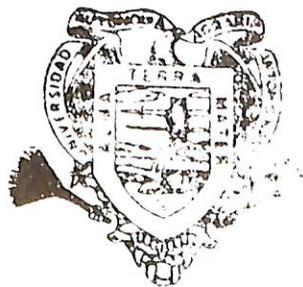


VERIFICACION DE LA HIDRAULICA DE
PIVOTES CENTRALES

JOSE VINICIO CISNEROS PEREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

JUNIO DE 1991

VERIFICACION DE LA HIDRAULICA DE PIVOTES CENTRALES

JOSE VINICIO CISNEROS PEREZ

TESIS

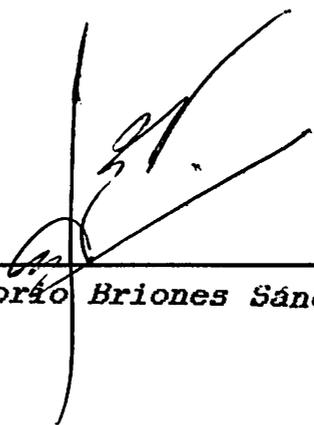
**Presentada como requisito parcial
para obtener el grado de
Maestro en Ciencias
En Riego y Drenaje**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista Saltillo, Coah.
Junio de 1991**

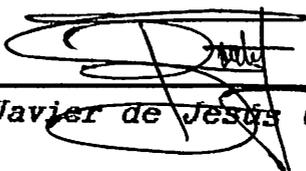
Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN
RIEGO Y DRENAJE

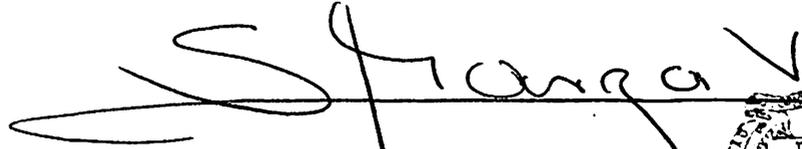
Asesor Principal:

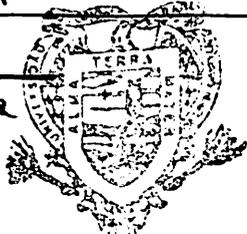

M. C. Gregorio Briones Sánchez

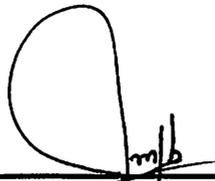
Asesor:


M. C. Javier de Jesús Cortez Bracho

Asesor:


M. C. Sergio Zeferino Garza Vara


BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.N.


Dr. José Manuel Fernández Brondo
Subdirector de Asuntos de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Junio de 1991

DEDICATORIA

A Uriel, Alejandra, Steve y Anaith Cisneros por el apoyo incondicional y el deseo de mi superación.

A Lourdes Abrego por brindarme su cariño y comprensión en los momentos difíciles.

A mis padres Ignacio Cisneros y Rebeca Pérez por sus sabios consejos.

A mi abuelita Maria Pérez por todos sus buenos deseos.

A mis hermanos: Ignacio, Elida, Oscar Manuel, Edgar Eloy, Omar y Gerardo Cisneros.

AGRADECIMIENTOS

A los maestros que me dieron su tiempo para transmitirme sus conocimientos y experiencias.

Al comité particular de asesoría por la dedicación durante la elaboración de este trabajo.

Al Ing. Sergio Camacho Muñoz por brindarme aún su amistad y apoyo durante esta etapa estudiantil.

Al Ing. José Alberto Valenzuela Palafox por su valiosa ayuda y amistad durante este postgrado.

A Juan Carlos Sanchez y María Luisa Trujillo: Gracias por su amistad.

A Patricia Fuentes Ortiz por ser amiga.

Agradecimientos a todos mis compañeros de postgrado y a las personas que de alguna manera participaron en la elaboración de este trabajo.

	<i>PAGINA</i>
- <i>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD</i>	32
- <i>ERROR RELATIVO PORCENTUAL</i>	33
<i>MATERIALES Y METODOS</i>	35
- <i>AREA DE ESTUDIO</i>	35
- <i>MATERIALES Y EQUIPO USADOS</i>	35
- <i>DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS</i>	36
<i>DATOS DE CAMPO</i>	36
<i>PROCEDIMIENTO DE DISENO TEORICO</i> ..	36
<i>SECUENCIA DE DISENO</i>	38
<i>OBTENCION DE DATOS DE CAMPO</i>	47
<i>PROCEDIMIENTO DE ANALISIS DE DATOS</i>	49
<i>RESULTADOS Y DISCUSION</i>	50
- <i>VERIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE</i>	
<i>CALCULO</i>	54
- <i>HIDRAULICA DE LOS PIVOTES EVALUADOS</i>	59
<i>ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE</i>	
<i>PRESIONES</i>	59
<i>COMPARACION DE LOS PAQUETES DE</i>	
<i>BOQUILLAS</i>	63
<i>UNIFORMIDAD DE LAS LAMINAS CALCULA</i>	
<i>DAS Y LAS MEDIDAS EN CAMPO</i>	67
<i>CONCLUSIONES</i>	72
<i>RESUMEN</i>	73
<i>LITERATURA CITADA</i>	75
<i>APENDICES</i>	78
<i>APENDICE A</i>	79
<i>APENDICE B</i>	93

INDICE DE CUADROS

<i>CUADRO</i>	<i>PAGINA</i>
<i>2.1. VALORES DE ENCHARCAMIENTO PERMISIBLE PARA VARIAS PENDIENTES DEL SUELO</i>	<i>29</i>
<i>3.1. DATOS DE CATALOGO DE ASPERSORES COMERCIALES</i>	<i>44</i>
<i>3.2. CALCULO DE LOS COEFICIENTES PARA LAS ECUACIONES DE GASTO Y DIAMETRO DE COB. DE UN ASPERSOR</i>	<i>45</i>
<i>4.1. CARACTERISTICAS DE OPERACION Y CONSTRUCCION DE LOS PIVOTES EVALUADOS</i>	<i>50</i>
<i>4.2. DATOS DE CAMPO DEL PIVOTE 1</i>	<i>52</i>
<i>4.3. DATOS DE CAMPO DEL PIVOTE 2</i>	<i>53</i>
<i>4.4. DATOS DE CAMPO DEL PIVOTE 3</i>	<i>54</i>
<i>4.5. LAMINA MEDIA Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD CALCULADO Y MEDIDO EN CAMPO PARA LOS PIVOTES EVALUADOS</i>	<i>71</i>
<i>A1. DATOS DE SALIDA DE COMPUTADORA PARA EL DISENO DE UN PIVOTE VALLEY MODELO 410-3, ELABORADO POR UNA CASA COMERCIAL</i>	<i>80</i>
<i>A2. SALIDA DE PROGRAMA DISPIV PARA EL PIVOTE EJEMPLO</i>	<i>82</i>
<i>A3. SALIDA DEL PROGRAMA DISPIV PARA EL PIVOTE 1 .</i>	<i>84</i>
<i>A4. SALIDA DEL PROGRAMA DISPIV PARA EL PIVOTE 2 .</i>	<i>86</i>
<i>A5. SALIDA DEL PROGRAMA DISPIV PARA EL PIVOTE 3 .</i>	<i>88</i>
<i>A6. ARCHIVO DE ASPERSORES COMERCIALES UTILIZADOS EN EL PROGRAMA DISPIV</i>	<i>91</i>
<i>A7. TABLA DE CONVERSION DE UNIDADES</i>	<i>92</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA</i>	<i>PAGINA</i>
<i>2.1. SUPERPOSICION DEL PATRON ELIPTICO EN LA CURVA DE INFILTRACION TIPICA DEL SUELO</i>	<i>30</i>
<i>3.1. SISTEMA DE PIVOTE CENTRAL EN OPERACION Y BOTES COLECTORES DE LLUVIA</i>	<i>37</i>
<i>3.2. COLOCACION DEL MANOMETRO EN LA EVALUACION DE PIVOTE CENTRAL</i>	<i>37</i>
<i>4.1. COMPARACION DE GASTOS DE LOS PROGRAMAS DISPIV Y TII PARA EL PIVOTE EJEMPLO</i>	<i>56</i>
<i>4.2. DISTRIBUCION DE PRESIONES CALCULADAS CON DISPIV Y TII PARA EL PIVOTE EJEMPLO</i>	<i>57</i>
<i>4.3. COMPARACION DE LOS PAQUETES DE BOQUILLAS OBTENIDAS CON DISPIV Y TII PARA EL PIVOTE EJEMPLO</i>	<i>58</i>
<i>4.4. DISTRIBUCION DE PRESIONES CALCULADAS CON DISPIV Y MEDIDA EN CAMPO PARA EL PIVOTE 1 ...</i>	<i>60</i>
<i>4.5. DISTRIBUCION DE PRESIONES CALCULADAS CON DISPIV Y MEDIDA EN CAMPO PARA EL PIVOTE 2 ...</i>	<i>61</i>
<i>4.6. DISTRIBUCION DE PRESIONES CALCULADAS CON DISPIV Y MEDIDA EN CAMPO PARA EL PIVOTE 3 ...</i>	<i>62</i>
<i>4.7. COMPARACION DE LOS PAQUETES DE BOQUILLAS OBTENIDOS CON DISPIV Y OBSERVADO EN CAMPO PARA EL PIVOTE 1</i>	<i>64</i>

<i>FIGURA</i>	<i>PAGINA</i>
4.8. COMPARACION DE LOS PAQUETES DE BOQUILLAS OBTENIDOS CON DISPIV Y OBSERVADO EN CAMPO PARA EL PIVOTE 2	65
4.9. COMPARACION DE LOS PAQUETES DE BOQUILLAS OBTENIDOS CON DISPIV Y OBSERVADO EN CAMPO PARA EL PIVOTE 3	66
4.10. COMPARACION DE LA DISTRIBUCION DE LAMINAS APLICADAS POR EL PAQUETE DE ASPERSORES DEL DISPIV Y LAS MEDIDAS EN CAMPO. PARA EL PIVOTE 1	68
4.11. COMPARACION DE LA DISTRIBUCION DE LAMINAS APLICADAS POR EL PAQUETE DE ASPERSORES DEL DISPIV Y LAS MEDIDAS EN CAMPO. PARA EL PIVOTE 2	69
4.12. COMPARACION DE LA DISTRIBUCION DE LAMINAS APLICADAS POR EL PAQUETE DE ASPERSORES DEL DISPIV Y LAS MEDIDAS EN CAMPO. PARA EL PIVOTE 3	70

COMPENDIO

VERIFICACION DE LA HIDRAULICA DE PIVOTES CENTRALES

POR

JOSE VINICIO CISNEROS PEREZ

MAESTRIA

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUNIO 1991

MC. Gregorio Briones Sanchez. - Asesor -

**Palabras clave: Pivote central. distribución de presión.
coeficiente de uniformidad. hidráulica.**

El objetivo del presente trabajo fue la validación de la metodología teórica para el diseño hidráulico de pivotes centrales con el fin de corroborar su validez en sistemas en operación. se realizó un programa de computadora en lenguaje PASCAL. el cual utilizó un archivo de 42 aspersores comerciales para seleccionar el paquete de boquillas para los sistemas evaluados.

Se usó: la salida de un programa comercial para tener mayor confiabilidad en el programa elaborado y los

datos de campo de tres sistemas, los cuales consistieron de la distribución del gradiente de presiones, el paquete de aspersores y las láminas aplicadas. Después se realizó el diseño teórico hasta el cálculo de las láminas aplicadas a lo largo de la lateral.

Se compararon con la salida comercial; la distribución de gastos, el paquete de boquillas y el gradiente de presiones. Se llegó a la conclusión de que el programa elaborado predice aceptablemente la variación hidráulica de gastos y presiones a lo largo de la lateral con lo que se hace comercialmente.

Al comparar los datos de campo con los calculados mediante el modelo, se observó una similitud aceptable tanto en la distribución de presiones como en las láminas aplicadas existiendo diferencias no significativas hidráulicamente sólo en los paquetes de aspersores. La caída de presión calculada para los pivotes 1, 2 y 3 fue de 15.7, 6.7 y 34.0 psi (1.1, 0.47 y 2.39 kg/cm^2) mientras que la observada fue de 17.5, 8.0 y 35.5 psi (1.23, 0.56 y 2.45 kg/cm^2) respectivamente. Los coeficientes de uniformidad fueron 0.8947, 0.9383 y 0.8701 los calculados y los medidos fueron 0.8467, 0.8803 y 0.85 para los pivotes 1, 2 y 3 respectivamente. Por lo tanto se concluyó que la metodología teórica simula el gradiente hidráulico aceptablemente y puede usarse tanto en la evaluación de sistemas en operación como para la selección de un nuevo paquete de boquillas.

ABSTRACT

HYDRAULIC VERIFICATION OF CENTER PIVOTS

BY

JOSE VINICIO CISNEROS PEREZ

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUNE 1991

MC. Gregorio Briones Sanchez. - Adviser -

**Key words: Center pivot, pressure distribution, uniformity
coeficient, hydraulic.**

**The hydraulic design procedure used in center pivot
systems to choose a sprinkler package was validated so that
flow, pressure nozzle size for each sprinkler along
operation pipe were calculated running a computer program
before hand wrote in PASCAL language. The "nozzling" program
look for each sprinkler for a center pivot in a file of 42
comercial sprinklers it taking them and showing them on the
screen from control fixed tower to the last sprinkler.**

In order to know if the program performance was reliable its first data processing exit used a comercial sprinkler chart and then was applied on three center pivots field data on operation. A comparison of sprinklers discharge, sprinklers package and pressure distribution from comercial sprinkler chart demostrated the utility of this model to predice the hydraulic variation along lateral pipe.

Such A field data were compared with those model calculated finding acceptable prediction of depths applied, pressure distribution and diferences only in nozzles packages hydraulically neggligible. the loss in total head and the uniformity coeficient calculated for pivots 1, 2 and 3 respectivly were 15.7, 6.7, 34.0 psi (1.10, 0.47 y 2.39 kg/cm²) and 0.89, 0.93, 0.87 and measured were 17.5, 8.0, 35.5 psi (1.23, 0.56 y 2.45 kg/cm²) and 0.85, 0.88, 0.85. The analysis indicates that hydraulic in center pivots is properly predicted with teoric methodology applied and this way can be used in evaluation and nozzles package selection for systems in operation.

INTRODUCCION

Al planear un riego se busca utilizar un sistema de irrigación que proporcione las siguientes ventajas: Ahorro de mano de obra, ahorro de agua, aumento en la eficiencia de aplicación, mayor uniformidad aún en terrenos desnivelados, facilidad de aplicación de agroquímicos y simplicidad de operación, repercutiendo todo lo anterior en el aumento de la productividad agrícola: un sistema que presenta las ventajas previamente mencionadas es el riego por aspersión con pivote central.

Una de las limitantes de este sistema es su diseño, ya que implica el cálculo de áreas, gastos y pérdidas por fricción para realizar la selección del paquete de aspersores y boquillas a partir de catálogos de fabricantes. Como puede esperarse, toda esa información obliga el uso de computadora para analizar más eficientemente las opciones posibles y seleccionar la más viable.

Jarret y Kelso (1978) desarrollaron un modelo de computadora para el diseño de un sistema de riego por pivote central en lenguaje FORTRAN el cual, en lenguaje BASIC también fue desarrollado por Ruiz (1988) utilizando varios parámetros básicos, tales como el gasto disponible, la longitud total de la lateral, la distancia entre aspersores, sus diámetros y las pérdidas de carga evaluadas con la

ecuación de Hazen - Williams. Sin embargo no se ha llegado a comprobar si este modelo realmente es aplicable a los sistemas de pivote central en operación.

Por otro lado, una causa fundamental de la reducción en la eficiencia de aplicación del agua es no considerar el desgaste de los sistemas de riego y de las condiciones actuales de trabajo en la selección de un nuevo paquete de aspersores, reguladores y cañones a partir de metodologías propuestas o en la evaluación de los mismos.

La importancia de la validación de metodologías de cálculo es la retroalimentación de las mismas, donde los resultados analíticos pueden comprobarse con los observados directamente en campo. Tal comparación permite detectar desviaciones y corregirlas aumentando así la validez del modelo y la confianza del usuario en la aplicación de resultados.

El presente trabajo se plantea dada la importancia expuesta anteriormente, para obtener datos de campo de sistemas de riego de pivote central en operación y compararlos con los que se obtendrían mediante el uso del modelo, lo que servirá de apoyo para promover la metodología de diseño si su desviación no es significativa y en caso contrario detectar las fases de cálculo que deberían ser corregidas o afinadas.

La educación práctica de un ingeniero generalmente conduce al aprendizaje y sensibilización de su juicio heurístico y nuevas ideas se desprenden después de varias experiencias, las cuales incorporadas al diseño originan los "sistemas expertos basados en la regla" que al resolverse por computadora ayudan al ingeniero a obtener el conocimiento básico de experiencia concurrente adicional (Bralts et al. 1990). Al respecto, este trabajo puede contribuir al adiestramiento y educación acelerada de los ingenieros en irrigación y servir para desarrollar nuevos sistemas de pivote central.

REVISION DE LITERATURA

Descripción del Sistema

Características Generales

El sistema de pivote central consiste de una tubería de aspersión autopropulsada, que gira alrededor de un punto pivote. En sistemas estandar, la tubería es de aproximadamente 400 m de largo y está sostenido por diez torres: desarrollando por revolución un área de cobertura cercana a 64 Ha. Tal superficie en cuadro es casi alcanzada por sistemas con cañon esquinero (que cubren un área de 800 x 800 m sin obstáculos) pero se limita a sólo 50.2 Ha en los sistemas sin cañon esquinero (área de cobertura circular) Buckingham (1980).

La tubería en la mayoría de los sistemas es de fierro galvanizado recubierta con pintura "epóxica" que la protege de la corrosión por agroquímicos inyectados en el agua y la protege además del intemperismo ambiental. También se fabrican algunos modelos con tubería de aluminio más ligera.

Dependiendo del diámetro de la tubería es la distancia entre torres y el diseño de la armadura, el peso

total por torre puede variar desde 1.5 a 3.5 Ton. Las torres son autopropulsadas frecuentemente por mecanismos eléctricos y a veces por medio hidráulico; siendo la última torre la que domina la velocidad de giro del sistema.

Jarret y Kelso (1978) mencionan que el agua es descargada desde la lateral por medio de aspersores de alta presión o por rociadores de baja presión colocados a lo largo de la tubería lateral. El agua se introduce en el punto pivote y fluye a través de la línea, alimentando a cada uno de los aspersores. La mayoría de estos sistemas utilizan un espaciamiento uniforme de aspersores cuyo gasto se incrementa proporcionalmente con el aumento en la distancia radial desde el punto pivote. La presión en el punto pivote es más alta y disminuye hacia el final de la lateral.

El primer prototipo de pivote central se hizo hace 30 años y 25 desde que se inició la mayor producción comercial de estas máquinas.

Hoy en día los agricultores pueden escoger entre sistemas de alta y baja presión y se puede escoger cualquier arreglo de aspersores, además de aplicar directamente fertilizantes, herbicidas y algunas veces insecticidas a través del flujo de agua dentro del pivote.

Buttermore y Eisenhauer (1989), mencionan que alrededor de 4.2 millones de hectáreas en los Estados Unidos se les aplicaron agroquímicos en 1983, esta área tiene un crecimiento anual de 8 a 9 por ciento y más del 84 por ciento de dicha área fué a través de riego por aspersión y la mayoría con pivotes centrales. En este trabajo presentan una metodología para calcular el tiempo de lavado del sistema después de aplicar agroquímicos, recomendando al menos diez minutos de bombeo al terminar la aplicación, asumiendo que los químicos presentan la misma velocidad que la velocidad promedio del flujo.

Estos sistemas también pueden modificarse con sistemas esquineros los cuales permiten cubrir áreas de terreno que no son factibles de regar con sólo el pivote central. Otra modificación que ha tenido es la construcción de sistemas de movimiento lineal que permiten irrigar las parcelas rectangulares completas y que se alimentan por medio de hidrantes o toman el agua directamente de canales abiertos (Kaiser 1979).

Hay muchas variaciones de pivotes entre los fabricantes. El espaciamiento de aspersores a lo largo de la lateral, el tamaño de los aspersores, la presión requerida en el punto pivote y el diámetro de la tubería es variable para obtener la distribución uniforme del agua para sistemas de diferente longitud y capacidad.

Pivotes de Baja Presión.

Posibilidad de Reducción de Presión.

Flippo (1990) hace referencia al concepto LEPA (aplicación precisa a baja presión) indicando que fue desarrollado por los ingenieros agrícolas de la Universidad de Texas A and M. para buscar un sistema que pudiera reducir los requerimientos de energía en los sistemas de movimiento mecánico y a la vez maximizar el aprovechamiento de la lluvia y agua de riego aplicada. El concepto fue introducido por primera vez en 1981 y desde entonces LEPA ha promovido varios dispositivos comerciales que están ahora instalados en más de 400 pivotes en el estado de Texas donde actualmente existen aproximadamente 9500 pivotes en operación regando más de medio millón de hectáreas.

Los sistemas de irrigación LEPA prometen eliminar las pérdidas de aspersion por evaporación y vientos: que pueden variar de 17 a 30 por ciento además LEPA se podría usar en combinación con la preparación de la tierra en microcuencas o diques en surcos. ésto último para prevenir el escurrimiento y elevar la efectividad de la lluvia.

Kincaid et al (1990) mencionan que en los Estados Unidos las mayores superficies regadas por pivote central se localizan en las altas llanuras y al noroeste del pacífico donde predominan suelos que varían de arenosos a franco-

arcillosos: también manifiestan que gran parte de los sistemas de pivote central diseñados para zonas semiáridas tienen una capacidad bruta que satisface una evapotranspiración pico estacional cercana a 10 mm por día. La longitud típica de una lateral de pivote central de aproximadamente 400 m evolucionó a partir de los tamaños de campo que comúnmente se encuentran al oeste de los Estados Unidos. Conforme los costos de energía se incrementan más pivotes de baja presión se están utilizando y como no es posible diseñar un pivote de baja presión sin exceder la velocidad de infiltración del suelo entonces se han incorporado técnicas de conservación y labranza del campo regado para controlar el escurrimiento superficial y encharcado, tales técnicas consisten en la construcción de diques dentro de los surcos para crear almacenaje superficial, subsoleo y más incorporación de paja para mejorar la capacidad de infiltración del suelo.

Guilley (1984) hace notar que debido al incremento en el requerimiento de energía para la operación de pivotes centrales es de considerable interés la reducción de la presión de estos sistemas. Mediante el análisis que desarrolla en este trabajo concluye que es posible cambiar los pivotes de alta presión a baja presión con emisores para varios tipos de suelo. Sin embargo, la lámina máxima de riego que puede ser aplicada sin riesgo de escurrimiento puede ser muy pequeña en algunos sistemas para dar un riego

aceptable y por lo tanto no deben usarse en estos sitios en particular.

Como un método de ahorro de energía dentro de la industria del pivote, aparece la modalidad de sistemas de baja presión, la ventaja que presentan es que mientras la mayoría de los sistemas operan con 80 a 90 psi (5.62 a 6.33 kg/cm²) los sistemas de baja presión operan en el rango de 35 a 40 psi (2.46 a 2.81 kg/cm²). (Kaiser, 1979).

Larsen (1980) menciona que siempre se está buscando encontrar formas de ahorrar agua y energía, sin embargo la urgencia por reducir la presión requerida en los sistemas de irrigación ha repercutido no sólo en la reducción de los costos de operación sino también en el surgimiento de problemas en la aplicación del agua.

