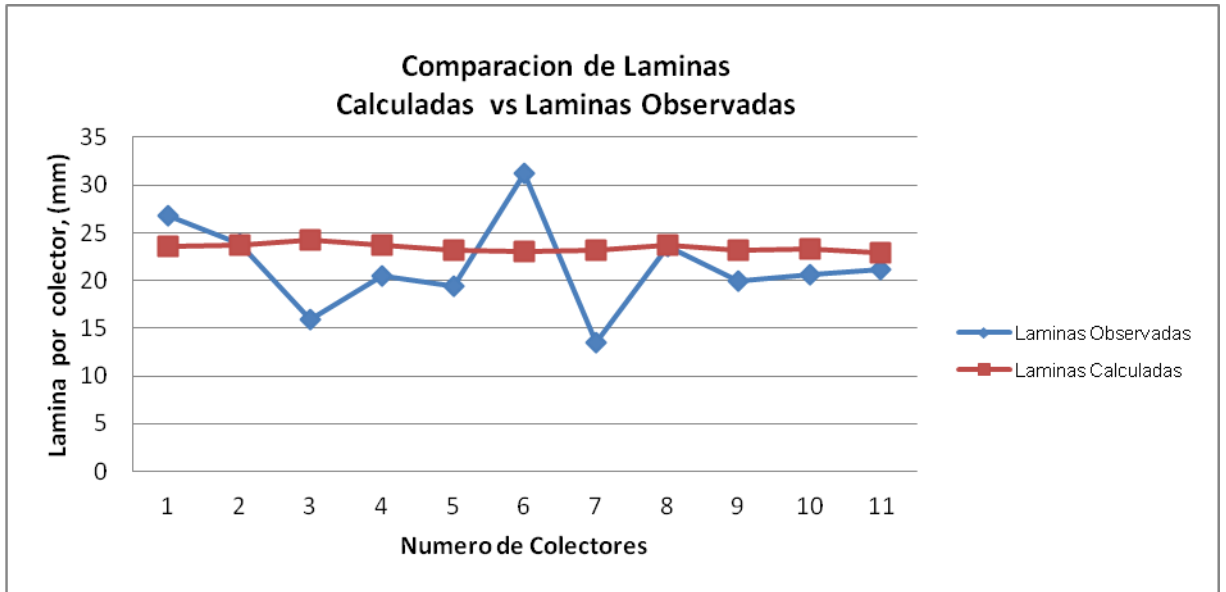


Figura 4.2 Span No. 9 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.

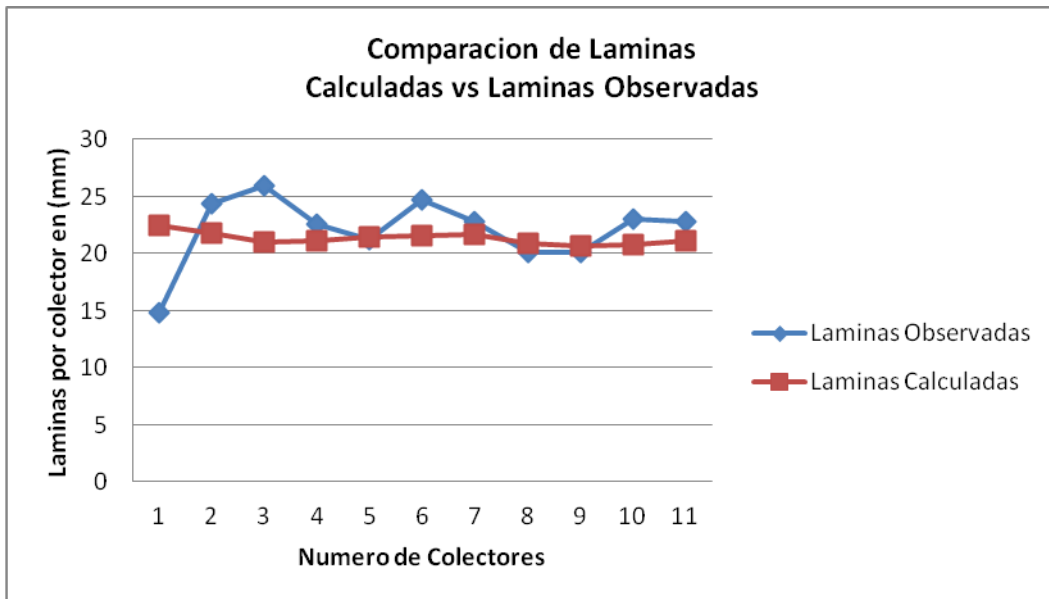


Figura 4.3 Span No. 8 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.

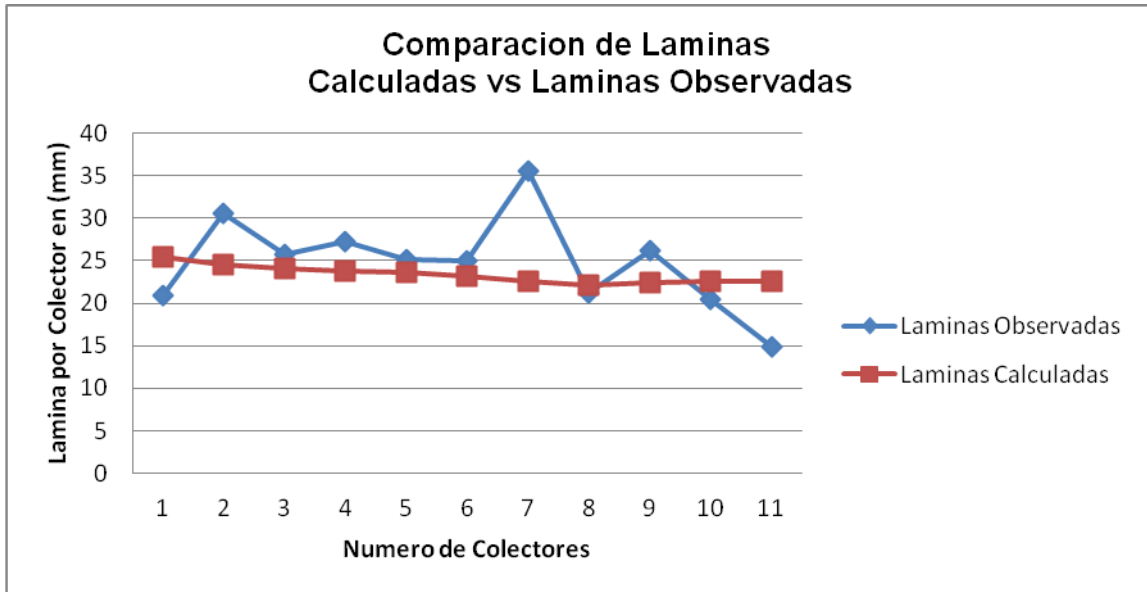


Figura 4.4 Span No. 7 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.

