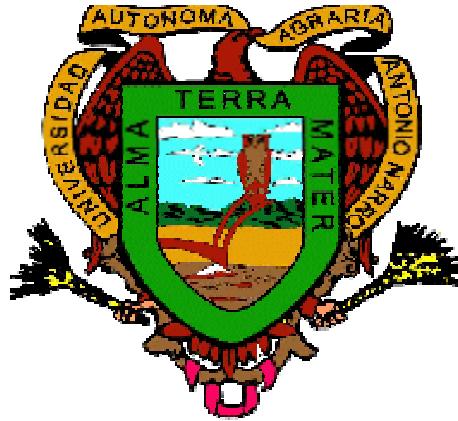


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**Curvas de Operación y Pruebas de Pluviometria
en Micro aspersores con Difusor Tipo Bailarina.**

Por:

Celiser Alberto López Arguello

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

Buenavista Saltillo, Coahuila., México

Junio de 2004

**UNIVERSIDAD AUTONOMA
AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**Curvas de Operación y Pruebas de Pluviometria
en Micro aspersores Con Difusor Tipo Bailarina.**

Por:

Celiser Alberto López Arguello

**Que somete a consideración del H. Jurado
examinador como requisito parcial para obtener
el titulo de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

APROBADA

**MC. Gregorio Briones Sánchez.
Asesor Principal.**

**MC. Sergio Z. Garza V.
Coasesor**

**Dr. Felipe Ortega.
Coasesor**

**MC. Fernando R. Blázquez G.
Coasesor**

**MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos
Coordinador de la División de Ingeniería**

Buenavista Saltillo, Coahuila., México a Junio de 2004.

DEDICATORIA

A DIOS NUESTRO SEÑOR, por darme la dicha de ver culminado uno de mis mas anhelados sueños, obtener el grado de licenciado en agronomía con especialidad de Irrigación.

A MIS PADRES:

**Sr. José Leonel López Hernández.
Sra. Guadalupe Arguello Felipe (†)**

Con carillo y respeto por haberme dado el don mas lindo, "la vida". Por sus sabios consejos y su apoyo incondicional para la culminación de mis estudios.

A MIS HERMANOS:

Sandra del Carmen López Arguello.
Carolina López Arguello.
Hugo Alfredo López Arguello.

Por su confianza y apoyo durante mi formación profesional, gracias hermanos.

En especial a Gladis por darme lo mejor que en la vida me pudo haber pasado, una hija. Con mucho amor y cariño por su valiosa compañía al cual estoy muy agradecido.

A MIS SOBRINOS: Diego José, Magdalena Belén y Fausto Romairo. Por que con su ternura llenan mi corazón de alegría.

A mi hija Dennis Monzerrat por que con su ternura supo darme fortaleza cuando mas la necesitaba.

A mis compañeros de la generación 96 y 97, a mis amigos Jezabel, Isabel, Agustín, Mario, Joel, Pitágoras, Guillermo, Deysi, Ismael, Marcos, Doña Claudia, Grisdeli, Anuar, Antonio, Dony, Nelson, Luis (negro), José Manuel (cucho), Felipe (marro), Jesús (la perra), Martín (güero), Martín (tornero), Mariano (vallo), don guicho, chaparro, don Arnoldo y don Higinio.

Al Lic. José Manuel Cuevas por la amistad y confianza brindada durante mi estancia en la Empresa América Irrigación. Y por el apoyo brindado para la culminación del presente trabajo.

RECONOCIMIENTO

A MI ALMA MATER, por darme las armas para poder superar los obstáculos que encuentre en mi desarrollo tanto profesional como ante la sociedad.

AL MC. Fernando Blázquez García, por darme la oportunidad de frecuentar su empresa América Irrigación S.A., a la cual considero como mi segunda escuela. También por sus conocimientos transmitidos para mi formación profesional

AL MC. Sergio Garza Vara, por sus invaluable conocimientos transmitidos para mi formación y por el apoyo desinteresado para la realización del presente trabajo.

AL MC. Gregorio Briones Sánchez, por la oportunidad y confianza brindada para la realización del presente trabajo, así como por sus conocimientos transmitidos, asesoría y revisión del mismo.

AL DR. Felipe de Jesús Ortega Rivera, por su interés y asesoría en el presente trabajo.

A LOS TRABAJADORES DE LA EMPRESA AMERICA IRRIGACIÓN S.A por sus conocimientos transmitidos durante mi estancia en dicha empresa.

AL ING Fernando Blázquez del Valle, por la confianza durante mi estancia en su empresa.

AL ING Romairo Camey Pinto, por sus sabios consejos y apoyo incondicional a mi familia cuando se necesito, gracias cuñado.

AL Profesor Antelmo de Jesús López Hernández, por su oportuna pero valiosa ayuda a un servidor, gracia tío.

A la Sra. Nely Herrera Pérez por sus consejos y su apoyo hacia mi padre para la culminación de mis estudios.

AL CONSEJO ESTATAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (COECYT), por el apoyo económico recibido a través de una beca, para la realización y culminación del presente trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

Págs.

INDICE DE CUADROS -----	i
INDICE DE FIGURAS -----	iii
I. INTRODUCCIÓN -----	1
Objetivos generales -----	8
Objetivos específicos -----	8
II. REVISIÓN DE LITERATURA -----	9
Deterioro del agua y el Suelo -----	10
Sistemas de riego modernos -----	12
Historia de la Micro irrigación -----	13
Conocimientos fundamentales para el cálculo de los parámetros hidráulicos en tuberías -----	17
Ecuaciones y conceptos básicos -----	18
Ecuación de la energía para fluidos incompresibles -----	20
Alturas piezométricas, totales y alturas geométricas. -----	22
Ecuaciones de pérdida de energía -----	24
Pérdidas de carga localizadas en redes de abastecimiento -----	31
Envejecimiento de las conducciones -----	33
Presiones de suministro -----	34
Presiones mínimas -----	39
Presiones máximas -----	41

Características mas importantes del sistema de riego por	
Micro aspersión -----	41
Factores que favorecen la instalación de los sistemas de	
Riego por micro aspersión -----	43
Descripción del sistema de riego por micro aspersión -----	43
Factores que influyen en la selección del riego	
localizado -----	44
Partes mas importantes que integran los sistemas	
de riego -----	45
Descripción de las partes del micro aspersor -----	49
Conceptos del riego con micro aspersores -----	51
Uniformidad de distribución del agua -----	52
Economía del agua -----	53
Ventajas de los micro emisores -----	55
Limitaciones de los micro emisores -----	58
Disposición del sistema de riego con micro aspersores ----	59
Porcentaje de la superficie bajo riego -----	60
Características del funcionamiento de los	
micro emisores -----	61
Consideraciones para el análisis -----	66
Principales fabricantes de micro aspersores -----	66
Factores a considerar para la selección para la	
selección del sistema de riego -----	67
Operación del sistema -----	68

III. – MATERIALES Y METODOS -----	70
Ubicación del experimento -----	70
Fuente de abastecimiento -----	70
Calidad del agua -----	70
Clasificación del agua -----	71
Lista de materiales para el establecimiento del banco de prueba -----	72
Lista de materiales para la toma de datos en el banco de pruebas -----	73
Procedimiento y formulas utilizadas para el calculo de la presión a la salida de cada boquilla estudiada -----	73
Procedimiento para el calculo de la presión entre los puntos a –j y de los puntos ai – ji -----	73
Formulas utilizadas para el calculo de la lamina promedio y el coeficiente de variación para evaluar la uniformidad de distribución de la precipitación para cada micro aspersor estudiado -----	90
Procedimiento para el calculo de la lamina promedio y el coeficiente de variación para cada uno de las boquillas estudiadas -----	92
Criterio para distinguir el área eficientemente regada Por cada emisor estudiado -----	100
Formulas utilizadas para el calculo de los valores de a, b y r^2 del modelo de regresión lineal $y = a + bx$ -----	100

Ejemplo de la aplicación de las formulas para hallar los valores de a, b y r^2 , como comprobación, para saber que es lo que hace el paquete de la computadora al correr una regresión potencial a un conjunto de datos -----	101
Procedimiento para el calculo de los valores de a, b y r^2 Para el resto de las boquillas estudiadas -----	102
IV. – RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	110
Aplicación de logaritmos al modelo potencial $q = kh^x$ para obtener los valores de K, X y r^2 para cada una de las boquillas estudiadas -----	110
Resultados de presiones y descargas calculadas a la Salida de cada una de las boquillas estudiadas -----	111
Curvas de operación de las boquillas estudiadas -----	115
Lamina promedio, coeficientes y valores de diámetro De cobertura para cada una de las boquillas estudiadas -----	119
Isogramas de cada boquilla estudiada -----	121
Distribución de la precipitación para cada emisor estudiado -----	126
V. – CONCLUSIONES -----	128
VI. – BIBLIOGRAFÍA -----	131
VII. – ANEXOS -----	133

INDICE DE CUADROS

	Págs.
Cuadro No 2.1. Metros de tubería recta equivalentes a perdidas de carga por accesorios -----	35
Cuadro No 2.2. Factores a considerar para la selección del sistema de riego -----	67
Cuadro No 3.1 Lista de materiales utilizados para la instalación del banco de prueba para los micro aspersores -----	72
Cuadro No 3.2. Datos de campo de Presión (en psi) y gasto en (m^3/s), para sacar la presión en la boquilla de los emisores estudiados:-----	74
Cuadro No 3.3 Datos del Banco de prueba para llevar a cabo los respectivos cálculos hidráulicos:-----	74
Cuadro No 3.4. Formulas respectivas para el calculo del factor f de la formula de Darcy – Weisbach, según el número de Re: -----	75
Cuadro No 3.5. Datos de campo necesarios para el calculo de la presión en la salida de la boquilla de los emisores estudiados -----	83
Cuadro No 4.1. Resultados de presiones y descargas calculadas en la salida orificio de la boquilla de los micros aspersores estudiados:-----	111

Cuadro No 4.2 . Valores de presión y gatos
obtenidos de la alimentación de las formulas
obtenidas de la figura4.1, para las curvas de
operación de cada boquilla estudiada.-----114

**Cuadro No 4.3. Resultados de los coeficientes K, X y r^2
de los micros aspersores estudiados: -----116**

Cuadro No 4.4. Resumen de los cálculos aplicados
a los resultados de presión en la boquilla para
ajustarlos al modelo de regresión lineal $y = a + bx$;
donde $a = K$ y $b = X$. Del modelo de regresión
potencial $q = KH^x$ -----117

**Cuadro No 4.5 Cálculo del porcentaje de variación
del gasto con respecto a los gasto
nominales proporcionados por el fabricante (Palaplast)
y los gastos hallados en el banco de prueba:-----118**

**Cuadro No 4.6 Concentración de resultados de lámina
promedio, los coeficientes de variación y
diámetros de alcance para cada una de las
boquillas estudiadas: -----119**

Cuadro No 4.7. Resultados de la precipitación en
cada anillo para cada una de las boquillas estudiadas.----126

INDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura No 2.1. Ecuación de la continuidad -----	19
Figura No 2.2. Ecuación de la energía -----	21
Figura No 2.3. Posiciones de la aplicación del teorema de Bernoulli -----	22
Figura No 2.4. Régimen laminar y turbulento -----	27
Figura No 2.5. Evolución de la presión en cada tramo de tubería -----	36
Figura No 2.6. Componentes del sistema de micro irrigación -----	44
Figura No 3.1. Regresión lineal log para la boquilla naranja -----	102
Figura No 3.2. Regresión lineal log para la boquilla Blanca -----	103
Figura No 3.3. Regresión lineal log para la boquilla Azul -----	104
Figura No 3.4. Regresión lineal log para la boquilla Amarilla -----	105
Figura No 3.5. Regresión lineal log para la boquilla Rosa -----	106
Figura No 3.6. Regresión lineal log para la boquilla Negra -----	107
Figura No 3.7. Regresión lineal log para la boquilla Verde -----	108

Figura No 3.8. Regresión lineal log para la boquilla Olivo -----	109
Figura No 4.1. Curvas de operación de las 8 boquillas estudiadas para obtener la formula y los valores de K, X y r^2 para cada emisor.-----	113
Figura No 4.2. Curvas de Operación de las 8 boquillas estudiadas -----	115
Figura No 4.3 y 4.4 Isogramas para la boquilla Naranja y Blanca -----	121
Figura No 4.5 y 4.6 Isogramas para la boquilla Azul y Amarilla -----	122
Figura No 4.7 y 4.8 Isogramas para la boquilla Rosa y Negra -----	123
Figura No 4.9 y 4.10 Isogramas para la boquilla Verde y Olivo -----	124
Figura No 4.11. Distribución de la precipitación para cada una de las boquillas estudiadas. -----	126
Figura No 4.12 Instalación del Banco de Pruebas Para micro aspersores -----	127i

I. - INTRODUCCIÓN:

El riego por micro aspersión es un sistema de riego presurizado que nació en nuestro país de la cuna del riego por goteo israelita. Este sistema de riego, desde los años 80 ha venido teniendo una gran aplicación en cultivos como frutales y en invernaderos. A este sistema se le puede considerar como el resultado de un híbrido entre el sistema de riego por goteo y el sistema de riego por aspersión.

Este sistema nace a causa de los problemas que presenta el riego por goteo en terrenos con textura arenosa, ya que en este tipo de suelo no se forma bien el bulbo de mojado característico de este sistema de riego.

La tarea de irrigar es un arte tan antiguo como la propia existencia del hombre. Esto, lo comprueban las ruinas de obras de riego encontradas en distintas regiones del mundo tan distantes unas de otras como: Egipto, Irán, China, la India y España. En América también existen indicios de que los habitantes del Perú, México y la parte Sur Oeste de los Estados Unidos practicaban el riego de tierras hace miles de años (Israelsen y Hansen, 1967). Históricamente, las civilizaciones han dependido, para lograr su desarrollo de la agricultura bajo condiciones de riego; en muchas de esas mismas áreas hoy en día, la irrigación continua ofreciendo la base agrícola de la sociedad.

La irrigación en las zonas áridas del mundo tiene dos objetivos; uno el de suministrar la humedad esencial para el crecimiento de las plantas y el segundo es para lavar o diluir las sales en el suelo.

Todos conocemos el profundo impacto que han significado para la Agricultura el desarrollo de los sistemas de micro riego en el mundo, esto es principalmente riego por goteo y micro aspersión. Después de un largo período de estancamiento en el mercado de los sistemas convencionales de riego por aspersión, se ha llegado nuevamente a un momento de progreso económico y agronómico gracias a una nueva generación de productos que llegan a Chile.

Denominados en Israel como sistemas de micro riego sobre-arbóreo ("overhead microirrigation"), en España como "sistemas de cobertura total" mediante mini aspersión, o en Estados Unidos como "solid set", impactan como soluciones que se acercan mucho al riego localizado, manteniendo las ventajas tradicionales del riego por aspersión.

Actualmente en todo el mundo uno de los principales problemas es la escasez del agua para fines agrícolas. En la agricultura mexicana uno de los principales problemas es el desperdicio irracional del agua que se hace mediante la utilización de los sistemas de riego por gravedad. Por tal motivo es de mucha importancia hacer más eficiente y eficaz el uso del vital líquido, para ello se han venido revolucionando las técnicas de aplicar el agua a los cultivos, dichas técnicas involucran los métodos para calcular las necesidades hídricas y la forma (sistemas de riego) de cómo aplicar el riego. En la fruticultura principalmente, uno de los sistemas de riego ampliamente utilizado es la micro aspersión, esto debido a distintas ventajas que dicho sistema involucra tales como alta uniformidad de humedecimiento de la zona radicular, no daña las flores de los cultivos, entre otras.

El patrón de distribución de la precipitación del micro aspersor es de mucha importancia ya que incide directamente en el perfil de humedecimiento del suelo, es muy conveniente que dicho perfil se de alguna forma uniforme, en relación al diámetro de mojado del micro aspersor.

Generalmente se usa un solo micro aspersor para cubrir las necesidades de cada árbol, claro esto previa selección de la boquilla, las cuales están estandarizadas de acuerdo al color será el gasto que aporte al árbol. Esto trae consigo que el ángulo de mojado del micro aspersor no sea totalmente de 360° , ya que el mismo árbol obstruye dicho ángulo, esto se puede eliminar cambiando al micro aspersor de posición a la mitad del tiempo de riego.

El establecimiento de la curva de operación para cada boquilla es muy importante desde el punto de vista técnico, debido a que con los datos que proporciona dicha curva de gasto vs presión, los especialistas en irrigación que se dediquen a diseñar sistemas de riego por micro aspersión, los utilizan para sacar los coeficientes K y x del modelo de regresión al cual se ajustan dichos datos y poder determinar las pérdidas de carga en las diferentes líneas de conducción del sistema de riego.

Dicha curva nos da una información de que a determinada presión de operación del micro aspersor, el mismo va estar arrojando un determinado caudal dicho dato es muy importante para determinar los tiempos de operación del sistemas y la lamina de riego que se este aplicando al cultivo, previa determinación de las necesidades hídricas del cultivo.

Por lo tanto nosotros podemos ajustar en un momento dado, de acuerdo a nuestras condiciones en el cabezal de control, la presión óptima a que debe funcionar el sistema para proporcionar al cultivo las necesidades hídricas, de acuerdo al caudal disponible en nuestra fuente de abastecimiento.

El riego localizado de alta frecuencia, o micro irrigación, se define como la aplicación de agua en una fracción del suelo, próxima a la planta, con la cual se mantiene un contenido de humedad relativamente constante, gracias a la continua aplicación hídrica en pequeñas dosis.

En micro irrigación se hace llegar el agua desde la fuente de captación hasta las plantas, a través de tuberías, siendo entregada directamente a éstas por emisores. Con ello se eliminan las pérdidas por conducción y se minimizan las pérdidas por evaporación y percolación profunda, gracias a la alta uniformidad de aplicación del sistema.

Los métodos de riego localizado permiten suministrar agua y abonos en forma centralizada, con lo que se pretende controlar, al menos en forma parcial, el patrón de distribución del agua en el suelo. Ello tanto desde el punto de vista geométrico como de distribución de humedad, permitiendo generar una zona radicular con características físicas, químicas y biológicas que conduzcan a mayores rendimientos.

Actualmente de los 20 millones de hectáreas que en promedio se cosechan anualmente en México, solo el 6.1% cuenta con infraestructura de riego (ICID, 1992), el valor de la producción en esta superficie es superior al 50% del valor total de la cosechada nacionalmente, lo que significa que en áreas regadas la producción es de 2.5 a 3 veces mayor que la obtenida en áreas de temporal. La irrigación es un

importante factor que incide directamente en el desarrollo económico de un país, pues la mitad de la producción agrícola proviene de la agricultura en condiciones bajo irrigación.

Se estima que la eficiencia de los sistemas de riego en México en promedio oscilan entre un 60%, de manera que mejorando la aplicación a nivel parcelario se podría lograr un ahorro sustancial del agua, la cual puede ser usada ya sea para incrementar la superficie bajo riego o para producir productos agrícolas que demanden laminas de riego mayores. Para lograr lo anterior, se debe estimar en forma precisa los requerimientos hídricos de los cultivos a establecer. Por tal motivo son de gran importancia en la agricultura, el conocimiento de los diferentes métodos que existen para estimar los contenidos de humedad del suelo y la calendarización del riego, ya que esto nos permite definir con mucha precisión la cantidad y la frecuencia del riego para que no se desperdicie el agua en riegos innecesarios, los cuales pueden tener afectos adversos en nuestro suelo, tales como lavado de nutrientes y percolaciones profundas.