Problemas en los Pivotes de Baja Presión.

Gilley y Mielke (1980) analizaron los problemas causados cuando se reduce la presión de un sistema de pivote central encontrando que ésto puede ocasionar problemas de manejo tales como un incremento del escurrimiento, erosión del suelo y poca uniformidad de aplicación. Sugieren, para solucionar lo anterior, hacer un diseño óptimo de la capacidad del sistema, de la velocidad de rotación, usar los patrones de aspersion adecuados y modificación de las prácticas de labranza. Las restricciones en el uso de sistemas que operen a bajas presiones frecuentemente son

especificados por el lugar y dependen del tipo de suelo, topografía, cultivo e historia del uso del suelo. Reducciones en la eficiencia del riego como resultado de la reducción de la presión pueden ser consideradas cuando se determine el ahorro neto de energía en sistemas de baja presión.

Bernuth y Guilley (1984) consideraron que el uso de paquetes de aspersores de baja presión presenta las siguientes desventajas:

a. Disminución del área de mojado llegando a reducir el tiempo de aplicación e incrementar la tasa de aplicación.

b. Aumento del tamaño de las gotas, como resultado de dos factores: la reducción de la presión y el aumento del tamaño de boquillas.

c. Disminución de la uniformidad de aplicación causada por los cambios de presión.

d. Incremento inicial del costo por la adición de tubería para extensiones o para la reubicación de los dispositivos de aplicación.

El escurrimiento y erosión del suelo en el riego por aspersión se presenta ya que, al reducir la presión en los pivotes centrales, se hace necesario usar boquillas más grandes para suministrar los gastos requeridos. Boquillas más grandes proporcionan un tamaño de gotas mayor, las cuales disuelven las partículas del suelo disminuyendo la

velocidad de infiltración e incrementa la posibilidad de escurrimiento y erosión.

Solución a los Problemas de Baja Presión.

La reducción del gasto del sistema como una alternativa de solución al escurrimiento y erosión se basa en tomar en cuenta la precipitación efectiva y el almacenamiento de humedad del suelo. Sin embargo el usar menos agua implica una tasa de aplicación menor llevando ésto a posibles reducciones en el rendimiento. Por lo que, un análisis de los patrones probables de lluvia, almacenamiento de humedad y evapotranspiración se necesitan para el diseño apropiado en sistemas de gasto reducido.

El incremento en la velocidad de viaje para reducir la lámina aplicada es otro procedimiento que puede reducir el riesgo de escurrimiento. Sin embargo, velocidades más rápidas requieren más revoluciones por ciclo, lo que resulta en más evaporación del cultivo y de la superficie del suelo reduciendo la eficiencia de riego. Ahora bien, incrementar la velocidad de rotación aumenta la compactación del suelo (en las huellas de las ruedas) y aumenta los requerimientos de energía para mover la máquina.

También el escurrimiento se puede reducir si el patrón de aplicación se diseña de acuerdo a la velocidad de infiltración del suelo y si se llevan a cabo prácticas de

cultivo que mantengan la superficie del suelo más rugosa o en otras palabras que aumenten la capacidad de almacenamiento superficial y la velocidad de infiltración del suelo (Guilley y Mielke. 1980).

James y Blair (1984). realizaron un trabajo para comparar efectos de espaciamiento de aspersores y diferentes terrenos sobre la operación teórica de seis pivotes centrales utilizando aspersores de baja presión y compararlos con pivotes de alta presión. encontrando que los sistemas de emisores usaban 30 por ciento menos de energía y tuvieron tasas de aplicación más altas que los sistemas de aspersores de impacto.

Otra solución a los problemas de los sistemas de baja presión es el uso de aguilones propuestos por una casa comercial de sistemas de riego los cuales consisten de un tubo que baja desde la tubería lateral con un cople T se bifurcan en un tubo horizontal donde se colocan de 5 a 7 emisores equidistantes; un tubo por encima del aguilón actúa como refuerzo. La ventaja de los aguilones es que permiten bajar la presión manteniendo gotas de agua pequeñas y asperjando el agua a través de una área extensa. (Larsen. 1980).

Allen (1990) desarrolló una metodología de diseño. para seleccionar el paquete de boquillas. basado en la función de infiltración del suelo y el perfil del patrón de

precipitación bajo un pivote central en movimiento: menciona que la mayor dificultad de diseño en pivote central es limitar las tasas de precipitación a valores que sean menores que la suma de infiltración más almacenaje superficial permisible, lo cual es crítico cerca de los extremos de la tubería. Debido a que la velocidad de infiltración del suelo disminuye con la lámina de agua infiltrada entonces las tasas óptimas de aplicación varían las láminas totales de agua aplicada y anchura de humedecimiento de los dispositivos de aplicación (aspersores de impacto, boquillas rociadoras, aguilon con rociadores, etc.).

La anchura de mojado de los dispositivos de aplicación puede ser reducida cerca del punto pivote en donde las torres están moviéndose a velocidades más lentas y por lo mismo la intensidad de las precipitaciones debería ser menor.

Aplicación de agroquímicos

Como se mencionó anteriormente la posibilidad de aplicar agroquímicos a través de pivote central es una de las ventajas que ofrece este sistema. Al respecto Witkowski et al. (1987), mencionan que la aplicación de insecticidas con este sistema puede ser una alternativa de otras formas convencionales de aplicación. Las razones para usar este

método incluyen: distribución relativamente uniforme del producto, tiempo de aplicación flexible, ventaja económica y mayor efectividad del agroquímico.

El problema concerniente al uso de esta metodología es la contaminación del agua subterránea; ya que existe la posibilidad de que el agroquímico entre en el pozo. Otros problemas incluyen posible acarreo por el viento del producto y escurrimiento fuera de la parcela; además de la exposición al producto del operador durante la mezcla, la calibración y el proceso de aplicación.

Con el fin de evitar al máximo los problemas anteriores se debe contar con equipo de seguridad que incluye: válvula de retención, válvula de alivio, salida de inspección, dren automático de baja presión, válvula en la línea de inyección y estructura que cierre el paso al químico hacia la línea de bombeo. Además se debe tener la unidad de inyección adecuada al producto que se esté utilizando.

Las precauciones personales en la operación son: usar guantes, botas de hule y equipo protector, tapar los primeros aspersores con el fin de no aplicar sobre el equipo de inyección, colocar señales de seguridad y guardar el producto en lugares adecuados.

En conclusión, para evitar todos los problemas anteriores se deben seguir las indicaciones de operación y calibración del equipo recomendadas.

Cuidados de operación.

Como cualquier equipo el pivote central necesita de ciertos cuidados de operación para funcionar adecuadamente y éstos son:

- Asegurar todos los tornillos incluyendo los de la estructura pivote.*
- Alambrado completo.*
- Corriente conectada. voltaje correcto.*
- Suministro de agua conectado (pozo y bomba).*
- Anillo colector conectado y sellado.*
- Panel de control libre de obstrucción.*
- Medidor de presión instalado.*
- Equipo opcional instalado, inyección de agroquímicos o medidores.*
- Alambres de alineación seguridad bien restirados (una elongación de 10 pulgadas (25.4 cm) en el resorte).*
- Varilla de tierra correctamente instalada.*
- Cajas de engranes y ejes bien lubricados.*
- Sistema de encendido en posición segura.*
- Llantas infladas a 18-22 psi (1.26-1.55 kg/cm²).*
- Cable eléctrico sujeto a la tubería cada 4 pies.*
- Aspersores y drenes colocados correctamente.*
- Tensores y soportes probados.*

- Tapón final de drenaje instalado y
- Parcela libre de obstáculos (Arboles, edificios, canales, postes).

Evaluación del sistema

El mejoramiento en el manejo del agua en la agricultura puede conservar agua, mano de obra, suelo y además incrementar el rendimiento de los cultivos. La evaluación de un sistema debe medir y evaluar la eficiencia del método de riego actualmente empleado. Un estudio de evaluación del sistema indicará las mejoras que pueden hacerse y proporcionará sobre bases firmes las posibles modificaciones que sean prácticas y económicas.

La mayoría de las modificaciones sugeridas para mejorar los sistemas de riego generalmente requieren de cambios simples en las prácticas de manejo. Las evaluaciones frecuentemente indican la necesidad de estimar la deficiencia de humedad del suelo y el de mejorar las prácticas de mantenimiento en los sistemas automáticos.

La operación de sistemas de riego por aspersión pueden mejorar ampliamente con simples cambios tales como: modificar la presión de operación, el tamaño de boquillas y el tiempo de operación, operando a diferentes presiones en riegos alterno, usando paquetes a diferente espaciamiento.

usando tubería lateral de mayor tamaño y mediante la inclinación de los aspersores al final de la parcela.

La evaluación de un pivote central envuelve checar el coeficiente de uniformidad a lo largo de la lateral, los problemas relativos a la uniformidad hechos por: topografía, infiltración y/o escurrimientos; la condición del cultivo y el déficit de humedad del suelo por abajo de la mitad de la zona radicular; Merriam y Keller (1978).

La siguiente información se requiere para la evaluación de sistemas de riego por pivote central:

- Gasto total del sistema.
- Gasto requerido para mover el sistema si se trata de un pivote de movimiento hidráulico.
- Láminas de agua aplicadas sobre botes colocados a lo largo de la lateral.
- Velocidad de la última torre.
- Longitud de la lateral, de la última torre y área de riego del sistema.
- Presión de operación y diámetro de los aspersores de boquillas al final de la lateral y
- Topografía del terreno.

Hidráulica del sistema

Uno de los puntos más importantes en el diseño del riego por aspersion es la presión, la cual debe mantenerse

adecuadamente a través del sistema con el fin de obtener la descarga requerida y generar los patrones de aspersión, así como evitar encharcamiento y escurrimiento por la aplicación de grandes gotas de agua sobre el suelo.

Chu y Dennis (1972) presentan la solución analítica para calcular la pérdida de carga total y la distribución de presiones a lo largo de la lateral a partir de la ecuación de energía y comprueban su validez con datos de campo. Mencionan que los dos parámetros hidráulicos de interés para el diseño y la evaluación de un pivote central son:

Primero: la pérdida de carga total en el sistema, la cual es indispensable para determinar la potencia del equipo de bombeo y segundo: la distribución de presiones a lo largo de la lateral, que es necesaria en la selección del paquete de aspersores que aplicará la cantidad de agua requerida.

Gasto Total y Distribución

El gasto total en el modelo, se puede estimar antes de iniciar el procedimiento de diseño, este gasto puede ser el disponible, como lo es el caso de un suministro limitado de agua o puede ser aquel que cubra los requerimientos del cultivo para un régimen establecido.

Por otro lado, el usar o no cañon final lleva consigo implicaciones en el funcionamiento hidráulico del

sistema, ya que si se usa, se debe ahorrar suficiente agua para alimentar al cañon y lograr aplicar en su área de cobertura, la lámina neta de aplicación del sistema.

La capacidad del sistema (gasto) determina el área de cobertura del sistema de acuerdo a la lámina neta de aplicación requerida y tiempo de giro.

El gasto de cada aspersor debe incrementarse en proporción al área de riego que cada uno domina con el fin de obtener una distribución uniforme de la lámina aplicada a través de toda el área de riego. Con espaciamiento uniforme, el área de cobertura de cada aspersor es directamente proporcional a su distancia al punto pivote.

En la mayoría de los sistemas, los aspersores se instalan a igual espaciamiento sobre la tubería, seleccionando las boquillas de los aspersores para que incrementen su gasto conforme se alejan del punto pivote.

Distribución de presiones

En el punto pivote, por donde entra el agua, se tiene la presión más alta y al final de la lateral se tiene la menor presión; ésta no es una distribución de presiones deseada porque los aspersores más grandes están localizados al final de la lateral y requieren de mayores presiones de

operación que los aspersores pequeños cercanos al punto pivote (Kinkaid y Heerman 1970).

Para mantener las presiones adecuadas de trabajo en los aspersores más grandes, la presión en el punto pivote debe excederse de acuerdo a la caída de presión en la lateral y así obtener una presión al final determinada, ya que una mayor caída de presión requiere un equipo de bombeo mayor trayendo consigo un aumento en los costos de operación.

La presión en el punto pivote para el sistema se determina por el total de pérdidas por fricción y por la disposición opcional del cañón final. El total de las pérdidas se calcula sumando las pérdidas entre aspersores. Comenzando al final de la línea, el gasto y las pérdidas por fricción en cada tramo pueden ser determinadas por la suma del gasto requerido más allá del tramo analizado.

Ahora bien los cambios de presión desde un aspersor sobre la lateral hasta otro son una combinación de las pérdidas por fricción en la línea principal y en la conexión del aspersor.

Reddy y Apolayo (1988) reportan que las ecuaciones de Hazen-Williams o la de Darcy-Weisbach se emplean para estimar la distribución de presiones y escoger el diámetro de la tubería lateral utilizando un factor de fricción

derivado por Christiansen. Este factor se calculó asumiendo que la velocidad del gasto a lo largo de la lateral es el mismo, sin embargo en el caso de pivote central no se presenta de esta manera, por lo que presentan un nuevo factor de fricción para pivote central como función unicamente del numero de aspersores sobre la lateral.

Considerando que en las conecciones del aspersor y además en el elevador también existen pérdidas. Kinkaid y Heerman (1970) reportan datos de tres tratamientos separados sobre el flujo en las conecciones llevados a cabo por Vennard y Dentori, los cuales propusieron un grupo de valores estandar para uso ingenieril. Las pérdidas de cada conección son proporcionales a la carga de velocidad en la tubería principal aguas arriba de la conección y a la proporción del gasto del elevador q y al gasto aguas arriba de la tubería principal Q . La proporción del diámetro de la conección d_p al diámetro de la tubería principal D también afecta las pérdidas, las cuales disminuyen conforme los diámetros de elevadores disminuyen.

Paquete de Aspersores

Por lo general el paquete de aspersores debe suministrar suficiente agua al suelo para cumplir con los requerimientos de riego. El agua debe ser aplicada uniformemente y el escurrimiento debe ser mínimo. Para cumplir con esos objetivos los siguiente factores deben de

tomarse en cuenta: *Textura del suelo, velocidad de infiltración, tasa de aplicación, topografía del terreno, tamaño del sistema y prácticas culturales (Kranz 1988).*

Ahora bien, de acuerdo a la distribución de presiones obtenida se calculan los gastos teóricos de cada aspersor a lo largo de toda la lateral, datos que posteriormente junto con las presiones se utilizan en la selección de modelos específicos utilizando los catálogos de los fabricantes. Los modelos deben especificar los rangos de gasto, de presión y los diámetros efectivos de cobertura para cada aspersor.

Una vez que los aspersores y diámetros de tuberías se han seleccionado, la distribución de presiones se puede recalcular. Comenzando al final de la lateral, las pérdidas en cada sección entre aspersores se evalúa y los gastos son sumados moviéndose hasta el punto pivote. Estableciendo una presión mínima de trabajo para el último aspersor, se puede determinar la presión deseada en el punto pivote.

Si se quiere una presión alta del sistema, las pérdidas totales por fricción se calculan y se les suma 60 psi (4.22 kg/cm²) (la presión requerida por el cañon). Esta es la presión mínima requerida para la correcta operación del cañon. Si no se usa cañon, se le suma 40 psi (2.81 kg/cm²) a la suma total de pérdidas por fricción para determinar la presión del pivote, a menos que el sistema

requiera más de 40 psi (2.81 kg/cm²) para operar aspersores grandes cerca del fin del sistema, en este dado caso, se usan 60 psi (4.22 kg/cm²). Deben hacerse algunas consideraciones para las pérdidas totales por fricción de acuerdo al tamaño de la tubería. Gastos grandes del sistema (mayores de 1000 gpm (63.09 lps)) requieren grandes diámetros de tubería para tener pérdidas de presión a costo económico mínimo (Jarret y Kelso 1978).

Características Agronómicas

Tradicionalmente, los sistemas de riego por aspersión han sido diseñados para que la velocidad promedio de aplicación no exceda la infiltración básica del suelo. Al final de algunos pivotes, el promedio de velocidad de aplicación está por encima de la mayor infiltración de diseño de la mayoría de los suelos; sin embargo, estos sistemas pueden usarse en suelos sin escurrimientos excesivos operándolos a altas velocidades y con la aplicación de pequeñas cantidades de agua por revolución. Incrementando la velocidad, la lateral pasa por un punto antes de que la infiltración permitida y el valor de encharcamiento sea excedido (Dillon et al 1972).

Hay tres elementos, los cuales deben adoptarse para el buen diseño del sistema de pivote central. Estas son las

características de infiltración, los requerimientos del cultivo y del sistema de pivote central mismo.

La tasa de aplicación del sistema es afectada por el tipo de aspersores, su espaciamiento a lo largo de la lateral y por el diámetro de área mojada por aspersor. Esta tasa de aplicación varía de menos a más del punto pivote hacia el fin de la lateral porque el tiempo de aplicación por unidad de longitud de la lateral decrece del punto pivote al final de la línea (Jensen, 1980).

Metodología de Diseño Agronómico

Dillon et al. (1972) proponen la siguiente metodología para escoger el sistema de pivote central comercial que cumpla con los requerimientos del cultivo.

El uso pico de agua del cultivo depende del tipo de crecimiento del cultivo y del clima en el cual se desarrolla. Ocurre en un periodo corto de tiempo generalmente durante la etapa temprana de fructificación. Para desarrollar el sistema más económico, el sistema debe planearse para operación continua con la capacidad máxima durante este periodo. Sin embargo, un tiempo de descanso puede dársele fácilmente al sistema durante este periodo de máxima capacidad.

El gasto en el punto pivote depende del uso pico del agua, del área a regar y de la eficiencia de riego cuando el sistema se opera continuamente durante el periodo crítico de uso, el gasto está dado por:

$$QT = 18.9 * P * A / E1$$

Donde P es el uso pico del agua (Pulg/día).

(Evapotranspiración).

QT es el gasto en gpm.

A es el área irrigada por revolución en acres.

$E1$ es la eficiencia de riego en decimal.

La lámina promedio aplicada por revolución depende de la velocidad del sistema cuando el gasto es constante. La lámina aplicada disminuye conforme la velocidad de viaje aumenta. La lámina puede calcularse como sigue:

$$b = DN = DG * E1 = PH / 24$$

Donde DN es la lámina aplicada a la zona radicular en pulgadas por revolución.

DG es la lámina bruta aplicada en Pulg. por revolución.

H es el tiempo para dar una vuelta en horas.

El tiempo requerido para una revolución depende de la velocidad de la última torre y la distancia entre ésta y el punto pivote. Esta es determinada dividiendo la circunferencia que la última torre describe por su velocidad;

$$H = \frac{2 * \pi * RL}{60 * V}$$

Donde *RL* es la distancia de la última torre al punto pivote en pies.

V es la velocidad de la última torre en pies por minuto.

El valor de *RL* puede determinarse fácilmente midiendo directamente o de las especificaciones del fabricante.

La máxima lámina, que puede ser aplicada depende de la cantidad de agua retenida por el suelo en la zona radicular a capacidad de campo y por la velocidad mínima a la cual el sistema puede viajar sin que ocurra escurrimiento potencial.

En pocos casos donde el suelo tiene alta infiltración básica, la lámina máxima aplicada por revolución podría concebirse como una función de la profundidad radicular y de la cantidad de agua retenida en el suelo a capacidad de campo. Dillon et al. (1972) reportan dos tablas las cuales proporcionan profundidad de raíces de alimentación y la cantidad neta de agua retenida en el suelo elaboradas por Fry y Gray.

Los suelos de textura pesada tienen una velocidad de infiltración baja, por lo que se dificulta la aplicación de suficiente agua para llevar a estos suelos a capacidad de campo sin que se presente escurrimiento. Pero aplicaciones

pequeñas y frecuentes de agua se pueden hacer sin que ocurra escurrimiento. Para determinar la lámina máxima que debe ser aplicada por revolución en estos suelos, la velocidad mínima de viaje del sistema puede determinarse por la superposición de un patrón de distribución de precipitaciones elíptica sobre la curva de velocidad de infiltración de un suelo en particular, permitiendo cierto almacenamiento superficial. El patrón elíptico se escogió como el resultado de pruebas de campo llevados a cabo por los autores y es generalmente aceptada como una opción adecuada (Dillon et al. 1969).

La distribución del agua a lo largo de la lateral es proporcional al por ciento del área cubierta. El agua aplicada a una banda de 1 pie de tierra que encierra al pivote es proporcional al área de la banda dividida por el área total regada por el sistema, esto puede expresarse como sigue:

$$q = \frac{2 * L * QT}{\pi * R^2}$$

Donde q es el gasto para una banda de 1 pie en gpm .

L es la distancia del punto pivote a la mitad de la banda de un pie de ancho en pies.

R es el radio de cobertura del sistema en pies.

La tasa máxima de aplicación ocurre al centro del patrón puede expresarse de la siguiente forma:

$$hL = \frac{2 * qL}{\pi * rL}$$

Donde hL es la tasa máxima de aplicación al centro

del patrón elíptico en pulg/hora.

rL es la distancia a lo largo de la línea central del patrón elíptico en pies.

Entonces, sustituyendo la ecuación de gasto en la de tasa máxima y corrigiendo para las unidades se obtiene:

$$hL = \frac{122.5 * QT * L}{R^2 * rL}$$

La tasa máxima de aplicación ocurre al final del sistema: por lo que, la posibilidad de escurrimiento potencial será mayor aquí. Para obtener una aproximación de esa tasa de aplicación, L se hace igual a R y rL a r de cobertura de los últimos aspersores sobre el sistema excluyendo el cañon final. la aproximación puede escribirse entonces:

$$h = \frac{122.5 * QT}{Rr}$$

donde h es la tasa máxima aplicación de los últimos aspersores en pulgadas por hora.

El escurrimiento ocurriría cuando el almacenamiento superficial del suelo se complete. Dillon y Vittetoe (1972) reportan que el almacenamiento superficial es inversamente proporcional a la pendiente del suelo. De tal forma que, cuando la pendiente aumenta el almacenamiento superficial disminuye, como lo muestra el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Valores de encharcamiento permisible para varias pendientes del suelo.

Pendiente %	Encharcamiento Pulgadas
0 - 1	0.5
1 - 3	0.3
3 - 5	0.1

El tiempo t requerido por el patrón para pasar por un punto se determina conociendo la velocidad máxima de aplicación al centro del patrón y del valor del almacenamiento superficial permitido. La mínima velocidad de viaje de la última torre (v) en pies/min se determina con la expresión:

$$v = \frac{x}{30t}$$

donde t es el tiempo requerido en horas que el patrón elíptico tarda en pasar por un punto, antes de que el encharcamiento sea excedido.

Una ilustración conceptual de lo expuesto anteriormente se presenta en la Figura 2.1.