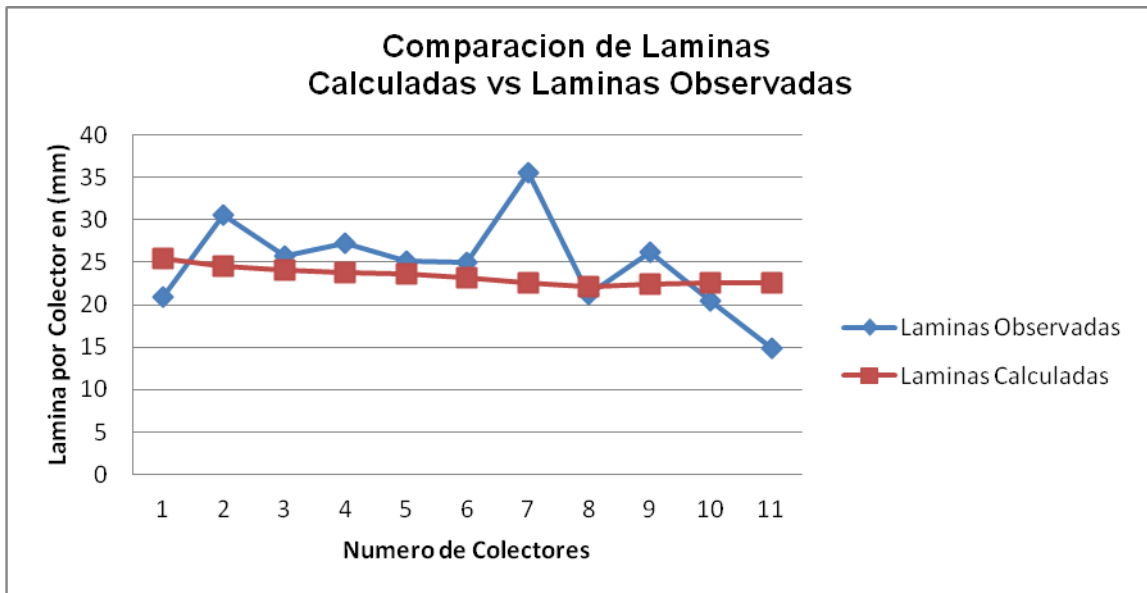


Figura 4.5 Span No. 6 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.

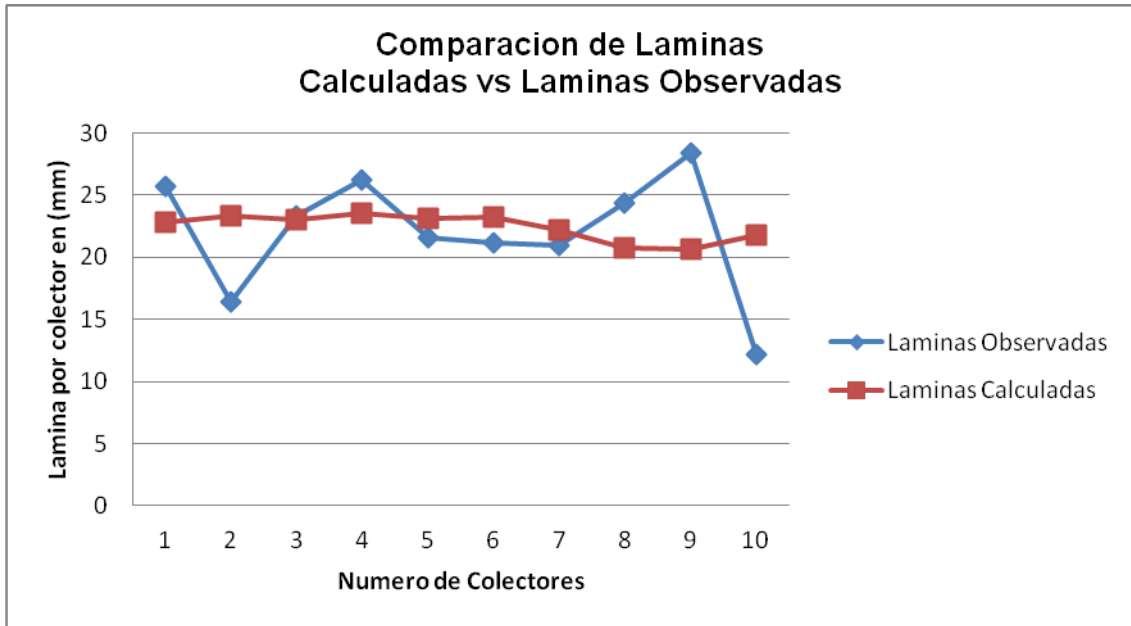


Figura 4.6 Span No. 5 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.

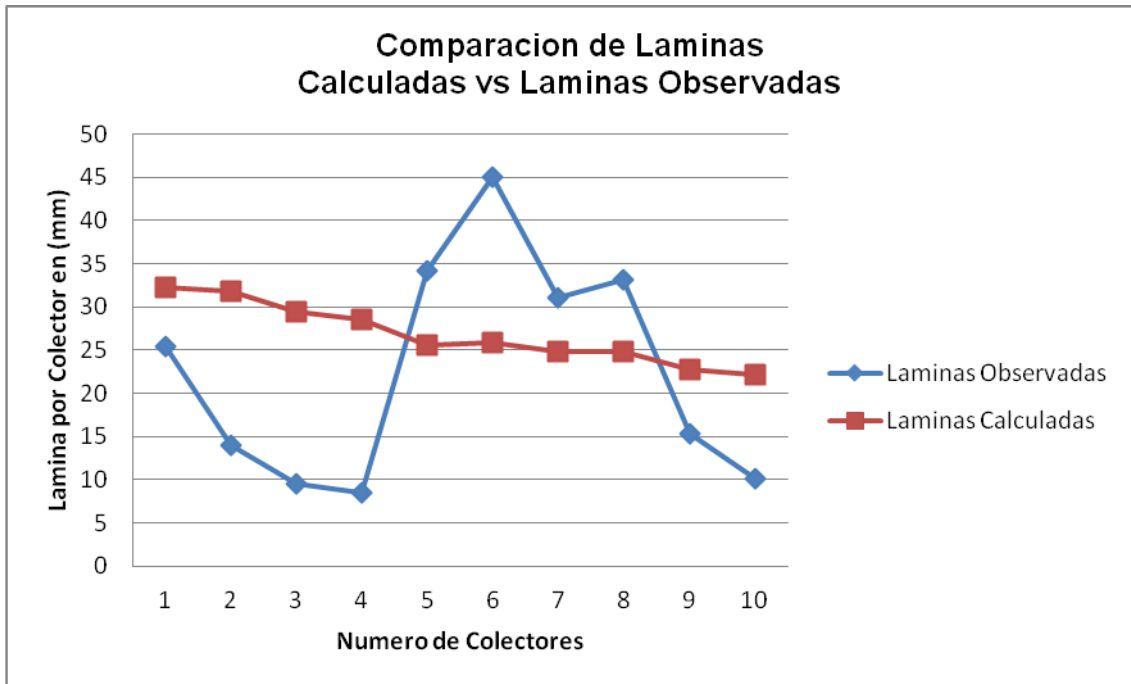


Figura 4.7 Span No. 4 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.

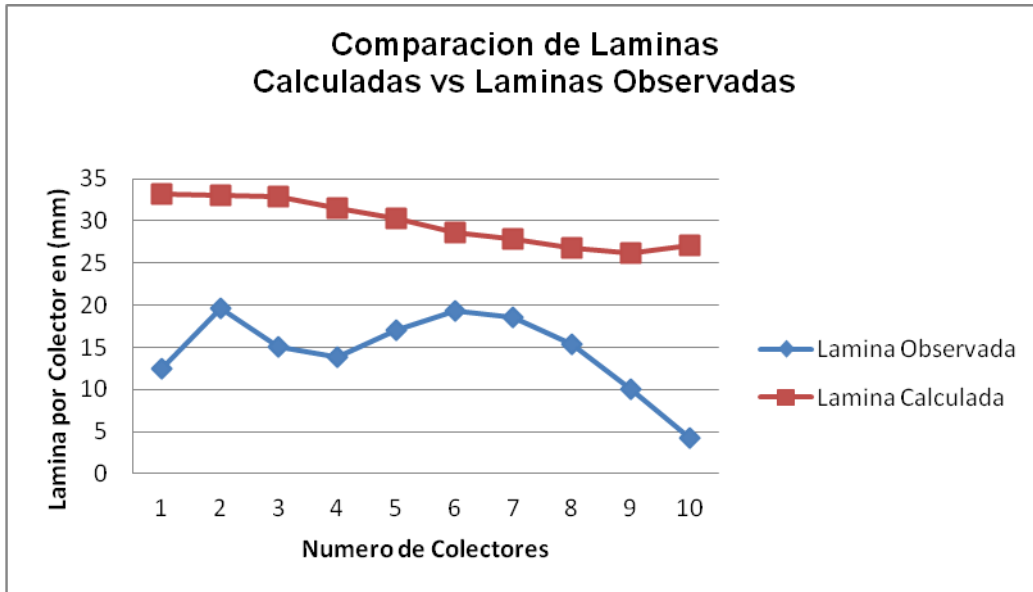


Figura 4.8 Span No. 3 Comparación de las Laminas Observadas con las Laminas calculadas con el modelo.