Con los avances de las investigaciones para mejorar el aprovechamiento del agua se han logrado adaptar sistemas de riego cuya optimización se adecuara a la problemática de la escasez del vital liquido, en donde podemos situar la presencia de los sistemas de micro riego como una alternativa cuyas ventajas vienen a desplazar el uso de los sistemas de riego tradicionales y que además se puede adecuar a diferentes condiciones de terreno. Uno de los sistemas ampliamente utilizados en las zonas áridas y semidesérticas del país en cultivos como frutales, floricultura y en invernaderos son los sistemas de micro aspersión. Dicho sistema simula una lluvia artificial cerca del

tronco de los árboles lo cual, incrementa la eficiencia de aplicación del agua de riego en el cultivo, ya que se le esta aportando a la planta el agua que necesita en la zona de raíces, formando un bulbo de humedecimiento en suelos arenosos de forma vertical y en suelos arcillosos de forma horizontal. Esta forma de la distribución o forma del bulbo de humedecimiento va estar también restringido por el tipo de raíces de la planta.

El agua es un elemento vital que afecta significativamente todos los aspectos de la vida, tanto en el mundo entero como en América Latina. En exceso, el agua produce inundaciones y su escasez es causa de hambre en las regiones. El manejo adecuado del agua puede conducir a excelentes resultados en la producción agrícola, pero su mal uso provoca muertes y epidemias. Antes de la conquista española, la producción de alimentos era suficiente para atender a la mayoría de la población de la región, en la cual se producían muchos de los productos agrícolas que actualmente se consumen en Estados Unidos y en Europa (Alfaro, 1985). El agua en América Latina es de suma importancia no sólo para alcanzar las cosechas esperadas, sino para garantizar la subsistencia de su población. El agua destinada a la agricultura de la región fue afectada dramáticamente por la crisis económica de los años ochenta. Cientos de miles de hectáreas de riego se han perdido por la falta de incentivos, deterioro del mercado e inversiones insuficientes para el mantenimiento de la infraestructura o para terminar las obras en construcción. Además, la región se ha visto afectada por el rápido crecimiento de su población, insuficiente producción de alimentos, degradación de las tierras de cultivo, contaminación de sus recursos hidráulicos y recursos humanos escasos.

Las naciones en desarrollo cuentan con recursos limitados y su población crece en forma exponencial. El incremento de la producción agrícola demanda, a su vez, la ampliación de áreas de riego y mayor consumo de energía. Los recursos energéticos son también limitados, y sin embargo una mayor demanda de estos recursos se requerirá para lograr una agricultura sostenible. Por ello, para alcanzar un desarrollo agrícola sostenido, el riego tendría que planearse y manejarse con criterios de conservación, tanto del agua como de la energía. Así mismo, se requiere de manera urgente asesoría tecnológica apropiada, que considere el concepto de uso eficiente del agua y de la energía en todas las actividades de riego dentro de un marco económico completo, especialmente para proyectos de pequeña irrigación.

En algunos países de América Latina la superficie de tierras bajo riego ha decrecido, no obstante que cuentan con la infraestructura adecuada. Esto se debe, entre otras causas, a la salinización, encharcamientos, manejo inadecuado de los suelos, bajos rendimientos, ignorancia de los productores y escaso interés. La modernización de sistemas de riego se considera una respuesta para alcanzar y mantener eficiencias altas en el uso del agua. En países en desarrollo esta modernización reemplaza, a menudo, a los sistemas de riego de trabajo intensivo y bajo consumo de energía, por sistemas más sofisticados y con mayores requerimientos de energía y de capital. En muchos casos, el funcionamiento de tales sistemas es inferior a lo esperado, con resultados desalentadores en términos de conservación de agua y energía y en los rendimientos de los cultivos. En esta ponencia se analizan los factores mencionados, así como la interacción agua-energía que es necesario tener en cuenta para el diseño, operación, administración y operación

de sistemas de riego. Asimismo, se examina brevemente el papel de las agencias internacionales y se discute la necesidad de crear un instituto que estudie los problemas y soluciones técnicas en América Latina, así como para capacitación de profesionales de la región.

Objetivos generales.

1. – Determinar las curvas de operación para las diferentes boquillas de micro aspersores de la marca Palaplast.
2. – Determinar el patrón de distribución de la precipitación para cada boquilla de micro aspersores de la marca palaplast.

Objetivos específicos.

1. – Determinar la relación de gasto vs. presión para cada boquilla a estudiar de los micro aspersores.
2. – Analizar la relación de los distintos parámetros hidráulicos que intervengan en el funcionamiento de los micro aspersores.
3. – Analizar el patrón de distribución de humedad en el perfil del suelo, de acuerdo a la lámina precipitada por cada micro aspersor que se estudie.
4. – Utilizar las diferentes ecuaciones de hidráulica para estudiar el funcionamiento del agua dentro de la tubería de un banco de pruebas.
5. – Diseñar, instalar y operar un banco de prueba para micro aspersores.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Harfagar (2001) Ing. Agrónomo Duratec-Vinilit menciona que todos conocemos el profundo impacto que han significado para la agricultura el desarrollo de los sistemas de micro riego en el mundo, esto es principalmente riego por goteo y micro aspersión. Después de un largo período de estancamiento en el mercado de los sistemas convencionales de riego por aspersión, se ha llegado nuevamente a un momento de progreso económico y agronómico gracias a una nueva generación de productos que llegan a Chile. Denominados en Israel como sistemas de 'microriego sobre-arbóreo ("overhead microirrigation"), en España como "sistemas de cobertura total" mediante mini aspersión, o en Estados Unidos como "solid set", impactan como soluciones que se acercan mucho al riego localizado, manteniendo las ventajas tradicionales del riego por aspersión.

Esta nueva propuesta al igual que el micro riego llega estrechamente vinculada al mundo de los plásticos, los cuales además de contribuir notablemente a ahorrar costos, nos aseguran una larga vida de trabajo.

Las principales características del nuevo concepto en riego son:

- Bajas Tasas de precipitación
- Bajas Presiones de Operación
- Cortos Intervalos de Riego
- Alta Uniformidad de Distribución de Agua y Fertilizantes a través del terreno.

La reducción de los costos y la aplicación de bajas tasas de precipitación han convencido a muchos agricultores a cambiar hacia sistemas permanentes o semipermanentes de riego.

http://www.chileriego.cl/revista/rev4/rev4_17.htm.

Mini-aspersores: Representan la esencia del sistema, se trata de emisores que precipitan láminas que van idealmente desde los 2 hasta los 5 mm/hora , micronizando adecuadamente las gotas a presiones entre 2- 3 ATM, es decir, 20-30 metros de columna de agua. Funcionan normalmente con sistemas de turbo-martillo (Marca Naan) o rotores con rodamientos (Marca Dan). Van montados sobre varillas galvanizadas de 1-1.2 m de altura (ver diagrama) y se conectan a la línea lateral de polietileno mediante un tubo del mismo material de 8 o 13 mm a través de un conector rápido que permite sacar el emisor al final del desarrollo del cultivo. Las perforaciones de la tubería de polietileno deben hacerse con sacabocados y herramientas especializados para dicha aplicación En caso de terrenos irregulares, laderas de cerros o cuando se necesite utilizar laterales mas largas, estos emisores pueden transformarse en auto compensados al adicionarles un regulador de presión (Alfaro 1988).

Deterioro del agua y del suelo.

El uso inadecuado del agua en América Latina provoca ensalitramiento, encharcamientos y erosión de

suelos agrícolas, así como contaminación del agua para la agricultura. La mayoría de los países tienen problemas de suelos salinos debido al uso ineficiente del agua. El 35% de tierras bajo riego en Argentina y Chile sufren problemas de ensalitramiento, mientras que el 30% (250 000 ha) en la región costera del Perú padece también de este problema. En el Brasil, el 40% de sus tierras bajo riego, localizadas en la parte noreste, se encuentran en salitradas por riego inadecuado. Los problemas de salinidad inducidos por el hombre y en forma natural en Cuba, cubren cerca de 1.2 millones de hectáreas, siendo las provincias de Guantánamo y de Granma las más afectadas (Alfaro 1990).

Los problemas de drenaje afectan también grandes extensiones de suelos en América Latina y, en muchos de los casos, estos problemas se suman a los del ensalitramiento. En Argentina 555,000 ha requieren obras de drenaje. En Perú 64,000 ha de la región costera y el 34% (150,000 ha) de las tierras de cultivo en la parte alta de la selva "Ceja de Selva" están afectadas por problemas de drenaje. En Costa Rica, los proyectos de rehabilitación con obras de drenaje exceden las 60,000 ha, localizadas en los terrenos de la antes compañía bananera en la porción sur del país, así como las que previamente se convirtieron para el cultivo del arroz en el distrito del Atlántico.

A pesar de los esfuerzos por controlar la contaminación del agua, la región experimenta un descenso continuo en su calidad para la agricultura. Como se comentó en un reporte reciente (ECLAC 1989) una de las principales fuentes de contaminación del agua son las descargas provenientes de la agricultura. El uso de agua sin tratar para el riego, es una práctica extendida en la región. En México,

por ejemplo, existen cerca de 165,000 ha que son irrigadas con 51 m³/seg de agua residual proveniente de las principales ciudades. La contaminación del agua por efluentes agro-industriales que descargan a canales de riego, es un problema creciente en Mendoza, Argentina, y requiere de estudios desde el punto de vista tanto técnico como legal.

Los agricultores, o usuarios del agua de lluvia, superficial o subterránea en América Latina, se clasifican desde empresarios con habilidades gerenciales y prácticas agrícolas modernas, hasta productores de subsistencia, con cosechas raquílicas obtenidas en pequeñas parcelas de suelo pobre. El desarrollo de una agricultura sostenible requiere de buenas prácticas de cultivo y manejo del agua que no pueden realizar estos “productores” de subsistencia quienes, en muchos de los países, representan la mayoría. En la región no existen programas específicos para incrementar el nivel de habilidades en la agricultura de subsistencia a un nivel mínimo necesario para mantener una agricultura sostenible.

En muchos países la experiencia en el uso del agua para la agricultura ha decrecido, principalmente por los pocos incentivos y el estancamiento de la agricultura de riego. Sin embargo, en algunos existe una marcada ganancia en pericia. A continuación se presentan ejemplos que reflejan la situación de los recursos humanos y la tecnología de la región:

- En México (como en Perú, Argentina y otros países) la capacidad técnica acumulada durante muchos años ha decrecido considerablemente. Muchos profesionales desanimados por el declive de la economía en el sector agrícola, han cambiado de

actividad. Las generaciones jóvenes ya no están interesadas en seguir carreras agrícolas y se nota una disminución de solicitudes de inscripción en escuelas de agricultura.

- Chile ha enfrentado la modernización del riego privado ofreciendo pagos hasta del 75% de los costos de implementación de los proyectos bien formulados. Esto ha promovido: a) la disponibilidad de equipo moderno para riego y la automatización del manejo del agua y control del clima, b) la organización de empresas privadas competentes que prestan servicios técnicos a productores, con objeto de que alcancen los requerimientos técnicos de los proyectos exigidos por los gobiernos, y c) el interés en mejorar la competencia técnica entre profesionales y en que se incrementen las inscripciones a carreras relacionadas con la agricultura.

Sistemas de riego moderno.

La modernización de sistemas de riego en países en desarrollo implica reemplazar sistemas intensivos de riego y el bajo consumo de energía, por sistemas más eficientes pero con un mayor consumo de energía y mayores costos de operación. Aunque existen sistemas de riego que funcionan en forma eficiente, como los de riego de plátano en Ecuador y de frutales en Chile, en muchos casos el funcionamiento de estos sistemas es menor a lo esperado, y con resultados pobres en relación a la conservación del agua y de energía.

De experimentos de campo en Brasil, con suelos arenosos y velocidades medias de viento de 5 m/s, se obtuvieron eficiencias en la aplicación del riego del 40% como eficiencia real (E_a) y del 60% de eficiencia potencial

(E_p), empleando sistemas convencionales de riego por aspersión en parcelas de 8 ha promedio. En tanto los valores promedio de riego por goteo y micro aspersión fueron de $E_a = 60\%$ y $E_p = 85\%$, respectivamente. Las principales pérdidas de agua se debieron fundamentalmente al exceso de tiempo de riego, fugas en las tuberías y por escurrimiento superficial. El efecto de la evaporación, del viento y las pérdidas debido a la infiltración, se consideraron iguales tanto para las eficiencias reales como para las potenciales. El tiempo en exceso fue la mayor fuente de pérdida de agua (de 10 a 25% en sistemas por aspersión y de 2 a 10% en sistemas por goteo), seguido por las fugas en las tuberías (Alfaro 1988).

Slomo Armoni en el año de 1985. Señala que el empleo del riego por micro aspersión representa el 25% del riego por aspersión en las plantaciones de árboles frutales, que tienen sistema de riego sub foliar.

Historia de la micro irrigación:

El empleo de micro emisores en las plantaciones de árboles frutales representa la cuarta etapa del riego por aspersión por debajo del follaje (riego sub arbóreo).

1.- La primera de dichas etapas se inicio con el uso de aspersores de martillo de ángulo reducido. Estos aspersores iban montados sobre una tubería portátil de aluminio. Como este sistema ocasionaba muchas horas de arduo trabajo, añadiéndose a ello la escasez de mano de obra, por lo tanto se paso a la siguiente etapa.

2.- En esta segunda etapa se empleo un sistema sem. – portátil, con uno o dos micro aspersores montados sobre

una tubería de polietileno flexible. Cada unidad de este tipo era arrastrada, entre dos hileras de árboles, de una posición de riego a la siguiente, sin que fuese necesario interrumpir el riego.

A pesar de sus aparentes ventajas, el sistema padecía de cuatro defectos demasiado importantes como para que fuese posible desentenderse de ellos:

a).- Era necesario mover frecuentemente los aspersores y la tubería, a partir de su posición inicial, para después retornarlas a su punto de partida, al final de cada ciclo de riego.

b).- Las labores de cultivo y de fumigación se veían impedidas por la tubería, que siempre ocupaban un lugar entre las hileras justo por donde debía transitar el equipo mecánico.

c).- El viento afectaba adversamente la uniformidad de distribución del agua, aunque este problema es de menor importancia en plantaciones de frutales que en cultivos de campo.

d).- El área entre las hileras recibía una dosis mayor de agua que la región cercana a los troncos. En plantaciones con follaje denso en la parte inferior de la copa, el agua de riego no podía penetrar en la zona en donde se encuentran la mayoría de las raíces activas del árbol.

3.- La tercera etapa consistía en una instalación fija, con una tubería de polietileno colocada a lo largo de las hileras de los árboles, con un mini aspersor colocado entre cada dos árboles. Este sistema resolvió la mayoría de los problemas anteriormente expuestos, excepto estos tres:

a).- la posición de los mini aspersores, ocupando una distancia media entre árboles vecinos, no mejoro la distribución del agua en la región del tronco, ya que las ramas inferiores del árbol constituían un obstáculo.

b).- no había manera de adaptar el aspersor a las exigencias cambiantes del árbol durante su desarrollo.

c).- era imposible aplicar agua a menos del 90% de la superficie total de la plantación.

4.- La solución a estos problemas se encuentra en el desarrollo de una nueva variante de la instalación de riego fija, basada en la familia de los micros emisores.

Micro-aspersor. Este tipo de micro aspersor posee un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina, en lugar del deflector estático. Esto presenta un cambio radical respecto al "micro-Jet" ya que presenta las siguientes características: mayor diámetro de cobertura, menor tasa de precipitación, mayor tamaño de gota, mejor distribución del agua, sobre todo en lo que se refiere a la uniformidad de distribución.

Micro - Jet. Este tipo de micro - aspersor se caracteriza por contar con un deflector fijo y su diámetro de cobertura reducido, pero sin embargo difiere del "micro - nebulizador" en dos aspectos:

a). Cuando resulta innecesario producir neblina es posible reducir la presión, instalando reguladores de flujo fijo a anti - mist.

b). Existen deflectores de varios tipos con los cuales es posible crear el marco de distribución deseado.

Micro - nebulizador. Este tipo produce una niebla fina a través de un deflector plano y boquilla de diámetro reducido.

La micro aspersion es conocida como un sistema de riego localizado de alta frecuencia. Es un medio artificial para aplicar el agua con un spray en forma de abanico o por medio de lluvia, según sea el deflector utilizado durante tiempos de operación cortos y con una alta frecuencia, siendo el agua conducida desde la fuente de abastecimiento hasta la planta misma, a través de tuberías a presión y baja presión en la operación del emisor.

Los sistemas de riego por micro aspersion generalmente se usan en suelos muy permeables en los cuales el bulbo de humedad se desarrolla mas en forma vertical y poco en forma horizontal, los patrones de mojado dependen del tipo de deflector y la presión a la cual opere el micro aspersor, este rango de alcance se localiza entre 4 y 10 m (Slomo, 1989).

Holzapfel H. Eduardo (1995) (Dr. Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción), Dice que el riego por micro aspersion se podría definir como la aplicación frecuente de agua filtrada al suelo en pequeñas cantidades a través de una red de tuberías y dispositivos especiales denominados "emisores", ubicados a lo largo de la tubería de distribución. De esta manera el agua es conducida desde la fuente a cada planta, eliminando totalmente las pérdidas por conducción y minimizando aquellas por evaporación y percolación. Con este método se pretende a demás controlar, bajo adecuadas condiciones de

diseño, operación y manejo, el patrón con que el agua se distribuye en el suelo generando en la zona radicular del cultivo un ambiente con características físicas, químicas y biológicas que permitan mayores rendimientos, productos de alta calidad que incrementan la rentabilidad de la empresa agrícola.

El diseño de sistemas de riego por micro aspersión, desde el punto de vista ingenieril y agronómico, tiene como objetivo fundamental mantener un volumen de suelo adecuado para la zona radicular del cultivo, bajo un nivel de humedad cercano a capacidad de campo. La distribución y el nivel de humedad del suelo deben adecuarse de tal forma que la relación entre los factores agua – suelo – planta optimice el uso del recurso, el rendimiento de la planta en términos de producción y desarrollo, y maximice el beneficio neto a la empresa agrícola considerando restricciones medioambientales.

Savaldi, citado por costa (1994), menciona que los factores que mas influencia tienen en a uniformidad de la distribución del agua en los micro aspersores son: la posición debe ser vertical de los micro aspersores para obtener una optima distribución, además el micro aspersor debe ser colocado a una altura de 20 cm en la estaca y a una distancia de 60 cm del tronco del árbol y por último menciona que cuanto mayor sea el ángulo de aplicación del agua, menor será la uniformidad, recomendando para esto que dicho ángulo sea lo mas horizontal posible.

http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/1_ABASTO/13_dimencionado/i132.htm

El conocimiento de los fundamentos del cálculo en las tuberías a presión nos permite:

- Tener información sobre las fórmulas que comúnmente se utilizan en el cálculo de las tuberías de presión.
- Determinar el ámbito de aplicación de las mencionadas formulas.
- Establecer el modo de empleo de dichas fórmulas, con el objeto de facilitar la redacción de proyectos de redes de abastecimiento con un correcto dimensionado de las conducciones hidráulicas a presión.

En la presente ficha se hará referencia a los conceptos básicos, a las ecuaciones de pérdidas y se tratará las teorías semiempíricas del flujo turbulento (formula de Colebrook).

También, en la presente ficha, se tratará sobre las influencias que tiene, sobre los cálculos, el envejecimiento de las tuberías.

El cálculo de las conducciones plantea tres problemas esenciales:

- El cálculo de las pérdidas de carga, conocidos los caudales y las secciones.
- El cálculo de los caudales, conocidas las pérdidas de carga y las secciones.
- El cálculo de las secciones, conocidos los caudales y las pérdidas de carga.

En los dos primeros supuestos se trata de analizar y comprobar si las instalaciones están bien resueltas, en el tercer supuesto lo que se pretende es diseñar las redes al proponer el dimensionado de sus secciones.

En las redes de abastecimiento, se hace preciso también utilizar una serie de elementos de control de flujo (válvulas),

de ajuste de trazado (codos, curvas, etc.) y de acople de tuberías de diferentes diámetros (reductores, té, cruces, etc.).

Estos elementos producen pérdidas de cargas que también deben ser evaluadas.

Ecuaciones y Conceptos Básicos:

A continuación se hace una reseña de ecuaciones y de los conceptos básicos que deben ser tenidos en cuenta en el cálculo y diseño de las redes de abastecimiento. Estas ecuaciones y conceptos son los siguientes:

La ecuación de la continuidad.