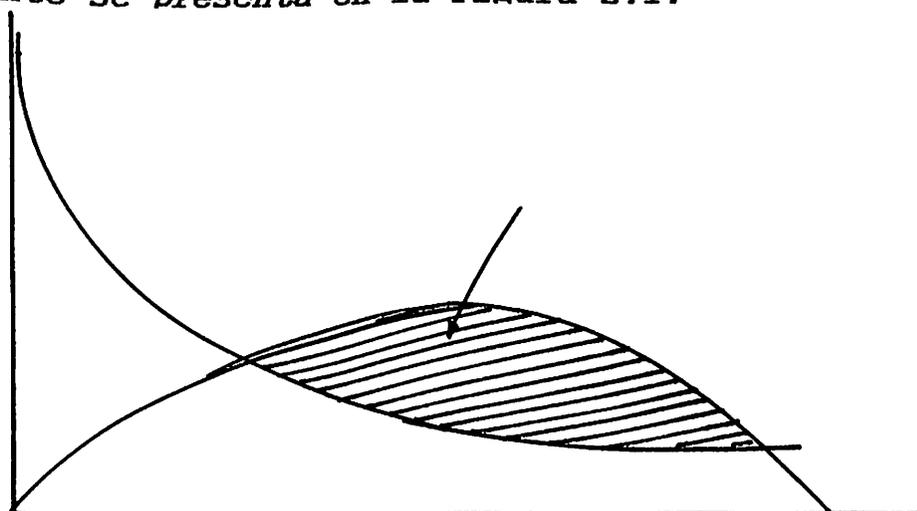


Figura 2.1. Superposición del patrón elíptico en la curva de infiltración típica del suelo.

Si la velocidad mínima de viaje es mayor que la velocidad máxima del sistema se recomienda buscar en los catálogos de fabricantes otro sistema que cumpla con los requerimientos de velocidad y longitud de la lateral reiniciando de nuevo el diseño agronómico.

Modelo de Diseño del Sistema

El modelo de diseño de pivote central implica el uso de diferentes ecuaciones matemáticas relacionadas con la selección de aspersores, boquillas, el uso o no de cañón, etc.. lo cual implica el cálculo de áreas, gastos y pérdidas por fricción.

Requisitos Fundamentales de Diseño

Para este modelo se requieren tres entradas básicas: éstas son el gasto del sistema, la longitud del sistema y el espaciamiento de aspersores. En adición se consideran muchas variables: éstas incluyen: Diámetro de la tubería y características de pérdidas por fricción, presión de operación de aspersores, disponibilidad de modelos adecuados de aspersores y sus rangos de operación, disponibilidad de cañones finales (si se usan), radio de aplicación y rangos de gasto, área de la parcela para determinar la operación del cañón y patrones de aplicación de aspersores y cañones.

Esas variables son combinadas para formar un sistema de riego que satisfaga los requerimientos del cultivo. El diseño final está limitado por el equipo producido por los fabricantes, como lo es en el caso de los tamaños de tubería, aspersores y cañones.

El modelo incluye y especifica si se desea cañón final. La velocidad máxima instantánea a lo largo de la lateral se determina basandose en el trabajo desarrollado por Dillion *et al.* (1972). El modelo también desarrolla un patrón de distribución para toda la lateral y usa las relaciones derivadas para predecir el coeficiente de uniformidad de Christiansen.

Coeficiente de uniformidad

El cálculo de la uniformidad para sistemas de movimiento continuo es diferente al utilizado para sistemas estacionados. El análisis matemático de cualquier sistema no indicará la no uniformidad en la dirección de viaje. Solamente variaciones en la velocidad de viaje se espera tengan efecto significativo en la uniformidad sobre la dirección de viaje. El parámetro de uniformidad definido por la mayoría de los investigadores asume que cada medición representa la misma área irrigada. Para pivotes centrales, sin embargo, el área irrigada por unidad de radio se incrementa de manera directa con el aumento en la distancia desde el punto pivote. El parámetro de distribución debe ser

calculado dividiendo el radio desde el punto pivote en longitudes equivalentes de áreas iguales o dividir en longitudes iguales aplicando un factor de corrección apropiado. La ecuación adecuada para cálculos el coeficiente de uniformidad para botes igualmente espaciados según *Bittinger y Longenbaugh (1982)* es:

$$CU = 1 - \frac{Di * Si - \frac{Di * Si}{Si}}{Di * Si}$$

donde *CU* es el coeficiente de uniformidad.

Si es la distancia desde el punto pivote al punto de observación.

Di Es la lámina aplicada y

N es el número total de observaciones.

Error relativo porcentual

Otra forma de evaluar la distribución de láminas aplicadas es utilizando la siguiente relación:

$$ERP = \frac{(\text{dato calculado} - \text{dato de campo}) * 100}{\text{dato de campo}}$$

donde *ERP* es el error relativo porcentual.

Singh y Yu (1987) usaron datos experimentales de 10 melgas para calibrar un modelo matemático de avance y recesión más otras melgas para verificarlo encontrando que el modelo era particularmente seguro si el número de Reynolds era menor de 2500; el error relativo promedio en avance calculado fue menor del 6 por ciento en la calibración y fue menor del 8 por ciento en la predicción; para la recesión fué de 13 por ciento. Los autores mencionan

que se podría aceptar la estimación todavía como confiable cuando los ERP sean menores del 16 por ciento y máximo del 20 por ciento; pues la recesión es más difícil de modelar.

Singh et al. (1988) desarrollaron un modelo matemático para melgas usando la ecuación de continuidad espacialmente encadenada y la relación de almacenaje tipo Muskingum. El modelo fue probado y calibrado usando 24 juegos de datos experimentales y proporcionó resultados satisfactorios. El error relativo en el avance predicho o estimado fue menor del 16 por ciento y aquel para la recesión estimado fue menor del 7 por ciento. Una comparación rápida con otros tres modelos demostró que el modelo de Muskingum es comparable en precisión.

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio

Los pivotes analizados están localizados por la carretera Saltillo - Navidad N. L. en una zona de producción de manzana y papa llamada "La Gloria" la cual consta de varios sistemas de riego: goteo, side roll, aspersión semiportátil y portátil y varios pivotes centrales: en las figuras 3.1. y 3.2. se muestra en operación uno de los sistemas evaluados.

Materiales y equipo usados

- 2 Manómetros.*
- 100 Botes colectores de 1 litro de capacidad.*
- 100 estacas de madera.*
- 1 Cinta métrica de 30 m.*
- 1 Cronómetro.*
- 1 Par de botas de hule.*
- 1 Impermeable.*
- 1 Probeta.*
- 1 Nivel de ingeniero.*
- 1 Estadal.*

Descripción de los procedimientos

Datos de Campo

Los datos que a continuación se muestran fueron los que se tomaron en campo, tanto con el sistema operando como cuando estaba estacionado:

- Presión de algunos aspersores.*
- Separación entre aspersores.*
- Diámetro de tubería y material.*
- Mecanismo de impulsión de las torres.*
- Radio de cobertura (cañón final).*
- Velocidad de avance de la última torre.*
- Distribución de lluvia y láminas aplicadas por bote.*
- Diámetro de boquilla de algunos aspersores.*
- Pendiente del terreno.*
- Radio de cobertura del cañón final.*
- Longitud de la tubería lateral.*

Procedimiento de diseño teórico

Los cálculos se realizaron utilizando el sistema inglés de unidades dado que los catálogos comerciales se presentan en dichas unidades de medición, además las especificaciones de los diferentes marcas comerciales de pivotes se presentan en este sistema de unidades; en el cuadro A7 del apéndice A se presentan los factores de

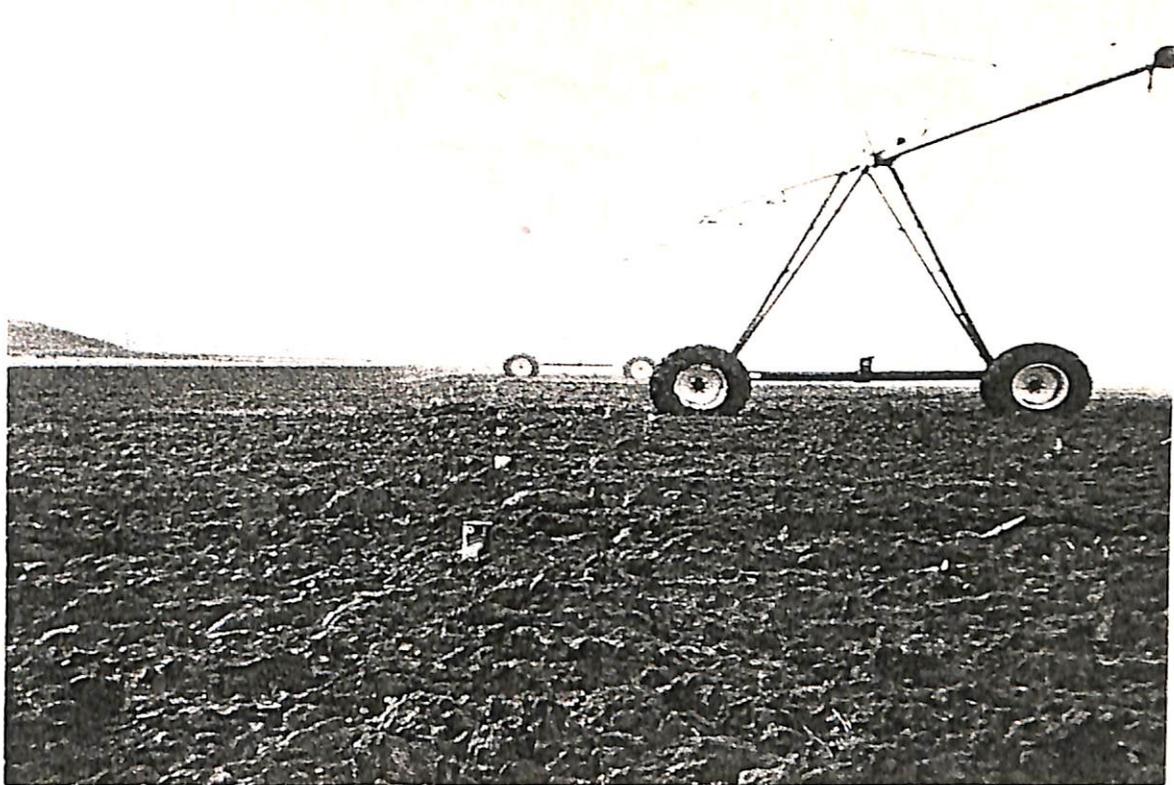


Figura 3.1. Sistema de pivote central en operacion y botes colectores de lluvia.

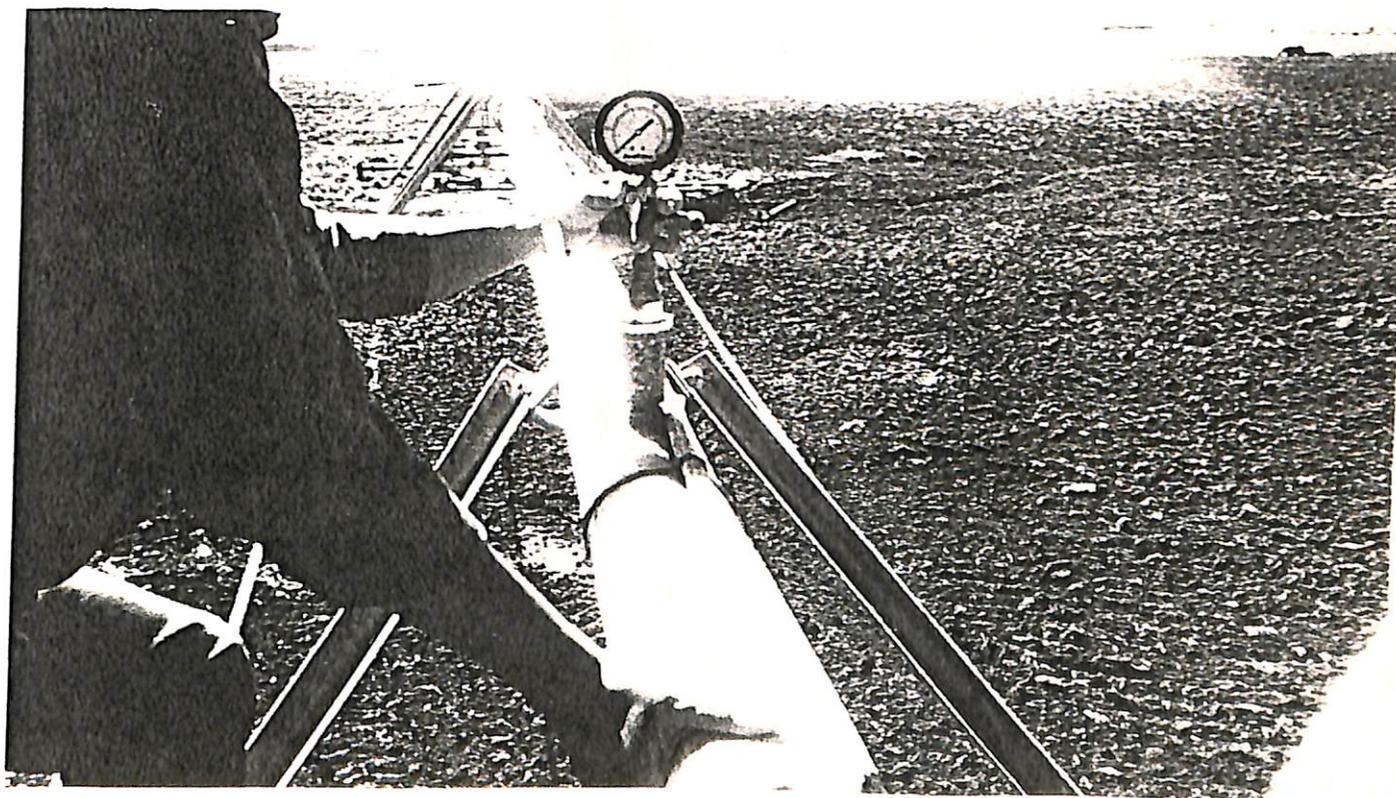


Figura 3.2. Colocación del manómetro en la evaluación de pivote central.

conversión de unidades al sistema métrico decimal con el fin de facilitar la transformación de la información proporcionada en todos los cuadros del presente trabajo.

Secuencia de Diseño

El gasto para el diseño teórico de los sistemas evaluados se tomó de acuerdo al diseño original y este dato fue proporcionado por el operador de los pivotes.

Una vez que se tuvo el gasto se utilizó la siguiente ecuación para calcular el área del sistema:

$$AT = \frac{\pi * (L^2)}{43560}$$

y para la opción de usar un cañón final ésta quedó definida como:

$$AT = \frac{\pi * (L + GR)^2}{43560}$$

donde AT es el área total en acres.

L es la longitud de la lateral en pies.

GR es el radio del cañón final en pies.

Al momento de conocer el gasto y el área del sistema se hizo la distribución de áreas y gastos. éstos se calcularon como sigue:

$$ASPi = \pi * R_j * (R_{j-1} - R_{j+1})$$

$$QSPi = QT * ASPi / AT$$

donde $ASPi$ es el área del aspersor i en acres.

R_i es la distancia desde el punto pivote al aspersor en cuestión, en pies.

QT es el gasto total del sistema en gpm.

AT es el área total en acres.

QSP_i es el gasto del aspersor i en gpm.

Para un espaciamiento uniforme de aspersores, el área de cobertura de cualquier aspersor también puede calcularse mediante:

$$ASPi = \frac{i*AT}{N*(N+1)/2}$$

y el gasto para cualquier aspersor se definió como:

$$QSP_i = \frac{i*QT}{N*(N+1)/2}$$

donde i es el número de aspersor en cuestión.

N número total de aspersores.

Antes de seleccionar los aspersores y boquillas específicos, la presión en cada punto de interés a lo largo del sistema se obtuvo aplicando el teorema de energía en donde las pérdidas se estimaron utilizando la ecuación de Hazen-Williams:

$$hf = \frac{4.727*(QR^{1.852})*L}{C^{1.852}*(Di^{4.8704})}$$

donde hf son las pérdidas de carga en pies.

QR es el gasto conducido por la tubería después del aspersor i en gpm.

C es el coeficiente de Hazen-Williams.

Di es el diámetro de la tubería en pulg.

L es la longitud de la tubería en pies.

*La distribución de presiones a lo largo de la lateral, se determinó calculando las pérdidas entre aspersores y se sumaron para obtener la caída de carga total. El gasto para el tramo de tubería *i* se hace igual al gasto total menos el gasto de los aspersores anteriores, o sea:*

$$QR = QT - QSPi$$

*donde QR es gasto restante despues del aspersor *i*; y las pérdidas en cualquier sección del sistema estaban en función de:*

$$hfi = \frac{L * 4.727 * QR^{1.852}}{C^{1.852} * Di^{4.8704}}$$

Por lo que la caída de carga total era igual a la sumatoria de todas las pérdidas parciales; y la presión en el punto pivote estaba dado por:

$$Po = P1 + Hf$$

Siendo P1 la presión requerida en los últimos aspersores en psi.

Hf la pérdida de carga total en psi .

Después de conocer la distribución de gastos por aspersor se hizo la selección del diámetro de boquillas utilizando la siguiente expresión:

$$dBi = \frac{(QSPi / K * P(i)^{0.5})^{0.5}}{64}$$

*donde dBi es el diámetro de boquilla *i* en 64avos.*

*QSPi es el gasto del aspersor *i* en gpm.*

K es una constante del aspersor consultada

archivos y previamente estimada por mínimos cuadrados para modelos comerciales.

$P(i)$ es la presión del aspersor i en psi.

Para el caso de aspersores de doble boquilla la ecuación de gasto se escribió:

$$QSPi = K*(P(i)^{0.5})*(d1^2) + K*(P(i)^{0.5})*(d2^2)$$

o de otra forma:

$$QSPi = Qf + Qd$$

donde Qf es el gasto de la boquilla fija (más pequeña) en gpm.

Qd es el gasto de la boquilla dispersante (de mayor alcance) en gpm.

Entonces asumiendo el diámetro de la boquilla fija se obtiene el gasto de la boquilla dispersante y el diámetro de ésta puede ser calculado con:

$$d2 = ((Qd/K*P(i)^{0.5})^{0.5})*64$$

Y de esta manera se obtienen los diámetros comerciales de las boquillas y modelos de aspersores para calcular la distribución real de gastos y presiones.

Cuando el pivote central estaba equipado con un cañón final se calculó el área y la lámina de aplicación del mismo con datos de diámetros de cobertura y gastos de cañones comerciales. luego se verificaba que la lámina promedio aplicada por el cañón fuera aproximadamente igual a la aplicada por todo el sistema; las ecuaciones para estos cálculos fueron:

$$Ac = \pi * Rc^2 / 43560$$

Donde Ac es el área del cañón en acres.

Rc es radio de cobertura del cañón en pies.

Una vez estimada el área de cobertura la lámina se calculaba como:

$$Lc = Qc / (18.9 * Ac)$$

Donde Lc Lámina aplicada por el cañón en pulg.

Qc Gasto del cañón en gpm.

Entonces la lámina aplicada por el sistema pudo calcularse de la siguiente forma:

$$LAM = (QT - Qc) / (18.9 * (P(i) * L^2 / 43560))$$

Cuando la lámina aplicada por el sistema era semejante a la calculada para el cañón final se aceptaba el modelo comercial obteniendo: Presión de operación constante de ecuación de gasto, ecuación completa de diámetro de cobertura y modelo comercial.

Se elaboró un programa de computadora en lenguaje PASCAL (Carroll 1988, Forsyth 1987) para realizar la secuencia anterior: el cual proporciona los siguientes resultados: Paquete de aspersores y distribución de presiones a lo largo de la lateral. Dicho programa requiere los siguientes datos de entrada:

Gasto del sistema.

Longitud de la lateral.

Diámetro de la tubería.

Presión de operación.

Opción de usar o no cañón final y de aspersores a

igual o diferente espaciamiento.

Espaciamiento entre torres y

Número total de aspersores.

Este programa cuyo listado se muestra en el apéndice B utiliza un archivo de 42 aspersores comerciales (apéndice A) incluyendo cañones finales, el cual fue elaborado a partir de un catálogo de una compañía comercial que presenta datos de diámetros de boquillas, gasto, presión de operación y diámetros de cobertura; como lo muestra el Cuadro 3.1.. a partir de estos datos se obtuvo la constante de la ecuación de gasto y las constantes para la ecuación de radio de cobertura para cada modelo.

En la obtención de la constante de gasto se utilizó el siguiente modelo:

$$q = K * d^2 * P^{0.5}$$

Donde q es el gasto del aspersor en gpm.

K es la constante de gasto.

d es el diámetro de boquilla en pulg.

P es la presión de operación en PSI.

Para el caso de radio de cobertura se empleó:

$$dc = a + (b*q)$$

Donde dc es el diámetro de cobertura en pies.

a es el valor del intercepto al origen.

b es la pendiente de la recta.

q es el gasto del aspersor en gpm.

El Cuadro 3.2. muestra el procedimiento para obtener las dos ecuaciones anteriores.

Cadro 3.1. Datos de catálogo de aspersores comerciales.

<i>ASPERSOR 14070WH</i>			
<i>BOQUILLA CD-3</i>			
<i>DIAMETRO</i>	<i>PRESION</i>	<i>COBERTURA</i>	<i>GASTO</i>
<i>Pulg</i>	<i>psi</i>	<i>pies</i>	<i>gpm</i>
<i>5/32</i>	<i>25</i>	<i>75</i>	<i>3.50</i>
	<i>30</i>	<i>77</i>	<i>3.90</i>
	<i>35</i>	<i>79</i>	<i>4.20</i>
	<i>40</i>	<i>81</i>	<i>4.50</i>
	<i>45</i>	<i>82</i>	<i>4.70</i>
	<i>50</i>	<i>83</i>	<i>5.00</i>
<i>11/64</i>	<i>25</i>	<i>76</i>	<i>4.20</i>
	<i>30</i>	<i>78</i>	<i>4.60</i>
	<i>35</i>	<i>79</i>	<i>5.00</i>
	<i>40</i>	<i>81</i>	<i>5.30</i>
	<i>45</i>	<i>82</i>	<i>5.60</i>
	<i>50</i>	<i>83</i>	<i>6.00</i>
<i>3/16</i>	<i>25</i>	<i>72</i>	<i>5.00</i>
	<i>30</i>	<i>74</i>	<i>5.40</i>
	<i>35</i>	<i>76</i>	<i>5.90</i>
	<i>40</i>	<i>78</i>	<i>6.30</i>
	<i>45</i>	<i>79</i>	<i>6.60</i>
	<i>50</i>	<i>81</i>	<i>7.00</i>
<i>13/64</i>	<i>25</i>	<i>74</i>	<i>5.80</i>
	<i>30</i>	<i>76</i>	<i>6.30</i>
	<i>35</i>	<i>78</i>	<i>6.80</i>
	<i>40</i>	<i>79</i>	<i>7.30</i>
	<i>45</i>	<i>81</i>	<i>7.70</i>
	<i>50</i>	<i>82</i>	<i>8.10</i>
<i>1/4</i>	<i>25</i>	<i>77</i>	<i>8.50</i>
	<i>30</i>	<i>80</i>	<i>9.30</i>
	<i>35</i>	<i>82</i>	<i>10.00</i>
	<i>40</i>	<i>83</i>	<i>10.70</i>
	<i>45</i>	<i>85</i>	<i>11.40</i>
	<i>50</i>	<i>86</i>	<i>12.00</i>
<i>17/64</i>	<i>25</i>	<i>79</i>	<i>9.50</i>
	<i>30</i>	<i>81</i>	<i>10.40</i>
	<i>35</i>	<i>83</i>	<i>11.30</i>
	<i>40</i>	<i>85</i>	<i>12.00</i>
	<i>45</i>	<i>86</i>	<i>12.80</i>
	<i>50</i>	<i>88</i>	<i>13.40</i>

Cuadro 3.2. Cálculo de los coeficientes para la ecuaciones de gasto y diámetro de cobertura de un aspersor.