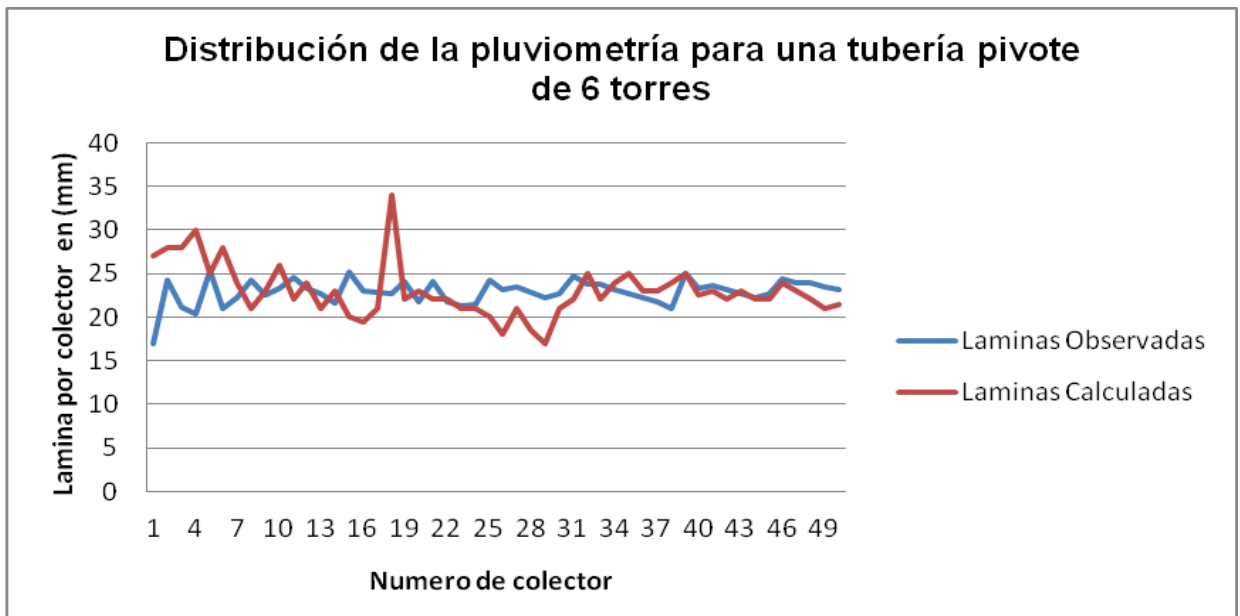


Figura 4.9 Comparación de los datos calculados con el modelo de Heerma y Hein (1985), datos reportados por Tarjuelo Benito (1995) para una prueba de pluviometría realizada en una lateral pivote de 6 torres.

En el span número dos el cálculo de la pluviometría resulta rechazado por la prueba t-student por lo mismo la hipótesis “Ho” no es aceptable debido a que la presión tomada en campo es muy variable (10-54 psi) por falla en los reguladores y además por que al estar muy presurizada la boquilla la lluvia producida por el rociador es muy fina y aumenta las perdidas por viento.

4.3 Resultados de la validación del modelo

Cuadro 4.1 Valores estadísticos t-student encontrados en la comparación de tendencias en la pluviometría (y ensayo de hipótesis).

Pivote y span	Media observada	Media calculada	t-student calculado	t-student de tabla al 0.05	Decisión
Piv I, span 2	31	112	3.8698	2.069	Se rechaza Ho
Piv I, span 3	14.6	29	7.006	2.069	Se rechaza Ho
Piv I, span 4	22.64	26.49	0.959	2.069	Se acepta Ho
Piv I, span 5	22.04	22.38	0.253	2.069	Se acepta Ho
Piv I, span 6	20.87	22.51	0.589	2.069	Se acepta Ho
Piv I, span 7	24.79	23.19	0.829	2.069	Se acepta Ho
Piv I, span 8	22.05	21.11	0.79	2.069	Se acepta Ho
Piv I, span 9	21.50	23.16	1.2624	2.069	Se acepta Ho
Piv I, span 10	22.45	21.75	0.157	2.069	Se acepta Ho
Piv 2, Línea completa	22.47	23.051	0.1789	1.9802	Se acepta Ho

En el Apéndice al final de esta tesis se anexan las hojas de cálculo de las plantillas elaboradas las rutinas del modelo, mostrando la base de datos todos los parámetros y las aplicaciones de Excel que se ejecutan durante la simulación paso por paso. También se muestran los resultados estadísticos de la prueba t-student aplicada para validar la significancia de las predicciones y el ensayo de hipótesis.

V. CONCLUSIONES

Los fundamentos del modelo son la ecuación de la elipse, la pluviometría del patrón simple de aspersión para cada boquilla y el método del elemento finito para visualizar el traslape de los perfiles individuales para el paquete de boquillas. La lámina precipitada se estima, colector por colector; como un producto de: lámina = intensidad promedio x tiempo de paso. La lámina calculada con el modelo muestra excelente uniformidad a lo largo de la tubería pivote y se acerca mucho al promedio evaluado en campo pero al visualizar los datos individualmente se desvía la tendencia de las observaciones de campo debido a que la conceptualización del modelo no está considerando la influencia del viento, la variación topográfica y las características de la bomba.

En 9 simulaciones de 11 realizadas, se acepto la hipótesis nula (H_0 : Lámina calculada con el modelo = Lámina observada en prueba de pluviometría de campo); deduciendo que el modelo de Heerman y Hein es altamente confiable en sus predicciones como ha quedado demostrado en otros estudios por lo cual se recomienda su aplicación en la evaluación de la uniformidad de distribución para los paquetes de boquillas de una lateral pivote.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aarstad, John S. And David E. Miller 1973. Soil management to reduce runoff under center-pivot sprinkler systems.- Journal of soil and water conservation Paper No. 3903., Pag. 171-173.
- ASAE Standards 2003. Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot and lateral move machines equipped with spray or sprinkler nozzles. http://www.ext.colostate.edu/irr_assess/sprinkler_eval.pdf.
- Briones S.G. and F. Hernandez M. 1995. Adjusting the nozzle package on center pivot to improve irrigation uniformity and efficiency. The Irrigation Association's 16th International Exposition and Technical Conference. Phoenix, Arizona USA.
- Briones Sánchez Gregorio e Ignacio García Casillas. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y Goteo., Editada por la UAAAN. Pag. 183-196.
- Castilla –La mancha ENVCE 2007 Analisis de los ensayos de maíz para garno de ciclo 700,600,500 y trasgenicos. Campaña 2007. 112 pp.
- Heermann Dale F. 19___. Center pivot evaluation and design. USDA-ARS. 2150 Centre Avenue, Building D, Suite 320. Forth Collins, CO 80526, dale.heermann@ars.usda.gov
- HEERMANN, D.F, P .R. HEIN 1968, Performance characteristics of self-propelled Center pivot sprinkler irrigation Systems. Trans of the ASAE 11-15. USA.