La ecuación de la energía

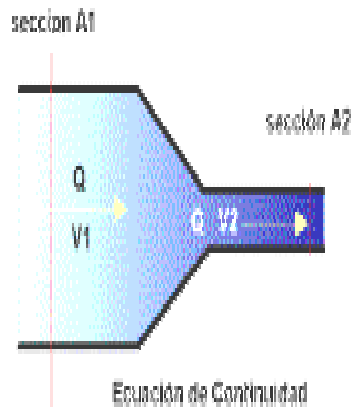
Las alturas piezométricas, totales y geométricas.

Ecuación de la Continuidad:

Si en una conducción determinada de una red de abastecimiento se consideran dos secciones rectas de las misma A_1 y A_2 situadas en puntos perfectamente diferenciados de la conducción que está siendo recorrida por agua con velocidades diferentes v_1 y v_2 , se puede establecer la siguiente igualdad.

Figura No 2.1 Ecuación de Continuidad.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Cte = Q$$



Esta igualdad se verifica porque para las presiones habituales de trabajo el agua es un líquido prácticamente incomprensible y por lo tanto su peso específico se mantiene constante. Esta igualdad es una consecuencia de la aplicación de la ecuación de la continuidad:

$$A_1 v_1 \gamma = A_2 v_2 \gamma = Q$$

Donde:

A_1 y A_2 = Secciones rectas de las conducciones.

v_1 y v_2 = Velocidades del fluido en cada una de las secciones.

γ_1 y γ_2 = Pesos específicos del fluido en cada una de las secciones.

Ecuación de la Energía para Fluidos Incomprensibles:

La ecuación de la energía es válida para una línea de corriente de flujo permanente y uniforme y sin rozamiento.

En estas circunstancias, la suma de las energías de presión, cinética y potencial, se mantiene constante a lo largo de la mencionada línea.

La ecuación de la energía recibe también el nombre de ecuación de Bernoulli:

La expresión analítica de dicha ecuación es la siguiente:

$$\frac{P}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} = Cte$$

Esta ecuación puede expresarse de este otro modo:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

P_1 = Presión en el punto 1

Z_1 = Cota del punto 1

V_1 = Velocidad del fluido en el punto 1

γ = Peso específico del fluido

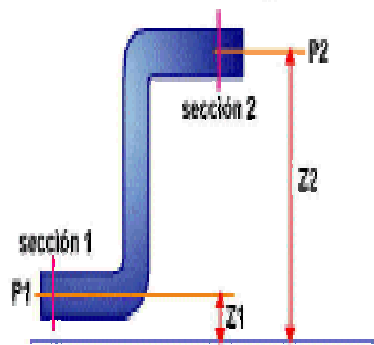
g = Aceleración de la gravedad

P_2 = Presión del fluido en el punto 2

Z_2 = Cota del punto 2

Figura No 2.2 Ecuación de la Energía.

Ecuación de la Energía



Cuando se aplica la ecuación de Bernoulli, puede suceder que:

- La velocidad sea constante, entonces la ecuación será la siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

- $Z = \text{Cte.}$, la expresión será la siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

- $P = \text{Cte.}$, la expresión será la siguiente:

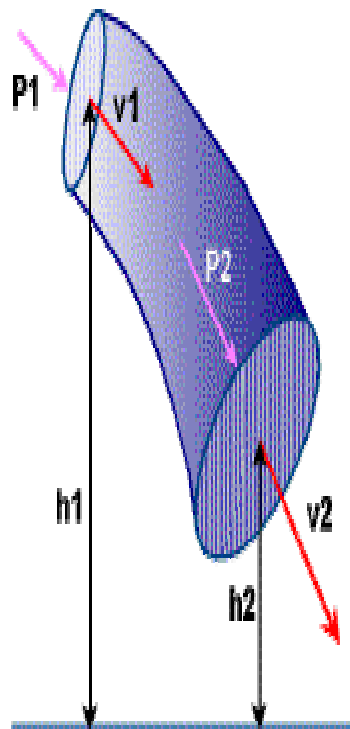
$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Cuando el fluido que circula por las conducciones es agua, hay que considerar la aparición del rozamiento que convierte en calor parte de la energía transformada cuando la circulación del agua arrastra partículas del líquido elemento desde el punto 1 al 2. La ecuación de Bernoulli se puede expresar del siguiente modo:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

Donde:

ALTURAS PIEZOMÉTRICAS, ALTURAS TOTALES Y ALTURAS GEOMÉTRICAS



**Posiciones de aplicación del
Teorema de Bernoulli**

Conviene antes de seguir adelante, realizar una serie de matizaciones en torno a los términos de alturas piezométricas, alturas totales y alturas geométricas.

Altura geométrica, es la altura que tiene el eje de la tubería con respecto a un nivel de referencia determinado como puede ser el nivel del mar. La altura geométrica se representa mediante la cota z . Esta altura cuantifica la energía potencial.

El lugar geométrico de las alturas geométricas es la línea de alturas geométricas:

- Altura piezométrica, es la suma de la altura geométrica y de la altura de presión. El lugar geométrico de las alturas piezométricas se determina uniendo en una línea la altura que en un fluido circulante

alcanzan los distintos tubos piezométricos emplazados a lo largo de la tubería que se considera.

La expresión analítica de la altura piezométrica es la siguiente:

$$H = \frac{P}{\rho g} + z$$

h_f = Es la pérdida de carga producida por el rozamiento del agua en las tuberías. Figura No 2.3. Posiciones de la aplicación del teorema de Bernoulli

-
- Alturas totales. Estas alturas se obtienen sumando a las alturas piezométricas, las alturas de la velocidad de circulación ($v^2/2g$).

En la práctica, el término $v^2/2g$, tiene escasa entidad ya que en las redes de abastecimiento, no conviene que la velocidad del agua alcance grandes valores (de 1 a 1,5 m/seg). Las alturas totales, por ello, tiende a despreciarse estableciéndose que para las redes de abastecimiento, el balance energético del agua venga determinado por la línea de alturas piezométricas.

En el supuesto de conducciones de agua, hay que tener en cuenta las pérdidas de carga por fricción, esta pérdida de carga es directamente proporcional a la longitud (L) de la tubería, por lo que la anterior expresión debe ser corregida para quedar del modo siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho} + z_1 = \frac{P_2}{\rho} + z_2 + KL$$

Esta expresión también se puede representar de este otro modo:

$$H_1 = H_2 + KL$$

Donde:

L = Longitud del tramo de tubería considerado entre los puntos 1 y 2

A la caída de presión H debida a la fricción, se le denomina pérdida de carga. A la caída de presión en la tubería por m.l, se le denomina, pérdida de carga unitaria (K). La pérdida de carga unitaria se puede expresar en m.c.a/m.l o en m.c.a/Km.

K , es función de diversos parámetros del sistema, como pueden ser entre otros:

- El diámetro.
- La rugosidad.
- El caudal.
- El régimen del movimiento (laminar o turbulento).

A las pérdidas de carga por tramo hay que sumarle las pérdidas de carga localizadas, producidas por válvulas,

codos, curvas, etc., también hay que considerar la pérdida de carga por envejecimiento.

Ecuaciones de Pérdidas de Energía:

Las pérdidas de carga que se producen en las conducciones de agua, están relacionadas con el caudal, el tamaño de la sección, la rugosidad de las paredes internas de las tuberías, etc.

Recibe el nombre de las Ecuaciones de pérdidas, a la relación que asocia a las pérdidas de carga, con los elementos que se acaban de reseñar:

En las mencionadas Ecuaciones de pérdidas no se contemplan las pérdidas localizadas debido a elementos específicos de las redes, como son las válvulas, los codos, la tés, etc.

Existe un parámetro relacionado con las Ecuaciones de pérdidas, determinado por las características del flujo del agua que se hace preciso mencionar, este parámetro es el número de Reynolds.

El número de Reynolds es un parámetro adimensional a través del cual se determina la relación que existe entre las fuerzas de inercia y la viscosidad del fluido (fuerzas viscosas). La expresión matemática del número de Reynolds es la siguiente:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

ρ = Densidad del fluido

μ = Viscosidad absoluta del fluido

v = Velocidad del fluido

Cuando los valores del número de Reynolds son bajos, las velocidades reducidas, las secciones tienen un escaso diámetro, y los fluidos son viscosos, el flujo suele ser de régimen laminar, es decir, los filetes o láminas en los que se integran las partículas de los fluidos se mueven de un modo ordenado y por lo tanto previsible, puesto que las líneas de corriente son curvas fijas en el espacio que no se entrecruzan a lo largo del desplazamiento. Las láminas se deslizan unas sobre otras sin que las partículas de una lámina se introduzca dentro de otra lámina. En este movimiento, la velocidad de movimiento es diferente según se consideren láminas que se encuentran en el eje de la tubería o en la cara interna de la misma.

El fluido tiene un régimen turbulento, cuando el número de Reynolds es alto, ya que la tendencia al movimiento caótico se incrementa ostensiblemente, las fuerzas de la viscosidad pierden la capacidad para orientar el movimiento de las partículas y estas describen trayectoria erráticas que en términos generales mantienen rumbos predecibles ya que las partículas no dejan de encontrarse encerradas dentro de una tubería, donde el fluido se desplaza en un determinado sentido.

El tránsito del régimen laminar al turbulento o del régimen turbulento al laminar, se hace a través del régimen crítico, que es un estado intermedio del movimiento de las partículas dentro de una tubería, asociado a un valor también intermedio del número de Reynolds (valores de Re comprendidos entre el 2.000 y el 4.000). (Los estudios sobre

el régimen del movimiento de los fluidos fueron realizados por Osborne Reynolds en 1883).

La teoría de la Capa Límite, desarrollada por Prandtl en 1904, facilitó la mejor comprensión de la Hidrodinámica.



Según la teoría de la Capa Límite, el flujo de un fluido real que discurre en las cercanías de una pared puede asimilarse al flujo de un fluido ideal (que no tenga rozamiento) a partir de una determinada distancia. Dentro de esta distancia el flujo cambia de características. A la capa de fluido donde esto sucede, Prandtl la denominó Capa Límite. La distancia aludida o espesor de la capa límite tiene escasas dimensiones, del orden de algunas micras o algunos milímetros.

Dentro de esta distancia es posible emplear una transformada de la ecuaciones de Navier - Stokes, denominada Ecuación de Prandtl de la Capa Límite, que permite determinar la magnitud de los esfuerzos cortantes que se producen en la distancia que se viene mencionando.

Figura No 2.4. Régimen laminar y turbulento

Con posterioridad a los trabajos de Prandtl han aparecido numerosos estudios que tomaron como ecuación fundamental la ecuación de Darcy - Weisbach en función de los caudales circulantes.

La ecuación fundamental de Darcy – Weisbach mencionada tiene la siguiente expresión:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga en el tramo que se estudia.

L = Longitud del tramo considerado de una tubería.

D = Diámetro de la tubería en el tramo que se considera.

f = Factor de fricción determinado en función de la relación entre la rugosidad absoluta del material y el diámetro de la tubería (e/D), así como el número de Reynolds (Re).

Esta expresión también se puede dar en función del caudal circulante:

$$h_f = \frac{8fL}{\pi^2} \frac{Q^2}{gD^5}$$

La rugosidad relativa (e) es la relación que existe entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería (e/D).

Cuando el régimen es laminar, el número de Reynolds $Re < 2.000$ y el factor de fricción se puede obtener con la fórmula de Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Cuando $Re < 2.000$, la rugosidad relativa (ϵ), no influye en la determinación del valor de factor de fricción, ya que esta se debe únicamente a la fricción que se da entre las diferentes láminas del fluido y no entre las láminas de fluido y las paredes de la conducción.

En los mencionados estudios de la Capa Límite se estableció una distinción entre:

- Tuberías lisas (PVC, Pe, etc.), en las que el escaso tamaño de las asperezas impide que estas influyan en las fuerzas de rozamiento propiciado el hecho que el factor de fricción (f), solo dependa del número de Reynolds.
- Tuberías rugosas, en las que el tamaño de las asperezas influye en las fuerzas de rozamiento propiciado que la dependencia del valor del número de Reynolds no sea muy importante.

Para tubos lisos (tubos de plástico) y valores del número de Reynolds $Re < 10^5$, Blasius estableció en 1911, la siguiente expresión:

$$f = 0,3164 Re^{-0,25}$$

En 1930 Von Karman, estableció la siguiente ecuación válida para tubos lisos y cualquier valor del número de Reynolds:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}}$$

En 1933, Nikuradse, estableció la siguiente ecuación, válida para tubos rugosos de arenisca y valores elevados del número de Reynolds.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \frac{\epsilon/D}{3,7}$$

Nikuradse estableció esta expresión utilizando tubos de rugosidad artificial, llamados tubos arenisca, con un uniforme grado de aspereza definido por diferentes granos de arenas seleccionados por tamiz y pegados a las paredes internas de las tuberías.

Según las experiencias desarrolladas en el estudio de tuberías comerciales, para elevados valores del número de Reynolds se descubrió que los resultados obtenidos coincidían con los establecidos por Nikuradse, con sus tubos de arenisca. Por ello se decidió asignar a cada material un coeficiente de rugosidad equivalente, igual al diámetro de grano de arenisca que, según los ya mencionados experimentos de Nikuradse, proporcionan el mismo valor de pérdida de carga que el material que se somete a ensayo.

La ecuación de Von Karman reseñada, no ofrece resultados concordantes con los de Nikuradse, para valores del número de Reynolds moderados y tuberías rugosas, por ello Colebrook, en 1938, propuso la adopción de una fórmula intermedia entre la de Von Karman y la de Nikuradse, que si ofrece resultados concordantes, en estos supuestos. Esta

fórmula, se le conoce con el nombre de fórmula de White – Colebrook. Esta fórmula ha sido aceptada unánimemente por todos los tratadistas de hidráulica.

La fórmula White – Colebrook, tiene la siguiente expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

La utilización práctica de la fórmula de White – Colebrook, es bastante engorrosa por lo que con posterioridad se han propuesto otras fórmulas para determinar el valor del factor de fricción como pueden ser las siguientes:

La siguiente fórmula solo es válida para $10^{-10} \leq e/D \leq 10^{-2}$ y $10^3 \leq \text{Re} \leq 10^8$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,094 \cdot \epsilon_y^{0,255} + 0,53 \cdot \epsilon_y^{0,44} \text{Re}^{-1,62 \epsilon_y^{0,134}}$$

PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS EN LAS REDES DE ABASTECIMIENTO

Las conducciones de abastecimiento están integrados por tuberías (tramos rectilíneos) y accesorios (válvulas, codos, té, etc.)

En los apartados anteriores se ha podido establecer como se determinan las pérdidas de carga en los tramos rectos, en el presente apartado se dan intrusiones para calcular la pérdida de carga producida por los accesorios.

Las pérdidas de carga localizadas se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$h_i = K_i \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_i = Pérdida de carga localizada en m.c.a.

K_i = Coeficiente adimensional que depende del número de Reynolds y de parámetros asociados al tipo de accesorio a considerar.

V = Velocidad del agua (m/seg)

g = Aceleración de la gravedad (m/seg²)

Las pérdidas de carga localizadas se pueden expresar en función de la longitud del tubo equivalente, L_e , que es la longitud que tendría que tener la tubería para que se produzca la misma pérdida con el mismo caudal.

Recurriendo a la ecuación de Darcy y teniendo en cuenta la expresión anterior se tiene la siguiente expresión:

$$f \frac{L_e}{D} \frac{v^2}{2g} = K_i \frac{v^2}{2g}$$

Simplificando tenemos la siguiente expresión:

$$L_e = K_i \frac{D}{f}$$

De un modo genérico se puede establecer que la pérdida de carga por accesorios se puede situar entre un 10 a un 20% de la pérdida de carga longitudinal por tramo.

El cálculo de la pérdida de carga total (longitudinal y de accesorios) en un determinado tramo se resolvería utilizando la siguiente expresión deducida de las anteriores:

$$h_f = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_i \right) \frac{v^2}{2g} = \frac{8}{\pi^2} \left(f \frac{L}{D} + \sum K_i \right) \frac{Q^2}{D^5}$$

$$h_{f_t} = \frac{f(L + \sum L_e)}{\pi^2 g D^5}$$

ENVEJECIMIENTO DE LAS CONDUCCIONES

En las conducciones, a medida que el proceso de envejecimiento se desarrolla, las pérdidas de carga se hacen mayores, ya que la rugosidad se incrementa por la formación de incrustaciones y tubérculos por los efectos corrosivos del agua y la sedimentación de partículas.

El incremento de rugosidad con el tiempo viene dado por la siguiente expresión:

$$\epsilon = \epsilon_0 + \Delta \epsilon$$

Donde:

\square = Valor en mm. de la rugosidad al cabo de t años de servicio

\square_0 = Valor de la rugosidad absoluta para un tubo nuevo en mm.

\square = Factor de crecimiento que depende de las características del agua y sobre todo del pH de las mismas

t = Periodo de servicio en años

De un modo genérico se puede establecer que la pérdida de carga por envejecimiento puede suponer un 10 a un 20% del total de las pérdidas de carga que se produzcan.

PRESIONES DE SUMINISTRO

Las presiones de suministro deben ser tales que permitan suministrar directamente el abastecimiento a las edificaciones desde la propia red.

Las presiones disponibles en las redes no deben superar ciertos valores por lo que en algunos supuestos, para abastecer a las viviendas situadas en pisos altos, se debe disponer de grupos hidropresores.

Como se viene insistiendo, es conveniente que en las redes se registren presiones situadas entre los 25 y los 40 m.c.a.

Como se acaba de señalar en los apartados anteriores, el agua cuando circula por las redes sufre una pérdida de carga longitudinal y por accesorios.

A modo de resumen, de lo ya expuesto, de un modo genérico se puede recomendar que la pérdida de carga por

accesorios sea del 10% de la pérdida de carga longitudinal de las tuberías.

Esta recomendación, de carácter genérico, siempre debe ser matizada teniendo en cuenta la sección de las conducciones y el tipo de elemento o válvula que se considere.

Cuadro No. 2.1. Metros de tubería recta equivalentes a pérdidas

De carga por accesorios.

Diámetro del tubo en mm.	Codo de 90°	Curva de 90°	Válvula de retención	Válvula de compuerta
25	2,00	1,00	4,00	2,00
32	2,50	2,00	4,00	2,00
40	2,50	2,00	4,00	2,00
50	2,50	2,00	5,00	2,00
60	3,00	2,00	5,00	3,00
80	3,00	2,00	6,00	3,00
100	4,00	3,00	6,00	4,00
125	4,00	3,00	8,00	4,00
150	5,00	3,00	10,00	5,00
200	6,00	4,00	12,00	5,00
250	7,00	4,00	15,00	6,00
300	8,00	5,00	20,00	7,00
350	8,00	5,00	25,00	8,00

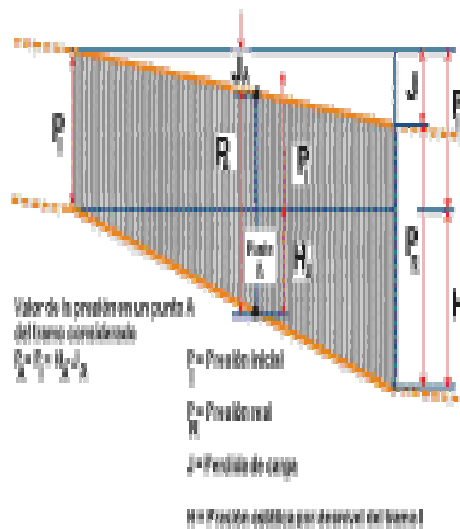
Se sobreentiende que la sección siempre es constante para cada tramo, por lo que una vez determinada la pérdida de carga unitaria (pérdida de carga por unidad de

longitud), se hace preciso multiplicar esa pérdida de carga unitaria por la longitud total del tramo, para establecer el valor de la pérdida de carga del tramo. A esta pérdida de carga habría que sumarle las pérdidas de carga puntuales de accesorios.