BOQUILLA pulg	PRESION psi	DIAMETRO pies	GASTO gpm
0.15625	25	75	3.50
0.15625	30	77	3.90
0.15625	35	79	4.20
0.15625	40	81	4.50
0.15625	45	82	4.70
0.15625	50	83	5.00
0.171875	25	76	4.20
0.171875	30	78	4.60
0.171875	35	79	5.00
0.171875	40	81	5.30
0.171875	45	82	5.60
0.171875	50	83	6.00
0.1875	25	72	5.00
0.1875	30	74	5.40
0.1875	35	76	5.90
0.1875	40	78	6.30
0.1875	45	79	6.60
0.1875	50	81	7.00
0.203125	25	74	5.80
0.203125	30	76	6.30
0.203125	35	78	6.80
0.203125	40	79	7.30
0.203125	45	81	7.70
0.203125	50	82	8.10
0.25	25	77	8.50
0.25	30	80	9.30
0.25	35	82	10.00
0.25	40	83	10.70
0.25	45	85	11.40
0.25	50	86	12.00
0.265625	25	79	9.50
0.265625	30	81	10.40
0.265625	35	83	11.30
0.265625	40	85	12.00
0.265625	45	86	12.80
0.265625	50	88	13.40

Ecuación de gasto:

$$q = 27.43 * d^2 * P^{0.5}$$

Donde:

q es el gasto en gpm.

d es el diámetro de boquilla en pulgada y

P es la presión en psi.

Ecuación de diámetro de cobertura:

$$dc = 73.287 + 0.912196 * q$$

Donde:

dc es el diámetro de cobertura en pies y

q es el gasto en gpm

Para el cálculo de las láminas aplicadas primeramente se calculó la velocidad de la última torre en radianes, utilizando la siguiente expresión:

$$V_r = V_l / R_l$$

Donde V_r es la velocidad en radianes/hora,

V_l es la velocidad lineal en pies/hora,

R_l es distancia a la última torre en pies.

Después el cálculo de las láminas aplicadas se hizo utilizando:

$$\frac{Z_i * v}{r * d_{max}} = (1 - m^2)^{0.5} - m^2 * \frac{\ln((1 - m^2)^{0.5}) + 1}{/m/}$$

Donde $m = \frac{r_i - x}{r}$ $0 < /m/ < 1$

La velocidad está dada por:

$$v = w * x$$

Ahora si hacemos

$$\text{Coef} = (1 - m^2)^{0.5} - m^2 * \frac{\ln((1 - m^2)^{0.5}) + 1}{/m/}$$

la ecuación original quedaría como:

$$\frac{Z_i * (w * x)}{r * d_{max}} = \text{Coef}$$

despejando Z_i obtenemos:

$$Z_i = \frac{\text{Coef} * r * d_{max}}{w * x}$$

Donde Z_i es lámina aplicada en la posición i , en mm.

r_i posición del aspersor en pies.

r es radio de cobertura del aspersor en pies.

d_{max} es tasa máxima de precipitación mm/hr.

x es posición del bote en pies.

w es velocidad angular en radianes por hora.

En donde la tasa máxima del aspersor analizado se obtiene en el procedimiento usando:

$$d_{max} = \frac{245.48 * q}{Dc^2}$$

Donde q es gasto del aspersor en gpm.

Dc es diámetro de cobertura en pies.

Siguiendo este procedimiento se calcularon las láminas teóricas aplicadas utilizando el paquete de aspersores anteriormente seleccionado, estimando la lámina precipitada por bote, simplemente sumando las láminas parciales precipitadas por los aspersores contribuyentes del patrón traslapado.

Obtención de Datos de Campo

Se evaluaron tres sistemas de pivote central en operación midiendo la presión a lo largo de la lateral en los aspersores cercanos a las torres ya que resultaban ser los más accesibles utilizando un manómetro con boquilla pitot y en el punto pivote se leía la presión en el manómetro propio del sistema. Al mismo tiempo se obtenían los diámetros de boquillas.

La separación de aspersores se midió a partir del punto pivote para alimentar con estos datos el programa de diseño teórico, además se obtuvo la longitud de la lateral.

la distancia entre torres y el diámetro de cobertura del cañon final que en todos los casos se estaba utilizando.

La velocidad de la última torre se calculó tomando el tiempo que tardó en recorrer una distancia previamente medida y marcada con estacas sobre la circunferencia de la huella de esta torre.

La pendiente del terreno se obtuvo utilizando el nivel de topógrafo tomando lecturas desde el punto pivote hasta el final de la cobertura circular del sistema donde se hizo la evaluación, observando en todos los casos que ésta no era significativa en la distribución de presiones.

Las láminas precipitadas se colectaron en botes colocados a lo largo de la lateral espaciados cada cinco metros desde el punto pivote, midiendo con una probeta el agua colectada después que el patrón de aspersion había pasado a través de los mismos: en todos los casos se midió en los botes cercanos al punto pivote (de la primera torre hacia el punto pivote) cuando aún caía lluvia ya que en esta parte el patrón tardaba demasiado tiempo en pasar.

El gasto del sistema se tomó de datos del diseño del pivote y del sistema de bombeo y por información del operador de los sistemas.

Procedimiento de análisis de datos

Después de realizado el diseño teórico y ordenar los datos de campo obtenidos se procedió a la comparación de los mismos.

Los datos que se compararon fueron: láminas precipitadas, diámetros de boquillas y distribución de presiones a lo largo de la lateral, analizando la desviación se detectaba si se debía a errores de cálculo, a la inadecuada operación del sistema debida al desgaste, a la baja presión o a fugas.

Además se comparó la salida de otro programa de computadora de una empresa comercial proporcionada por el operador de los pivotes analizados con la salida del programa elaborado, comparando la distribución de presiones, diámetros de boquillas y distribución de gastos.

RESULTADOS Y DISCUSION.

La discusión de los resultados obtenidos se llevó a cabo primeramente probando la validez del procedimiento de cálculo con la salida de un programa comercial de diseño de pivote central para posteriormente comparar cada una de las variables de interés en cada uno de los pivotes evaluados.

Como se mencionó en el capítulo anterior se evaluaron tres pivotes centrales en operación. las características de operación y construcción se presentan en el Cuadro 4.1. observandose que todos son de alta presión. espaciamiento variable entre aspersores y utilizan cañon final. Se escogieron estos tres sistemas de siete con que se contaban por tratarse de diferente compañía de construcción.

Cuadro 4.1. Características de operación y construcción de los pivotes evaluados.

Característica	PIVOTE 1 VALLEY	PIVOTE 2 ZIMMATIC	PIVOTE 3 LOCKWOOD
Modelo	410-3	410	
No. de torres	10	9	9
Esp. entre torres (pies)	126	126	146
Gasto (gpm)	1000	670	765
Presión (psi)	60	60	70
Diámetro tubería (pulg)	6.4	6.625	5
Long. de lateral (pies)	1261	1134	1375
No. de aspersores	50	50	103
Cañon final	si	si	si
Radio de cob. Cañon (pies)	81	81	81
Vel. última torre (pies/min)	2.734	1.789	1.0583
Esp. entre aspersores	variable	variable	variable
Altura de la tubería (m)	4.10	4.10	4.10

La selección anterior se hizo con el fin de poner a prueba el procedimiento de cálculo con los criterios implicados en los sistemas de las diferentes casas comerciales, dándole mayor validez y además utilizarlo para evaluar sistemas operando.

Los datos de campo se presentan en los Cuadros 4.2., 4.3. y 4.4. para los pivotes 1, 2 y 3 respectivamente, mostrando los diámetros de boquillas y presiones para los aspersores que fué posible medir y observar, ya que por ejemplo en el caso del pivote 3 los aspersores que se anotan y no presentan diámetros de boquillas o presión es porque los carbonatos adheridos no permitieron leer el diámetro ó medir la presión, fué solamente en éste pivote donde se observaron algunos aspersores completamente tapados (números 39, 40 y 41) reflejandose ésto posteriormente en las láminas precipitadas.

Además en dichos cuadros se presentan las distancias y los modelos comerciales de los diferentes aspersores a los que se tuvo acceso.

El pivote 1 tenía 50 aspersores de impacto modelo L36AHB y un cañon final modelo 85E; a espaciamiento variable sobre la tubería lateral de 1261 pies de longitud. La tubería sostenida por 10 torres era de fierro galvanizado. La boquilla más pequeña fué de 1/8 de pulgada de diámetro para los primeros aspersores cercanos al punto pivote y la boquilla más grande de 9/16 de pulgada para el cañon final:

los aspersores de doble boquilla tenían diámetros en la boquilla dispersante que podían ser seleccionados entre las siguientes opciones: 3/16, 1/8, 7/32, 13/64, 7/16, 15/32.

Cuadro 4.2. Datos de campo del pivote 1.

No. ASPERSOR	Modelo	Distancia PP pies	Diám. de boquillas		Presión psi
			D1	D2	
3	L36AHB	123.7	1/8		58.0
4	L36AHB	149.3	1/8		57.5
8	"	274.9	3/16		54.5
9	"	299.9	13/64		54.0
16	"	526.0	13/64	3/16	50.0
17	"	551.0	13/64	3/16	49.8
20	"	626.0	7/32	7/32	47.9
21	"	651.6	13/64	13/64	47.6
26	"	751.5	13/64	3/16	45.0
27	"	768.8	13/64	3/16	44.8
32	"	868.8	13/64	3/16	44.0
33	"	886.0	7/32	7/32	43.8
39	"	1019.9	7/32	7/32	43.0
43	"	1044.9	7/32	7/32	42.8
45	"	1145.5	13/64	3/16	42.5
46	"	1170.5	13/64	3/16	42.5
50	"	1245.5	7/32	7/32	42.5
CANON	85 E	1261.0	9/16		

El pivote 2 contaba también con 50 aspersores y un cañon final modelos L36 y 85E respectivamente, a espaciamiento variable. la tubería lateral de 1134 pies de longitud de fierro galvanizado estaba sostenida por 9 torres espaciadas a 126 pies. éste sistema tenía un gasto de 670 gpm. También en este caso los diámetros de boquillas aumentaban conforme se alejaban del punto pivote y variaban desde 7/64 a 5/8 de pulgada en la boquilla dispersante.

Cuadro 4.3. Datos de campo del pivote 2.

No. ASPERSOR	Modelo	Distancia PP pies	Diám. de D1	boquillas D2	Presión psi
Punto pivote					60
3	L36	99	7/64	1/8	
4	"	124	7/64	1/8	58
8	"	224	5/32	1/8	
9	"	249	5/32	1/8	57.5
10	"	274	5/32	1/8	
13	"	349	3/16	1/8	
14	"	374	13/64	1/8	57
18	"	474	7/32	1/8	
19	"	499	15/64	1/8	56.5
23	"	599	1/4	1/8	
24	"	624	3/16	3/16	55
28	"	724	13/64	13/64	
29	"	749	13/64	13/64	53.5
34	"	858	1/4	1/8	
35	"	875	1/4	1/8	53
41	"	983	3/16	3/16	
42	"	1001	13/64	3/16	52
49	"	1113	13/64	13/64	
50	"	1129	1/4	1/4	52
CANON	85EPSH	1134	5/8	7/32	

El pivote 3 era el que más diferencias tenía con respecto a los dos anteriores ya que contaba con 104 aspersores modelos 20JH y 30H y cañon final modelo 85EPSH. además la tubería lateral de 1375 pies de longitud de fierro galvanizado sostenida por 9 torres era de 5 pulgadas de diámetro interior. Debido a ese diámetro se presentan las pérdidas de carga tan grandes que se observaron tanto en la medición como en el diseño teórico.

En este caso se observó el uso de boquillas muy pequeñas en la cercanía al punto pivote debido al número de aspersores: además se observó el uso de diámetros de boquillas iguales en tramos por la cercanía de los aspersores. los cuales cambiaban y se conservaban en el

siguiente tramo hasta llegar al cañon final que presentaba 5/8 de pulgada de diámetro de boquilla dispersante.

Cuadro 4.4. Datos de campo del pivote 3.

No. ASPERSOR	Modelo	Distancia PP pies	Diám. de boquillas		Presión psi
			D1	D2	
1	20JH	43.3	1/8		
2	20JH	61.8	1/8		
5	----	154.6	---	---	65.0
6	----	173.1	---	---	64.0
27	30H	567.3	---	---	
28	30H	577.8	---	---	48.0
29	30H	588.3	---	---	46.8
41	30H	715.7	9/64	1/8	
42	30H	726.3	9/64	1/8	41.5
43	30H	736.9	9/64	1/8	41.0
55	30H	864.3	9/64	1/8	39.8
69	30H	1012.9	5/32	1/8	
70	30H	1023.5	5/32	1/8	36.5
71	30H	1034.1	5/32	1/8	36.0
84	30H	1171.6	3/16	1/8	35.5
85	30H	1182.1	3/16	1/8	35.2
99	30H	1329.9	3/16	1/8	34.5
100	30H	1340.7	3/16	1/8	34.5
CANON	85EPSH	1342	5/8	7/32	

Verificación del Procedimiento de Cálculo.

Como se dijo anteriormente se usó la salida de otro programa de la compañía Texas International Irrigation para corroborar si el programa elaborado (etiquetados como TII y DISPIV respectivamente) realizaba el diseño acorde a lo que comercialmente se hace. Las salidas de los programas son muy similares tanto en gastos como en la distribución de presión como puede observarse en los cuadros del Apéndice A1.

Para el caso del pivote ejemplo se compararon la distribución de gastos, presiones y el paquete de boquillas

seleccionado. La distribución de gastos de ambos diseños se observa en la Figura 4.1. mostrando una cercanía entre los valores del DISPIV y los de TII; la distribución de presiones (Figura 4.2.) también es muy similar teniendo una caída de carga teórica de 15.6 psi y real de 16.2 psi y para el caso de los diámetros de boquillas (Figura 4.3.) se observan diferencias que se deben a que el programa comercial utiliza a partir del aspersor 47, aspersores de una sola boquilla y el programa elaborado seleccionó aspersores de doble boquilla desde el aspersor número 13. Dicha diferencia no es importante desde el punto de vista hidráulico ya que la presión y el gasto a lo largo de la lateral no se afecta.

En éste pivote no se realizó la comparación de láminas aplicadas ya que no se tienen los diámetros de cobertura de la salida comercial para calcular las láminas aplicadas por éste paquete de aspersores a lo largo de la lateral.

Como pudo apreciarse en la presentación de resultados anterior el programa elaborado predice aceptablemente la variación hidráulica de gastos y presiones a lo largo de la tubería pivote concordando significativamente con las tendencias de la salida comercial de computadora, por lo mismo se aplicó con mayor confiabilidad en los pivotes evaluados para buscar el paquete de aspersores y a partir de esto estimar la

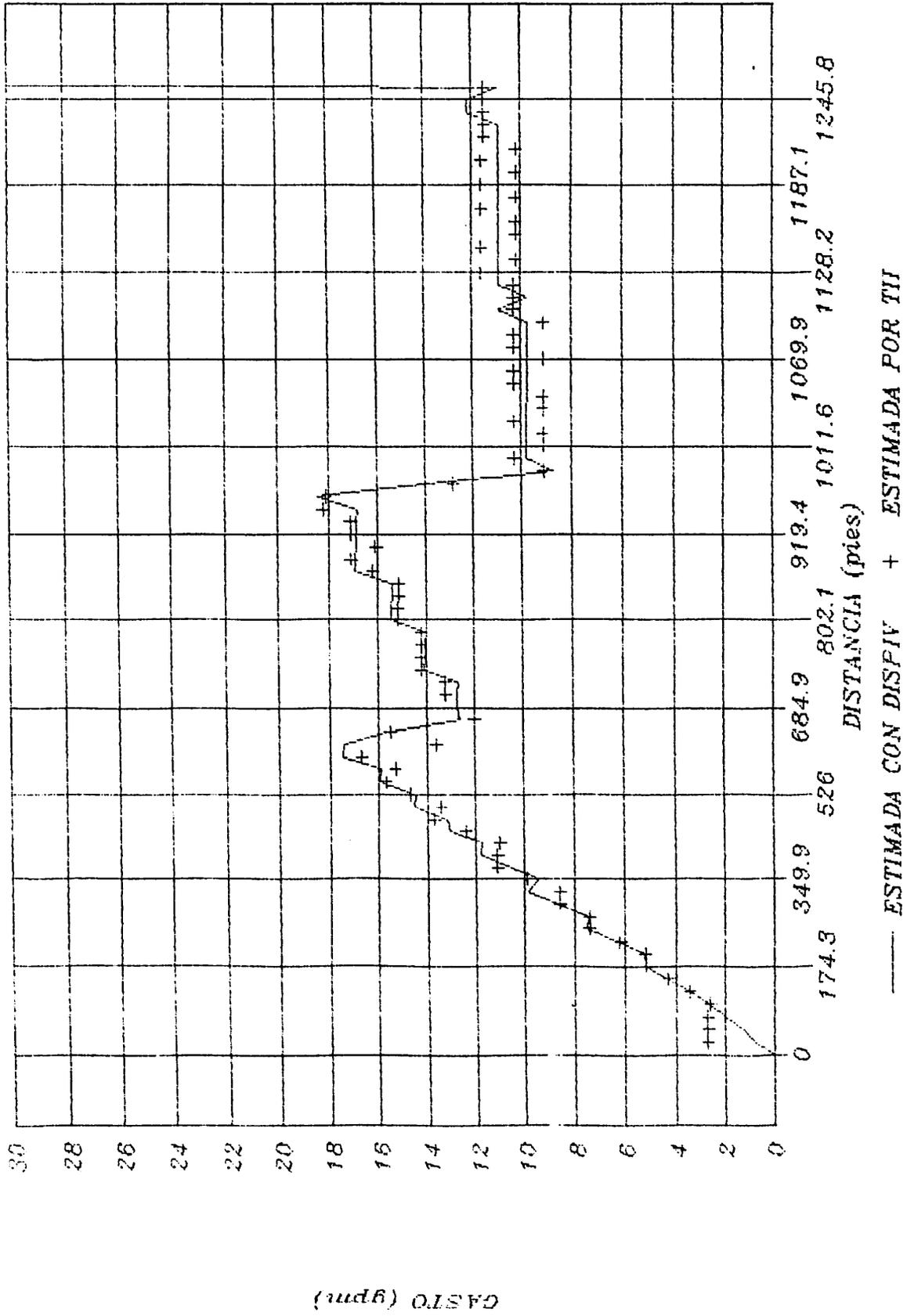


Figura 4.1. Comparación de gastos de los programas DISPIV y TII para el pivote ejemplo.

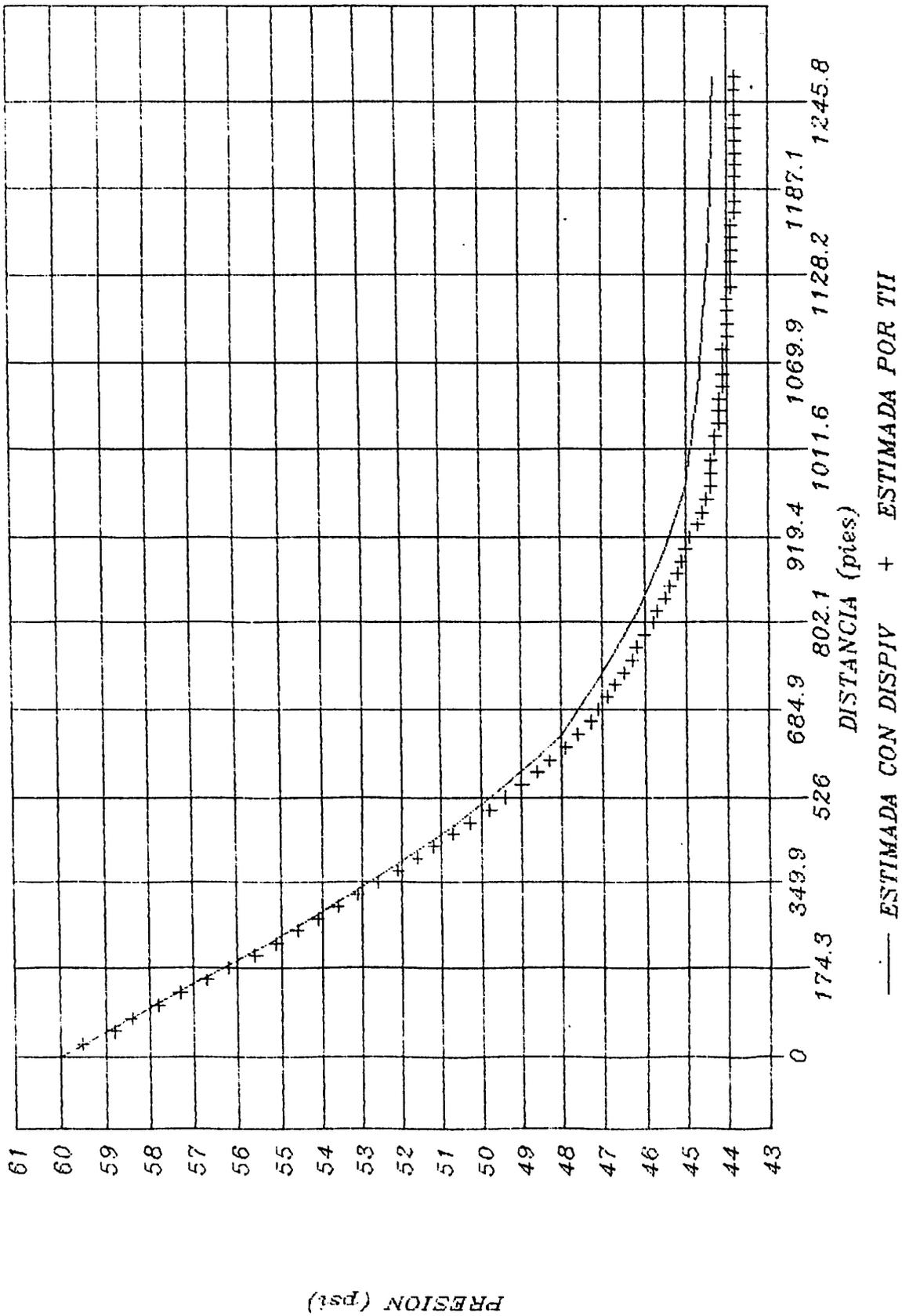


Figura 4.2. Distribución de presiones calculadas con DISPIV y

TII para el pivote ejemplo.