- Hernández Martínez Fernando 1995. Ajuste del paquete de boquillas en pivote central para mejorar eficiencia y uniformidad en el riego. Tesis Ingeniero Agrónomo en Irrigación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo Coahuila, México. 56-68 pp. ryd@uaaan.mx

- http://www.iica.org.uy/index.php?option=com_docman&task..
- http://www.infoagro.com/hortalizas/riego_hortícolas2.htm)

- King Bradley A. and Dennis C. Kincaid 1997. Optimal performance from center pivot sprinkler systems. Cooperative extension service. University of Idaho. College of Agriculture. Bulletin 797. 1-20 pp. <http://www.cals.uidaho.edu/edcomm/pdf/BUL/BUL0797.pdf>.
- López Corcoles José y Cañadas Sánchez José, 2000. Ensayos de cebada, trigo y maíz. Memoria ITAP. Finca experimental “Las Tiesas” Albaceto España. 141-142 pp.
- López Rodrigo Jesús, 2010. Riego localizado apuntes de clases, departamento de ingeniería, producción y economía agraria, escuela técnica superior de ingeniería agraria universidad de la laguna Canarias España.
- L. Merriam John y Keller Jack (1978). Farm irrigation system Evaluation: A guide For Management., UTAH State University, Logan UTAH.
- MERRIAM, J. L. J. KELLER.1978. Farm irrigation systems evaluation. A guide for management, 235 pp, Utah. State University. USA.

- MERRIAM. L., SHEARE M.N., C.M. BURT .1980: Evaluating irrigation systems and Practices. En: design and operation of faro irrigation systems Ed: M.E. Jensen. ASAE. Michigan, 721-776.USA.
- MONTERO, J.; TARJUELO, J.M.(P); TÉBAR, J.I.; LOZANO, F. y HONRUBIA, F.T. Análisis de la distribución de agua en riegos con equipos pivot. XV Congreso nacional de riegos, Lérída. 481-490, 1997.
- Muños Rojas Alejandro, 2004. Caracterización Hidráulica de cuatro marcas de emisores para riego localizado comerciales en Chile. Memoria de título. Universidad de Talca, Facultad de agronomía, Ingeniero agrónomo, Talca-Chile.
- PACHECO, J., ALONSO, N., PUJOL, P. CAMEJO E., 1995. Riego y Drenaje. Ed. Pueblo y Educación, 414p, La Habana, Cuba.
- PÉREZ, 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.
- Rojas, P. L. y Briones S. G. 2001. Diseño y operación de sistemas de de riego. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Buenavista, saltillo, Coahuila. Primera edición. 112-116pp.
- SIAR. 2003. Junta de Comunidades del Consejo de Agricultura de Castilla-La Mancha. Hoja Informativa.
<http://www.jccm.es>. España.

- Soares, A. A.; L. S. Willardson; J. Keller. 1991. Surface-Slope effects on sprinkler uniformity. Journal of irrigation and drainage engineering, Paper No. 26461. Vol. 117 No. 6, Pag. 46-48.

- TARJUELO, J. M. El riego por aspersión y su tecnología. Editorial Mundi-Prensa. 2da Edición, 200-491, 1999.

- White John G. 1985. System Uniformity important for chemigation coverage. Irrigation AGE, Paper No.--, Pag. 68-69

APENDICE

Pivote I Rancho “San Pablo” Hojas de cálculo de las plantillas elaboradas, las rutinas del modelo, mostrando la base de datos, todos los parámetros y las aplicaciones de Excel que se ejecutan durante la simulación pasó por pasó. También se muestran los resultados estadísticos de la prueba t-student aplicada para validar la significancia de las predicciones y el ensayo de hipótesis.

2 Armadura										
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm.	
1	-	-								Modelo .85
2	8	54	3.273513402	18.28	1.595234667	35.65687925	12.02787794	17.82843963		
3	8	53	3.243061452	27.42	2.392852	35.51224467	12.01324901	17.75612234	343.5069088	291.9808725
4	8.5	52	3.626409073	36.56	3.190469333	37.33299253	12.15493765	18.66649627	250.5138256	212.9367518
5	8.5	43	3.297686365	45.7	3.988086667	35.77169116	12.03904265	17.88584558	204.6539506	173.955858
6	8.5	53	3.661112343	54.84	4.785704	37.49781918	12.16361272	18.74890959	172.1193437	146.3014422
7	9	50	3.986642483	63.98	5.583321333	39.04395714	12.21690468	19.52197857	154.932533	131.692653
8	9	49	3.946574707	73.12	6.380938667	38.85365123	12.21288318	19.42682561	138.9339739	118.0938778
9	9	51	4.026311544	82.26	7.178556	39.23236931	12.22024329	19.61618465	120.2403281	102.2042789
10	8.5	51	3.591370482	91.4	7.976173333	37.16657324	12.14553686	18.58328662	108.3624254	92.10806156
11	9	51	4.026311544	100.54	8.773790667	39.23236931	12.22024329	19.61618465	85.55915657	72.72528309
12	9.5	13	2.264937154	109.68	9.571408	30.86654551	11.10559039	15.43327275	70.55672239	59.97321403
13	10	13	2.509625656	118.82	10.36902533	32.02871802	11.42855659	16.01435901	67.27716904	57.18559368
14	10.5	40	4.853397512	127.96	11.16664267	43.16069682	12.17111924	21.58034841	77.59002745	65.95152334
15	10	50	4.921780843	137.1	11.96426	43.48549029	12.15892218	21.74274515	74.96226148	63.71792226
16	10.5	12	2.658315298	146.24	12.76187733	32.73493434	11.58897676	16.36746717	60.35323035	51.3002458
17	10.5	13	2.766862286	155.38	13.55949467	33.25048911	11.69103651	16.62524456	46.08481968	39.17209673
18	11	10	2.663315641	164.52	14.357112	32.75868397	11.59394662	16.37934199		

T-student cal.	3.869840576
T-student tabla.	2.068657599
Decision	Se rechaza H0

T calc. 0.000776796

En el span 2, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

3 Armadura											
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm.		
19	-	-									Modelo .85
20	11	11	2.79330901	182.8	15.95234667	33.37610047	11.71411123	16.68805024			
21	11	11	2.79330901	191.94	16.749964	33.37610047	11.71411123	16.68805024	39.06612893	33.20620959	
22	11	12	2.917516109	201.08	17.54758133	33.96603451	11.81367772	16.98301726	38.81758088	32.99494375	
23	11.5	12	3.188772772	210.22	18.34519867	35.25439516	11.98556707	17.62719758	38.65959691	32.86065737	
24	11.5	12	3.188772772	219.36	19.142816	35.25439516	11.98556707	17.62719758	37.10522242	31.53943906	
25	11.5	10	2.910937963	228.5	19.94043333	33.93479095	11.80875584	16.96739548	35.57910162	30.24223638	
26	11.5	12	3.188772772	237.64	20.73805067	35.25439516	11.98556707	17.62719758	33.7400813	28.67906911	
27	11.5	11	3.053017492	246.78	21.535668	34.60961188	11.90686375	17.30480594	32.84231441	27.91596725	
28	12	9	3.006914063	255.92	22.33328533	34.39063903	11.87687195	17.19531952	31.57583728	26.83946169	
29	12	10	3.169565722	265.06	23.13090267	35.16316935	11.97526924	17.58158468	30.8255661	26.20173118	
30	12	10	3.169565722	274.2	23.92852	35.16316935	11.97526924	17.58158468	31.82660861	27.05261732	
31	12.5	12	3.767453653	283.34	24.72613733	38.00289787	12.18641711	19.00144894	32.70436494	27.7987102	
32	12.5	13	3.921290087	292.48	25.52375467	38.7335594	12.21000115	19.3667797	33.5428338	28.51140873	
33	13	11	3.901398535	301.62	26.321372	38.63908248	12.2075428	19.31954124	32.83914794	27.91327575	
34	13	11	3.901398535	310.76	27.11898933	38.63908248	12.2075428	19.31954124	31.82781297	27.05364102	
35	13	11	3.901398535	319.9	27.91660667	38.63908248	12.2075428	19.31954124	33.79712227	28.72755393	
36	15.5	11	5.546218923	329.04	28.714224	46.4513214	12.00777142	23.2256607			