Las pérdidas de carga unitarias por resistencia del agua en las tuberías se pueden dar en % o en ‰ (tantos por mil).

Figura No 2.5. Evolución de la presión en cada tramo de tubería

Evolución de la presión en el tramo I, según la orografía y la hidráulica de la conducción



En el primero de los supuestos, si la longitud del tramo se da en metros, las pérdidas de carga unitaria será la correspondiente en m.c.a. a una tubería que tenga una longitud total de 100 m (m/m).

En el segundo supuesto, si la longitud del tramo se da en Km, la pérdida de carga unitaria será la correspondiente en m.c.a a un tubería que tiene una longitud de 1 Km.

Cuando la pérdida de carga se da en ‰ (tantos por mil) y la longitud del tramo en m,

la pérdida de carga unitaria vendría dada en mm. c.a. (mm./m).

La relación del caudal en l/seg., l/min., o m³/h, la velocidad en m/seg., el diámetro (en mm.) y la pérdida de carga unitaria, se da en tablas referidas a los diferentes materiales, con los que se fabrican los tubos de las redes de abastecimiento. Por ello siempre es recomendable, ante todo, seleccionar los materiales de las tuberías para proceder a continuación a calcular las pérdidas de carga por tramo como ya se ha indicado.



Una vez determinadas las pérdidas de carga totales por tramo, el establecimiento de las pérdidas de carga por sección se hace de un modo sencillo, basta con comprobar cual es la ruta que sigue el agua hasta llegar a la sección considerada y sumar las correspondientes pérdidas de carga de los tramos situados en la ruta que se analiza, antes de la sección estudiada en el sentido de circulación del agua, desde los tramos de mayor a inferior jerarquía.

En el ejemplo que se propone, la pérdida de carga de la sección A – A' se obtiene sumando las pérdidas de carga totales de los tramos 0 – 1, 1- 2, y 2 – 3.

La pérdida de carga en la sección B – B', se obtiene sumando las pérdidas de carga de los tramos 0 – 1, 1 – 2, 2 – 3, 3 – 4 y 4 – 5.

La pérdida de carga de la sección C – C', se obtiene realizando la misma operación, por que en ambas secciones (B – B' y C – C'), los valores de la pérdida de carga de la sección son idénticos.

La pérdida de carga de la sección D – D', se obtiene sumando la pérdida de carga totales de los tramos 0 – 1, 1 – 2, 2 – 3, 3 – 4 y 4 – 6.

Para finalizar, la pérdida de carga de la sección E – E', se obtiene sumando las pérdidas de carga totales de los tramos 0 – 1, 1 – 2 y 2 – 7.

Teniendo en cuenta lo que se viene exponiendo, el valor total de la presión en una sección determinada de la red de abastecimiento viene dada por la expresión:

$$P_{A-A'} = P_1 + (z_0 - z_{A-A'}) - J_{A-A'}$$

Donde:

$P_{A-A'}$ = Presión en la sección A-A', dada en m.c.a.

P_1 = Presión inicial en el punto de acometida de toda la red, en m.c.a.

z_0 = Cota en m del punto 0 donde se efectúa la acometida de toda la red.

$z_{A-A'}$ = Cota en m de la sección A – A'

$J_{A-A'}$ = Pérdida de carga total en la sección A - A'

La diferencia de cotas entre el punto de acometida y la sección que se considere, puede ser positiva, cuando la distribución se hace por gravedad o negativa, cuando se hace a contra pendiente.

La expresión anterior también puede desarrollarse del siguiente modo, para Canarias, teniendo en cuenta el tipo de aguas (salobres y calcáreas) que predomina en los abastecimientos de aguas potables (propuesta del autor).

$$P_i = P_0 \pm (z_0 - z_i) - 1,32 \sum_{i=0}^n (J_i L_i)$$

Donde: P_i = Presión en m.c.a. en el nudo i de la red, en m.c.a.

P_0 = Presión en el nudo 0 de la red, en m.c.a.

z_0 = Cota en m., en el nudo 0

z_i = Cota en el nudo i de la red, en m.

j_i = Perdida de carga unitaria

L_i = Longitud del tramo

PRESIONES MÍNIMAS

La presión mínima necesaria en cada acometida a pie de parcela viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{\min.} = 1,2H + 10m.c.a$$

Donde:

P_{\min} = Presión mínima necesaria en m.c.a.

H = Altura en m., de la cornisa de la edificación

En las redes de abastecimiento, la cota piezométrica mínima se obtiene con la siguiente expresión:

$$z_{\min} = z_i + P_{\min}$$

Donde:

z_{\min} = Cota piezométrica mínima en el nudo i

z_i = Cota geográfica en el nudo i

P_{\min} = Presión mínima necesaria en el nudo i

Puede suceder que la presión inicial en el nudo 0 de la red sea impuesta desde el proyecto o que esta presión inicial sea un condicionante del proyecto a la que tenemos que adecuar los demás valores de presión en la red.

En el segundo de los supuestos es de mucho interés determinar la presión real de cada acometida mediante las expresiones ya desarrolladas.

En este segundo supuesto, una vez determinado el valor de la presión en el nudo i (P_{Ri} = presión real en el nudo i), se hace preciso comparar su valor con el de la presión mínima necesaria en el nudo i.

Puede entonces suceder lo siguiente:

- Que $P_{Ri} < P_{min.}$. En esta situación se hace preciso reducir las pérdidas de carga, aumentando la sección de las conducciones o utilizar grupos sobrepresores en la edificación ya que la red pública no reuniría las condiciones propicias para efectuar un adecuado suministro.
- Que $P_{Ri} \geq P_{min.}$. En esta situación, el valor de P_{Ri} se considera aceptable.

En todos los supuestos considerados, debe comprobarse como funcionaría la red en una situación extrema, para ello se supondrá que se está produciendo un incendio que demanda la utilización simultánea de dos bocas con la consiguiente demanda que tenga cada una.

Dentro de estas circunstancias, se debe verificar que los caudales circulantes y las presiones de suministro son las exigibles para el correcto funcionamiento del servicio de abastecimiento.

Es conveniente exponer los datos obtenidos de un modo ordenado en una tabla como la que a continuación se muestra:

PRESIONES MÁXIMAS

En las redes no es conveniente superar los 60 m.c.a, ya que este hecho da lugar a la.

- Aparición de ruidos molestos.
- Roturas de contadores.
- La proliferación de fugas de aguas en porcentajes superiores al 15% del total de caudal transportado. Por debajo del 15% de pérdidas, no es necesario tomar medidas, puesto que el coste del incremento en

las operaciones de mantenimiento sería superior al precio del agua que se pierde.

- Roturas de tuberías.

Características mas importante del sistema de riego por micro aspersión (citado por Miguel Ángel García Delgado, 1986).

1. – Aplica el agua en forma de roció (lluvia).
2. – Un mismo micro aspersor tiene accesorios suficientes, los cuales se pueden ir cambiando de acuerdo a la etapa vegetativa del cultivo en particular. De esta manera pueden irse controlando características del micro aspersor, tales como: diámetro de mojado, gasto y presión.
3. – Su instalación es más sencilla y practica que los sistemas de riego por goteo.
4. – Es fácil de identificar, por que cada diámetro de boquilla tiene un color que la caracteriza y determina su gasto tanto en micro aspersores regulables como en los no regulables.
5. – Puede ser utilizado para moderar microclimas.
 - 5.1.– En días cálidos y secos se puede producir un rociado por encima del árbol, las gotas del roció absorben el calor del aire circundante, enfriándolo y aumentando la humedad del ambiente.
 - 5.2.– En una noche fría y helada el agua al aplicarse por encima del follaje, calienta el ambiente, esto debido a que el agua aplicada pierde calorías al enfriarse.
6. – El sistema de riego por micro aspersión es ampliamente utilizado en aquellos cultivos donde el riego por goteo, los gastos que aplica son muy pequeños y esto obliga a poner dos laterales en cada

línea de árboles, y esto encarece más el costo del sistema de riego.

7. – El movimiento de las sales en el suelo es más apropiada en riego por micro aspersión.
8. – Al contar con un amplio rango de gasto de los emisores, lo hace más accesible para utilizarlo en cualquier tipo de textura de suelos. Esto al tener un rango más amplio de tasa de precipitación.
9. – Su uso en invernaderos y edificios cerrados lo hace más recomendable, dado a que la temperatura de dicho lugares debe estar más controlada.
- 10.– Al igual que en otros sistemas de riego, también se puede aplicar fertilizantes a través del sistema.

Factores que favorecen la instalación y selección de un sistema de riego por micro aspersión (García Casillas y Gregorio Briones, 1986).

1. – Los suelos son muy porosos o variables para obtener una buena distribución por métodos de superficie.
2. – Los suelos son muy poco profundos para ser apropiadamente nivelados.
3. – Los costos de nivelación son muy excesivos.
4. – El suelo es fácilmente erosionado.
5. – El gasto de agua disponible es pequeño pero puede obtenerse siempre que sea requerido.
6. – No se dispone de mano de obra capacitada y hábil para manejar un sistema de riego por superficie.
7. – Solamente se requiere de una irrigación suplementaria.
8. – Una pequeña pero constante aplicación de agua es requerida.
9. – La cantidad de agua aplicada es fácilmente medida.

- 10.– Existe una mínima interferencia con el resto de las operaciones agrícolas.
- 11.– Una alta eficiencia en la aplicación del agua es fácilmente de lograr.
- 12.– Los micro aspersores pueden ser usados para proveer protección contra la temperaturas bajas y temperaturas altas.

Descripción del sistema de micro irrigación

Al consultar los recursos en línea se encontró en el sitio

http://www.inia.cl/cobertura/quilamapu/pubbycom/informativos/info_18.htm que un sistema de riego localizado está compuesto de varias partes, entre las cuales se pueden distinguir: fuente de agua, estación de bombeo, sistema de filtrado, equipos de aplicación de fertilizantes, unidad de riego, tuberías principales, secundarias y terciarias, laterales y emisores.



Figura No 2.6. Componentes del sistema de micro irrigación

Factores que influyen en la selección de riego localizado

Para seleccionar micro irrigación entre otros métodos existentes, como aspersión o superficial, se deben tener en cuenta una serie de factores:

- **Disponibilidad de recursos hídricos:** el riego localizado, si es diseñado, instalado y operado correctamente, permite una alta eficiencia de aplicación, por lo que es recomienda su uso cuando el agua es escasa.
- **Rentabilidad del cultivo:** es una condición fundamental, puesto que la instalación de un sistema de riego localizado tiene un elevado costo inicial por hectárea. Sin embargo, en algunas situaciones puede ser más rentable que otro método de riego.

- **Topografía del sector:** en terrenos con pendientes fuertes y con profundidades de suelo variables, resulta recomendable el uso del riego localizado.
- **Características del suelo:** el movimiento del agua en el suelo está gobernado por su textura, estructura y grado de estratificación. Cuando la permeabilidad del suelo es excesiva (suelos muy arenosos) o escasa (suelos arcillosos), es recomendable el riego localizado para no comprometer la eficiencia de aplicación del agua.
- **Mano de obra:** el riego localizado permite alcanzar altos niveles de automatización. Incluso si es operado manualmente, tiene la ventaja de exigir muy poca mano de obra, lo que lo hace recomendable cuando hay escasez o elevado costo de mano de obra.

También existen factores que influyen negativamente sobre la elección del riego localizado. Por ejemplo, en este tipo de riego sólo una parte del sistema radicular está más activo, lo que hace que se aproveche menos la fertilidad natural del suelo. Además, se requiere contar con empresas consultoras y comercializadoras con un servicio de posventa especializado, lo que no siempre ocurre. Finalmente, los operarios del sistema de riego localizado deben tener un nivel de preparación adecuado y una gran capacidad de asimilación y receptividad de nuevas tecnologías.

Partes más importantes que integran un sistema de riego:

a). – Fuentes de abastecimiento. Es la parte fundamental del riego, la cual puede ser de diferente índole entre las cuales encontramos: pozo profundo, río, lago, presa, etc.

b). – Cabezal de control. Este constituye el cerebro del sistema de riego y esta integrado por un conjunto de elementos que permiten el suministro del agua de riego al sistema, entre los cuales se encuentra: sistema de filtrado, accesorios para la medición del caudal, medición de la presión, válvulas de retención, válvulas de apertura y cierre rápido, válvulas de alivio de aire y de presión, manómetros.

c). – Equipo de bombeo. Este equipo generalmente es una bomba centrífuga del tipo horizontal. La función de la bomba es proporcionar el gasto y la presión necesaria para que el sistema de riego funcione adecuadamente. Los equipos de bombeo tienen la característica funcional de que dentro de ciertos límites de operación, al variar la carga de trabajo varía el caudal es decir a mayor o menor carga, mayor o menor será el gasto proporcionado por la bomba. Las características de funcionamiento de las bombas se resumen en “curvas de operación” las cuales relacionan: carga, gasto, eficiencia, velocidad específica y potencia; dicha curva son proporcionadas por los fabricantes durante la compra de un equipo de bombeo.

d). – Válvula de paso. Es un dispositivo cuya función es abrir y cerrar la tubería, esto con la finalidad de regular el flujo de agua en la tubería y con esto también regular la presión en la misma tubería.

e). – Reguladores de presión. Estos dispositivos generalmente van instalados a la salida de la bomba, en las unidades de control, es emisores (en el caso de pivotes centrales), en las tuberías. Permiten regular la presión de

trabajo del sistema para poder lograr una uniformidad de aplicación del agua en la zona de riego.

f). – Medidores de gasto. Son dispositivos que en función de la velocidad del agua en la tubería, indican el gasto de manera instantánea y dependiendo del medidor, la lectura puede ser en volumen acumulado o en una manera directa en unidades de gasto. Estos accesorio de riego se pueden instalar en cualquier parte del sistema de riego, donde se desee saber el flujo que se esta pasando por la tubería.

g). – Manómetros. Son dispositivos, cuya función es medir la presión relativa o manométrica en diferentes puntos de interés en el sistema de riego, dichos medidores pueden ser en glicerina, en mercurio, del tipo Bourton, en aceite.

h). – Controladores automáticos. Son dispositivos eléctricos que nos permiten controlar el inicio y la terminación de la aplicación del riego, disminuyendo así al mínimo la utilización de la mano de obra (Zazueta, 1992), señala también que estos pueden ser eléctricos, electromecánicos o basados en computadoras, teniendo como objeto los mas simples, operar el sistema en base a tiempos de riego o volúmenes aplicados. Como ejemplos de ellos de acuerdo con Medina 1979 pueden citarse las válvulas volumétricas, válvulas eléctricas, los programadores y los electrotensiometros.

i). –Dispositivos de seguridad.

i.1). – Válvulas de retención o unidireccionales. Su finalidad es impedir el cambio no deseado de la corriente de agua; es decir, para retener la masa de agua que se encuentra en la tubería, cuando la bomba suspende su operación. Entre

otras funciones de esta válvula esta la de amortiguar el golpe de ariete evitando que este dañe el equipo de bombeo y demás accesorios con que cuenta el cabezal de control.

1.2). – Válvula de alivio contra el golpe de ariete. Son válvulas aliviadoras de presión cuya finalidad es permitir la fuga del agua o aire cuando la presión en la tubería sobrepasa un límite preestablecido por la misma resistencia de la tubería, con dichas válvula también se protege a las demás partes del sistema de riego en los cambios bruscos de presión que se producen por el arranque o el paro del equipo de bombeo.

i.3). – Purgadores o ventosas. Estos permiten la salida del aire en aquellos puntos de la tubería donde puede acumularse dicho aire, tales puntos pueden ser: codos, partes elevadas de la tubería, filtros o en cambios bruscos de dirección de la tubería.

Las ventosas son válvulas de entrada y salida de aire. Su función es desalojar el aire cuando las tuberías se llenan de agua, evitando con ello la formación de burbujas en las partes altas de la instalación y permitir que el aire entre cuando las tuberías se vacían para evitar el golpe de ariete.

j). – Sistema de filtrado. Este comprende aquellas estructuras cuyas funciones son eliminar los materiales en suspensión del agua de riego, las cuales pueden ser algas, sólidos en suspensión, bacterias, materiales inorgánicos como arcillas, arenas y demás objetos que puedan tapar los emisores del sistema de riego.

k). – Tanque de inyección de fertilizantes. Es el equipo que sirve para suministrar sustancias químicas benéficas para el cultivo, tales sustancias son: fertilizantes, fungicidas,

herbicidas y ácidos. Estos equipos pueden ser accionados mediante el uso de energía eléctrica, energía por posición, energía mecánica, etc.

l). – Accesorios del sistema de riego. Es el conjunto de piezas las cuales se utilizan para unir los dispositivos que conforman el sistema de riego, dichos accesorios pueden ser: coples, codos, adaptadores, extremidades, reducciones, cruces, etc.

m). – Red de tuberías.

m.1). – Tubería de succión. Es la tubería que conecta a la bomba con la fuente de agua. Esta tubería regularmente es de fierro, consta básicamente de una válvula de pie con pichincha.

m.2). – Tubería conducción. Es la tubería que conecta a el cabezal de control con las tuberías de distribución del sistema de riego. Generalmente en micro irrigación esta tubería es de poli cloruro de vinilo (PVC).

m.3). – Tubería principal. Son las líneas que conectan a la tubería de conducción con las unidades de control, también en sistemas de micro riego son de PVC.

m.4). – Unidades de control. Son una serie de accesorios, entre los que se encuentran válvula de paso, codos, tee, adaptadores. Estas unidades tienen la función de abrir y cerrar el paso del agua para que se riegue la sección de riego.

m.5). – Líneas regantes. Son los conductos por medio de los cuales se alimentan a los emisores para aportar el agua que necesitan las plantas. Estas generalmente en micro riego son de polietileno.

m.6). – Sección de riego. Es la superficie dominada por las tuberías regantes y los emisores, dicha sección esta delimitada en muchas ocasiones por el gasto de la fuente de abastecimiento.

m.7). – Emisores. Son los dispositivos más importantes, ya que son los que permiten la salida del agua a la zona de interés de la planta, con gastos previamente establecidos. Los emisores tienen la característica que ellos son los que le ponen el nombre del sistema de riego que se trate.

Descripción de las partes del micro aspersor.

∅ Conector del tubing a la manguera: - Este es de material de PE de alta densidad, de longitud de 1 cm, en los dos extremos esta dentado esto con la finalidad de que a la hora de insertarlo en el tubing y en la manguera regante no se safe con relativa facilidad.

∅ Tubing: - Es el conducto por medio del cual fluye el agua de la manguera regante hacia la boquilla del micro aspersor, existen de varios diámetros entre los comerciales se encuentra el de 6 y 8 mm.

∅ Conector del tubing a la boquilla: - Este conector cuenta con un extremo dentado y el otro de forma lisa, el extremo dentado va conectado al tubing y el extremo liso va conectado a la boquilla del micro aspersor.

∅ Boquilla: - Esta es la pieza central del sistema, ya que es la encargada de controlar de acuerdo al diámetro de su orificio el gasto emitido por la misma, estas como ya se dijo se identifican por su color y generalmente operan desde un rango de presión de 5 – 50 psi.

∅ Cuerpo de ensamblaje de la boquilla y la estaca: - Este es de forma U el cual funciona como una cavidad que aloja a la boquilla y al deflector en un costado y en el otro costado tiene una cavidad donde se inserta la estaca.

∅ Deflector: - Este componente determina el marco de distribución del agua, el cual puede ser en forma de pájaro de estrella, mariposa, abanico, 24 rayo y abanico doble. En este trabajo se uso un deflector del tipo pájaro con unas estrías en cada lado del deflector, el cual tiene la función de romper el chorro de agua emitido de la boquilla y simular una lluvia uniforme.

∅ Estabilizador: - Es el soporte que mantiene al micro aspersor de una manera perpendicular al suelo. El estabilizador usado en este trabajo fue el de forma de estaca con un orificio en el centro, de la marca Irridelco.