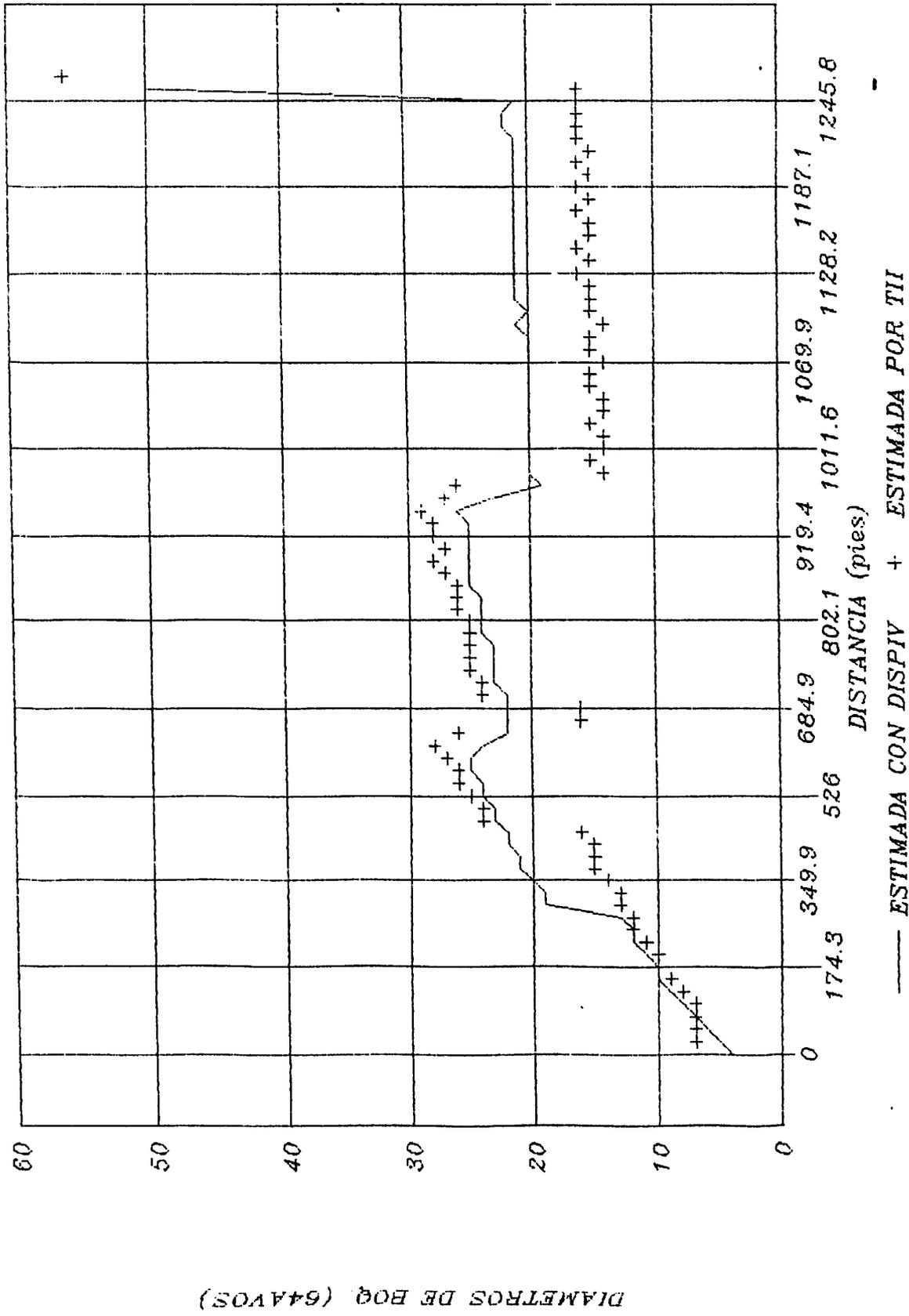


Figura 4.3. Comparación de los paquetes de boquillas obtenidas con DISPIV y TII para el pivote ejemplo.

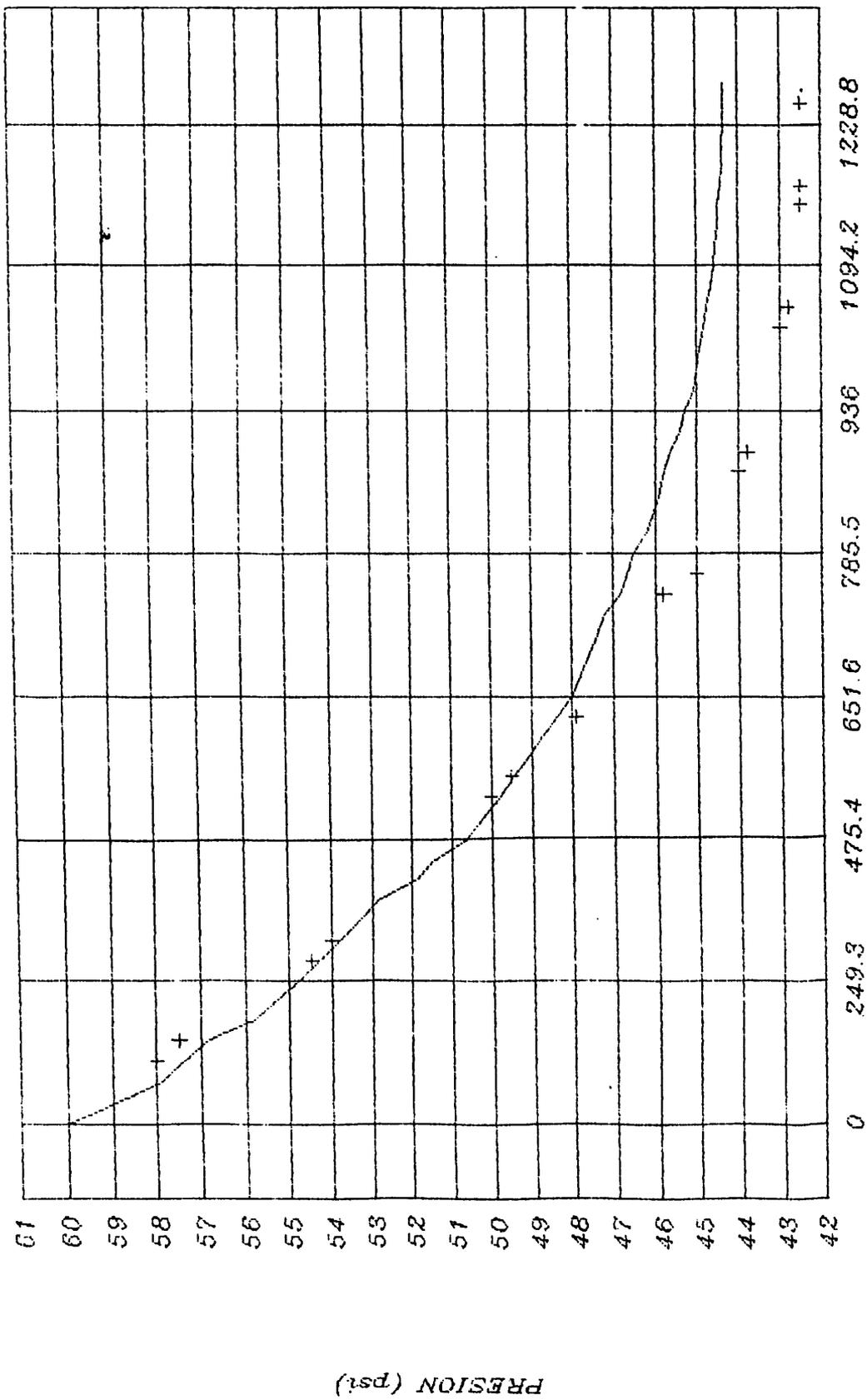
uniformidad de las precipitaciones generadas por los aspersores seleccionados a la velocidad de avance medida en el campo.

Hidráulica de los Pivotes Evaluados

Análisis de la Distribución de Presiones

Siendo la presión a lo largo de la lateral uno de los aspectos hidráulicamente más importantes, se realizó la comparación de la distribución de presiones teórica y real de los tres sistemas evaluados (Figuras 4.4., 4.5. y 4.6.) observando gran similitud entre lo medido en campo y lo calculado. La caída de presión teórica para los pivotes 1, 2 y 3 fué 15.65, 6.663 y 33.98 psi mientras que la observada fué alrededor de 17.5, 8.0 y 35.5 respectivamente; en todos los casos fué mayor la real, esto se explica por el aumento de la fricción en la tubería lateral con el tiempo de uso; aún y cuando se usó una constante de fricción de 140 en la ecuación de Hazen-Williams sugerida para fierro galvanizado.

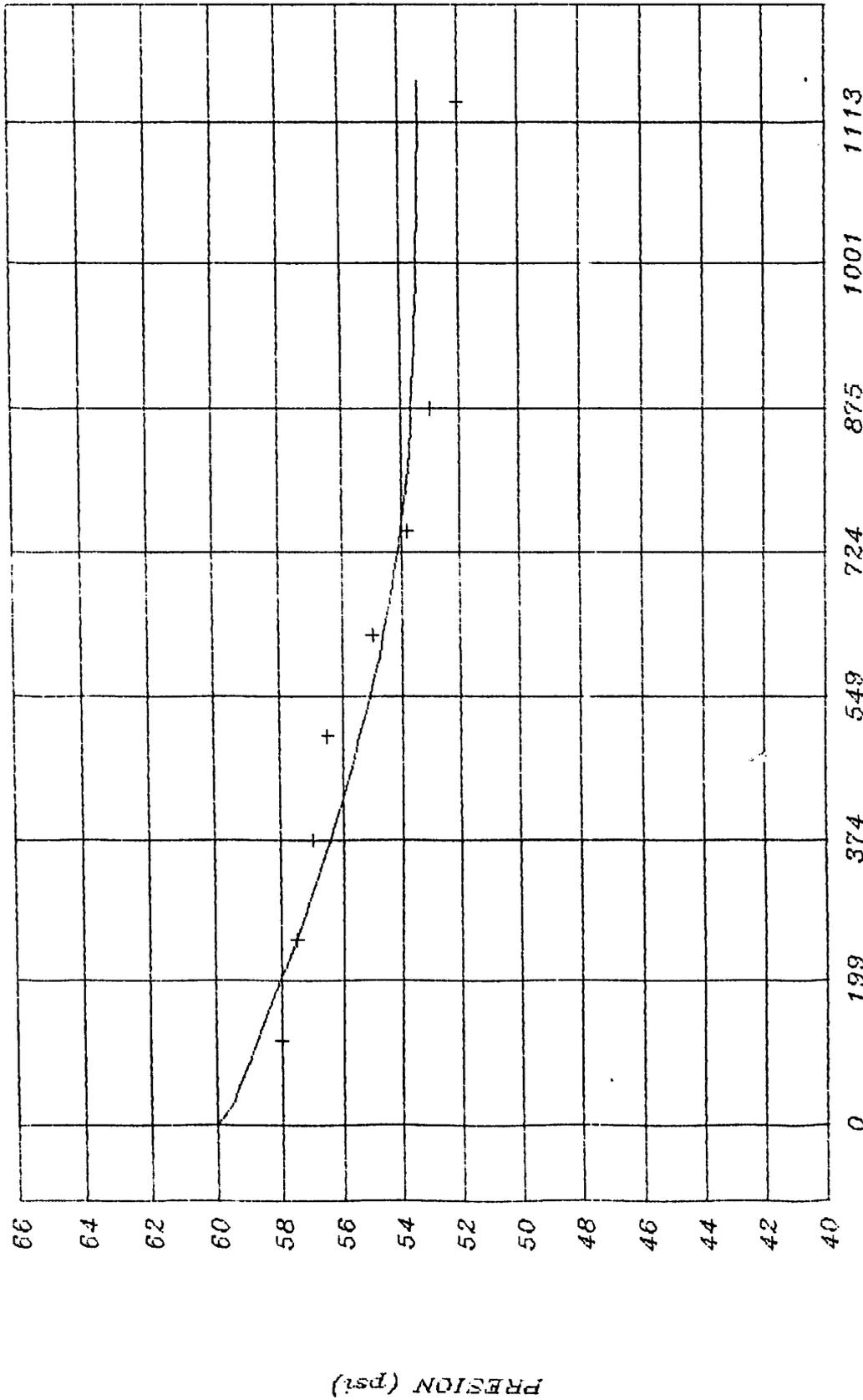
También el hecho de comparar presiones calculadas a la salida de cada aspersor con las medidas en la boquilla de los aspersores sin tomar en cuenta las pérdidas en los elevadores de los mismos podría ser otra explicación de las diferencias en la caída de presión; pero en éste caso éste hecho no tiene efecto, ya que no en todos los puntos analizados la presión real es menor que la predicha



DISTANCIA (pies)

— ESTIMADA CON DISPIV + MEDIDA EN CAMPO

Figura 4.4. Distribución de presiones calculadas con DISPIV y medida en campo para el pivote 1.



— ESTIMADO CON DISPIV + MEDIDO EN CAMPO
 Figura 4.5. Distribución de presiones calculadas con DISPIV y
 medida en campo para el pivote 2.

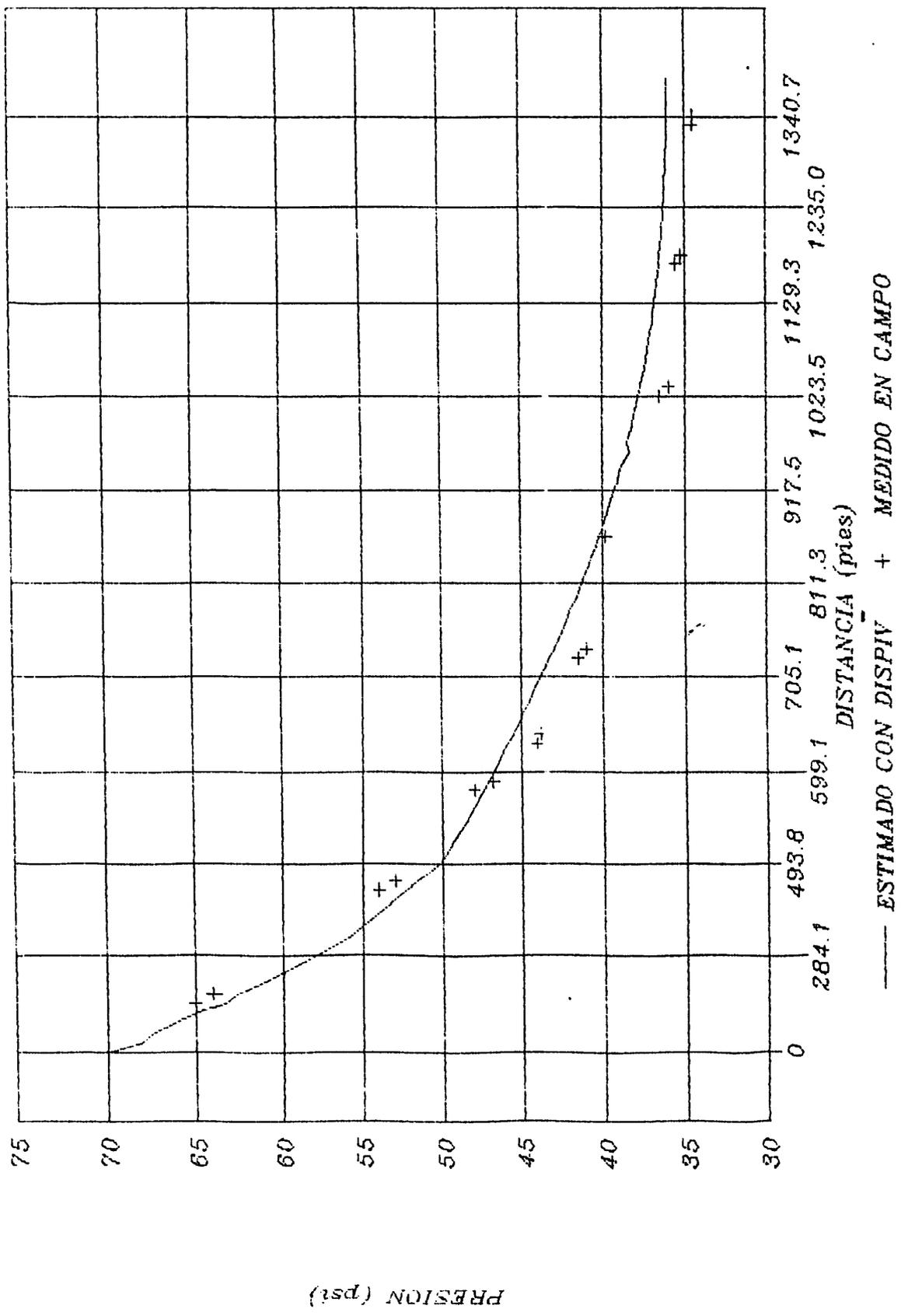


FIGURA 4.6. Distribución de presiones calculadas con DISPIV y medida en campo para el pivote 3.

teóricamente. De otra manera si fuese un error sistemático todas las presiones reales fueran menores que las teóricas.

Comparación de los Paquetes de Boquillas

Para el caso de los diámetros de boquillas la comparación no pudo establecerse con suficiente confianza por lo que se mencionaba cuando se compararon en el pivote ejemplo, ya que su diámetro puede cambiar dependiendo de varios factores como lo son: el fabricante, su constante de gasto y por el número de boquillas (una o dos); de cualquier manera se hizo la comparación que se presenta en las Figuras 4.7., 4.8. y 4.9. para los pivotes 1, 2 y 3 respectivamente, observando nuevamente diferencias en los valores teóricos y reales obtenidos; ésto servirá de base para reafirmar que no representa una desviación de procedimientos de diseño cuando se llegue al punto de análisis de las láminas aplicadas por estos diferentes paquetes de aspersores a una misma velocidad del sistema.

Uniformidad de las láminas evaluadas y calculadas

El aspecto más importante del buen diseño de un sistema de riego es la cantidad de agua que se le aplica al terreno y que cumple con los requerimientos de un cultivo en particular, en éste caso al no haber involucrado ningún cultivo, la validez del procedimiento de cálculo se prueba con la predicción de la lámina de agua que el paquete de

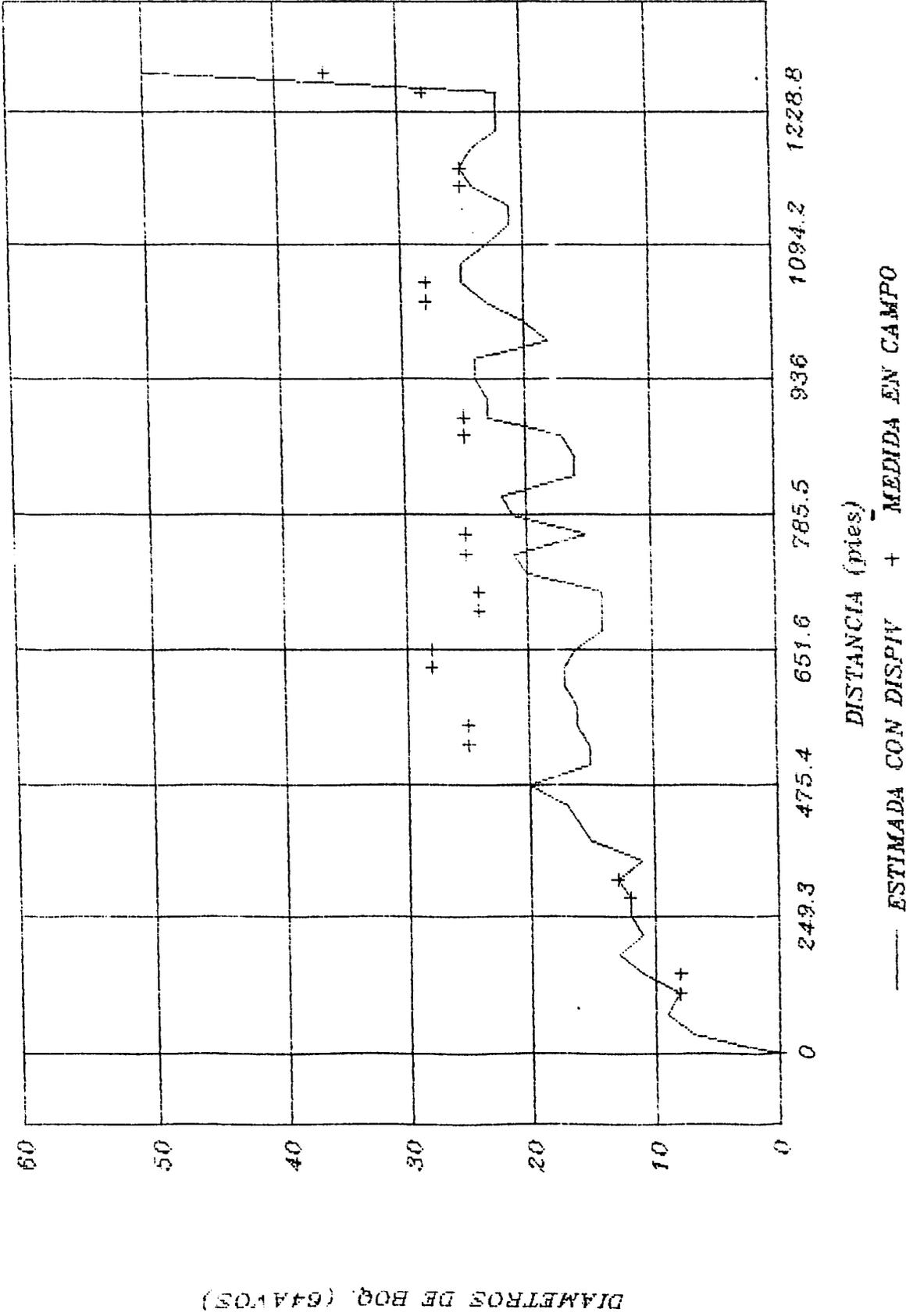
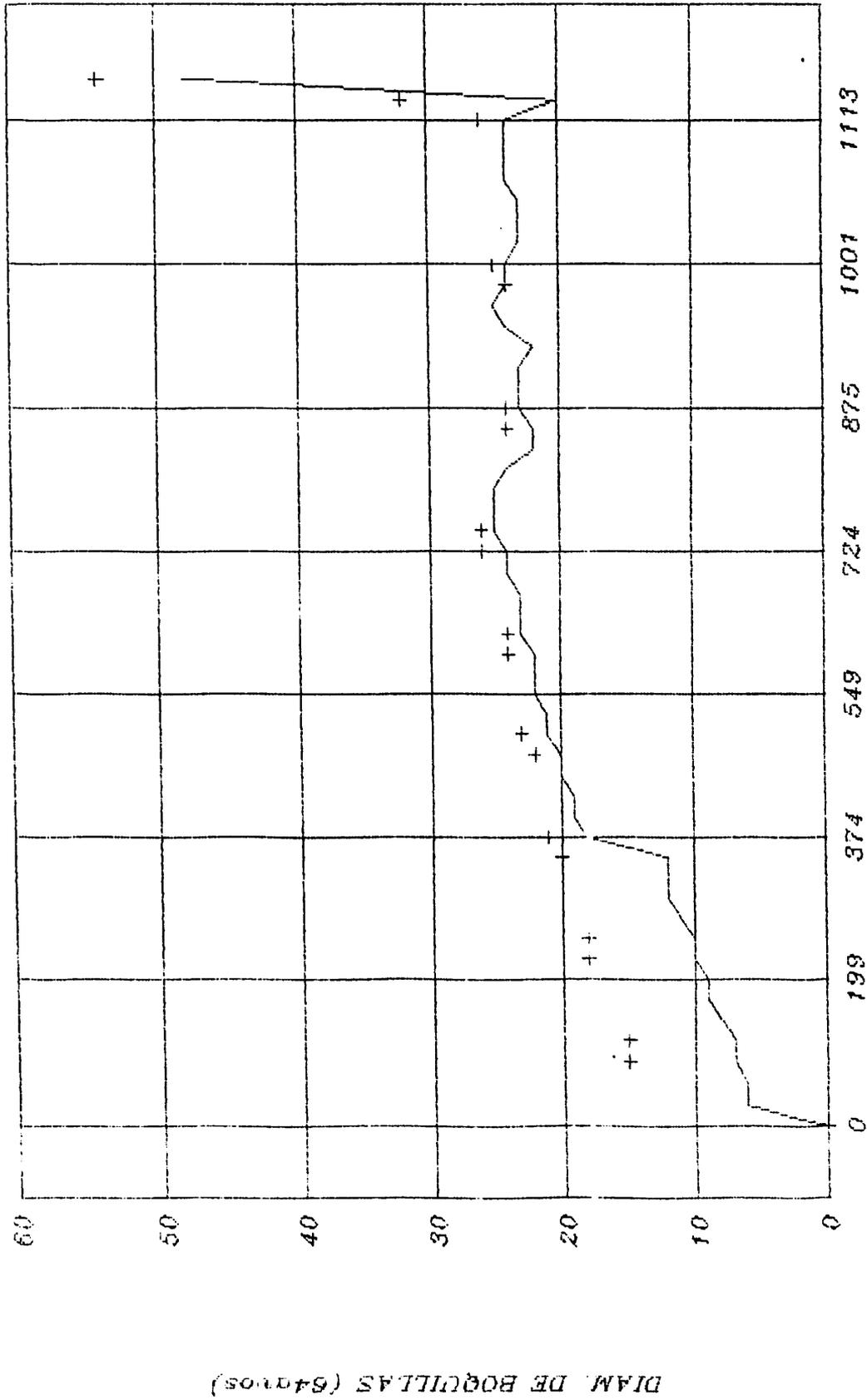
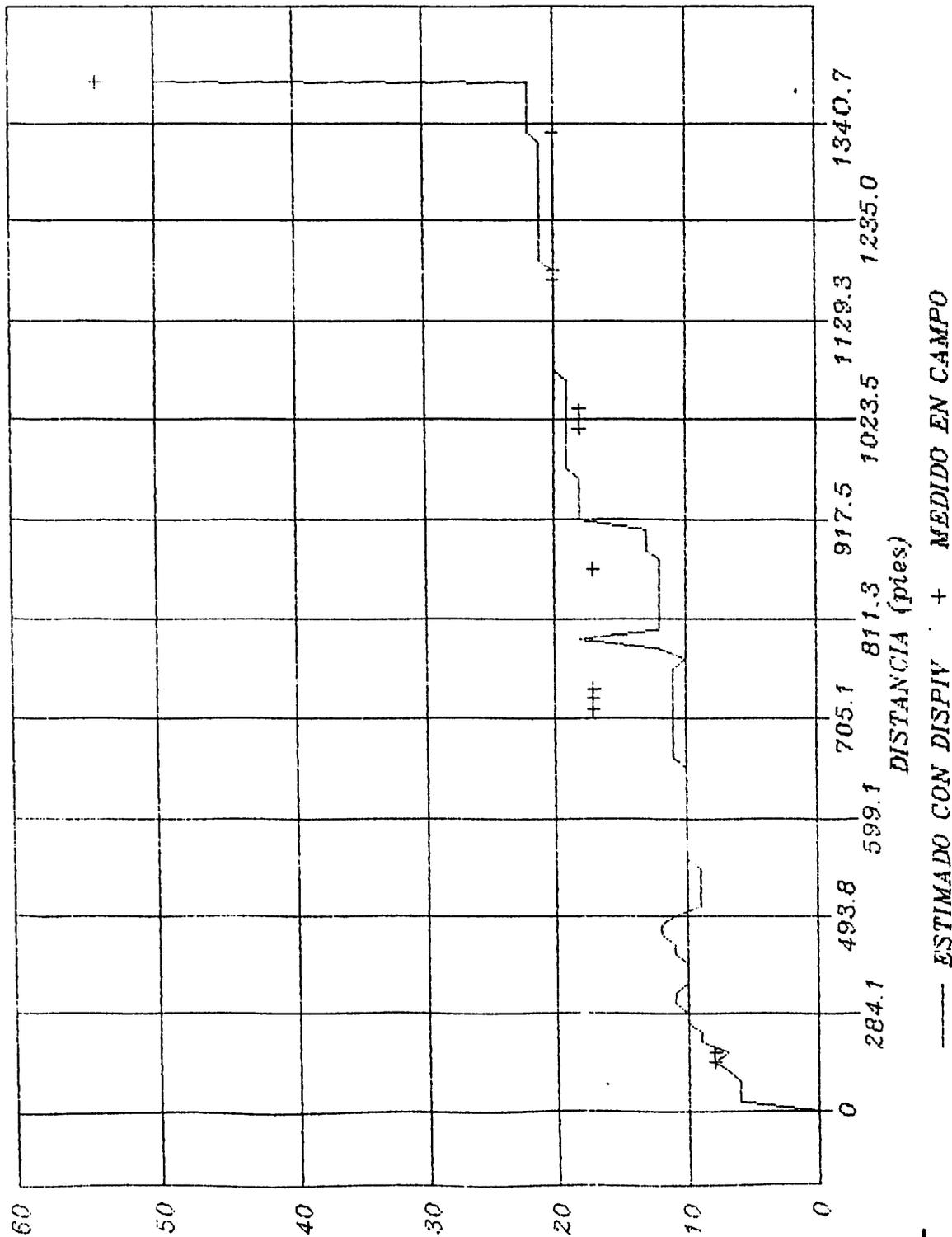