T-student cal.	7.005931066
T-student tabla.	2.068657599
Decision	Se rechaza H0

T calc. 3.86169E-07

En el span 3, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

4 Armadura											
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm.		
37	-	-									
38	15.5	11	5.546218923	347.32	30.30945867	39.88654761	16.28567122	19.94327381			Modelo .85
39	15.5	10	5.288112255	356.46	31.107076	39.06006425	16.19184391	19.53003213	37.92706545		32.23800563
40	15.5	10	5.288112255	365.6	31.90469333	39.06006425	16.19184391	19.53003213	37.3812629		31.77407346
41	15.5	12	5.792836737	374.74	32.70231067	40.67624252	16.35577706	20.33812126	34.65600058		29.45760049
42	14	10	4.314131122	383.88	33.499928	35.94127926	15.60155291	17.97063963	33.48614985		28.46322737
43	14	14	5.104548782	393.02	34.29754533	38.47227565	16.11102444	19.23613783	30.03776431		25.53209966
44	14	10	4.314131122	402.16	35.09516267	35.94127926	15.60155291	17.97063963	30.47501838		25.90376562
45	14	13	4.918866285	411.3	35.89278	37.87770173	16.01619422	18.93885087	29.11638957		24.74893114
46	14	12	4.725893863	420.44	36.69039733	37.25978474	15.90247898	18.62989237	29.23947597		24.85355457
47	14	12	4.725893863	429.58	37.48801467	37.25978474	15.90247898	18.62989237	26.76670797		22.75170178
48	14	8	3.858676181	438.72	38.285632	34.482867	15.15978875	17.2414335	26.01632566		22.11387681
49	14.5	10	4.627786063	447.86	39.08324933	36.94563375	15.83830062	18.47281688	32.05972457		27.25076588
50	15	45	10.50572538	457	39.88086667	55.76738325	15.78072895	27.88369163	34.39816016		29.23843613
51	15	13	5.646657726	466.14	40.678484	40.2081627	16.31640798	20.10408135	34.3802353		29.2232000
52	15	10	4.952446441	475.28	41.47610133	37.98522875	16.03436793	18.99261437	27.95501806		23.76176535
53	15	11	5.194169647	484.42	42.27371867	38.75925063	16.15202343	19.37962531	23.58839132		20.05013263
54	12	10	3.169565722	493.56	43.071336	32.2762664	14.21329363	16.1381332			

T-student cal.	0.95910169
T-student tabla.	2.068657599
Decision	Se hacepta H0

T calc. 0.347482056

En el span 4, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

5 Armadura											
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm.		
55	-	-									Modelo .85
56	15.5	11	5.546218923	511.84	44.66657067	39.88654761	16.28567122	19.94327381			
57	15.5	13	6.029375638	520.98	45.464188	41.43366373	16.40692592	20.71683187	26.86632125	22.83637306	
58	15.5	10	5.288112255	530.12	46.26180533	39.06006425	16.19184391	19.53003213	27.42435562	23.31070227	
59	16	13	6.424641679	539.26	47.05942267	42.69934512	16.4614479	21.34967256	27.11207384	23.04526277	
60	16	12	6.172596065	548.4	47.85704	41.89226986	16.4309102	20.94613493	27.72198658	23.56368859	
61	16	12	6.172596065	557.54	48.65465733	41.89226986	16.4309102	20.94613493	27.25839295	23.16963401	
62	16	13	6.424641679	566.68	49.45227467	42.69934512	16.4614479	21.34967256	27.33057024	23.2309847	
63	16	14	6.667165756	575.82	50.249892	43.47593147	16.47801945	21.73796573	26.09257978	22.17869281	
64	15	12	5.425133261	584.96	51.04750933	39.49881921	16.24440221	19.74940961	24.34956555	20.69713072	
65	15	11	5.194169647	594.1	51.84512667	38.75925063	16.15202343	19.37962531	24.32227487	20.67393364	
66	16.5	14	7.09037452	603.24	52.642744	44.83108825	16.48056751	22.41554413	25.61790819	21.77522196	
67	16.5	14	7.09037452	612.38	53.44036133	44.83108825	16.48056751	22.41554413	27.05600816	22.99760694	
68	17	12	6.968282277	621.52	54.23797867	44.44013668	16.48300964	22.22006834	26.55034336	22.56779185	
69	17	12	6.968282277	630.66	55.035596	44.44013668	16.48300964	22.22006834	26.05778104	22.14911389	
70	17	12	6.968282277	639.8	55.83321333	44.44013668	16.48300964	22.22006834	25.68542497	21.83261123	
71	17	12	6.968282277	648.94	56.63083067	44.44013668	16.48300964	22.22006834	25.66372518	21.8141664	
72	17.5	12	7.38420916	658.08	57.428448	45.77197615	16.46516978	22.88598808			

T-student cal.	0.253179608
T-student tabla.	2.068657599
Decision	Se hacepta H0

T calc. 0.802378688

En el span 5, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

6 Armadura											
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm.		
73	-	-									Modelo .85
74	17.5	13	7.685728571	676.36	59.02368267	39.14559193	23.4304626	19.57279597			
75	17.5	12	7.38420916	685.5	59.8213	38.41124141	23.38023396	19.20562071	27.66402408	23.51442046	
76	17.5	12	7.38420916	694.64	60.61891733	38.41124141	23.38023396	19.20562071	27.70220837	23.54687711	
77	18	13	8.131187125	703.78	61.41653467	40.23050624	23.46953635	20.11525312	28.04049544	23.83442113	
78	18	13	8.131187125	712.92	62.214152	40.23050624	23.46953635	20.11525312	28.37905755	24.12219892	
79	18	13	8.131187125	722.06	63.01176933	40.23050624	23.46953635	20.11525312	27.73894236	23.57810101	
80	18	12	7.812191895	731.2	63.80938667	39.45359336	23.44559852	19.72679668	27.11127945	23.04458754	
81	18	12	7.812191895	740.34	64.607004	39.45359336	23.44559852	19.72679668	25.5064548	21.68048658	
82	18.5	8	6.737917974	749.48	65.40462133	36.83719922	23.19605145	18.41859961	24.59013385	20.90161377	
83	18.5	9	7.146641235	758.62	66.20223867	37.83264473	23.32545511	18.91632236	24.03379585	20.42872648	
84	18.5	10	7.533221308	767.76	66.999856	38.7741605	23.40763132	19.38708025	24.47700054	20.80545046	
85	18.5	10	7.533221308	776.9	67.79747333	38.7741605	23.40763132	19.38708025	25.47973229	21.65777245	
86	19	12	8.70432492	786.04	68.59509067	41.62638334	23.46709249	20.81319167	26.39194898	22.43315664	
87	19	13	9.059748618	795.18	69.392708	42.49201776	23.44029043	21.24600888	27.53871339	23.40790638	
88	19	14	9.401745461	804.32	70.19032533	43.32495107	23.39881571	21.66247553	27.73022808	23.57069387	
89	19	14	9.401745461	813.46	70.98794267	43.32495107	23.39881571	21.66247553	26.89530205	22.86100674	
90	19	11	8.333756634	822.6	71.78556	40.72386428	23.47493511	20.36193214	25.85813174	21.97941198	
91	19.5	10	8.369634485	831.74	72.58317733	40.81124479	23.47514907	20.40562239	25.13019628	21.36066684	
92	19.5	11	8.778146703	840.88	73.38079467	41.8061763	23.46299721	20.90308815			