Hall (1970) presenta un método denominado mancha, con el cual las gotas son colectadas por una superficie absorbente, de acuerdo al alcance de la boquilla del micro aspersor, para posteriormente ser comparadas con otras manchas producidas previamente por otras gotas de diámetro conocido. El autor recomienda el uso de este método para gotas con diámetros inferiores a 1 mm.

Eigel y Moore (1983) presentan un método se Óleo, en el cual las gotas son colectadas en una placa de petri con óleo y fotografiadas para posteriormente determinar sus dimensiones. Este método requiere previa calibración de los equipos sofisticados que se utilizan (Vívelo, 1995).

http://www.chileriego.cl/revista/rev4/rev4_17.htm. Mini-aspersores: Representan la esencia del sistema, se trata de emisores que precipitan láminas que van idealmente desde los 2 hasta los 5 mm/hora, micronizando adecuadamente las

gotas a presiones entre 2- 3 ATM, es decir, 20-30 metros de columna de agua. Funcionan normalmente con sistemas de turbo-martillo (Marca Naan) o rotores con rodamientos (Marca Dan). Van montados sobre varillas galvanizadas de 1-1.2 m de altura (ver diagrama) y se conectan a la línea lateral de polietileno mediante un tubo del mismo material de 8 o 13 mm a través de un conector rápido que permite sacar el emisor al final del desarrollo del cultivo. Las perforaciones de la tubería de polietileno deben hacerse con sacabocados y herramientas especializados para dicha aplicación. En caso de terrenos irregulares, laderas de cerros o cuando se necesite utilizar laterales mas largas, estos emisores pueden transformarse en auto compensados al adicionarles un regulador de presión.

Concepto del riego con Micro-emisores:

El concepto del riego por micro.emisores es fundamentalmente diferente al riego por aspersión y goteo.

El riego por aspersión convencional se basa en el principio del traslape, (solape) es decir, la disposición de los aspersores sobre el terreno es tal que los chorros de agua de aspersores adyacentes cubren el agua que estos encuadren. Así, el traslape (solape) de los chorros se produce, tanto entre aspersores contiguos a lo largo de la lateral, como entre laterales adyacentes.

Por el contrario el riego con micro-emisores se caracteriza por la ausencia completa del traslape. Cada aspersor aplica agua a un solo árbol, sin interferencia ni cooperación por parte de los emisores adyacentes. De ahí que exista muy poca similitud entre los dos sistemas de riego, exceptuando el hecho de que los dos sistemas distribuyen en agua por medio de chorros.

Cabe decir lo mismo respecto al riego por goteo, donde se exige que la distancia entre los goteros, sobre la lateral, sea tal que la superficie humedecida por ellos se traslapen, para producir una franja continua de humedad, a fin de evitar la acumulación de sales a lo largo de las hileras.

Es posible colocar los micros emisores en las cercanías del tronco o entre dos árboles contiguos.

La primera alternativa permite un mejor control y preteje al equipo de daños mecánicos, mientras que la segunda evita que se humedezca el tronco, lo que disminuye el riesgo de que pueda sufrir enfermedades en determinados cultivos.

Uniformidad de distribución del agua:

Del mismo modo que los aspersores convencionales, los micros emisores deben atenerse a ciertos criterios de uniformidad de distribución del agua. Los micros aspersores deben distribuir el agua uniformemente bajo condiciones extremadamente adversas.

1.- Es imposible compensar una distribución desigual del agua por medio de emisores contiguos.

2.- Los chorros de agua tienen dificultades para penetrar entre las ramas inferiores de los árboles y su follaje.

3.- Los micros aspersores deben cubrir un diámetro de 4 a 10 m., a pesar de que se encuentra a solo unos centímetros sobre la superficie del terreno y su chorro sale en un ángulo muy bajo.

4.- Se requiere flexibilidad en lo que al diámetro de cobertura se refiere, ya que a medida que el árbol crece y se desarrolla, se hace necesario incrementar el área bajo riego, y esto sin sacrificar la uniformidad de distribución del agua de riego.

5.- Se exige flexibilidad en la tasa de precipitación, siempre respetando los límites impuestos por el diseño hidráulico original del sistema de riego.

6.- También se requiere flexibilidad en lo que al tamaño de la gota se refiere, tomando en cuenta las características del suelo.

7.- Estas dificultades se ven agravadas por la necesidad de introducir en el micro emisor, a medida que los árboles crecen, sin que sea posible aumentar el diámetro de las boquillas, debido a las restricciones de la descarga y de las presiones para las cuales fue diseñado el sistema.

Los cambios en la demanda de agua por parte del cultivo, causados, tanto por el ciclo de las estaciones como por el desarrollo del cultivo, deberán acomodarse, ajustando al horario de riego.

Economía de Agua:

Contribuyen a ella los siguientes factores:

1.- El hecho de que los micros emisores se aplique el agua únicamente a una fracción del área bruta, no implica una reducción en el consumo de agua por el cultivo, condición que a sido demostrada en el riego por goteo. Sin embargo, en el riego con micro aspersores y micro jets se a obtenido una economía del agua por unidad de superficie.

2.- El segundo factor es el marco de distribución del agua por el micro emisor.

a. - Los micro jets producen una distribución triangular aplicando un mayor volumen de agua en sus cercanías.

b. - La mayoría de los micro aspersores se caracterizan por una joroba, común a los diversos rotores.

c. - Los micro aspersores equipados con el rotor grande producen una 3distribución de mayor uniformidad. La lámina disminuye paulatinamente en el extremo lejano del diámetro de cobertura. La línea casi horizontal en el grafico representa una distribución casi ideal del agua.

Hay quienes discuten que la dirtibución triangular se adapta únicamente al riego con traslape y no al riego con aspersores aislados. Sea como fuere, es posible seleccionar el tipo deseado e influir sobre el marco de distribución del agua deseado por medio de la presión de operación del sistema. Es posible controlar la humedad en las diversas capas del suelo, pero, economizar agua, debemos tener en cuenta que los diferentes marcos de distribución influyen sobre la frecuencia del riego.

En las plantaciones de frutales, en los cítricos en particular, las ramas inferiores y su follaje pueden interferir excesivamente con el chorro de agua.

Afortunadamente, la naturaleza misma nos ayuda a resolver este problema. En la mayoría de estos frutales, las ramas inferiores se secan y mueren con el transcurso del tiempo. La poda de estas ramas crea un espacio libre alrededor del tronco, con lo cual se obtiene una distribución del agua sumamente eficiente. Simultáneamente, esto facilita la inspección visual del riego. Bajo estas condiciones, a sido posible reducir el volumen de agua aplicado e incluso elevar el rendimiento del cultivo.

El cuarto factor en la economía del agua es la relación del área humedecida y el área eficientemente regada. Cuanto menor sea la diferencia entre ambos, menor será la cantidad de agua desperdiciada. Cada incremento del diámetro de cobertura representa el área mojada de mayores dimensiones y, de ahí, la importancia de dicho factor.

Han sido propuestos varios criterios para juzgar la eficiencia del riego. Si consideramos el área mojada como una serie de anillos concéntricos, podemos juzgar la relación entre el área humedecida y el área eficientemente irrigada:

- a). – A partir del área que percibe la lamina o la precipitación horaria, esta es mínima.
- b). – A partir del porcentaje de la lamina o porcentaje de la precipitación horaria puede hablarse del promedio que percibe cada anillo.

El segundo método es más práctico ya que existen enormes diferencias en la lámina y en la precipitación horaria producidas por diferentes micro emisores que van desde 2.5 mm/hr hasta 50 mm/hr.

Ventajas de los micros emisores:

1. – Economía de agua: - el agua bajo riego representa únicamente una proporción que va del 40 al 70 % de la superficie total de la plantación. Una parte del área entre las hileras queda sin regar, lo que conduce a una economía de agua.
2. – Flexibilidad en el diámetro de cobertura: - el posible aumentar el diámetro de cobertura a medida que se desarrollan los árboles en la plantación, ya sea cambiando las boquillas, reemplazando los deflectores o instalando un anti mist o cualquier combinación entre ellos.
3. – Versatilidad: - el diseño modular permite intercambio de deflectores, boquillas, etc., lo que hace posible convertir al nebulizador en micro jet o a este en micro aspersor, cuando esto se considere oportuno.
4. – Conversión de sistemas de riego por goteo: - el principio de la inserción es común al sistema de riego con micro emisores y a algunos sistemas de riego por goteo. Por lo tanto, resulta convertir sistemas con goteros integrados sobre la tubería, en sistemas de riego con micro emisores y viceversa, siempre y cuando se cumplan dos condiciones:
 - a). – las dimensiones de la conexión dentada deben ser idénticas en ambos accesorios.
 - b). – el diseño hidráulico del sistema debe ser el apropiado para ambos sistemas.

5. – Economía en el control de las malezas: - debido a que la mayor parte del área de riego se encuentra bajo la sombra de los árboles, mientras que la superficie directamente expuesta a la luz del sol permanece relativamente seca, se impide la infestación de malezas y su posterior desarrollo, lo cual conduce a una gran economía en el consumo de herbicidas y otros métodos de control.

6. – La interferencia con las labores en la plantación: - se ve reducida a un mínimo. La instalación de las laterales y de los micro emisores, a lo largo de la hilera de árboles, permite el paso libre de los tractores, los implementos de labranza, las máquinas fumigadoras y el equipo de cosecha.

7. – Riego oportuno: - es posible regar durante todas las horas del día, ya que el micro emisor opera en un ambiente protegido, se encuentra cerca del suelo y el ángulo de salida del chorro de agua es más bien bajo.

8. – Prevención del humedecimiento del follaje: - el riego por debajo de la copa de los árboles, evita los problemas provocados por el humedecimiento del follaje durante el riego, los daños causados por las sales que se depositan sobre las hojas, el ataque de algunos patógenos, que se ve favorecido por condiciones de elevada humedad y, además las excesivas pérdidas de agua por evaporación a partir del follaje húmedo.

9. – Economía de mano de obra: - al igual que todos los sistemas de riego fijos, el empleo de mano de obra se ve reducido a un mínimo y este consiste, sobre todo, en la inspección visual de los micro emisores durante el riego y su correcta disposición.

10. – Control visual: - un sistema de micro emisores es más fácil de controlar, ya que el número de salidas es

menor y, además, cada una de ellas es visible a distancia.

11. – Ahorro de energía: - la presión nominal de trabajo va desde 1.5 a 2.0 atmósferas. Dos características adicionales contribuyen al ahorro de energía:

a. – la reducida elevación de los micros emisores por encima de la superficie de terreno.

b. – la filtración menos fina, en comparación con la empleada en el riego por goteo, lo que reduce la pérdida de energía por efecto de los sistemas de filtración.

12. – Descargas reducidas: - para una plantación común de 450 a 550 árboles por hectárea, el diseño que emplea un micro emisor con una descarga de 70 lph/árbol, se traduce en una descarga de 30 a 40 mc/hectárea/hora. Incluso instalando tuberías secundarias de diámetro reducido, es posible regar simultáneamente superficies considerables, o bien aprovechar pequeñas fuentes de agua.

13. – El perímetro de la plantación: - permanece seco, lo que reduce las pérdidas de agua y facilita el acceso a la plantación.

14. – Control de la salinidad: - adoptando ciertas medidas, es posible mitigar o evitar totalmente el peligro de la salinización del suelo. Hay dos factores que reducirán la acumulación de sales en el suelo:

a. – una mayor lámina de riego, creando así un factor de lixiviación.

b. – una reducción del intervalo de riego.

15. – Flexibilidad en la disposición del micro emisor: - por medio del tubo de alimentación de 60 a 100 cm., de longitud es posible colocar el micro emisor en diferentes posiciones. De este modo se puede corregir una distribución irregular del agua debida al viento, a las ramas cercanas al suelo, o a las pendientes excesivas.

Es posible colocar el micro emisor cerca del tronco del árbol o media distancia entre árboles contiguos. Por lo general se prefiere la primera opción.

Limitaciones de los micros emisores:

1. – Posición vertical: - al igual que los aspersores convencionales, los micros jets y los micros aspersores deben instalarse de tal manera que los estabilizadores estén en posición vertical.
2. – Filtración: - el sistema de riego con micro aspersores requiere filtración. La filtración no debe ser tan fina como la requerida por el sistema de riego por goteo. A pesar que la sección de flujo de un micro emisor, con una descarga de 70 lph., es idéntica a la de un gotero de tipo laberinto de 4 lph., la trayectoria del agua dentro del micro emisor es mucho mas corta y, por lo tanto, disminuye el riesgo de obstrucción. Por lo general es suficiente instalar un filtro con malla de mesh 80.
3. – Las malezas: - si se les deja crecer al lado del micro emisor, puede enredarse sobre su rotor e impedir en su funcionamiento.
4. – Averías mecánicas: - las averías de menor categoría acostumbran a darse sobre todo, durante la temporada de la cosecha, lo que haría necesaria la reposición de las piezas dañadas. Por lo tanto el uso de conexiones de uso rápido se recomienda en regiones donde resulta común el robo de micro emisores.
5. – La interferencia por el viento: - ha sido observada, sobre todo, en plantaciones jóvenes en localidades donde se registran vientos intensos.

6. – La fauna dañina: - el riesgo que representan los pájaros carpinteros, ratones y conejos para la tubería de polietileno es común a todos los sistemas de riego que emplean este material. La instalación subterránea de las laterales puede constituir una solución parcial o completa a este problema.

Disposición del Sistema de Riego por micro aspersión

1. – **Sistema superficial:** - es el tipo de sistema más común. Se colocan las laterales de riego sobre la superficie del terreno, a lo largo de las hileras de los árboles. Este es el sistema mas fácil de instalar, de controlar y de reparar en caso de ser dañado. No obstante la tubería esta expuesta a daños ocasionados por roedores y pájaros carpinteros. Las elevadas temperaturas y la radiación ultra violeta pueden acortar la vida útil de la tubería lateral.
2. – **Sistema elevado:** - por mediación de este diseño se colocan los emisores por encima de la copa de los árboles, lo que permite usar la instalación para proteger al cultivo de las heladas y del calor excesivo, como, por ejemplo las rachas del Sirico. Existen dos variables del sistema:
 - a. – comúnmente, las laterales permanecen colocadas sobre la superficie, por lo que se instalan tubitos de alimentación de mayor longitud.
 - b. . en algunas plantaciones se han colocado las laterales sobre postes por encima de las copas de los árboles.
3. – **Sistema suspendido:** - en este sistema se tienden las laterales sobre cordones o alambrones del tipo

que se instalan en los viñedos, en los frutales del tipo palmeta. Las ventajas del sistema son: la facilidad del control, la reparación y mantenimiento del equipo y su reducida exposición al calor y a las malezas se realiza todavía manualmente, con azadones, etc. Este sistema es muy común con los fruti cultores españoles, que aun no han renunciado a la instalación sobre los alambres.

- 4. – Sistema subterráneo:** - a partir de este sistema se entierran las laterales bajo la superficie, aunque las unidades modulares permanecen en el sitio acostumbrado. Existen tres motivos que los justifican:
 - a.** – la posibilidad de labrar el terreno en cruzado, siempre y cuando el implemento de labranza no penetre a una profundidad en la cual se encuentre la lateral de riego.
 - b.** – protección de las temperaturas excesivas y de la radiación solar.
 - c.** – protección de daños provocados por pájaros carpinteros.

Porcentaje de la superficie bajo riego:

Ya que por lo general, no se produce traslape en instalaciones de riego con micro emisores, una fracción determinada del suelo a disposición de cada árbol del marco de plantación, no recibe agua de riego. De ahí surge la pregunta: ¿Cuál es la fracción del terreno que debe estar bajo riego? Entre los agricultores se manejan tres tendencias, haciendo cada cual énfasis en aquellos puntos que lo favorecen especialmente:

- 1. – Porcentaje Mínimo:** - del 30 al 40 % del marco de plantación.

- a. – el riego de una superpie reducidazo afecta necesariamente a los rendimientos de la plantación, siempre y cuando el manejo del riego sea adecuado, tal y como se a demostrado en el experimento de Nordia.
 - b. – el riego por goteo en si esta basado en la aplicación del agua a un porcentaje reducido de la superficie y del volumen del suelo.
 - c. – la infestación por malezas es mínima, ya que la zona que esta expuesta a pleno sol es la zona mas seca.
- 2. – Porcentaje Intermedio:** - del 60 al 70 % del marco de plantación.
- a. – el diámetro de la copa del árbol es el verdadero índice de la extensión de las raíces que han de recibir el agua de riego.
 - b. – el método aumenta el numero de raíces y raicillas activas.
 - c. – el método asegura un mejor anclaje del árbol, sobre todo para aquellos de grandes dimensiones y elevada producción.
 - d. – mejor explotación del agua disponible cuando hay escasez de agua.
 - e. – se reduce el peligro de incendios en las zonas mas áridas como lo demuestran sucesivas experiencias en Australia.
- 3. – Porcentaje Máximo:** - del 90 al 100 % del marco de plantación.
- a. – la mejor respuesta se ha dado en árboles de grandes dimensiones, como son los nogales y los aguacates, recientemente algunos productores de aguacates han adoptado este sistema.
 - b. – Mejor anclaje del árbol.

- c. – Máximo volumen del suelo a disposición de las raíces activas.

Características del funcionamiento de los micros emisores:

A continuación serán discutidas seis de las principales características que afectan el funcionamiento de los micros emisores:

- 1. – Presión de trabajo.**
- 2. – La descarga.**
- 3. – El diámetro de la lateral de riego.**
- 4. – El espaciamiento entre los emisores.**
- 5. – La tasa de precipitación.**
- 6. – La longitud de la lateral.**

1. – Presión de trabajo:

- a. – **Presión mínima:** - se define como la mínima presión de trabajo que permite una distribución adecuada del agua de riego. La presión mínima se encuentra alrededor de 1 a 1.2 atmósferas, medida en la base de la boquilla. Las gotas producidas a dicha presión tienen un diámetro relativamente grande.
- b. – **Presión nominal:** - esta es la presión estándar de referencia para todos los micros emisores de 2.0 atmósferas constituyendo más o menos la presión óptima de trabajo.
- c. – **Presión máxima:** - se define como el límite superior de la presión de trabajo que permite aun mantener el diámetro de las gotas producidas dentro de un marco aceptable y también alcanzar el diámetro de cobertura deseado. A presiones elevadas se produce una nebulización excesiva, lo cual acarrea tanto una reducción del diámetro de cobertura como una

alteración drástica de la distribución del agua, además que desde el punto de vista económico, operar un micro emisor a presiones sobre 40 psi., es antieconómico debido a que el costo de operación del sistema se incrementa.

2. – La descarga:

- a. – **Descarga reducida:** - los micros jets y los micros aspersores con descargas de 20,35 y 40 lph. Descargas reducidas de este tipo se emplean en plantaciones de alta densidad, o bien temporalmente, durante los primeros años de la plantación. La ventaja de dichas descargas radica en que es posible instalar laterales de diámetros menores en la plantación.
- b. – **Descarga intermedia:** - estos van desde 50, 60, 70, 80 y 90 lph. El modelo de 70 lph., es el más popular y representa un compromiso entre la inversión requerida y los resultados obtenidos.
- c. – **Descarga elevada:** - este grupo incluye descargas de 100, 120, 140, 160, 200, 250 y 300 lph. En algunas plantaciones de aguacates los fruticultores han demostrado preferencia por el modelo de 120 lph., mientras que en nogales hay tendencias a favor de descargas de 160 y 200 lph., ya que estos son árboles de grandes dimensiones, con marcos de plantación de 100 a 140 m²/árbol, y los modelos antes mencionados tienen un diámetro de mojado de 9.5 m, lo cual da un área de riego de 70 m². Las descargas elevadas requieren el empleo del rotor grande y, para el grupo de 160 a 240 lph.
- d. – **Relación entre la presión y la descarga:** - la relación entre un aumento en la descarga a consecuencia de un aumento de la presión se determina por medio de la fórmula $(Q/q) = ((P/p)$

$^{0.5}$). Donde q es la descarga inicial, Q es la descarga final, p es la presión inicial y P es la presión final.