Figura 4.7. Comparación de los paquetes de boquillas obtenidos con DISPIV y observado en campo para el pivote 1.



— ESTIMADO CON DISPIV + MEDIDO EN CAMPO

Figura 4.8. Comparación de los paquetes de boquillas obtenidos con DISPIV y observado en campo para el pivote 2.



DIAM. DE BOQUILLAS (64mmos)

Figura 4.9. Comparación de los paquetes de boquillas obtenidos con DISPIV y observado en campo para el pivote 3.

aspersores seleccionado aplicaría a la velocidad a la cuál estaba operando cuando se realizó la evaluación.

Las Figuras 4.10., 4.11. y 4.12. muestran la distribución de las láminas teóricas y las medidas directamente en campo mostrando una serie de datos distribuida sobre la tendencia esperada indicando ésto una predicción bastante aceptable. El Cuadro 4.5. muestra los datos de lámina media y el coeficiente de uniformidad predicho y el calculado con datos de cada uno de los pivotes evaluados; como puede observarse las láminas medias aplicadas son muy similares con solo una diferencia de uno o dos milímetros y además el coeficiente de uniformidad es aceptable para estos sistemas de riego por aspersión. aún y cuando se utilizaron todas las láminas calculadas y medidas directamente en campo. ésto se menciona ya que algunos autores prefieren obtener el coeficiente de uniformidad sin tomar en cuenta las láminas calculadas y medidas después del fin de la lateral.

Ahora bién, en las Figuras 4.11 y 4.12 se observa la aplicación de láminas grandes alrededor del punto pivote. éste problema se ha presentado también en diseños hechos por casas comerciales (comunicación personal) y los operadores para solucionar lo anterior optan por eliminar uno o dos aspersores al inicio de la tubería; también ésto se recomienda hacer cuando se utiliza el pivote para aplicar agroquímicos con el fin de no mojar el dispositivo de inyección.

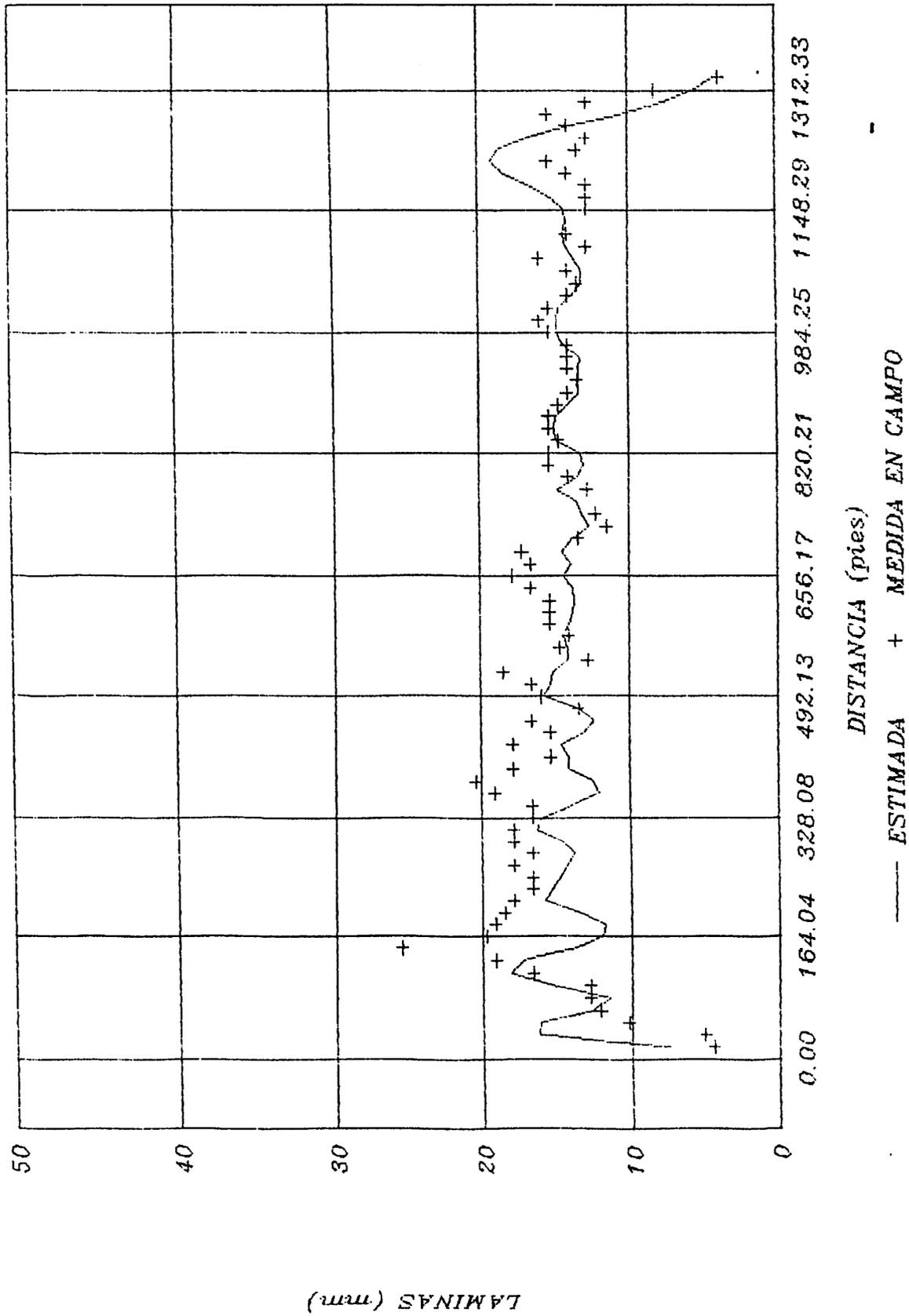


Figura 4.10. Comparación de la distribución de láminas aplicadas por el paquete de aspersores del DISPIV y las medidas en campo, para el pivote 1.

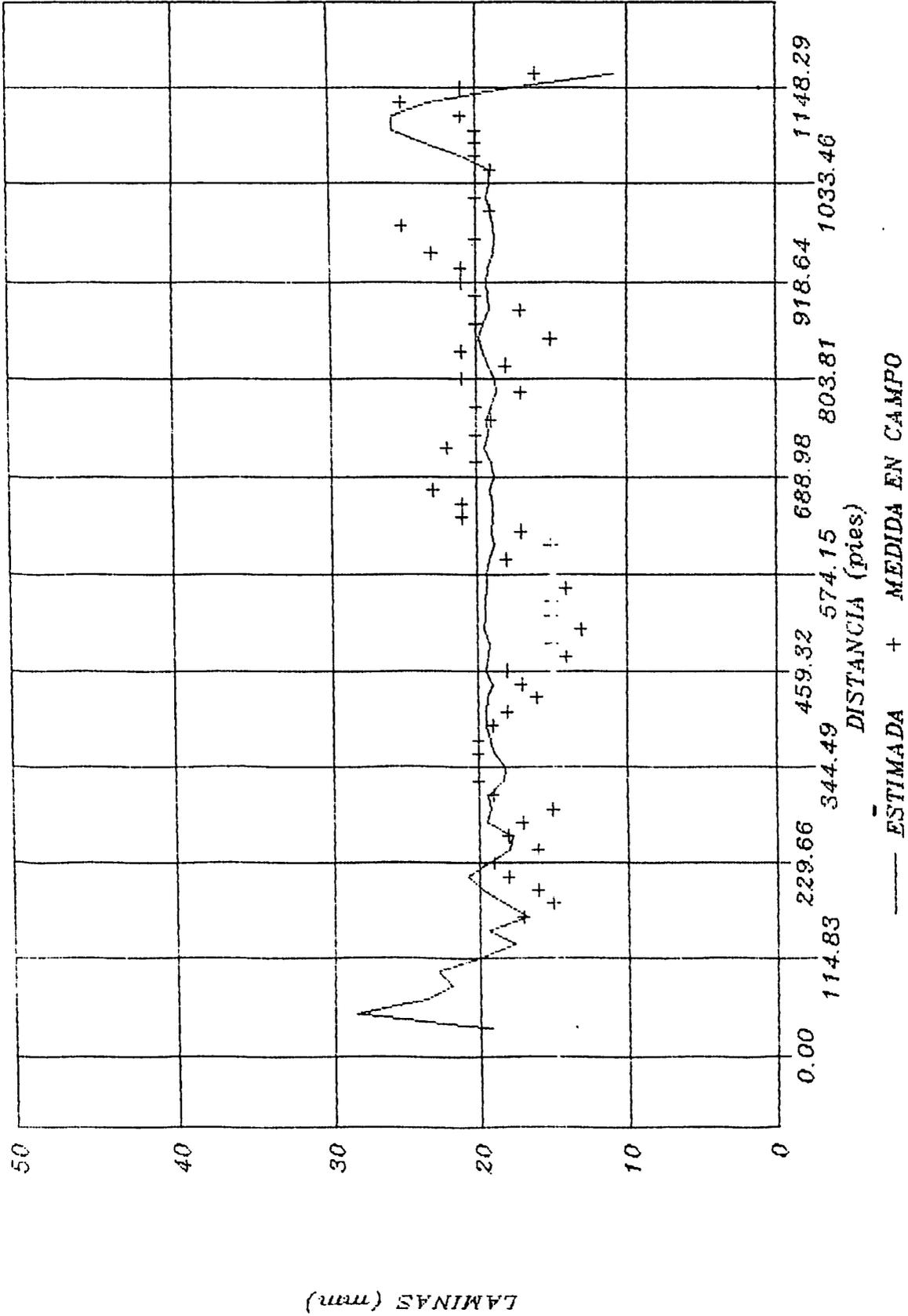


Figura 4.11. Comparación de la distribución de láminas aplicadas por el paquete de aspersores del DISPIV y las medidas en campo, para el pivote 2.

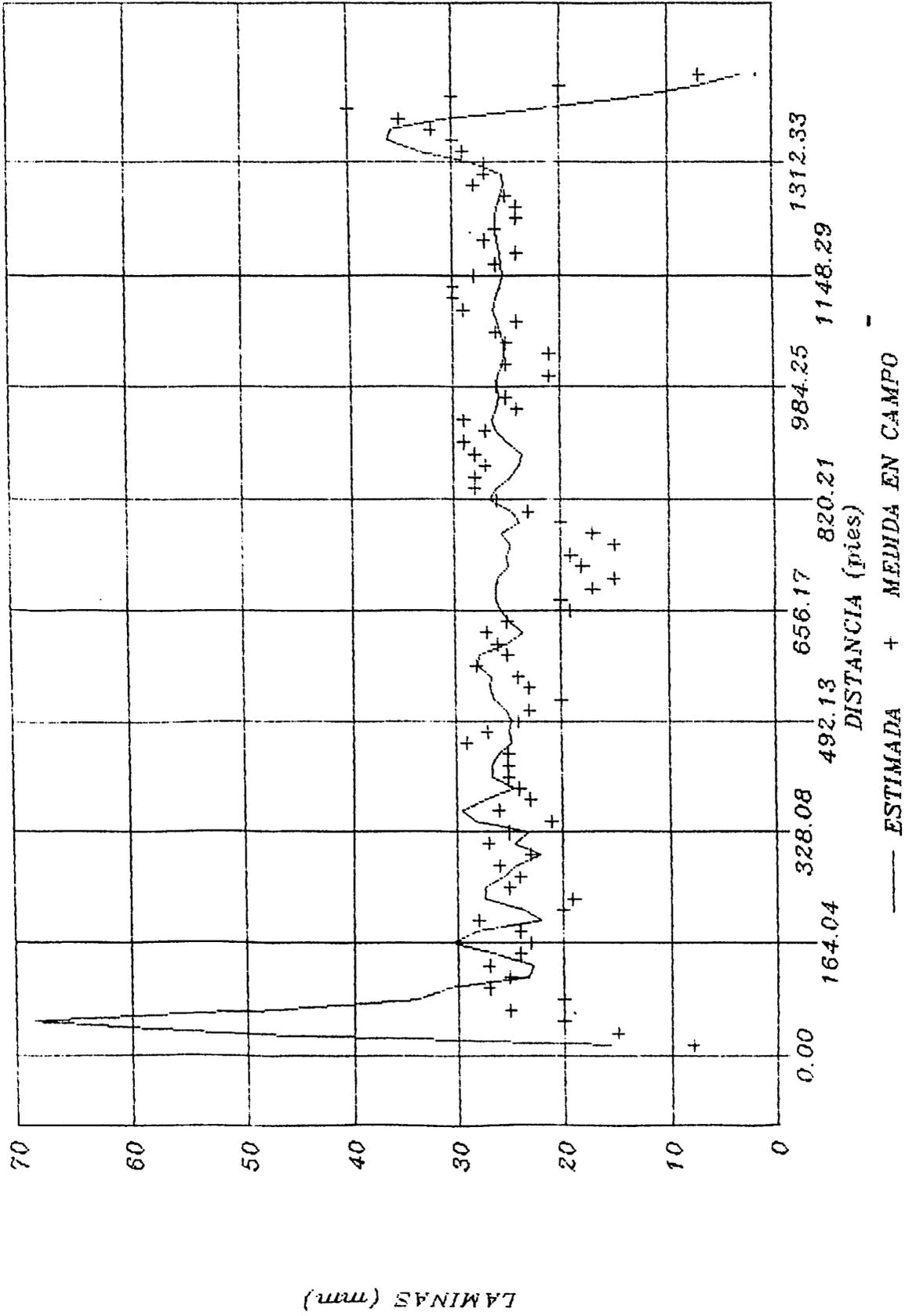


Figura 4.12. Comparación de la distribución de láminas aplicadas por el paquete de aspersores del DISPIV y las medidas en campo, para el pivote 3.

Cuadro 4.10. Lámina media y coeficiente de uniformidad teórico y real para los pivotes evaluados.

<i>Pivote</i>	<i>Lámina media (mm)</i>		<i>Coef. de Uniformidad</i>	
	<i>Teórica</i>	<i>Real</i>	<i>Teórica</i>	<i>Real</i>
<i>#1</i>	<i>13.85</i>	<i>14.84</i>	<i>0.8947</i>	<i>0.8467</i>
<i>#2</i>	<i>19.53</i>	<i>18.62</i>	<i>0.9383</i>	<i>0.8803</i>
<i>#3</i>	<i>26.42</i>	<i>24.38</i>	<i>0.8701</i>	<i>0.8580</i>

El error relativo porcentual encontrado en la distribución de láminas fué de 3.4% y en el coeficiente de uniformidad resultó de 4.6%; en otros estudios sobre validación validación de modelos se han aceptado sus predicciones como confiables cuando los errores relativos han resultado menores del 10% (Singh y Yy, 1987; Singh y Scarlatos, 1988). Por tal razón se concluye que el procedimiento hidráulico envolvente en el diseño de pivotes centarales es confiable y el programa DISPIV puede servir de base para promover y acelerar la educación ingenieril o usarse como un "sistema experto" con programas de adiestramineto / aprendizaje en irrigación.

CONCLUSIONES

Al realizar la evaluación de la metodología para el diseño de pivote central utilizando la salida del pivote ejemplo, se llega a la conclusión que la metodología utilizada se apega muy bien a lo que comercialmente se hace.

El gradiente hidráulico de los sistemas evaluados se simuló adecuadamente y solamente se observó un aumento no significativo en la fricción de la tubería lateral por el tiempo de uso (por el aumento de la rugosidad en la tubería con el paso del tiempo).

Se concluye después de realizar la retroalimentación de la metodología que ésta puede utilizarse para la evaluación de sistemas en operación y además para hacer el diseño original.

Esta secuencia de calculo también puede utilizarse para escoger un nuevo paquete de aspersores para un sistema que requiera el cambio de los mismos y estimar la uniformidad esperada con tal juego de boquillas.

Se sugiere incorporar archivos con datos de boquillas rociadoras para usar el programa en el diseño de pivote central de baja presión.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la zona de producción de manzana y papa llamada "La Gloria" localizada sobre la carretera Saltillo - México en los límites de los estados de Coahuila y Nuevo León. El objetivo fué la validación de la metodología teórica en el diseño hidráulico de pivotes centrales para escoger el paquete de boquillas y calcular la distribución de láminas aplicadas a lo largo de la tubería lateral en sistemas en operación.

Los datos de campo que se tomaron de los pivotes evaluados fueron: datos de fabricación de los sistemas (longitudes, diámetros de tuberías, No. de torres, etc.), distribución de presiones, láminas aplicadas, velocidad de la última torre, pendiente del terreno y el uso de cañon final.

Además se utilizó la salida de un programa comercial de diseño para un pivote Valley modelo 410-3 con el fin de aumentar la confiabilidad de la metodología propuesta y utilizarla con mayor confiabilidad en los sistemas evaluados.

Se elaboró un programa para la selección del paquete de boquillas, con las cuales posteriormente se calculó la distribución de láminas aplicadas. En el caso de la salida

comercial se compararon el gradiente de presiones, la distribución de gastos y el paquete de boquillas encontrando que ambas metodologías presentaban resultados similares y diferencias en los diámetros de boquillas que no alteraban los gastos aplicados.

Para los pivotes evaluados se compararon el gradiente de presiones, los paquetes de boquillas y la distribución de láminas aplicadas; se obtuvo una caída de carga total calculada para los pivotes evaluados (1, 2 y 3) de 16.7, 6.7 y 34.0 psi y la observada fué de 17.5, 8.0 y 35.5 respectivamente, en todos los casos fué mayor la medida, explicandose ésto por el aumento en la fricción de la tubería con el paso del tiempo. Ahora bién la comparación de láminas aplicadas se hizo usando como parámetro el coeficiente de uniformidad encontrando valores calculados de 0.89, 0.94 y 0.87 y los observados de 0.85, 0.88 y 0.86 para los pivotes 1, 2 y 3 respectivamente.

Como pudo observarse en los resultados obtenidos, la metodología utilizada predice aceptablemente la variación hidráulica de gastos y presiones a lo largo de la tubería lateral y por lo tanto se recomienda su uso para la evaluación de sistemas en operación y además para realizar el diseño original.