T-student cal.	0.589893362
T-student tabla.	2.055529418
Decision	Se hacepta H0

T calc. 0.560354258

En el span 6, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

7 Armadura										
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm.	
93	-	-								Modelo .85
94	20	14	10.41744649	859.16	74.97602933	37.4395871	34.7184819	18.71979355		
95	20	13	10.03850262	868.3	75.77364667	36.66836054	34.87767292	18.33418027	29.86983187	25.38935709
96	20	12	9.644681352	877.44	76.571264	35.86685549	35.02376476	17.93342774	28.93915388	24.5982808
97	20	12	9.644681352	886.58	77.36888133	35.86685549	35.02376476	17.93342774	28.32093373	24.07279367
98	20	12	9.644681352	895.72	78.16649867	35.86685549	35.02376476	17.93342774	28.03190428	23.82711864
99	20	12	9.644681352	904.86	78.964116	35.86685549	35.02376476	17.93342774	27.79377433	23.62470818
100	20.5	11	9.701554641	914	79.76173333	35.982604	35.00400239	17.991302	27.19986893	23.11988859
101	20.5	10	9.250069407	923.14	80.55935067	35.06374126	35.14714355	17.53187063	26.61456193	22.62237764
102	20.5	10	9.250069407	932.28	81.356968	35.06374126	35.14714355	17.53187063	25.99257206	22.09368625
103	20.5	10	9.250069407	941.42	82.15458533	35.06374126	35.14714355	17.53187063	26.41178485	22.45001712
104	20.5	12	10.13294335	950.56	82.95220267	36.8605663	34.83959981	18.43028315	26.51543678	22.53812127
105	21	10	9.706795024	959.7	83.74982	35.99326923	35.0021578	17.99663462	26.62049143	22.62741771
106	21	10	9.706795024	968.84	84.54743733	35.99326923	35.0021578	17.99663462	26.39708992	22.43752643
107	21	11	10.18057251	977.98	85.34505467	36.95750117	34.81998281	18.47875058	26.80170003	22.78144503
108	21	12	10.63326119	987.12	86.142672	37.87881318	34.62065698	18.93940659	27.22993293	23.14544299
109	21.5	11	10.67113297	996.26	86.94028933	37.95588983	34.60299791	18.97794492	27.61831412	23.47556701
110	21.5	12	11.14563489	1005.4	87.73790667	38.92159612	34.37043891	19.46079806	27.06518025	23.00540321
111	21.5	10	10.17452608	1014.54	88.535524	36.94519547	34.82248832	18.47259774	26.4941806	22.52005351
112	21.5	10	10.17452608	1023.68	89.33314133	36.94519547	34.82248832	18.47259774		

T-student cal.	0.829125342
T-student tabla.	2.055529418
Decision	Se hacepta H0

T calc. 0.414580933

En el span 7, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

8 Armadura												
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm			
113	-	-										Modelo .85
114	21.5	12	11.15	1041.96	90.928376	38.92159612	34.37043891	19.46079806				
115	22	12	11.67	1051.1	91.72599333	39.98891514	34.09224171	19.99445757	26.44299774	22.47654808		
116	22	9	10.11	1060.24	92.52361067	36.80689588	34.85034246	18.40344794	25.5696708	21.73422018		
117	22	9	10.11	1069.38	93.321228	36.80689588	34.85034246	18.40344794	24.74253274	21.03115283		
118	22	10	10.65	1078.52	94.11884533	37.91951997	34.61134837	18.95975999	24.82590941	21.102023		
119	22.5	9	10.57	1087.66	94.91646267	37.75247012	34.64929199	18.87623506	25.2474221	21.46030879		
120	22.5	10	11.14	1096.8	95.71408	38.91624274	34.37178193	19.45812137	25.32416944	21.52554403		
121	22.5	10	11.14	1105.94	96.51169733	38.91624274	34.37178193	19.45812137	25.45196087	21.63416674		
122	22.5	10	11.14	1115.08	97.30931467	38.91624274	34.37178193	19.45812137	24.54667144	20.86467073		
123	22.5	8	9.967	1124.22	98.106932	36.52203695	34.90590204	18.26101848	24.34142304	20.69020959		
124	22.5	10	11.14	1133.36	98.90454933	38.91624274	34.37178193	19.45812137	24.43143788	20.7667222		
125	22.5	11	11.69	1142.5	99.70216667	40.02314165	34.08300246	20.01157082	24.87626964	21.14482919		
126	23	9	11.05	1151.64	100.499784	38.71929322	34.42079553	19.35964661	24.62802602	20.93382212		
127	23	9	11.05	1160.78	101.2974013	38.71929322	34.42079553	19.35964661	24.40663048	20.74563591		
128	23	10	11.64	1169.92	102.0950187	39.93536377	34.10666074	19.96768189	24.53126624	20.8515763		
129	23	10	11.64	1179.06	102.892636	39.93536377	34.10666074	19.96768189	24.34595604	20.69406263		
130	23	9	11.05	1188.2	103.6902533	38.71929322	34.42079553	19.35964661	24.40676524	20.74575045		
131	23.5	10	12.16	1197.34	104.4878707	40.97688307	33.81868391	20.48844153	#¡REF!	#¡REF!		

T-student cal.	0.790945627
T-student tabla.	2.055529418
Decision	Se hacepta H0

T calc. 0.436131741

En el span 8, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

9 Armadura										
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm	
133	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Modelo .85
134	23.5	11	12.75	1224.76	106.8807227	31.28314029	60.85695261	15.64157015		
135	24	10	12.68	1233.9	107.67834	31.15021859	61.03783281	15.57510929	27.76950267	23.60407727
136	24	11	13.3	1243.04	108.4759573	32.3163068	59.48044373	16.1581534	27.95162579	23.75888192
137	24	11	13.3	1252.18	109.2735747	32.3163068	59.48044373	16.1581534	28.56669038	24.28168683
138	24	12	13.89	1261.32	110.071192	33.43049006	58.05323683	16.71524503	27.93329956	23.74330463
139	24	10	12.68	1270.46	110.8688093	31.15021859	61.03783281	15.57510929	27.30591327	23.21002628
140	24	10	12.68	1279.6	111.6664267	31.15021859	61.03783281	15.57510929	27.08029151	23.01824778
141	24.5	11	13.86	1288.74	112.464044	33.37122419	58.12768847	16.6856121	27.25814395	23.16942236
142	24.5	10	13.21	1297.88	113.2616613	32.15604285	59.69057881	16.07802142	27.83970238	23.66374703
143	24.5	11	13.86	1307.02	114.0592787	33.37122419	58.12768847	16.6856121	27.24134032	23.15513927
144	24.5	10	13.21	1316.16	114.856896	32.15604285	59.69057881	16.07802142	27.45301444	23.33506228
145	24.5	11	13.86	1325.3	115.6545133	33.37122419	58.12768847	16.6856121	26.93423976	22.89410379
146	24.6	10	13.32	1334.44	116.4521307	32.35969634	59.42376409	16.17984817	27.08683473	23.02380952
147	25	10	13.76	1343.58	117.249748	33.18260576	58.36572194	16.59130288	26.84158137	22.81534416
148	25	10	13.76	1352.72	118.0473653	33.18260576	58.36572194	16.59130288	26.92591256	22.88702568
149	25	10	13.76	1361.86	118.8449827	33.18260576	58.36572194	16.59130288	26.74519085	22.73341222
150	25	10	13.76	1371	119.6426	33.18260576	58.36572194	16.59130288	26.14098254	22.21983516
151	25	9	13.05	1380.14	120.4402173	31.8523072	60.09222707	15.9261536	26.27130286	22.33060743
152	25.5	10	14.31	1389.28	121.2378347	34.22990731	57.06472563	17.11495365		
153	12	14	3.75	1398.42	122.035452	14.32632902	85.36021233	7.163164511		