3. – El diámetro de la lateral: - desde el punto de vista económico, es impredecible tomar en consideración los tres siguientes factores que determinan el diámetro de la lateral y, por lo tanto, el costo de la lateral.

- a. – La descarga del emisor.
- b. – El número máximo de emisores por cada lateral.
- c. – El espaciamiento entre cada emisor.

4. – Relación entre el espaciamiento de los emisores y el diámetro de lateral: - por lo general se recomienda instalar un emisor junto a cada árbol y variar su descarga de acuerdo con el espaciamiento entre los árboles a lo largo de la hilera.

Ocasionalmente, se plantan los árboles a doble densidad para explotar eficientemente la plantación durante los primeros años, cuando los árboles aun son jóvenes y no cubren toda la superficie de la plantación. Mas adelante se ralea (aclarea) cada segundo árbol, conjuntamente con el micro emisor correspondiente. Al mismo tiempo, se aumenta la descarga de los remanentes, reemplazando sus boquillas por otras de mayor diámetro.

Cuando mayor sea la distancia entre emisores, mayor será la máxima longitud permisible para una lateral de diámetro determinado.

5. – **Tasa de precipitación:** - los micro emisores han sido clasificados en tres grupos principales, de acuerdo con la tasa de precipitación que producen:
- a. – **Tasa de precipitación reducida:** - de 1 a 5 mm/hr., a este grupo pertenecen todos los micro aspersores de la marca palaplast, que en este estudio se evaluaron.
 - b. – **Tasa de precipitación intermedia:** - de 6 a 15 mm/hr., este grupo es característico por algunos micros jets.
 - c. – **Tasa de precipitación elevada:** - de 16 a 50 mm/hr., en este grupo se incluyen a los micros jets con deflector cóncavo y con deflector sectorial.

A continuación se discuten algunos factores, los cuales tienen relación con la tasa de precipitación:

- 1. – El tipo de deflector.
- 2. – La presión de trabajo.
- 3. – El ángulo de salida.

1. – Tipo de deflector: - los micros aspersores operan con el principio del flujo dinámico, producto del movimiento del rotor. Por lo tanto, es posible aumentar el diámetro de cobertura y, con este, el área mojada, sin que haga falta cambiar de boquilla. De este modo, es posible reducir drásticamente la tasa de precipitación.

2. – La presión de trabajo: - este factor casi no afecta a la tasa de precipitación del micro aspersor. Por ejemplo si aumentamos la presión de 2 a 3 atmósferas, observamos que la descarga aumenta de 70 a 85 lph, pero la tasa de precipitación se mantiene prácticamente constante, ya que simultáneamente aumenta el diámetro de cobertura.

3. – El ángulo de salida: - el ángulo con el cual se emite el chorro de agua de un micro emisor es una característica muy importante, ya que esta afecta el diámetro de cobertura y el área de mojado. La diferencia entre un deflector cóncavo y uno convexo, es que el deflector cóncavo conduce a una precipitación sumamente elevada, sobre una superficie reducida, adecuada para el riego de árboles jóvenes durante el primer años de plantación.

6. – La longitud de la lateral: - los siguientes factores afectan la longitud máxima permisible de la lateral-

- a. – El diámetro de la lateral:** - es el factor de mayor importancia en la determinación de la longitud permisible de este. El uso de la lateral de 25 mm de diámetro exterior es sumamente restringido debido a su elevado costo. Por lo general se prefiere el uso de lateral de diámetro exterior de 20 y 16 mm, a pesar de que laterales de mayor diámetro y longitud reducen el número de tuberías secundarias en la instalación.
- b. – La clase de tubería:** - dos clases de tubería se consideran adecuadas para la instalación de laterales con micro emisores, a saber: tuberías de polietileno flexible de clase 2.5 y clase 4.

Se recomienda el empleo de tubería de clase 4 para emisores regulados, aun cuando la presión de trabajo exceda a las 4 atm.

Para emisores sin regular y que trabajan a la presión nominal de 2 atm., es preferible instalar una tubería de clase 2.5 ya que esta es más económica y, gracias a su mayor diámetro interno, permite aumentar ligeramente el número de emisores sobre la lateral.

- c. – **La descarga del emisor:** - afecta la longitud de la lateral ya que cuanto menor sea dicha descarga, mayor será la longitud permisible de la lateral.
- d. – **El declive del terreno:** - se incluye en el cálculo de la pérdida de presión permisible a lo largo de la lateral. La diferencia de cota, debida a la topografía del terreno se considera una ganancia (+ Δh) cuando la lateral esta tendida hacia abajo y una perdida (- Δh) cuando la lateral esta tendida en subida.

Consideraciones para el análisis:

- 1. – Las características del suelo en la plantación que debe ser regada, el % de agua disponible para las plantas en dicho suelo.
- 2. – La profundidad de enraizamiento del cultivo.
- 3. – El porcentaje de agotamiento del agua disponible apropiado para dicho cultivo.
- 4. – Las características del micro emisor seleccionado.

PRINCIPALES FABRICANTES DE MICRO - ASPERSORES.

Las principales marcas son:

- Rain Bird.
- Hardie.
- Plastro.
- Micro jet.
- Maxijet.
- Irridelco (palaplast).

Cuadro 2.2 Factores a considerar para la selección del sistema de riego:

Sistema	Topografía	Tasa de Infiltración	Tolerancia al agua	Viento
Aspersión	Terrenos nivelados o con pendientes suaves	Adaptables a cualquier tasa de infiltración	Adaptable a la mayoría de Todos los cultivos. Puede favorecer el desarrollo de hongos y enfermedades del follaje y la fruta	No para velocidades de viento mayores a 20 km/h
Superficie	Los terrenos tienen que estar a nivel o con pendientes pequeñas (1 %)	No es recomendable para suelos con tasas de infiltración mayor a 6 cm/hr.	Adaptable a la mayoría de los cultivos. Puede afectar a las plantas que tengan poca tolerancia al anegamiento.	Viento fuerte puede afectar la eficiencia en suelos desérticos. Usar este sistema no es recomendable.
Subirrigación (por ascenso capilar)	La superficie del cultivo debe ser nivelada a trazo o a nivel.	Adaptable únicamente a suelos que tienen un manto freático elevado, el cual se puede controlar su profundidad.	Adaptable a la mayoría de los cultivos.	El viento tiene efectos negativos.
Micro riego.				
Goteo	Adaptable a cualquier Topografía.	Adaptable a suelos con textura media y finas que presentan buena conducción capilar.	Adaptable a cualquier cultivo.	El viento tiene algunos efectos negativos.
Micro - Aspersión	Adaptable a cualquier Topografía.	Adaptable a cualquier tipo de suelo. Especial para suelos con	Ningún problema	El viento puede afectar - moderadamente.

		conducción capilar pobre.		efic
Subirrigación por difusión Capilar.	El área de cultivo debe Ser nivelada.	Adaptable solo a suelos con texturas medias a finas que presentan buena conducción capilar.	Ningún problema	El v tien algu
Fuente. J.H. Tuner, Planning for a system. AAVIM. Eng. Center, Athens. GA 30602.				

Peña et, al (1979), desarrollaron una teoría para calcular las pérdidas de carga en tuberías con salidas múltiples, la cual permite diseñar las secciones de riego por goteo como también para micro aspersión.

El análisis para el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías con salidas múltiples, parte de dos supuestos:

1. – Las salidas a lo largo de la tubería estas igualmente espaciadas.
2. – El gasto de cada salida es igual.

Operación del sistema:

La operación del sistema de riego por micro aspersión comprende toda la manipulación de los equipos con que cuente, todo esto con la finalidad que funcione y entregue el agua a cada sección de riego con la mayor eficiencia tanto de aplicación como de conducción.

Para esto la persona encargada de operar el sistema debe contar con conocimientos básicos de hidráulica, física de suelos, resistencia de materiales y principalmente contar con conocimientos del cultivo en que se opere el sistema de riego.

Previo a la operación del sistema de riego, la persona encargada debe contar con un calendario de riego para el cultivo establecido, el cual debe contar con la información técnica agronómica como: frecuencia del riego, láminas de riego y tiempos de riego.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento:

El presente trabajo se llevo a cabo en el laboratorio de Hidráulica del Departamento de Riego y Drenaje, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buena vista Saltillo Coahuila, con las siguientes coordenadas 25° 22' 00" de latitud Norte, 101° 01' 00" de longitud Oeste y a una altura sobre el nivel del mar de 1743 m.

Fuente de Abastecimiento:

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro cuenta con varios pozos profundos para satisfacer las necesidades de la misma, tanto para el abastecimiento de agua para consumo humano (internados), para uso del comedor, para laboratorios y una pequeña cantidad para uso agrícola. Por lo tanto del total del agua que se extrae, parte llega al departamento de riego y drenaje, de la cual se desvió una porción, la cual se almaceno en un aljibe con capacidad

de 1.75 m³, ubicado dentro del laboratorio de hidráulica del mismo departamento.

Calidad del agua:

La calidad del agua depende de sus características tanto físicas, químicas y biológicas. Una mala combinación de estas características puede traer consigo problemas serios tanto para los cultivos donde se aplica dicha agua, como para el sistema de riego que se tenga en dicho cultivo.

Clasificación del agua.

En este apartado se mencionaran solo dos métodos para la clasificación del agua de riego. Solo se hará mención de los métodos debido a que la norma en la cual se basa para el establecimiento de bancos de prueba y roceadores para riego, en ninguno de sus apartados hace mención de la calidad del agua:

1.– Clasificación de aguas según Palacios y Aceves (1970).

Inicialmente, con base solamente en las características químicas del agua, se concluye si es BUENA ò NO RECOMENDABLE para el riego, o bien si se requiere de información adicional sobre los cultivos, suelo y condiciones de manejo en donde va ser utilizada, en cuyo caso, la calidad del agua quedará CONDICIONADA.

2.– Clasificación de aguas según el Método de Riverside. **En esta clasificación se indican los diferentes tipos de agua en base a la Conductividad Hidráulica e índices de RAS ajustado.**

Cuadro No. 3.1 Lista de materiales utilizados para la instalación del banco de prueba para los micro aspersores:

Cant	Concepto	Material	Dimensiones
1	Aljibe	Fierro	1.2 * 0.95 * 0.85
1	Bomba horizontal tipo turbina ¾ hp	Fierro	D suc = ¾ D des = ¾
1	Lote de conexiones para la bomba	Fierro y PVC	2" y ¾"
1	Filtro de mallas mesh 120	Polietileno	¾"
1	Manómetro	Glicerina	0 – 60 psi
8	m.l de manguera	PE	1"
17	m.l de manguera	PE	16 mm
1	Válvula de bola	bronce	2 "
10	Micro aspersores de la marca palaplast armados	PE	Diferentes boquillas
2	Figuras numero 8	PE	16 mm
2	Válvulas de apertura y cierre rápido de	PE	16 mm

	inserción		
2	Tee de inserción con reducción	PE	25 x 16
1	Arrancador termo magnético mca Siemens	Fibra de vidrio	Para corriente 220 V
1	Interruptor	Lata	Para corriente 200 V
1	Grifo casero	fierro	3/4"
-	Agua para correr las pruebas		

Lista de material necesario para la hora de tomar los datos tanto para las curvas de operación como para tomar los datos de pluviometría:

1. – **Medidor de presión a la salida de la bomba (manómetro en glicerina 0 – 60 psi).**
2. – **Válvula de bola para regular la presión.**
3. – **Probetas graduadas en ml de 1000 ml.**
4. – **Cronometro.**
5. – **Pluviómetro.**
6. – **Papel colocado en forma se X en el micro aspersor para saber el alcance de la boquilla.**
7. – **Libreta de notas.**
8. – **Pluma.**

Boq	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Azul	0,00015	0,00017	0,00020	0,0003	0,00026	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Boq	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Ama	0,0003	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0006	0,00064	0,0006	0,0006
Boq	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Rosa	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,00056	0,00056
Boq	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Negr	0,0001	0,0001	0,00014	0,0002	0,00017	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Boq	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Verd	0,00013	0,00015	0,00018	0,00021	0,00023	0,0003	0,0003	0,0003	0,00037	0,00037
Boq	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Olivo	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,00075	0,00084	0,0009	0,001	0,0011	0,0011

Cuadro No 3.3 Datos del Banco de prueba para llevar a cabo los respectivos cálculos hidráulicos:

Líneas de Tubería	Diámetro m	long m	Valores Constantes	
1 a 2	0.0224	6.5	Pi =	3.1416
2 a 3	0.0224	3		4
2 – a	0.0137	2	2g =	19.62
a – b	0.0137	2	Visco Cine	0.000001007
b – c	0.0137	2	f = 64 / Re	64
c – d	0.0137	2	K loc tee	0.4
d – e	0.0137	2	K loc tee	1.4
3 a f	0.0137	2	K loc Val	0.735
f – g	0.0137	2	Z1 =	0.8
g – h	0.0137	2	P1 =	3.5154 mca
h – l	0.0137	2	F = 0.3164/Re ^{0.5}	
i – j	0.0137	2		

Cuadro 3.4. Formulas respectivas para el calculo del factor f de la formula de Darcy – Weisbach, según el número de Re:

Re menor de 2000	F = 64 / Re	Flujo laminar
2000 Re 100000	F = 0.3164 / Re ^{0.5}	Blacius

Teniendo ya los datos, se procede a calcular la presión en el punto 2; con la formula antes despejada:

$$\frac{P_2}{\gamma} = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} - h_{tot1-2}$$

$$Q = V * A$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.0000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0224^2} = 0.1613 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.1613 m / seg * 0.0224 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 3,589.9$$

$$f = \frac{0.3164}{\sqrt{Re}} = \frac{0.3164}{\sqrt{3589.9}} = 0.00528$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 0.8m + 3.5154m - \left[\left(0.00528 \frac{6.2}{0.0224} \frac{0.1613^2}{19.62} \right) + (0.4 + 1.4) \left(\frac{0.1613^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 4.30035 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto 2, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto a:

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = Z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + h_{tot2-a}$$

$$Z_2 = Z_a = NR = 0$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{V_a^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto a quedará de la siguiente manera :

$$\frac{P_a}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} - h_{tot2-a}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.0000318 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.2157 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.2157 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 2934.85$$

$$f = \frac{0.3164}{\sqrt{Re}} = \frac{0.3164}{\sqrt{2934.85}} = 0.00584$$

$$\frac{P_a}{\gamma} = 4.30035 m - \left[\left(0.00584 \frac{2}{0.0137} \frac{0.2157^2}{19.62} \right) + (0.735) \left(\frac{0.2157^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_a}{\gamma} = 4.300076 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto a, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto b:

$$Z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} = Z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + h_{total-b}$$

$$Z_a = Z_b = NR = 0$$

$$\frac{V_a^2}{2g} = \frac{V_b^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto b quedará de la siguiente manera :

$$\frac{P_a}{\gamma} = \frac{P_b}{\gamma} - h_{total-b}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00002544 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.1725 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.1725 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 2347.88$$

$$f = \frac{0.3164}{\sqrt{Re}} = \frac{0.3164}{\sqrt{2347.88}} = 0.006529$$

$$\frac{P_b}{\gamma} = 4.300076 m - \left[\left(0.006529 \frac{2}{0.0137} \frac{0.1725^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_b}{\gamma} = 4.2985 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto b, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto c:

$$Z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} = Z_c + \frac{P_c}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} + h_{total-b-c}$$

$$Z_b = Z_c = NR = 0$$

$$\frac{V_b^2}{2g} = \frac{V_c^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto c quedará de la siguiente manera :

$$\frac{P_b}{\gamma} = \frac{P_c}{\gamma} - h_{totb-c}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00001908 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.1294 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.1294 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1760.9$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1760.9} = 0.03634$$

$$\frac{P_c}{\gamma} = 4.2986 m - \left[\left(0.03634 \frac{2}{0.0137} \frac{0.1294^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_c}{\gamma} = 4.2940 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto c, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto d:

$$Z_c + \frac{P_c}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} = Z_d + \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + h_{totc-d}$$

$$Z_c = Z_d = NR = 0$$

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{V_d^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto d quedará de la siguiente manera :

$$\frac{P_c}{\gamma} = \frac{P_d}{\gamma} - h_{totc-d}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00001272 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.08628 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.08628 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1173.94$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1173.94} = 0.05451$$

$$\frac{P_d}{\gamma} = 4.2940 m - \left[\left(0.05451 \frac{2}{0.0137} \frac{0.08628^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_d}{\gamma} = 4.2910 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto d, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto e:

$$Z_d + \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} = Z_e + \frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} + h_{total-d-e}$$

$$Z_d = Z_e = NR = 0$$

$$\frac{V_d^2}{2g} = \frac{V_e^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto e queda de la siguiente manera:

$$\frac{P_d}{\gamma} = \frac{P_e}{\gamma} - h_{total-d-e}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.04314 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.04314 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 586.97$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{586.97} = 0.1090$$

$$\frac{P_e}{\gamma} = 4.2910 m - \left[\left(0.1090 \frac{2}{0.0137} \frac{0.04314^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_e}{\gamma} = 4.2895 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto 2, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto 3:

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + h_{total-2-3}$$

$$Z_2 = Z_3 = NR = 0$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{V_3^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto 3 queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_3}{\gamma} - h_{tot2-3}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.0000318 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0224^2} = 0.08069 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.08069 m / seg * 0.0224 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1794.97$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1794.97} = 0.03565$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = 4.30035 m - \left[\left(0.03565 \frac{3}{0.0224} \frac{0.08069^2}{19.62} \right) + (0.4 + 0.4 + 1.4) \frac{0.08069^2}{19.62} \right]$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = 4.2995 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto 3, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto f:

$$Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = Z_f + \frac{P_f}{\gamma} + \frac{V_f^2}{2g} + h_{tot3-f}$$

$$Z_3 = Z_f = NR = 0$$

$$\frac{V_3^2}{2g} = \frac{V_f^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto f queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_3}{\gamma} = \frac{P_f}{\gamma} - h_{tot3-f}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.0000318 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.2157 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.2157 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 2934.85$$

$$f = \frac{0.3164}{\sqrt{Re}} = \frac{0.3164}{\sqrt{2934.85}} = 0.00584$$

$$\frac{P_f}{\gamma} = 4.2995 m - \left[\left(0.00584 \frac{2}{0.0137} \frac{0.2157^2}{19.62} \right) + (0.735) \frac{0.2157^2}{19.62} \right]$$

$$\frac{P_f}{\gamma} = 4.2992 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto f, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto g:

$$Z_f + \frac{P_f}{\gamma} + \frac{V_f^2}{2g} = Z_g + \frac{P_g}{\gamma} + \frac{V_g^2}{2g} + h_{tof-g}$$

$$Z_f = Z_g = NR = 0$$

$$\frac{V_f^2}{2g} = \frac{V_g^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto g queda de la siguiente manera:

$$\frac{P_f}{\gamma} = \frac{P_g}{\gamma} - h_{tof-g}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00002544 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.1725 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.1725 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 2347.88$$

$$f = \frac{0.3164}{\sqrt{Re}} = \frac{0.3164}{\sqrt{2347.88}} = 0.006529$$

$$\frac{P_g}{\gamma} = 4.2992 m - \left[\left(0.006529 \frac{2}{0.0137} \frac{0.1725^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_g}{\gamma} = 4.2977 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto g, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto h:

$$Z_g + \frac{P_g}{\gamma} + \frac{V_g^2}{2g} = Z_h + \frac{P_h}{\gamma} + \frac{V_h^2}{2g} + h_{\text{totg-h}}$$

$$Z_g = Z_h = NR = 0$$

$$\frac{V_g^2}{2g} = \frac{V_h^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto h queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_g}{\gamma} = \frac{P_h}{\gamma} - h_{\text{totg-h}}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00001908 \text{ m}^3 / \text{seg}}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.1294 \text{ m / seg}$$

$$\text{Re} = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.1294 \text{ m / seg} * 0.0137 \text{ m}}{1.007 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{seg}} = 1760.9$$

$$f = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1760.9} = 0.03634$$

$$\frac{P_h}{\gamma} = 4.2977 \text{ m} - \left[\left(0.03634 \frac{2}{0.0137} \frac{0.1294^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_h}{\gamma} = 4.2932 \text{ mca}$$

Teniendo ya la presión en el punto h, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto i:

$$Z_h + \frac{P_h}{\gamma} + \frac{V_h^2}{2g} = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} + h_{\text{toth-i}}$$

$$Z_h = Z_i = NR = 0$$

$$\frac{V_h^2}{2g} = \frac{V_i^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto i queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_h}{\gamma} = \frac{P_i}{\gamma} - h_{\text{toth-i}}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00001272 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.08628 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.08628 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1173.94$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1173.94} = 0.05451$$

$$\frac{P_i}{\gamma} = 4.2932 m - \left[\left(0.05451 \frac{2}{0.0137} \frac{0.08628^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_i}{\gamma} = 4.2902 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto i, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto j:

$$Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} = Z_j + \frac{P_j}{\gamma} + \frac{V_j^2}{2g} + h_{toti-j}$$

$$Z_i = Z_j = NR = 0$$

$$\frac{V_i^2}{2g} = \frac{V_j^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en el punto j queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_i}{\gamma} = \frac{P_j}{\gamma} - h_{toti-j}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0137^2} = 0.04314 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.04314 m / seg * 0.0137 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 586.97$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{586.97} = 0.1090$$

$$\frac{P_j}{\gamma} = 4.2902 m - \left[\left(0.1090 \frac{2}{0.0137} \frac{0.04314^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_j}{\gamma} = 4.2887 mca$$

Este es el mismo procedimiento para el cálculo de la presión de las demás boquillas en el punto de inserción del tubing a la línea lateral; por tal motivo se procedió a aplicar Bernoulli de dicho punto de inserción a la boquilla del emisor, este procedimiento se define en seguida:

Una vez teniendo las presiones en los puntos a, b, c, d, e, f, g, h, i, j. Se procedió a aplicar Bernoulli de dichos puntos a la salida de la boquilla de cada emisor:

Cuadro No 3.5 . Datos de campo necesarios para el calculo de la presión en la salida de la boquilla de los emisores estudiados.