LITERATURA CITADA

- Allen, R. G. 1990. *Applicator Selection Along Center Pivots Using Soil Infiltration Parameters. Visions of the Future. Proceedings of the Third Irrigation Symposium. Phoenix, Arizona: USA.*
- Bernuth, R. D. Von and J. R. Gilley. 1985. *Evaluation of Center Pivot Application Packages Considering Droplet Induced Infiltration Reduction. TRANSACTIONS OF THE ASAE: 28(6): 1940-1946.*
- Bittinger, M. W. and R. A. Longenbaugh. 1982. *Theoretical Distribution of Water from a Moving Irrigation Sprinkler. Transactions of the ASAE. 5(1): 25-30.*
- Bralts, V. F., W. H. Shayya and M. A. riscoll. 1990. *An Expert System for the Hydraulic Design of Microirrigation Systems. Visions of the Future. Proceedings of the Third National Irrigation Symposium. Phoenix, Arizona: USA. 340-341.*
- Buckingham F. 1980. *Matching Center-Pivot Specifications to Your Needs. Published by Irrigation Age.*
- Buttermore G. W. and D. E. Eisenhower. 1989. *Calculation of Chemical Flushing Times in Center Pivot Irrigation Systems. TRANSACTIONS of the ASAE. 32(4). 1193-1196.*
- Carroll, W. D. 1988. *Programación en Turbo Pascal. Editorial Mc Graw Hill. U. S. A.*
- Chu, S. T. and L. M. Dennis. 1972. *Hydraulics of a Center Pivot System. Transactions of the ASAE. 15(5): 894-896.*
- Dillon, R. C., Jr., E. A. Hiller and G. Vittetoe. 1972. *Center Pivot Sprinkler Design Based on Intake Characteristics. Transactions of the ASAE. 15(5): 996-1001.*
- Fipps G. 1990. *Six Years of LEPA in Texas - Less Water, Highers Yields. Visions of the Future. Proceedings of the Third National Irrigation Symposium. Phoenix, Arizona. USA: 115-120.*

- Forsyth, R. S. 1987. *Pascal: Programación, Ejemplos y Aplicaciones*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona España.
- Guilley, J. R. 1984. Suitability of Reduced Pressure Center Pivots. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. ASCE. 110(IRI): 22-34.
- Guilley, J. R. and Ll. N. Mielke. 1980. Conserving Energy with Low Pressure in Center Pivots. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. ASCE. 106(IRI): 40-59.
- James, L. G. and S. K. Blair. 1984. Performance of Low Pressure Center Pivot Systems. *TRANSACTIONS of the ASAE*. 26(4). 1753-1762.
- Jarret, A. R. and G. L. Kelso. 1978. Computer Model for Center Pivot Sprinkler Design. *TRANSACTIONS of the ASAE*. 78-2003. 1-21.
- Jensen M. E. 1980. *Design and Operation of Farm Systems ASAE*.
- Kaiser, A. M. 1979. Center Pivot Milestone Sees the "Green Circle" Machine Coming of Age. *Irrigation Age*. 13(9).
- Kincaid, D. C., I. McCann, J. R. Busch and M. Hasheminia. 1990. Low Pressure Center Pivot Irrigation and Reservoir Tillage. *Visions of the Future. Proceedings of the Third National Irrigation Symposium*. Phoenix Arizona: 54-59.
- Kinkaid, D. C. and D. F. Heerman. 1970. Pressure Distribution on a Center -Pivot- Sprinkler Irrigation System. *TRANSACTIONS of the ASAE*. 13(5): 556-558.
- Kranz, W. 1988. *Selecting Packages for Center Pivots. NebGuide*. University of Nebraska. Lincoln Neb.
- Larsen, R. 1980. Spray Booms may be Answer for Loss Pressure Application Problems. *Irrigation age*. 15(2).
- Merriam, J. L. and J. Keller. 1978. *Farm Irrigation System Evaluation. A Guide For Management*. Utah State University. Logan, Utah.
- Reddy, M. J. and H. Apolayo. 1988. Friction Correction Factor For Center Pivot Irrigation Systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 114 No. 2: 183-185.

- Ruiz, R. J. C. 1988. *Modelo Computacional para el diseño de Sistemas de Riego por Pivote Central. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo Coah.*
- Singh, V. P., P. D. Scarlatos and S. A. Raudales 1988. *Muskingum Model for Border Irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 114 No. 2: 266-279.*
- Singh, V. P. and F. X. Yu 1987. *A mathematical model for Border Irrigation III. Evaluation of Models. Irrigation Science. Springer International - Verlag New York, Inc. Service Center Secaucus, 44 Hartz way Secaucus, N J 07094 USA: 191-214.*
- Witkowski, J. F., D. R. Hay, T. W. Dorn and Gold R. E. 1987. *Applyng Insecticides Trough Center Pivots. NebGuide. University of Nebraska Lincoln, Neb.*

APANDICES

APANDICE A

Cuadro A1. Datos de salida de computadora para el diseño de un pivote Valley modelo 410-3. elaborado por una casa comercial.

No.	DISTANCIA pies	QREQ rpm	PRESION psi	QREAL gpm	DIAM BOQ 64avos	MODELO
<i>PUNTO PIVOTE</i>						
1	23.8	0.7	59.5	2.7	7	L36HB
2	48.8	1.4	58.8	2.7	7	L36HB
3	73.8	2.0	58.4	2.7	7	L36HB
4	98.7	2.7	57.8	2.6	7	L36HB
5	123.7	3.5	57.3	3.4	8	L36HB
<i>TORRE No. 1</i>						
6	149.3	4.2	56.7	4.3	9	L36HB
7	174.3	4.8	56.2	5.2	10	L36HB
8	199.3	5.5	55.6	5.2	10	L36HB
9	224.3	6.2	55.1	6.2	11	L36HB
10	249.3	7.0	54.6	7.4	12	L36HB
<i>TORRE No. 2</i>						
11	274.9	7.7	54.1	7.4	12	L36HB
12	299.9	8.3	53.6	8.6	13	L36HB
13	324.9	9.0	53.1	8.6	13	L36HB
14	349.9	9.9	52.6	9.9	14	L36HB
15	374.9	10.5	52.1	11.1	15	L36HB
<i>TORRE No. 3</i>						
16	400.5	11.2	51.6	11.1	15	L36HB
17	425.4	11.8	51.2	11.0	15	L36HB
18	453.4	12.5	50.7	12.4	16	L36HB
19	475.4	13.1	50.3	13.7	24	L36HB
20	500.4	14.0	49.8	13.4	24	L36HB
<i>TORRE No. 4</i>						
21	526.0	14.7	49.4	14.7	25	L36HB
22	551.0	15.2	49.0	15.7	26	L36HB
23	576.0	15.9	48.6	15.3	26	L36HB
24	601.0	16.6	48.3	16.7	27	L36HB
25	626.0	17.5	47.9	13.6	28	L36HB
<i>TORRE No. 5</i>						
26	651.6	15.2	47.6	15.5	26	L36HB
27	668.2	12.3	47.3	12.0	16	L36HB
28	684.9	12.6	47.1	12.0	16	L36HB
29	701.6	12.9	46.9	13.2	24	L36HB
30	718.2	13.2	46.7	13.2	24	L36HB
31	734.9	13.5	46.5	14.2	25	L36HB
32	751.5	14.1	46.3	14.2	25	L36HB
<i>TORRE No. 6</i>						
33	768.8	14.4	46.2	14.2	25	L36HB
34	785.5	14.5	46.0	14.2	25	L36HB
35	802.1	14.8	45.8	15.2	26	L36HB
36	818.8	15.1	45.7	15.2	26	L36HB
37	835.5	15.4	45.5	15.1	26	L36HB
38	852.1	15.7	45.4	15.1	26	L36HB
39	868.8	16.3	45.2	16.2	27	L36HB

Cuadro A1. Continuación

TORRE No. 7						
40	886.0	16.6	45.1	17.1	28	L36HB
41	902.7	16.6	45.0	16.1	27	L36HB
42	919.4	16.9	44.9	17.1	28	L36HB
43	936.0	17.2	44.7	17.1	28	L36HB
44	952.7	17.6	44.6	18.2	29	L36HB
45	969.3	17.8	44.5	18.1	29	L36HB
46	986.0	13.6	44.4	12.8	24	L36HB
47	994.3	9.2	44.4	9.1	14	L36HB
48	1002.7	9.6	44.4	10.3	15	L36HB
TORRE No. 8						
49	1011.6	9.6	44.3	9.1	14	L36HB
50	1019.9	9.4	44.3	9.1	14	L36HB
51	1028.3	9.5	44.2	10.3	15	L36HB
52	1036.6	9.5	44.2	9.1	14	L36HB
53	1044.9	9.6	44.2	9.1	14	L36HB
54	1053.3	9.7	44.1	10.3	15	L36HB
55	1061.6	9.8	44.1	10.3	15	L36HB
56	1069.9	9.8	44.1	9.1	14	L36HB
57	1078.2	9.9	44.1	10.3	15	L36HB
58	1086.6	10.0	44.0	10.3	15	L36HB
59	1094.2	10.1	44.0	9.1	14	L36HB
60	1103.2	10.2	44.0	10.3	15	L36HB
61	1111.6	10.3	44.0	10.3	15	L36HB
62	1119.6	10.3	13.9	10.3	15	L36HB
63	1128.2	10.8	43.9	11.6	16	L36HB
TORRE No. 9						
64	1137.2	10.8	43.9	10.2	15	L36HB
65	1145.5	10.6	43.9	11.6	16	L36HB
66	1153.8	10.6	43.9	10.2	15	L36HB
67	1162.2	10.7	43.9	10.2	15	L36HB
68	1170.5	10.8	43.8	11.6	16	L36HB
69	1178.8	10.8	43.8	10.2	15	L36HB
70	1187.1	10.9	43.8	11.6	16	L36HB
71	1195.5	11.0	43.8	10.2	15	L36HB
72	1203.8	11.1	43.8	11.6	16	L36HB
73	1212.1	11.1	43.8	10.2	15	L36HB
74	1220.5	11.3	43.8	11.5	16	L36HB
75	1228.8	11.3	43.8	11.5	16	L36HB
76	1237.1	11.4	43.8	11.5	16	L36HB
77	1245.8	11.5	43.8	11.5	16	L36HB
78	1253.8	11.5	43.8	11.5	16	L36HB
TORRE No. 10						
79	1261.0		42.0	112.14	72	85E

Cuadro A2. Datos de salida del programa DISPIV para el diseño de pivote Valley modelo 410-3.

No.	DISTANCIA pies	QREQ gpm	PRESIO psi	QREAL gpm	DIAM BOQ 64avos	MODELO
PUNTO PIVOTE						
1	23.8	0.645	59.49	0.721	4	0 L2020H-CDN
2	48.8	1.355	58.96	1.122	5	0 L2020H-CDN
3	73.8	2.045	58.43	1.943	6	0 L2020H-CDN
4	98.7	2.735	57.90	2.647	7	0 30PWSH-BN
5	123.7	3.475	57.37	3.445	8	0 46AWH-BN
TORRE No. 1						
6	149.3	4.195	56.83	4.340	9	0 46AWH-BN
7	174.3	4.839	56.31	5.200	10	0 46AWH-CD3N
8	199.3	5.533	55.80	5.242	10	0 46AWH-BN
9	224.3	6.227	55.29	6.313	11	0 46AWH-BN
10	249.3	7.004	54.78	7.479	12	0 46AWH-BN
TORRE No. 2						
11	274.9	7.724	54.27	7.444	12	0 46AWH-BN
12	299.9	8.326	53.78	8.697	13	0 46AWH-BN
13	324.9	9.020	53.30	9.483	11	8 46-BN
14	349.9	9.714	52.83	9.441	11	8 46-BN
15	374.9	10.533	52.37	10.568	12	8 46-BN
TORRE No. 3						
16	400.5	11.230	51.90	11.786	13	8 46-BN
17	425.4	11.787	51.46	11.735	13	8 46-BN
18	453.4	12.504	51.03	13.040	14	8 46-BN
19	475.4	13.198	50.61	13.129	14	8 14070H-BN
20	500.4	14.059	50.20	14.534	15	8 14070H-BN
TORRE No. 4						
21	526.0	14.779	49.79	14.475	15	8 14070H-BN
22	551.0	15.297	49.40	15.966	16	8 14070H-BN
23	576.0	15.991	49.03	15.906	16	8 14070H-BN
24	601.0	16.686	48.68	17.482	17	8 14070H-BN
25	626.0	17.588	48.33	17.420	17	8 14070H-BN
TORRE No. 5						
26	651.6	15.268	47.99	15.736	16	8 14070H-BN
27	668.2	12.355	47.78	12.619	14	8 46-BN
28	684.9	12.702	47.58	12.730	14	8 14070H-BN
29	701.6	12.973	47.38	12.704	14	8 14070H-BN
30	718.2	13.280	47.19	12.678	14	8 14070H-BN
31	734.9	13.588	47.00	14.064	15	8 14070H-BN
32	751.5	14.146	46.82	14.037	15	8 14070H-BN
TORRE No. 6						
33	768.8	14.514	46.64	14.011	15	8 14070H-BN
34	785.5	14.524	46.48	13.986	15	8 14070H-BN
35	802.1	14.831	46.32	15.459	16	8 14070H-BN
36	818.8	15.185	46.17	15.434	16	8 14070H-BN
37	835.5	15.448	46.02	15.409	16	8 14070H-BN
38	852.1	15.755	45.88	15.386	16	8 14070H-BN
39	868.8	16.354	45.75	16.948	17	8 14070H-BN

Cuadro A2. continuacion.

TORRE No. 7							
40	886.0	16.677	45.62	16.924	17	8	14070H-BN
41	902.7	16.741	45.50	16.902	17	8	14070H-BN
42	919.4	17.000	45.39	16.881	17	8	14070H-BN
43	936.0	17.307	45.28	16.862	17	8	14070H-BN
44	952.7	17.616	45.18	16.843	17	8	14070H-BN
45	969.3	17.922	45.09	18.494	18	8	14070H-BN
46	986.0	13.687	45.00	13.762	15	8	14070H-BN
47	994.3	9.220	44.96	8.71	11	8	46-BN
48	1002.7	9.632	44.92	9.788	12	8	46-BN
TORRE No. 8							
49	1011.6	9.661	44.88	9.784	12	8	46-BN
50	1019.9	9.457	44.85	9.78	12	8	46-BN
51	1028.3	9.535	44.81	9.776	12	8	46-BN
52	1036.6	9.555	44.78	9.773	12	8	46-BN
53	1044.9	9.689	44.75	9.769	12	8	46-BN
54	1053.3	9.767	44.72	9.766	12	8	46-BN
55	1061.6	9.785	44.69	9.763	12	8	46-BN
56	1069.9	9.862	44.66	9.76	12	8	46-BN
57	1078.2	9.998	44.63	9.757	12	8	46-BN
58	1086.6	9.653	44.61	9.754	12	8	46-BN
59	1094.2	10.086	44.59	9.752	12	8	46-BN
60	1103.2	10.659	44.56	10.921	13	8	46-BN
61	1111.6	10.308	44.54	9.747	12	8	46-BN
62	1119.6	10.322	44.52	10.916	13	8	46-BN
63	1128.2	10.837	44.50	10.913	13	8	46-BN
TORRE No. 9							
64	1137.2	10.924	44.48	10.911	13	8	46-BN
65	1145.5	10.558	44.47	10.909	13	8	46-BN
66	1153.8	10.699	44.45	10.907	13	8	46-BN
67	1162.2	10.777	44.44	10.906	13	8	46-BN
68	1170.5	10.789	44.43	10.904	13	8	46-BN
69	1178.8	10.865	44.42	10.903	13	8	46-BN
70	1187.1	11.008	44.40	10.901	13	8	46-BN
71	1195.5	11.086	44.40	10.9	13	8	46-BN
72	1203.8	11.096	44.39	10.899	13	8	46-BN
73	1212.1	11.240	44.38	10.898	13	8	46-BN
74	1220.5	11.317	44.37	10.897	13	8	46-BN
75	1228.8	11.326	44.37	10.896	13	8	46-BN
76	1237.1	11.677	44.36	12.158	14	8	46-BN
77	1245.8	11.552	44.35	12.158	14	8	46-BN
78	1253.8	10.582	44.35	10.895	13	8	46-BN
TORRE No. 10							
79	1261.0	10.582	44.35	117.279	50		102-PN

Cuadro A3. Datos de salida del programa DISPIV para el diseño del pivote 1.

No.	DISTANCIA pies	QREQ gpm	PRESION psi	QREAL gpm	DIAM BOQ 64avos	MODELO
<i>PUNTO PIVOTE</i>						
1	48.8	2.674	58.957	2.672	7	0 30PWSH-BN
2	98.7	4.105	57.896	4.380	9	0 46AWH-BN
3	123.7	3.475	57.368	3.445	8	0 46AWH-BN
<i>TORRE No. 1</i>						
4	149.3	6.267	56.832	6.401	11	0 46AWH-BN
5	199.3	8.300	55.796	8.859	13	0 46AWH-BN
6	224.3	6.227	55.287	6.314	11	0 46AWH-BN
7	249.3	7.004	54.784	7.479	12	0 46AWH-BN
<i>TORRE No. 2</i>						
8	274.9	7.724	54.277	7.445	12	0 46AWH-BN
9	299.9	8.326	53.788	8.698	13	0 46AWH-BN
10	324.9	9.020	53.307	9.484	11	8 46-BN
11	349.9	14.688	52.836	14.911	15	8 14070H-BN
<i>TORRE No. 3</i>						
12	400.5	16.790	51.909	16.366	16	8 14070H-BN
13	425.4	17.692	51.468	17.976	17	8 14070H-BN
14	475.4	19.798	50.615	19.801	20	0 70CWH-BN
15	500.4	14.059	50.206	14.536	15	8 14070H-BN
<i>TORRE No. 4</i>						
16	526.0	14.779	49.800	14.477	15	8 14070H-BN
17	551.0	15.297	49.416	15.968	16	8 14070H-BN
18	576.0	15.991	49.045	15.908	16	8 14070H-BN
19	601.0	16.686	48.687	17.484	17	8 14070H-BN
20	626.0	17.588	48.344	17.422	17	8 14070H-BN
<i>TORRE No. 5</i>						
21	651.6	15.268	48.007	15.738	16	8 14070H-BN
22	668.2	12.355	47.797	12.621	14	8 46-BN
23	684.9	12.702	47.591	12.732	14	8 14070H-BN
24	701.6	12.973	47.393	12.705	14	8 14070H-BN
25	718.2	19.899	47.202	19.122	20	0 70CWH-BN
26	751.5	21.114	46.837	21.000	21	0 70CWH-BN
<i>TORRE No. 6</i>						
27	768.8	14.514	46.658	14.013	15	8 14070H-BN
28	785.5	21.808	46.491	20.922	21	0 70CWH-BN
29	818.8	22.732	46.179	22.885	22	0 70CWH-BN
30	835.5	15.448	46.032	15.411	16	8 14070H-BN
31	852.1	15.755	45.894	15.388	16	8 14070H-BN
32	868.8	16.354	45.760	16.950	17	8 14070H-BN
<i>TORRE No. 7</i>						
33	886.0	24.893	45.630	24.864	23	0 70CWH-BN
34	919.4	25.525	45.398	24.800	23	0 70CWH-BN
35	936.0	25.934	45.292	26.972	24	0 70CWH-BN
36	969.3	26.911	45.099	26.915	24	0 70CWH-BN
37	986.0	18.286	45.012	18.478	18	8 14070H-BN
38	1002.7	18.874	44.931	18.656	20	0 70CWH-BN

Cuadro A3. continuacion.

TORRE No. 8							
39	1019.9	23.898	44.854	24.651	23	0	70CWH-BN
40	1044.9	29.009	44.750	29.092	25	0	70CWH-BN
41	1069.9	29.288	44.667	29.064	25	0	70CWH-BN
42	1094.2	25.335	44.594	24.580	23	0	70CWH-BN
43	1111.6	20.986	44.548	20.480	21	0	70CWH-BN
44	1128.2	21.236	44.509	20.471	21	0	70CWH-BN
TORRE No. 9							
45	1145.5	26.905	44.474	26.728	24	0	70CWH-BN
46	1170.5	32.496	44.431	31.914	25	8	70CSPH-BN
47	1195.5	27.615	44.398	26.705	24	0	70CWH-BN
48	1212.1	22.412	44.381	22.435	22	0	70CWH-BN
49	1228.8	22.994	44.367	22.432	22	0	70CWH-BN
50	1245.8	22.274	44.356	22.429	22	0	70CWH-BN
TORRE No. 10							
51	1261.0	117.072	44.349	117.281	50		102D-PN

Cuadro A4. Datos de salida del programa DISPIV para el diseño del pivote 2.

No.	DISTANCIA pies	QREQ gpm	PRESION psi	QREAL gpm	DIAM BOQ 64avos	MODELO
PUNTO PIVOTE						
1	49	1.704	59.501	1.960	7	0 L2020H-CDN
2	74.0	1.739	59.248	1.956	7	0 L2020H-CDN
3	99	2.326	58.996	2.657	7	0 L2020H-CDN
4	124	2.914	58.745	2.667	7	0 30PWSH-BN
TORRE No. 1						
5	149	3.501	58.497	3.479	8	0 46AWH-BN
6	174	4.089	58.251	4.394	9	0 46AWH-BN
7	199	4.676	58.008	4.275	9	0 46AWH-CD3N
8	224	5.264	57.767	5.267	10	0 46AWH-CD3N
9	249	5.851	57.531	5.323	10	0 46AWH-BN
TORRE No. 2						
10	274	6.439	57.298	6.427	11	0 46AWH-BN
11	299	7.026	57.069	7.634	12	0 46AWH-BN
12	324	7.613	56.846	7.619	12	0 46AWH-BN
13	349	8.201	56.627	7.604	12	0 46AWH-BN
14	374	8.788	56.414	8.649	10	8 46-BN
TORRE No. 3						
15	399	9.376	56.206	9.738	11	8 46-BN
16	424	9.963	56.004	9.721	11	8 46-BN
17	449	10.551	55.809	10.91	12	8 46-BN
18	474	11.138	55.620	10.891	12	8 46-BN
19	499	11.726	55.437	12.181	13	8 46-BN
TORRE No. 4						
20	524.0	12.313	55.262	12.161	13	8 46-BN
21	549	12.901	55.094	13.55	14	8 46-BN
22	574	13.488	54.934	13.53	14	8 46-BN
23	599	14.075	54.762	13.66	14	8 14070H-BN
24	624	14.663	54.637	15.164	15	8 14070H-BN
TORRE No. 5						
25	649.0	15.25	54.500	15.145	15	8 14070H-BN
26	674	15.838	54.371	15.127	15	8 14070H-BN
27	699	16.425	54.250	16.731	16	8 14070H-BN
28	724	17.013	54.137	16.713	16	8 14070H-BN
29	749	17.6	54.032	18.419	17	8 14070H-BN
TORRE No. 6						
30	774.0	18.188	53.935	18.402	17	8 14070H-BN
31	799	18.775	53.847	18.387	17	8 14070H-BN
32	824	16.265	53.766	16.656	16	8 14070H-BN
33	841	13.438	53.716	13.526	14	8 14070H-BN
34	858	13.71	53.669	13.521	14	8 14070H-BN
35	875	14.393	53.626	15.023	15	8 14070H-BN
TORRE No. 7						
36	893.0	15.108	53.584	15.017	15	8 14070H-BN
37	911	15.413	53.546	15.011	15	8 14070H-BN
38	929	13.535	53.512	13.501	14	8 14070H-BN
39	942	15.937	53.489	16.613	16	8 14070H-BN
40	965	18.594	53.454	18.32	17	8 14070H-BN
41	983	16.631	53.430	16.604	16	8 14070H-BN
42	1001	15.995	53.409	16.6	16	8 14070H-BN

Cuadro A4. continuación.

TORRE No. 8							
43	1017.0	15.295	53.393	14.99	15	8	14070H-BN
44	1033	15.535	53.380	14.988	15	8	14070H-BN
45	1049	15.776	53.368	14.986	15	8	14070H-BN
46	1065	16.016	53.359	16.593	16	8	14070H-BN
47	1081	16.257	53.351	16.591	16	8	14070H-BN
48	1097	16.498	53.345	16.590	16	8	14070H-BN
49	1113	16.738	53.341	16.59	16	8	14070H-BN
50	1129	11.142	53.338	10.666	12	8	46-BN
TORRE No. 9							
51	1134	65.645	53.337	64.923	34	14	85EPSH-CD5N

Cuadro A5. Datos de salida del programa DISPIV para el diseño del pivote 3.