T-student cal.	1.262479274
T-student tabla.	2.055529418
Decision	Se hacepta H0

T calc. 0.21798302

En el span 9, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

10 Armadura												
No. Rociador	nozzle	Psi	Gpm	xi pies	velocidad (p/hr.)	dw en pies	do mm/hra.	radio	lamina colectada en mm			
153	12	-	-	-	-					Modelo *.85		
154	25.5	10	14.31257021	1407.56	122.8330693	34.22990731	57.06472563	17.11495365				
155	25.5	10	14.31257021	1416.7	123.6306867	34.22990731	57.06472563	17.11495365	26.89394109	22.85984993		
156	26	10	14.87935019	1425.84	124.428304	35.29794751	55.78874721	17.64897375	27.00460052	22.95391044		
157	26	10	14.87935019	1434.98	125.2259213	35.29794751	55.78874721	17.64897375	27.11565319	23.04830521		
158	26	10	14.87935019	1444.12	126.0235387	35.29794751	55.78874721	17.64897375	26.56506916	22.58030879		
159	26	9	14.11579102	1453.26	126.821156	33.85909659	57.5196238	16.92954829	26.39560091	22.43626077		
160	26	10	14.87935019	1462.4	127.6187733	35.29794751	55.78874721	17.64897375	26.22825118	22.2940135		
161	26	10	14.87935019	1471.54	128.4163907	35.29794751	55.78874721	17.64897375	26.16936646	22.24396149		
162	25.5	10	14.31257021	1480.68	129.214008	34.22990731	57.06472563	17.11495365	25.73523771	21.87495206		
163	25.5	10	14.31257021	1489.82	130.0116253	34.22990731	57.06472563	17.11495365	25.30476376	21.5090492		
164	25.5	10	14.31257021	1498.96	130.8092427	34.22990731	57.06472563	17.11495365	25.15045875	21.37788994		
165	25.5	10	14.31257021	1508.1	131.60686	34.22990731	57.06472563	17.11495365	24.81748213	21.09485981		
166	25.5	9.5	13.95016784	1517.24	132.4044773	33.54699628	57.90735139	16.77349814	24.66688431	20.96685166		
167	25.5	10	14.31257021	1526.38	133.2020947	34.22990731	57.06472563	17.11495365	24.51809019	20.84037666		
168	25.5	10	14.31257021	1535.52	133.999712	34.22990731	57.06472563	17.11495365	24.37427245	20.71813158		
169	25.5	9.5	13.95016784	1544.66	134.7973293	33.54699628	57.90735139	16.77349814	24.48873379	20.81542372		
170	26	10	14.87935019	1553.8	135.5949467	35.29794751	55.78874721	17.64897375	24.6033855	20.91287767		
171	26	10	14.87935019	1562.94	136.392564	35.29794751	55.78874721	17.64897375	#iREF!	#iREF!		

T-student cal.	0.157105951
T-student tabla.	2.100922037
Decision	Se hacepta H0

T calc. 0.876910177

En el span 10, tres rociadores contribuyen en la lamina precipitada por colector.

.-Comparación de los datos calculados con el modelo de Heerman y Hein (1985) serie 1 con los datos reportados por Tarjuelo-Benito (1995) serie 2 para una prueba de pluviometría realizada en una lateral pivote de 6 torres.

EMBOQUILLADO DE UNA TUBERÍA PIVOTE Y MODELADO DE LA PLUVIOMETRÍA						
Qpivote=	2012 Lpm	A=28.84 ha	L= 303 m	PI= 2.7 Kg/cm ²		
Ø=146.2 mm	C=140	Sa= 5 m	N=L/Sa=61	span: 50 m	mm/cc=0.25	en colector
6 torres	v= 1.87 m/minuto		w=0.374 radianes/hora		Colectores a c/5 m	
Lateral con dos boquillas por bajante en span 4, 5 y 6					Po=3.2 Kg/cm ²	

No bajante	Gasto qj Lpm	Gasto Qp Lpm	Fricción, hfm	Carga Hj, m	Ø boquilla	redondear #	Gasto actual
0	0	2012	0.122748288	31.1386074			
1	1.063987308	2010.936013	0.122628099	31.01585911	2.466015456	2	0.699849812
2	2.127974617	2008.808038	0.122387882	30.89323101	3.490928171	3	1.571546106
3	3.191961925	2005.616076	0.122027963	30.77084313	4.279741385	4	2.788320117
4	4.255949233	2001.360127	0.12154883	30.64881517	4.946731306	5	4.348102818
5	5.319936542	1996.04019	0.120951133	30.52726634	5.536110772	6	6.248840075
6	6.38392385	1989.656267	0.120235687	30.40631521	6.070527418	6	6.236448621
7	7.447911158	1982.208355	0.119403468	30.28607952	6.56341709	7	8.471699852
8	8.511898466	1973.696457	0.118455618	30.16667605	7.023520861	7	8.454983438
9	9.575885775	1964.120571	0.117393442	30.04822043	7.456899907	7	8.438366999
10	10.63987308	1953.480698	0.11621841	29.93082699	7.867958652	8	10.99998983
11	11.70386039	1941.776838	0.114932159	29.81460858	8.260014556	8	10.97861313
12	12.7678477	1929.00899	0.113536491	29.69967642	8.635638258	9	13.86799988
13	13.83183501	1915.177155	0.112033373	29.58613993	8.996867976	9	13.84146707
14	14.89582232	1900.281333	0.110424944	29.47410656	9.345350699	9	13.81523558
15	15.95980962	1884.321523	0.108713508	29.36368161	9.682438586	10	17.02386649
16	17.02379693	1867.297726	0.10690154	29.25496811	10.00925681	10	16.99232343
17	18.08778424	1849.209942	0.104991686	29.14806657	10.32675255	10	16.96124892
18	19.15177155	1830.05817	0.102986765	29.04307488	10.63573118	11	20.4861156
19	20.21575886	1809.842411	0.100889768	28.94008812	10.93688351	11	20.44976145
20	21.27974617	1788.562665	0.09870386	28.83919835	11.23080664	11	20.41408476
21	22.34373347	1766.218932	0.096432386	28.74049449	11.51802022	12	24.25283776
22	23.40772078	1742.811211	0.094078865	28.6440621	11.79897924	12	24.21211605
23	24.47170809	1718.339503	0.091647	28.54998324	12.07408424	12	24.17232208
24	25.5356954	1692.803808	0.089140672	28.45833624	12.3436896	12	24.13349366
25	26.59968271	1666.204125	0.086563951	28.36919556	12.60811023	13	28.27894261
26	27.66367002	1638.540455	0.083921088	28.28263161	12.86762713	13	28.23576537
27	28.72765732	1609.812797	0.08121653	28.19871053	13.12249204	13	28.19384324
28	29.79164463	1580.021153	0.078454909	28.117494	13.37293122	13	28.1532127
29	30.85563194	1549.165521	0.075641059	28.03903909	13.61914882	14	32.60547908
30	31.91961925	1517.245902	0.072780007	27.96339803	13.86132956	14	32.56146939

31	32.98360656	1484.262295	0.069876986	27.89061802	9.969951892	10	33.18272256
32	34.04759387	1450.214701	0.066937434	27.82074103	10.13583579	10	33.14112859
33	35.11158117	1415.10312	0.063966998	27.7538036	10.29919053	10	33.10123537
34	36.17556848	1378.927552	0.060971544	27.6898366	10.4601066	10	33.06306748
35	37.23955579	1341.687996	0.057957157	27.62886506	10.61866723	11	39.9622415
36	38.3035431	1303.384453	0.054930148	27.5709079	10.77494926	11	39.92030503
37	39.36753041	1264.016922	0.051897063	27.51597775	10.92902388	11	39.88051814
38	40.43151772	1223.585405	0.048864688	27.46408069	11.08095732	11	39.84289166
39	41.49550502	1182.0899	0.045840059	27.415216	11.23081144	11	39.80743122
40	42.55949233	1139.530407	0.042830469	27.36937594	11.37864432	11	39.77413696
41	43.62347964	1095.906928	0.039843481	27.32654547	11.5245107	12	47.2974586
42	44.68746695	1051.219461	0.036886937	27.28670199	11.66846246	12	47.26296498
43	45.75145426	1005.468006	0.033968975	27.24981505	11.81054907	12	47.23100847
44	46.81544157	958.6525648	0.031098042	27.21584608	11.95081789	12	47.20156076
45	47.87942887	910.7731359	0.028282913	27.18474804	12.08931459	12	47.17458575
46	48.94341618	861.8297197	0.025532714	27.15646512	12.22608347	12	47.15003922
47	50.00740349	811.8223162	0.022856945	27.13093241	12.36116773	12	47.1278686
48	51.0713908	760.7509254	0.020265509	27.10807546	12.49460979	12	47.10801255
49	52.13537811	708.6155473	0.017768755	27.08780996	12.62645156	13	55.2658175
50	53.19936542	655.4161819	0.015377517	27.0700412	12.75673469	13	55.2476882
51	54.26335272	601.1528292	0.013103172	27.05466368	12.88550083	13	55.23199386
52	55.32734003	545.8254892	0.010957717	27.04156051	13.0127919	13	55.2186172
53	56.39132734	489.4341618	0.008953859	27.03060279	13.13865026	13	55.20742829
54	57.45531465	431.9788472	0.007105145	27.02164893	13.26311906	13	55.19828383
55	58.51930196	373.4595452	0.005426146	27.01454379	13.38624242	13	55.19102636
56	59.58328926	313.8762559	0.003932721	27.00911764	13.50806571	14	64.00209891
57	60.64727657	253.2289794	0.002642429	27.00518492	13.6286359	14	63.99743916
58	61.71126388	191.5177155	0.001575242	27.00254249	13.74800187	14	63.99430804
59	62.77525119	128.7424643	0.000754921	27.00096725	13.86621486	14	63.9924414
60	63.8392385	64.90322581	0.000212331	27.00021233	13.98332915	14	63.99154681
61	64.90322581	0	0	27	14.09940309	14	63.9912952