Diámetro del Tubing m	Long del Tubing m	Cota de la lateral a la boquilla m
0.0042 m	0.85 m	0.35 m
Val Cte = 4, 3.1416 y 19.62	F = 64 / Re; Re men 2000	F=0.3164/Re^0.5 2000 - 100000

Teniendo ya la presión en el punto a (del conector), se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto ai (de la boquilla), ambos para el primer micro aspersor.

$$Z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} = Z_{ai} + \frac{P_{ai}}{\gamma} + \frac{V_{ai}^2}{2g} + h_{\text{tota-ai}}$$

$$Z_a = NR = 0$$

$$\frac{V_i^2}{2g} = \frac{V_j^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla ai queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_{ai}}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - Z_{ai} - h_{\text{toti-j}}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 m / seg * 0.0042 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_j}{\gamma} = 4.30077 m - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_j}{\gamma} = 3.8774 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto b (del conector), se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto bi (de la boquilla), para el segundo micro aspersor.

$$Z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} = Z_{bi} + \frac{P_{bi}}{\gamma} + \frac{V_{bi}^2}{2g} + h_{totb-bi}$$

$$Z_b = NR = 0$$

$$\frac{V_b^2}{2g} = \frac{V_{bi}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla queda de la siguiente manera:

$$\frac{P_{bi}}{\gamma} = \frac{P_b}{\gamma} - Z_{bi} - h_{totb-bi}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 m / seg * 0.0042 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_{bi}}{\gamma} = 4.2986 m - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_{bi}}{\gamma} = 3.8759 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto c, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto ci:

$$Z_c + \frac{P_c}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} = Z_{ci} + \frac{P_{ci}}{\gamma} + \frac{V_{ci}^2}{2g} + h_{totc-ci}$$

$$Z_c = NR = 0$$

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{V_{ci}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_{ci}}{\gamma} = \frac{P_c}{\gamma} - Z_{ci} - h_{totc-ci}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 m / seg * 0.0042 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_{ci}}{\gamma} = 4.2940 m - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_{ci}}{\gamma} = 3.8714 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto d, se aplica Bernulli para hallar la presión en el punto di:

$$Z_d + \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} = Z_{di} + \frac{P_{di}}{\gamma} + \frac{V_{di}^2}{2g} + h_{totd-di}$$

$$Z_d = NR = 0$$

$$\frac{V_d^2}{2g} = \frac{V_{di}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_{di}}{\gamma} = \frac{P_d}{\gamma} - Z_{di} - h_{totd-di}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 m / seg * 0.0042 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_{di}}{\gamma} = 4.2910 m - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_{di}}{\gamma} = 3.8684 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto e, se aplica Bernulli para hallar la presión en el punto i:

$$Z_e + \frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} = Z_{ei} + \frac{P_{ei}}{\gamma} + \frac{V_{ei}^2}{2g} + h_{tote-ei}$$

$$Z_e = NR = 0$$

$$\frac{V_e^2}{2g} = \frac{V_{ei}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla e queda de la siguiente manera:

$$\frac{P_{ei}}{\gamma} = \frac{P_e}{\gamma} - Z_{ei} - h_{tote-ei}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 m / seg * 0.0042 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_{ei}}{\gamma} = 4.2895 m - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_{ei}}{\gamma} = 3.8669 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto f, se aplica Bernulli para hallar la presión en el punto fi:

$$Z_f + \frac{P_f}{\gamma} + \frac{V_f^2}{2g} = Z_{fi} + \frac{P_{fi}}{\gamma} + \frac{V_{fi}^2}{2g} + h_{tof-fi}$$

$$Z_f = NR = 0$$

$$\frac{V_f^2}{2g} = \frac{V_{fi}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_{fi}}{\gamma} = \frac{P_f}{\gamma} - Z_{fi} - h_{totf-fi}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 \text{ m}^3 / \text{seg}}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 \text{ m / seg}$$

$$\text{Re} = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 \text{ m / seg} * 0.0042 \text{ m}}{1.007 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{seg}} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_{fi}}{\gamma} = 4.2992 \text{ m} - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_{fi}}{\gamma} = 3.8765 \text{ mca}$$

Teniendo ya la presión en el punto g, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto gi:

$$Z_g + \frac{P_g}{\gamma} + \frac{V_g^2}{2g} = Z_{gi} + \frac{P_{gi}}{\gamma} + \frac{V_{gi}^2}{2g} + h_{totg-gi}$$

$$Z_g = NR = 0$$

$$\frac{V_g^2}{2g} = \frac{V_{gi}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_{gi}}{\gamma} = \frac{P_g}{\gamma} - Z_{gi} - h_{totg-gi}$$

Teniendo ya la presión en el punto h, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto hi:

$$Z_h + \frac{P_h}{\gamma} + \frac{V_h^2}{2g} = Z_{hi} + \frac{P_{hi}}{\gamma} + \frac{V_{hi}^2}{2g} + h_{toth-hi}$$

$$Z_h = NR = 0$$

$$\frac{V_h^2}{2g} = \frac{V_{hi}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_{hi}}{\gamma} = \frac{P_h}{\gamma} - Z_{hi} - h_{toth-hi}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 m / seg * 0.0042 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_{hi}}{\gamma} = 4.2932 m - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_{hi}}{\gamma} = 3.8705 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto i, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto ii:

$$Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} = Z_{ii} + \frac{P_{ii}}{\gamma} + \frac{V_{ii}^2}{2g} + h_{toti-ii}$$

$$Z_i = NR = 0$$

$$\frac{V_i^2}{2g} = \frac{V_{ii}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla queda de la siguiente manera :

$$\frac{P_{ii}}{\gamma} = \frac{P_i}{\gamma} - Z_{ii} - h_{toti-ii}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 m / seg * 0.0042 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_{ii}}{\gamma} = 4.2902 m - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_{ii}}{\gamma} = 3.8675 mca$$

Teniendo ya la presión en el punto j, se aplica Bernoulli para hallar la presión en el punto ji:

$$Z_j + \frac{P_j}{\gamma} + \frac{V_j^2}{2g} = Z_{ji} + \frac{P_{ji}}{\gamma} + \frac{V_{ji}^2}{2g} + h_{totj-ji}$$

$$Z_j = NR = 0$$

$$\frac{V_j^2}{2g} = \frac{V_{ji}^2}{2g} = 0$$

Por lo tanto la presión en la boquilla ji queda de la siguiente manera:

$$\frac{P_{ji}}{\gamma} = \frac{P_j}{\gamma} - Z_{ji} - h_{totj-ji}$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0.00000636 m^3 / seg}{3.1416 * 0.0042^2} = 0.459 m / seg$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.459 m / seg * 0.0042 m}{1.007 * 10^{-6} m^2 / seg} = 1914.64$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1914.64} = 0.0334$$

$$\frac{P_{ji}}{\gamma} = 4.2887 m - \left[\left(0.0334 \frac{0.85}{0.0042} \frac{0.459^2}{19.62} \right) \right]$$

$$\frac{P_{ji}}{\gamma} = 3.866 mca$$

Presión promedio = 3.88 mca.

Una vez conociendo la presión en a la salida de cada boquilla de los 10 micro aspersores con los cuales cuenta el banco de prueba, se procede a aplicar una media aritmética

de las 10 presiones halladas y poder contar con una presión promedio para con ella, fabricar la curva de operación de la boquilla estudiada.

NOTA: - Este mismo procedimiento se aplico para cada una de las demás boquillas que se estudiaron de la marca Palaplast. Para obtener la presión en la boquilla,

Formulas utilizadas para calcular la lamina promedio y el coeficiente de variación para cada boquilla estudiada:

1. - media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

2. – Tasa de precipitación:

$$TP = \frac{(\bar{x}_a * 2)}{(1000 * 0.0083)}$$

3. – Factor de Área:

$$F = \frac{\sum \text{anillos}}{\sum \text{anillos}^2}$$

4. – Área por anillo: Sabiendo que el área de un círculo = $\pi D^2 / 4 = \pi/4 = 0.7854$. Por lo tanto $A = 0.7854 D^2$
 $f = 0.7854$

$$A / \text{anillo} = (D_{\text{ext}}^2 - d_{\text{int}}^2) * f$$

5. – litros / anillo:

$$lts / \text{anillo} = TP * A_{\text{poranillo}}$$

6. – Lamina Promedio:

$$LP = \frac{\sum lts / \text{anillo}}{\sum Area / \text{anillo}}$$

Formulas utilizadas para calcular el Coeficiente de Variación propuesto en sus estudios por Sadam y Shani:

1. – Promedio:

$$P = F * TP$$

2. – Suma de Cuadrados:

$$SC = F * TP^2$$

3. – Varianza:

$$V = (SC) - (P)^2$$

4. – Desviación Estándar:

$$DS = (V)^{\frac{1}{2}}$$

5. – Coeficiente de Variación:

$$C.V = \frac{DS}{P}$$

Procedimiento para el cálculo de la Lamina Promedio y el coeficiente de variación para cada una de las boquillas estudiadas.

Boquilla Naranja:

P = 30 psi	Tiempo (min)	30 min	A col = 0.0083 m ²
	Pluviómetro		
	a	b	
1	23	12	
2	23	5	

3	25	23		
4	22	4		
Promedio	23,25	11		

Método de D. Sadam y M Shani para calcular la lamina promedio de riego:

Anillo	Tasa de Pre	F Área	Á/anillo	Its/anillo	Lami Prom
1	5,6024	0,25	0,7854	4,4001	
2	2,6506	0,75	2,3562	6,2453	
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 3,1416$	$\Sigma = 10,64$	$\Sigma = 3,3885$

Procedimiento para el calculo de la Uniformidad de Distribución de la precipitación:

Anill	Tasa Pre	F Área	Á/anillo	Its/anillo	Prom	S C
1	5,602409	0,25	0,7854	4,4001	1,400	7,8
2	2,650602	0,75	2,3562	6,2453	1,9879	5,26
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 3,1416$	$\Sigma = 10,64$	$\Sigma = 3,38$	$\Sigma = 13,$

Calculo de los valores estadísticos:	
Varianza =	1,63371861
Desv Esta =	1,27817002
Coe Varia =	0,37720218

Boquilla Blanca:

P = 30 psi Tiempo

30 min

A = 0.0083 m²

	Pluviómetro			
	a	B	c	d
1	31,5	42	68,5	33,5
2	36	42	46	28
3	29	49	37,5	26
4	58	46,5	69,5	27,5
Promedio	38,625	44,875	55,375	28,75

Método de D. Sadam y M Shani para calcular la lamina promedio de riego:

Anillo	Tasa de Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Lami Prom
1	9,3072282	0,0625	0,7854	7,30989759	
2	10,813253	0,1875	2,3562	25,4781867	
3	13,3433735	0,3125	3,927	52,3994277	
4	6,92771084	0,4375	5,4978	38,0871687	
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 12,56$	$\Sigma = 123,2746$	$\Sigma = 9,80984$

Procedimiento para el calculo de la Uniformidad de Distribución de la precipitación:

Anill	Tasa Pre	F Área	Áre/anillo	Its/anillo	Promed	S C
1	9,307228	0,0625	0,7854	7,30989	0,58170	5,4140
2	10,8132	0,1875	2,3562	25,4781	2,02748	21,923
3	13,34337	0,3125	3,927	52,3994	4,16980	55,639
4	6,927710	0,4375	5,4978	38,0871	3,03087	20,997
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 12,56$	$\Sigma = 123,27$	$\Sigma = 9,80$	$\Sigma = 103,9$

Calculo de los valores estadísticos:	
Varianza =	7,74056906
desv. Esta =	2,78218782
Coe Varia =	0,28361124

Boquilla Rosa:

P = 30 psi Tiempo (min) 30 min

A = 0.008 m²

	Pluviómetro		
	a	b	c
1	25	37	22
2	27	30	30
3	29	45	16
4	19	35,5	28
Promedio	25	36,875	24

Método de D. Sadam y M Shani para calcular la lamina promedio de riego:

Anillo	Tasa de Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Lami Prom
1	6,02409639	0,11111111	0,7854	4,7313253	
2	8,88554217	0,33333333	2,3562	20,9361145	
3	5,78313253	0,55555556	3,927	22,7103614	
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 7,068$	$\Sigma = 48,377$	$\Sigma = 6,84$

Procedimiento para el calculo de la Uniformidad de Distribución de la precipitación:

Anill	Tas Pre	F Área	Áre/anil	Its/anillo	Prome	S C
1	6,02409	0,1111	0,7854	4,73132	0,6693	4,0321
2	8,88554	0,3333	2,3562	20,9361	2,9618	26,317
3	5,78313	0,5555	3,927	22,7103	3,2128	18,580
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 7,068$	$\Sigma = 48,377$	$\Sigma = 6,844$	$\Sigma = 48,93$

Calculo de los valores estadísticos:	
Varianza =	2,08923602
Desv Esta =	1,44541898
Coe Varia =	0,21119374

Boquilla Negra:

P = 30 psi (min) Tiempo 30 min

A = 0.0083 m²

	Pluviómetro	
	a	b
1	20,5	23,5
2	21	23
3	13	26
4	19	26
Promedio	18,375	24,625

Método de D. Sadam y M Shani para calcular la lamina promedio de

riego:

Anillo	Tasa de Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Lami Prom
1	4,42771084	0,25	0,7854	3,4775241	
2	5,93373494	0,75	2,3562	13,9810663	
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 3,1416$	$\Sigma = 17,458$	$\Sigma = 5,5572$

Procedimiento para el calculo de la Uniformidad de Distribución de la precipitación:

Anill	Tasa Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Prom	S C
1	4,427	0,25	0,7854	3,47752	1,1069	4,9011
2	5,933	0,75	2,3562	13,9810	4,4503	26,406
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 3,1416$	$\Sigma = 17,45$	$\Sigma = 5,557$	$\Sigma = 31,3$

Calculo de los valores estadísticos:	
Varianza =	0,42527036
Desv Esta =	0,65212756
Coe Varia =	0,11734762

Boquilla Verde

Tiempo
 P = 30 psi (min) 30 min A = 0.0083 m²

	Pluviómetro					
	A	b	c	d	e	f
1	58	59,5	61	64	58	31,5
2	49	51,5	43	44	35	31
3	51	36,5	34,5	30,5	41	30,5
4	93	83	71	110	55	35
Prom	62,75	57,625	52,375	62,125	47,25	32

Método de D. Sadam y M Shani para calcular la lamina promedio de

riego:

Anillo	Tasa de Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Lami Prom
1	15,1204819	0,02777778	0,7854	11,8756265	
2	13,8855422	0,08333333	2,3562	32,7171145	
3	12,6204819	0,13888889	3,927	49,5606325	
4	14,9698795	0,19444444	5,4978	82,3014036	
5	11,3855422	0,25	7,0686	80,4798434	
6	7,71084337	0,30555556	8,6394	66,6170602	
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 28,27$	$\Sigma = 323,55$	$\Sigma = 11,443$

Procedimiento para el calculo de la Uniformidad de Distribución de la precipitación:

Anill	Tasa Pre	F Área	Área anill	Its/anillo	Prom	S C
1	15,120	0,0277	0,7854	11,875	0,420	
2	13,885	0,083	2,3562	32,717	1,157	1
3	12,620	0,1388	3,927	49,560	1,752	2
4	14,969	0,194	5,4978	82,301	2,910	4
5	11,385	0,25	7,0686	80,479	2,846	3
6	7,7108	0,305	8,6394	66,617	2,356	1
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 28,27$	$\Sigma = 323,55$	$\Sigma = 11,443$	$\Sigma = 13$

Calculo de los valores estadísticos:	
Varianza =	7,74097268
Desv Esta =	2,78226035
Coe Varia =	0,24313501

Boquilla Azul:

P = 30 psi Tiempo (min) 30 min

A = 0.0083 m²

Pluviómetro			
1	a	b	c
2	18	8	5
3	17	26	6
4	18	29	27
Promedio	18	19	12
	17,75	20,5	12,5

Método de D. Sadam y M Shani para calcular la lamina promedio de riego

Anillo	Tasa de Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Lami Prom
1	4,277108434	0,111111111	0,7854	3,35924096	
2	4,939759036	0,333333333	2,3562	11,6390602	
3	3,012048193	0,555555556	3,927	11,8283133	
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 7,068$	$\Sigma = 26,826$	$\Sigma = 3,7$

Procedimiento para el calculo de la Uniformidad de Distribución de la precipitación:

Anill	Tas Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Prom	S C
1	4,277	0,111	0,7854	3,359240	0,475	2,032628
2	4,939	0,333	2,3562	11,63906	1,646	8,133739
3	3,012	0,555	3,927	11,82831	1,673	5,04024
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 7,0686$	$\Sigma = 26,826$	$\Sigma = 3,795$	$\Sigma = 15,2$

Calculo de los valores estadísticos:	
Varianza =	0,80321285
Desv Esta =	0,89622143
Coe Varia =	0,23614723

Boquilla Amarilla:

Tiempo
P = 30 psi (min) 30 min A = 0.0083 m²

	Pluviómetro				
	a	b	c	d	e
1	26,5	27,5	27	22	22
2	36	71,5	32	23	20
3	31,5	46,5	28	27,5	25,5
4	30	40	36,5	19,5	19
Promedio	31	46,375	30,875	23	21,625

Método de D. Sadam y M Shani para calcular la lamina promedio de riego:

Anillo	Tasa de Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Lami Prom
1	7,46987952	0,04	0,7854	5,86684337	
2	11,1746988	0,12	2,3562	26,3298253	
3	7,43975904	0,2	3,927	29,2159337	
4	5,54216867	0,28	5,4978	30,4697349	
5	5,21084337	0,36	7,0686	36,8333675	
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 19,635$	$\Sigma = 128,71$	$\Sigma = 6,5554$

Procedimiento para el calculo de la Uniformidad de Distribución de la precipitación:

Anill	Tas Pre	F Area	Area anill	Its/anillo	Prom	S C
1	7,469	0,04	0,7854	5,866	0,2987	2
2	11,174	0,12	2,3562	26,329	1,34096	14
3	7,439	0,2	3,927	29,215	1,4879	1
4	5,542	0,28	5,4978	30,469	1,55180	8
5	5,210	0,36	7,0686	36,833	1,87590	9,
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 19,63$	$\Sigma = 128,71$	$\Sigma = 6,555$	$\Sigma =$

Calculo de los valores estadísticos:	
Varianza =	3,68869792
Desv Esta =	1,92059832
Coe Varia =	0,29297861

Boquilla Olivo:

P = 30 psi Tiempo (min) 30 min

A = 0.008
m²

		Pluviómetro		
1	a	b	c	
2	27	24	16	
3	31	22	15	
4	23,5	26	14	
Promedio	21	36,5	16	
	25,625	27,125	15,25	

Método de D. Sadam y M Shani para calcular la lamina promedio de riego

Anillo	Tasa de Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Lami Prom
1	6,174698795	0,111111111	0,7854	4,84960843	
2	6,536144578	0,333333333	2,3562	15,4004639	
3	3,674698795	0,555555556	3,927	14,4305422	
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 7,068$	$\Sigma = 34,68$	$\Sigma = 4,9$

Procedimiento para el calculo de la Uniformidad de Distribución de la precipitación:

Anillo	Tas Pre	F Área	Área anillo	Its/anillo	Prom	S C
1	6,17469	0,1111	0,7854	4,849608	0,686077	4,2
2	6,53614	0,3333	2,3562	15,40043	2,178714	14,2
3	3,67469	0,5555	3,927	14,43054	2,041499	7,5
		$\Sigma = 1$	$\Sigma = 7,0686$	$\Sigma = 34,68$	$\Sigma = 4,906$	$\Sigma = 2$

Calculo de los valores estadísticos:	
Varianza =	1,90691369
Desv Esta =	1,38091046
Coe Varia =	0,28145706

Criterio para distinguir el área eficientemente regada:

La gran variación que existe en la lamina entre un anillo y otro nos lleva a preguntar hasta que punto puede considerarse que un área determinada ha sido eficientemente regada y cuando ha sido solo humedecida.