No.	DISTANCIA pies	QREQ gpm	PRESION psi	QREAL gpm	DIAM BOQ 64avos	MODELO
PUNTO PIVOTE						
1	43.3	0.994	68.125	2.097	6	0 30PWSH-BN
2	61.8	1.061	67.326	2.085	6	0 30PWSH-BN
3	89.5	1.845	66.134	2.073	6	0 30PWSH-BN
4	117.3	2.837	64.942	2.804	7	0 30PWSH-BN
TORRE No. 1						
5	154.6	3.205	63.354	3.617	8	0 30PWSH-BN
6	173.1	2.977	62.573	2.752	7	0 30PWSH-BN
7	200.9	4.142	61.407	4.511	9	0 46AWH-BN
8	228.6	4.730	60.259	4.357	9	0 46AWH-CD3N
9	256.6	5.291	59.111	5.328	10	0 46AWH-CD3N
10	284.1	5.868	57.998	5.344	10	0 46AWH-BN
TORRE No. 2						
11	312.2	6.483	56.876	6.404	11	0 46WH-BN
12	340.0	5.848	55.784	6.342	11	0 46WH-BN
13	358.5	4.928	55.069	5.142	10	0 46AWH-CD3N
14	377.0	5.182	54.364	5.174	10	0 46WH-BN
15	395.5	5.436	53.668	5.141	10	0 46WH-BN
16	414.0	5.961	52.981	6.180	11	0 46WH-BN
17	432.5	6.073	52.305	6.141	11	0 46WH-BN
TORRE No. 3.						
18	451.8	6.764	51.612	7.260	12	0 46WH-BN
19	472.8	7.377	50.872	7.207	12	0 46WH-BN
20	493.8	5.779	50.146	6.013	11	0 46WH-BN
21	504.3	3.934	49.790	4.062	9	0 46AWH-BN
22	514.8	4.016	49.437	4.048	9	0 46AWH-BN
23	525.3	4.098	49.088	3.933	9	0 46AWH-CD3N
24	535.8	4.180	48.743	3.919	9	0 46AWH-CD3N
25	546.3	4.262	48.402	3.905	9	0 46AWH-CD3N
26	556.8	4.344	48.064	4.804	10	0 46AWH-CD3N
27	567.3	4.426	47.731	4.787	10	0 46AWH-CD3N
28	577.8	4.508	47.403	4.771	10	0 46AWH-CD3N
29	588.3	4.655	47.079	4.755	10	0 46AWH-CD3N
TORRE No. 4						
30	599.1	4.763	46.750	4.738	10	0 46AWH-CD3N
31	609.7	4.802	46.432	4.782	10	0 46WH-BN
32	620.3	4.885	46.119	4.766	10	0 46WH-BN
33	630.9	4.969	45.810	4.750	10	0 46WH-BN
34	641.5	5.052	45.505	4.734	10	0 46WH-BN
35	652.1	5.136	45.205	4.718	10	0 46WH-BN
36	662.7	5.219	44.909	5.690	11	0 46WH-BN
37	673.3	5.303	44.618	5.672	11	0 46WH-BN
38	683.9	5.386	44.332	5.653	11	0 46WH-BN
39	694.5	5.470	44.051	5.636	11	0 46WH-BN
40	705.1	5.553	43.775	5.618	11	0 46WH-BN
41	715.7	5.637	43.505	5.600	11	0 46WH-BN
42	726.3	5.720	43.239	5.583	11	0 46WH-BN
43	736.9	5.858	42.977	5.566	11	0 46WH-BN

Cuadro A5.Continuación

TORRE No. 5						
44	747.7	5.944	42.716	5.549	11	0 46WH-BN
45	758.3	5.972	42.464	5.533	11	0 46WH-BN
46	768.9	4.627	42.217	4.559	10	0 46WH-BN
47	774.5	6.100	42.089	6.556	12	0 46WH-BN
48	790.1	7.690	41.739	7.439	10	8 46-BN
49	800.7	6.306	41.507	6.510	12	0 46WH-BN
50	811.3	6.390	41.280	6.492	12	0 46WH-BN
51	821.9	6.473	41.059	6.475	12	0 46WH-BN
52	832.5	6.557	40.842	6.458	12	0 46WH-BN
53	843.1	6.640	40.631	6.441	12	0 46WH-BN
54	853.7	6.724	40.425	6.425	12	0 46WH-BN
55	864.3	6.807	40.224	6.409	12	0 46WH-BN
56	874.9	6.891	40.027	6.393	12	0 46WH-BN
57	885.5	7.040	39.835	7.485	13	0 46WH-BN
TORRE No. 6						
58	896.3	7.126	39.646	7.467	13	0 46WH-BN
59	906.9	7.143	39.465	7.450	13	0 46WH-BN
60	917.5	7.226	39.290	7.218	10	8 46-BN
61	928.1	7.310	39.119	7.202	10	8 46-BN
62	938.7	7.393	38.954	7.187	10	8 46-BN
63	949.3	7.476	38.794	7.172	10	8 46-BN
64	959.9	7.560	38.368	7.158	10	8 46-BN
65	970.5	7.643	38.488	8.058	11	8 46-BN
66	981.1	7.727	38.343	8.043	11	8 46-BN
67	991.7	7.810	38.203	8.028	11	8 46-BN
68	1002.3	7.894	38.068	8.014	11	8 46-BN
69	1012.9	7.977	37.938	8.000	11	8 46-BN
70	1023.5	8.061	37.813	7.987	11	8 46-BN
71	1034.1	8.221	37.693	7.975	11	8 46-BN
TORRE No. 7						
72	1044.9	8.307	37.575	7.962	11	8 46-BN
73	1055.5	8.274	37.464	7.950	11	8 46-BN
74	1066.0	8.356	37.359	7.939	11	8 46-BN
75	1076.6	8.439	37.257	8.914	12	8 46-BN
76	1087.1	8.521	37.161	8.903	12	8 46-BN
77	1097.7	8.604	37.069	8.892	12	8 46-BN
78	1108.2	8.687	36.983	8.881	12	8 46-BN
79	1118.8	8.770	36.900	8.871	12	8 46-BN
80	1129.3	8.852	36.822	8.862	12	8 46-BN
81	1139.9	8.935	36.748	8.853	12	8 46-BN
82	1150.4	9.018	36.679	8.845	12	8 46-BN
83	1161.0	9.144	36.613	8.837	12	8 46-BN
84	1171.6	9.184	36.551	8.829	12	8 46-BN
85	1182.1	9.266	36.493	8.822	12	8 46-BN

Cuadro A5.Continuacion

TORRE No. 8

86	1192.7	9.393	36.439	9.875	13	8 46-BN
87	1203.3	9.432	36.389	9.868	13	8 46-BN
88	1213.8	9.515	36.343	9.862	13	8 46-BN
89	1224.4	9.643	36.300	9.856	13	8 46-BN
90	1235.0	9.681	36.261	9.851	13	8 46-BN
91	1245.5	9.763	36.226	9.846	13	8 46-BN
92	1256.1	9.846	36.194	9.842	13	8 46-BN
93	1266.6	9.881	36.165	9.838	13	8 46-BN
94	1277.1	10.011	36.139	9.834	13	8 46-BN
95	1287.7	10.094	36.116	9.831	13	8 46-BN
96	1298.2	10.176	36.095	9.829	13	8 46-BN
97	1308.8	10.259	36.077	9.826	13	8 46-BN
98	1319.3	10.342	36.062	9.824	13	8 46-BN
99	1329.9	10.573	36.048	10.960	14	8 46-BN

TORRE No. 9

100	1340.7	10.609	36.037	10.959	14	8 46-BN
101	1351.2	10.592	36.028	10.957	14	8 46-BN
102	1361.8	10.675	36.021	10.956	14	8 46-BN
103	1372.3	8.412	36.015	8.764	12	8 46-BN
104	1378.3	59.259	36.013	58.872	36	14 85EPSH-CD5

Cuadro A6. Archivo de aspersores comerciales utilizados para el diseño de pivotes centrales, dando las constantes de la ecuación de gasto y diámetro de cobertura.

MODELO	GASTO		CONSTANTES			DIAMETROS DE BOQUILLAS		
	QMAX gpm	QMIN gpm	K	A	B	DMax. pulg	DMin. pulg	D2 pulg
L3030H-CD3N	14.8	2.32	27.25	0.844	68.000	0.125	0.28125	
L3030H-BN	15.2	2.28	28.58	0.837	73.888	0.125	0.26862	
70CWH-BN	41.8	8.80	38.50	1.347	108.105	0.21875	0.40625	
70CSPH	11.6	45.80	28.46	1.339	104.716	0.21875	0.40625	0.125
70GWH-F/M	34.0	8.80	28.49	1.371	87.807	0.21875	0.40625	
70GH-F/M	37.4	11.80	28.80	1.41	82.438	0.21875	0.40625	0.125
46H-BN	16.1	8.81	28.78	3.848	68.381	0.15625	0.21875	0.125
46WH-BN	12.1	3.52	28.74	4.250	74.797	0.15625	0.21875	
46AWH-BN	5.2	2.25	29.11	6.297	69.330	0.125	0.14062	
46AWH-CD3N	8.1	2.30	28.38	0.726	71.988	0.125	0.20312	
30H-7	11.5	3.57	29.01	3.805	63.822	0.125	0.1875	0.09375
30H-20	13.1	4.55	28.91	3.505	61.052	0.125	0.1875	0.125
30EH-7	11.5	3.57	29.01	4.118	68.137	0.125	0.1875	0.09375
30EH-20	13.1	4.55	28.91	3.825	64.875	0.125	0.1875	0.125
30WH/30WSH	9.1	2.26	28.95	4.205	68.736	0.125	0.1875	
30EWH/30EWSH	9.1	2.26	28.95	4.490	73.776	0.125	0.1875	
30PWSH	5.2	1.73	29.08	3.884	70.339	0.10937	0.14062	
30PWSH-CD3N	4.1	2.30	29.41	4.950	61.742	0.125	0.14062	
30H-CD3N	10.0	4.20	28.76	0.787	73.176	0.14062	0.20312	0.09375
30H-CD3N	11.4	5.20	28.97	0.800	71.597	0.14062	0.20312	0.125
30WH-CD3N	8.1	2.90	28.83	0.800	75.418	0.14062	0.20312	
14070H-BN	23.0	7.38	29.05	1.772	97.782	0.1875	0.28125	0.125
14070EH-BN	21.9	7.38	28.06	3.188	73.275	0.1875	0.28125	0.125
14070WH-BN	19.2	4.20	29.08	2.426	83.854	0.15625	0.28125	
14070EWH-BN	18.2	4.20	28.06	3.109	84.538	0.15625	0.28125	
14070WH-CD3N	13.4	3.50	27.43	0.811	73.288	0.15625	0.26562	
L2020H-CD1, CD2N	5.8	1.32	28.82	2.476	59.315	0.09375	0.17187	
L2020H-BN	5.1	1.27	28.88	2.450	59.272	0.09375	0.17187	

CANONES FINALES

85EPSH-BN	74.8	23.30	28.06	1.531	92.086	0.34375	0.46875	0.21875
85EPSH-CD5N	86.9	23.60	26.93	1.289	84.192	0.375	0.625	0.21875
85EWPSH-CD5N	77.3	17.80	23.84	1.347	94.233	0.375	0.625	
85EPSH-LA-CD5N	77.3	17.80	23.84	1.167	81.395	0.375	0.625	
85EWPSH-BN	127.7	17.10	27.18	0.910	127.144	0.34375	0.6875	
85EPSH-LA-BN	127.7	17.10	27.18	0.872	115.597	0.34375	0.6875	
102D/103D/PN	208.0	46.00	28.85	0.945	156.894	0.5	0.9	
102D/103D/RN	205.0	47.00	28.82	0.787	163.345	0.5	0.9	
102/103DL-CD3N	136.0	53.00	29.15	0.975	114.151	0.5	0.9	
104GO/105GO	550.0	110.00	27.87	0.777	247.577	0.875	1.35	
104GD/105GD	550.0	88.00	28.81	0.41	244.255	0.875	1.35	
105CS-43	550.0	86.00	29.82	0.254	229.973	0.875	1.35	
205GO/23	1172.0	287.00	23.93	0.188	337.110	1.375	1.85	
205GS/23	1230.0	285.00	30.15	0.241	323.872	1.375	1.85	

CUADRO A7. TABLA DE CONVERSION DE UNIDADES

<i>SISTEMA INGLES</i>	<i>SISTEMA METRICO</i>	
<i>Pulgada</i>	<i>2.54</i>	<i>cm</i>
<i>Pie</i>	<i>0.3058</i>	<i>m</i>
<i>Galón</i>	<i>3.78541</i>	<i>l</i>
<i>Libra</i>	<i>0.45359</i>	<i>kg</i>
<i>psi (Libra por Pulg²)</i>	<i>0.07030</i>	<i>kg/cm²</i>
<i>gpm (galones por minuto)</i>	<i>0.06309</i>	<i>lps</i>

APANDICE B

APENDICE B. LISTADO DE PROGRAMA DISPIV ELABORADO EN LENGUAJE PASCAL.

```

    ¢$R+¸
PROGRAM DISPIV; ¢Diseño de un sistema de riego de pivote
central¸
USES crt,printer;

    Type arrx=array¸0..110¸ of real;
        ARRm=ARRAY¸0..110¸ OF STRING¸15¸;
    Var QT,L,E,ET,PO,DT,YY,W:Real;
        R1,R2:Char;
        C,I,N:Integer;
        A,Q,QV,DS,DB1,DB2,P,Aa,ba:arrx;
        MODEL:ARRm;

FUNCTION POT(YY,W:Real):Real;
    Begin
        Pot:=EXP(W*LN(ABS(YY)))
    End;

PROCEDURE VENTANA;
    Type
        Pointcol= Byte;
        Pointlin= Byte;
        Punt1=^Pointcol;
        Punt2=^Pointlin;
    Var
        xi,yi: Punt1;
        zi,ri: Punt2;
        iv,.iv: Integer;
        Ch: Char;
BEGIN
    Clrscr;
    Window(1,1,80,24):Textbackground(1);
    For iv:=23 to 65 do
        For .iv:=4 to 21 do
            begin
                Sound(100);delay(0);Nosound;
                window(iv,.iv,.iv,.iv);
                Textbackground(10);
                Write(' ');
            end;
        For iv:=62 Downto 21 do
            for .iv:=20 Downto 3 do
                begin
                    sound(100);Delay(0);Nosound;
                    Window(iv,.iv,.iv,.iv);
                    textbackground(4);
                end;
            end;
        end;
    end;

```

```

        Writeln('')
    End;
    Window(1.1,80,24);
    gotoxy(25,3);
    Writeln(' DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE ');
    Gotoxy(25,5);
    Writeln(' MAESTRIA EN RIEGO Y DRENAJE ');
    Gotoxy(25,10);
    Writeln(' PROGRAMA PARA SELECCIONAR ');
    Gotoxy(25,11);
    Writeln(' EL PAQUETE DE ASPERSORES DE ');
    GOTOXY(25,12);
    Writeln(' PIVOTES CENTRALES ');
    For iv:=31 to 48 do
        Begin
            Gotoxy(iv,13);Sound(iv*30);Delay(5);nosound;
            Write('-')
            end;
            Gotoxy(25,18);
            Writeln('Elaborado por: J. Vinicio Cisneros. ');
            gotoxy(25,23);
            Writeln('Presione ENTER para continuar');
            readln;
            window(1.1,80,24);
            textbackground(0);Textcolor(15);
            clrscr;
    END:

```

```

PROCEDURE LECTURA (Var QT,L,PO,DT:Real; Var N,C:Integer):
    Begin
        Writeln ('Proporcione el gasto del sistema en
        gpm ');
        Readln (QT);
        Writeln ('Espaciamiento entre torres en pies');
        Readln (ET);
        Writeln ('Longitud de la lateral en pies');
        Readln (L);
        Writeln ('No. total de aspersores incluyendo el
        cañon final, si se va a utilizar');
        Readln (N);
        Writeln ('presion de operacion en PSI');
        Readln (PO);
        Writeln ('Diametro de la tuberia en Pulg');
        Readln (DT);
        Writeln ('Constante de Hazen-Williams');
        Readln (C);
    End:

```

```

PROCEDURE CANONI (QT,L:Real;VAR N:Integer; Var A,Q,DS:ARRX):
    Var AT,RC,SS:Real;
        I:Integer;
        ArchA:Text;
        Const Pi=3.141592654;

```

Archa:Text;
 I:Integer;
 Const pi=3.141592654;

```

BEGIN                                     aprocedurea
  AT:=Pi*(Pot(L,2));
  Assign (Archa, 'B:DIST.dat');
  Reset (Archa);
  i:=0;
  DS#OA:=0;
  While not Seekeof(Archa) do
BEGIN                                       awhilea
  i:=i+1;
  Readln (Archa, DS#iA);
END:                                       awhilea
  Close (Archa);
  FOR I:=1 TO N DO
BEGIN                                       afora
  IF I=N THEN A#iA:=Pi*DS#iA*(DS#iA-DS#i-2A)
  ELSE
    A#iA:=Pi*DS#iA*(DS#i+1A-DS#i-1A);
    Q#iA:=(QT*A#iA)/AT;
    WRITELN(I,DS#iA,A#iA,Q#iA);
    READLN;
END:                                       afora
END:                                       aprocedurea

```

```

PROCEDURE SCANONI(QT,L:Real; N:Integer; Var A,Q,DS:Arrx);
  Var i:Integer;
  AT,SS:Real;
  Const Pi=3.141592654;

```

```

  BEGIN                                     aprocedurea
  Writeln ('DE EL ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES, EN PIES');
  Readln (SS);
  N:=Round(L/SS);
  For I:=1 TO N DO
  BEGIN                                       aciclo fora
  A#iA:=Pi*DS#iA*(DS#i+1A-DS#i-1A);
  Q#iA:=(QT*A#iA)/AT
END:                                       aciclo fora
END:                                       aprocedimientoa

```

```

PROCEDURE SELECCION (QT,PO:REAL;C,N:INTEGER;Q,DS:ARRX;VAR
  QV,P,DB1,DB2:ARRX);

```

```

Type Regasp=RECORD                         aDeclaracion del registroa
  Modelo:String#15A;
  Qmax.
  Qmin.
  Dmax.
  Dmin.

```

```

BEGIN æproceduræ
Writeln ('DE EL ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES, EN PIES');
Readln (SS);
Writeln ('DE EL RADIO DE COBERTURA DEL CANON FINAL');
Readln (RC);
    DSÆ0A:=0;
    N:=Round(L/SS);
    AT:=Pi*(Pot((L+RC),2));
    I:=1;
FOR I:=1 TO N DO
    DSÆiA:=I*SS;
FOR I:=1 TO N DO
BEGIN
    IF I=N Then AÆiA:= AT-(Pi*(Pot(DSÆiA,2)))
    Else
        AÆiA:=(I*(AT))/((N*(N+1))/2);
        QÆiA:=(QT*AÆiA)/AT;
END;
END; æforæ
æproceduræ

```

```

PROCEDURE CANONDIF(QT,L:Real;N:INTEGER; Var A,Q,DS:ARRX);
    Var AT,RC:Real;
        I:INTEGER;
        ARCHA:TEXT;
    Const Pi=3.141592654;
BEGIN
    Writeln ('De el radio de cobertura del cañon final
en pies');
    Readln (RC);

    Assign (ArchA, 'b:DIST2.dat');
    Reset (ArchA);
    I:=0;
    While not Seekeof(ArchA) do
Begin æwhileæ
    i:=i+1;
    Readln (ArchA, DSÆiA);
End; æwhileæ
    Close (ArchA);
    AT:=pi*(Pot((L+Rc),2));
    DSÆ0A:=0;
    FOR i:=1 to N do
Begin
    If I=N then AÆiA:=AT-(pi*(Pot(DSÆiA,2)))
    Else
        AÆiA:=PI*DSÆiA*(DSÆi+1A-DSÆi-1A);
        QÆiA:=(QT*AÆiA)/AT;
End;
End;

```

```

PROCEDURE SCANONDIF (QT,L:REAL;N:INTEGER;Var A,Q,DS:ARRX);
    Var AT:Real;

```


CLOSE (ARCH):

æcierra el archivo

DB1EiA:=DB1EiA*64;
 DB1EiA:=ROUND(DB1EiA);
 DB2EiA:=(reg.D2)*64;

IF DB2EiA=0 THEN

QVEiA:=reg.k*(SQR(DB1EiA/64))*(SQR(PEiA))

ELSE

QVEiA:=reg.K*(SQR(DB1EiA/64)+SQR(DB2EiA/64))*(SQR(PEiA));

AaEiA:=reg.As;

baEiA:=reg.bs;

modelEiA:=reg.modelo;

QR:=QR-QVEiA;

IF J=LAST then ModelEiA:='NINGUNO';

END;

æforã

End:

PROCEDURE ESCRITURA(DS,Q,P,QV,DB1,DB2:ARRX;MODEL:ARRM);
 Var i,NT:Integer;

Begin

j:=1;

NT:=Round(L/ET);

Writeln(1st);

Writeln (1st,'PUNTO PIVOTE');

For i:=1 to N do

begin

If DSEiA<(Et*j) then

Writeln(1st,i:3,' ',DSEiA:8:2,' ',QEiA:7:3,' ',PEiA:5:3,'
 ',QVEiA:7:3,' ',DB1EiA:3:0,' ',DB2EiA:3:0,' ',MODELEiA)

else

begin Writeln (1st);

Writeln (1st,'TORRE No. ',J);

Writeln(1st,i:3,' ',DSEiA:8:2,' ',QEiA:7:3,' ',PEiA:5:3,'
 ',QVEiA:7:3,' ',DB1EiA:3:0,' ',DB2EiA:3:0,' ',MODELEiA);

j:=j+1;

end;

end;

END;

BEGIN
clrscr:

PROGRAMA PRINCIPAL

VENTANA:

LECTURA (QT,L,PO,DT,N,C):

Writeln ('El diseño es con cañon final S/N');
Readln (R1);

Writeln ('Los aspersores estan a igual espaciamento S/N');
Readln (R2);

```

IF ((R1='S') OR (R1='s')) and ((R2='N') OR (R2='n'))
  Then CANONDIF(QT,L,N,A,Q,DS)
ELSE IF ((R1='S') OR (R2='s')) and ((R2='S') OR (R2='s'))
  Then CANONI(QT,L,N,A,Q,DS)
ELSE IF ((R1='N') OR (R1='n')) and ((R2='N') OR (R2='n'))
  Then SCANONDIF(QT,L,N,A,Q,DS)
ELSE IF ((R1='N') OR (R1='n')) and ((R2='S') OR (R2='s'))
  Then SCANONI(QT,L,N,A,Q,DS);

```

```

                SELECCION (QT,PO,C,N,Q,DS,QV,P,DB1,DB2);
WRITELN      (1st, 'No.', 'DISTANCIA', 'QREQ',
              'PRESION', 'QREAL', 'DIAM BOQ.', 'MODELO');
WRITELN (LST, 'pies', 'gpm', 'psi',
              'gpm', '64avos');

```

ESCRITURA(DS,Q,P,QV,DB1,DB2,MODEL):

END.