Esta aplicación de la hidráulica para una tubería pivote y la simulación de la pluviometría procesa los datos reportados por Tarjuelo-Benito 1995	
---	--

No bajante	Dw en m	Radio en m	Tasa mm/hr	Veloc. m/hr	Lámina mm	Vol. Calc. Cc		
0		r=	do=	v=wX=5w*j	Dp=?	cc=4 Dp(80%)		
1						Ea=80%		
2		Modelo de	Heerman y	Hein (1985)		UD=89.14%		
3								
4								
5	7.47276359	3.7363818	12.8229673	9.35				
6	8.47989282	4.23994641	9.93821151	11.22	-3.17035312	-10.1523558		
7	8.47161254	4.23580627	13.5266422	13.09	4.5353325	14.5234009		
8	9.96526257	4.98263129	9.75633898	14.96	2.35770923	7.55004324		
9	9.95409225	4.97704613	9.75903104	16.83	4.43642544	14.2066729		
10	9.94298874	4.97149437	12.7499946	18.7	6.3698052	20.3978947		
11	11.6547283	5.82736416	9.26178692	20.57	5.31209954	17.0108259	27	187.119085
12	11.6404439	5.82022194	11.7280648	22.44	7.59120611	24.3091615	28	291.709938
13	13.5712034	6.7856017	8.6118611	24.31	6.62432537	21.2129394	28	275.768212
14	13.5534735	6.77673677	8.61804353	26.18	6.3417287	20.3079859	30	284.311803
15	11.4132427	5.70662134	14.975858	28.05	7.89531701	25.2830095	25	379.245142
16	12.6404724	6.32023622	12.1864656	29.92	6.573567	21.0503969	28	336.80635
17	12.6284079	6.31420396	12.1874329	31.79	6.92939086	22.1898442	24	377.227352
18	12.6165226	6.3082613	14.747958	33.66	7.56696897	24.2315473	21	436.167852
19	13.9647055	6.98235275	12.0164531	35.53	7.03547857	22.5295667	23	428.061767
20	13.9508008	6.97540042	12.0194127	37.4	7.26354148	23.2598878	26	465.197757
21	13.9371553	6.96857765	14.3075705	39.27	7.68966421	24.6244518	22	517.113487
22	15.4053927	7.70269636	11.6906541	41.14	7.27223618	23.2877307	24	512.330075
23	15.3898176	7.69490878	11.6950758	43.01	7.09230916	22.7115541	21	522.365745
24	15.3745973	7.68729863	11.6994195	44.88	6.7483184	21.6099996	23	518.639992
25	12.9671778	6.4835889	19.2718696	46.75	7.84810295	25.1318168	20	628.295421
26	14.0360899	7.01804493	16.4232422	48.62	7.18689465	23.0144433	19.5	598.375525
27	14.0249565	7.01247827	16.4249042	50.49	7.11184238	22.774105	21	614.900834
28	14.0141468	7.00707341	16.4265457	52.36	7.10834184	22.7628952	34	637.361066
29	14.0036702	7.00183508	19.0527844	54.23	7.50486499	24.0326731	22	696.947519
30	15.1516957	7.57584785	16.2529848	56.1	6.77981428	21.7108583	23	651.325748
31	12.3562411	6.17812055	24.9052486	57.97	7.54335912	24.155942	22	748.834203
32	12.4750488	6.23752442	24.4025043	59.84	6.81496559	21.8234226	22	698.349522
33	12.4670945	6.23354723	24.4042416	61.71	6.63704642	21.2536757	21	701.371298
34	12.4594653	6.22973266	24.4059628	63.58	6.70421938	21.4687823	21	729.938598
35	12.4521661	6.22608307	29.533277	65.45	7.58163923	24.2785256	20	849.748397
36	13.7715562	6.88577812	24.1201178	67.32	7.22170259	23.125908	18	832.532688
37	13.7635363	6.88176817	24.1241676	69.19	7.33078322	23.4752146	21	868.582942
38	13.7559276	6.87796378	24.1280766	71.06	7.13064634	22.8343205	18.5	867.704178
39	13.7487319	6.87436595	24.1318423	72.93	6.941173	22.2275739	17	866.875383
40	13.7419505	6.87097525	24.1354621	74.8	7.06497855	22.6240339	21	904.961356

41	13.7355833	6.86779167	28.7273259	76.67	7.69956463	24.6561557	22	1010.90238
42	15.1743347	7.58716735	23.5208633	78.54	7.4391202	23.8221399	25	1000.52988
43	15.1677382	7.58386909	23.5254091	80.41	7.42832573	23.787573	22	1022.86564
44	15.1616269	7.58081343	23.5296986	82.28	7.25540703	23.233839	24	1022.28892
45	15.1559953	7.57799765	23.5337309	84.15	7.0905075	22.7057847	25	1021.76031
46	15.1508366	7.57541832	23.5375058	86.02	6.93309833	22.2017166	23	1021.27896
47	15.1461424	7.57307119	23.5410235	87.89	6.7826946	21.7200819	23	1020.84385
48	15.1419025	7.57095125	23.5442849	89.76	6.57405369	21.0519554	24	1010.49386
49	12.8177559	6.40887793	38.5464352	91.63	7.83486749	25.0894332	25	1229.38223
50	13.8695088	6.93475439	32.9111883	93.5	7.29564816	23.3627024	22.5	1168.13512
51	13.8671714	6.93358572	32.9129314	95.37	7.36833698	23.5954723	23	1203.36909
52	13.865148	6.93257402	32.9145648	97.24	7.22475961	23.1356974	22	1203.05627
53	13.8634234	6.93171172	32.9160833	99.11	7.0868928	22.6942094	23	1202.7931
54	13.8619809	6.93099045	32.9174812	100.98	6.95440065	22.2699326	22	1202.57636
55	13.8608019	6.93040097	32.9187524	102.85	7.08907642	22.701202	22	1248.56611
56	13.8598663	6.92993313	38.1792814	104.72	7.64044507	24.4668383	24	1370.14295
57	14.9958423	7.49792117	32.6116278	106.59	7.47252474	23.9291106	23	1363.9593
58	14.9952416	7.49762079	32.6126452	108.46	7.47527432	23.9379155	22	1388.3991
59	14.9948379	7.49741895	32.6134499	110.33	7.34833966	23.5314352	21	1388.35468
60	14.9945972	7.49729862	32.6140408	112.2	7.22573454	23.1388194	21.5	1388.32917

	PRUEBA=	0.85826086		Decisión:
Valor t Student calc. =		0.17897935		Se acepta Ho
Valor t Student tabla =		1.98027223		

Paquete de rociadores: Boquillas Rain Bird con plato CMH