Los ingenieros D. Sadam y M. Shani citados por Armoni (1989) proponen que, cuando la intensidad de la precipitación (mm/hr), en un anillo determinado, sea inferior

a 1 mm/hr, se considera dicha área como humedecida únicamente, es decir, ineficientemente regada.

Esta definición bien puede ser adecuada para emisores con un promedio de precipitación de 2 a 7 mm/hr y, sobre todo, para aquellos micro aspersores cuyo promedio de precipitación se encuentre entre 2 a 4 mm/hr.

Formula general de la regresión lineal: $y = a + bx$

Donde

a = distancia que hay del origen a la intersección de la recta con el eje y.

B = pendiente de la recta.

Para el cálculo de las variables del modelo se usan las siguientes formulas:

$$b = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x^2 - n \bar{x}^2}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

$$r^2 = \frac{b(\sum xy - n \bar{x} \bar{y})}{\sum y^2 - n \bar{y}^2}$$

Procedimiento para el cálculo de los valores de a, b y r^2 del modelo de regresión lineal como una comprobación para saber lo que hace el paquete de la computadora, al determinar dichos parámetros.

Cálculo de dichos parámetros de la regresión para la boquilla naranja:

Boq Nara									
Pres mca	3,88	7,46	10,9	14,4	17,9	21,5	25,0	28,5	32,0
Q en lph	20,3	23,8	29,7	32,2	36,9	41,3	45,0	47,7	51,6

Donde los valores de H = X y los valores de Q = Y.

$$b = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x^2 - n \bar{x}^2}$$

$$b = \frac{19.39358 - (10 * 1.215949 * 1.562705)}{15.63194 - (10 * (1.215949^2))}$$

$$b = \frac{19.39358 - 19.00169582}{15.63194 - 14.78531971}$$

$$b = \frac{0.39188418}{0.84662029}$$

$$b = 0.46288$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

$$a = 1.562705 - 0.46288 * 1.215949$$

$$a = 0.9998$$

$$r^2 = \frac{b(\sum xy - n \bar{x} \bar{y})}{\sum y^2 - n \bar{y}^2}$$

$$r^2 = \frac{0.46288(19.39358 - (10 * 1.215949 * 1.562705))}{24.60544 - (10 * (1.562705^2))}$$

$$r^2 = \frac{0.46288 * 0.39188418}{24.60544 - 24.42046917}$$

$$r^2 = \frac{0.181395349}{0.18497083}$$

$$r^2 = 0.9806$$

Procedimiento para el calculo de los valores de a, b y r^2 para cada una de las boquillas estudiadas.

Boquilla color: Naranja

$$y = a + bx$$

i	Xi	Yi	Xi * Yi	Xi ^2	Yi ^2
1	0,588837	1,308993	0,770784	0,346729	1,7134
2	0,872753	1,377109	1,201876	0,761698	1,896
3	1,039953	1,472944	1,531792	1,081502	2,1695
4	1,160814	1,508997	1,751664	1,347488	2,2770
5	1,254974	1,566989	1,96653	1,57496	2,4554
6	1,332487	1,616799	2,154363	1,775522	2,6140
7	1,398081	1,653213	2,311325	1,95463	2,7331
8	1,455222	1,679305	2,443761	2,117671	2,8200
9	1,505559	1,712632	2,578467	2,266707	2,9331
10	1,550816	1,730069	2,683019	2,40503	2,993
	1,215949	1,562705	19,39358	15,63194	24,605

b =	0,462884
a =	0,999861
r^2 =	0,980632

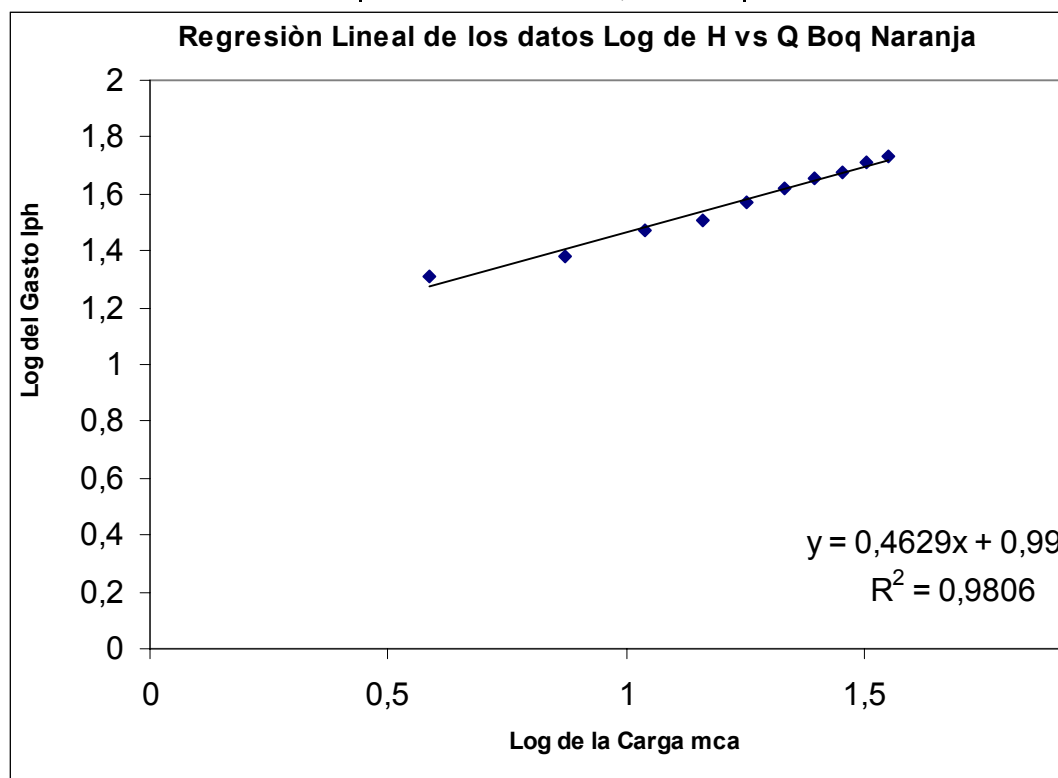


Figura No 3.1. Regresión lineal log para la boquilla naranja

Boquilla color Blanca:

$y = a + bx$

i	Xi	Yi	Xi * Yi	Xi ^2	Yi ^2
1	0,58296	2,078345	1,211591	0,339842	4,3195190
2	0,864728	2,152053	1,860941	0,747755	4,6313321

3	1,03356	2,239307	2,314458	1,068246	5,0144953
4	1,155339	2,308987	2,667662	1,334807	5,3314220
5	1,250357	2,35208	2,94094	1,563393	5,5322789
6	1,328499	2,403415	3,192934	1,764909	5,7764035
7	1,394649	2,43909	3,401673	1,945045	5,9491583
8	1,452253	2,46798	3,584132	2,10904	6,0909255
9	1,504828	2,492992	3,751524	2,264508	6,2150075
10	1,550048	2,512184	3,894004	2,402648	6,3110670
	1,211722	2,344643	28,81986	15,54019	55,171609

b =	0,477325
a =	1,766257
r ² =	0,986263

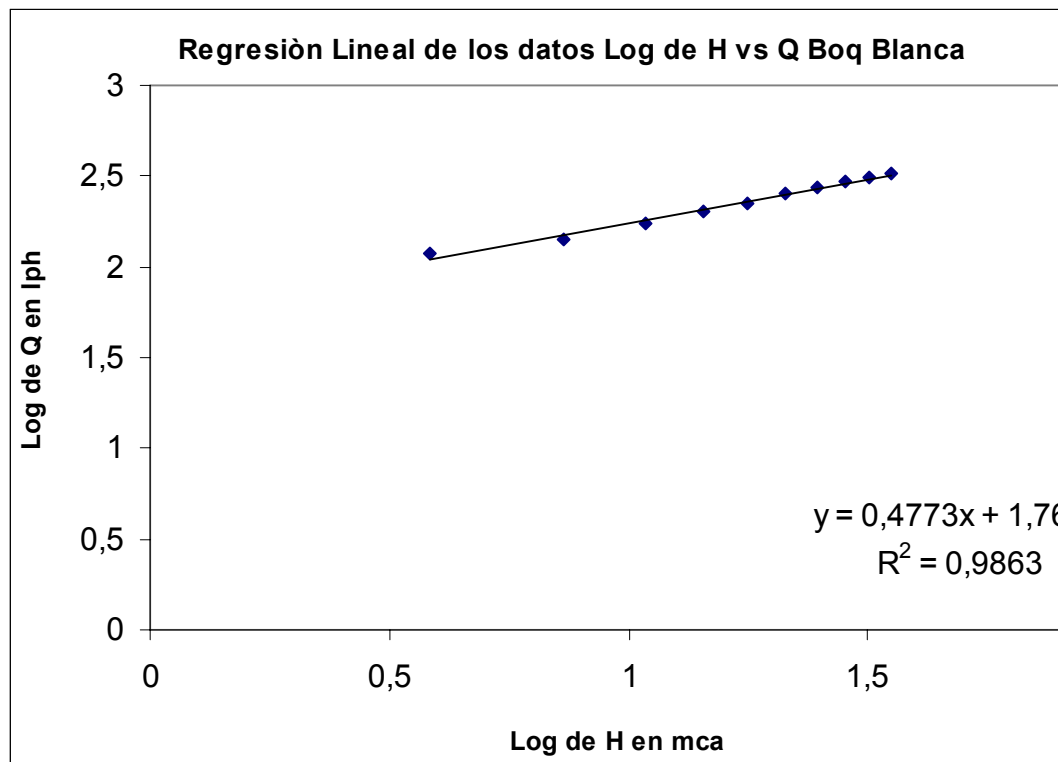


Figura No 3.2. Regresión lineal log para la boquilla Blanca

Boquilla color Azul:

$y = a + bx$

i	Xi	Yi	Xi * Yi	Xi ^2	Yi ^2
1	0,591936	1,723003	1,019908	0,350389	2,96874018
2	0,870245	1,78346	1,552047	0,757326	3,18073049

3	1,037892	1,866714	1,937448	1,07722	3,48462003
4	1,158872	1,930865	2,237625	1,342984	3,72823818
5	1,253256	1,970948	2,470102	1,57065	3,88463682
6	1,330887	2,018594	2,686519	1,771259	4,07472055
7	1,396616	2,050129	2,863244	1,950536	4,20303076
8	1,396534	2,065378	2,88437	1,950307	4,26578619
9	1,504382	2,083572	3,134487	2,263164	4,3412706
10	1,549716	2,099817	3,254121	2,401621	4,40923241
	1,209034	1,959248	24,03987	15,43546	38,5410062

b =	0,430289
a =	1,439014
r ² =	0,980204

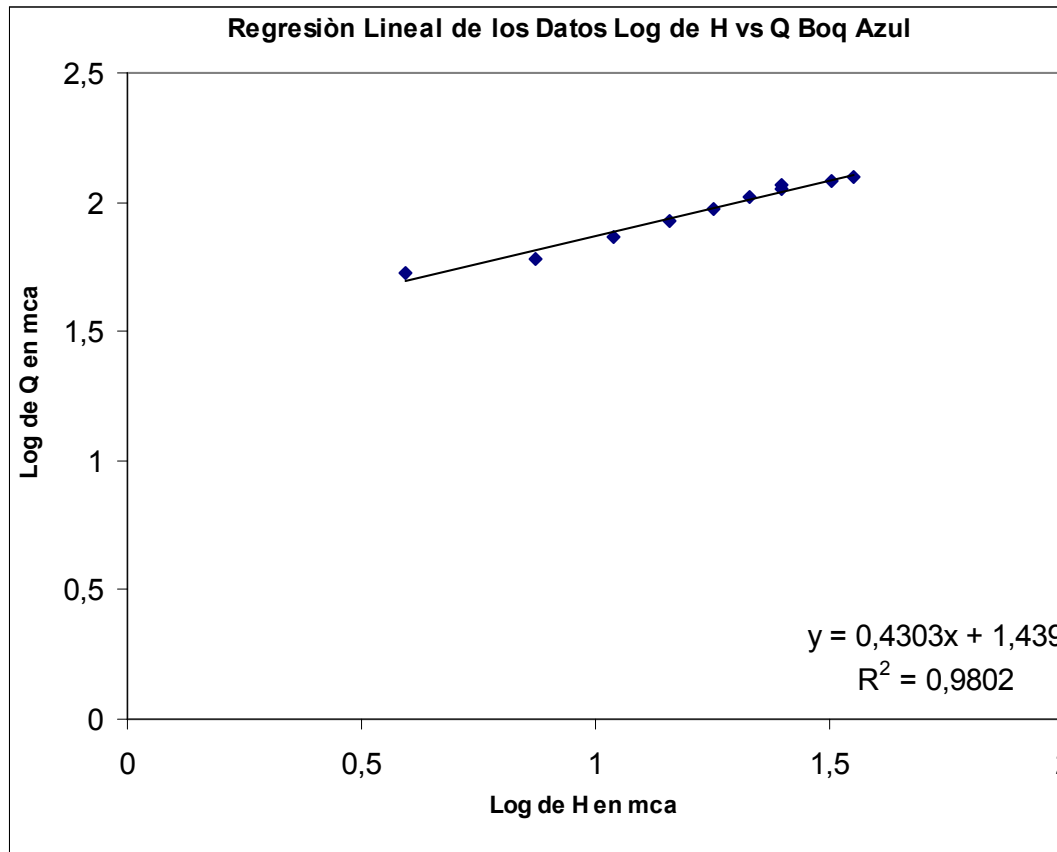


Figura No 3.3. Regresión lineal log para la boquilla Azul

Boquilla color Amarilla:

$y = a + bx$

i	Xi	Yi	Xi * Yi	Xi ^2	Yi ^2
---	----	----	---------	-------	-------

1	0,585223	2,011246	1,177027	0,342486	4,04511168
2	0,866167	2,077882	1,799793	0,750245	4,31759386
3	1,034744	2,154112	2,228954	1,070695	4,64019685
4	1,156453	2,200524	2,544803	1,337384	4,84230417
5	1,251077	2,257747	2,824616	1,565194	5,09742208
6	1,328196	2,304893	3,06135	1,764105	5,31253272
7	1,395012	2,335487	3,258031	1,946058	5,45449746
8	1,452475	2,3616	3,430165	2,109683	5,57715598
9	1,503088	2,389557	3,591715	2,259274	5,70998394
10	1,54815	2,397353	3,711462	2,396768	5,74730156
	1,212058	2,24904	27,62792	15,54189	50,7441003

b =	0,43269
a =	1,724594
r ² =	0,981793

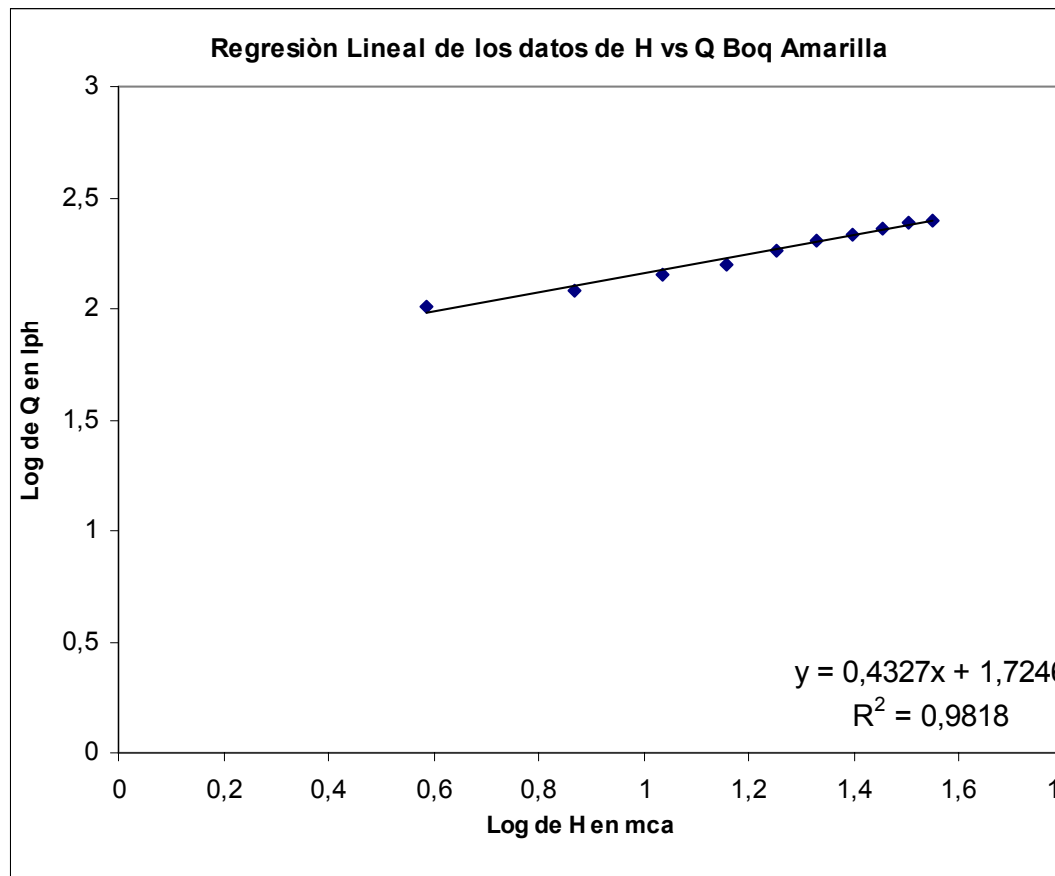


Figura No 3.4. Regresión lineal log para la boquilla Amarilla

Boquilla color Rosa:

$y = a + bx$

i	Xi	Yi	Xi * Yi	Xi ^2	Yi ^2
---	----	----	---------	-------	-------

1	0,589128	1,867241	1,100044	0,347072	3,486
2	0,868436	1,94126	1,685861	0,754182	3,768
3	1,036596	2,006687	2,080124	1,074531	4,026
4	1,157748	2,072496	2,399429	1,340381	4,295
5	1,252333	2,107135	2,638836	1,568339	4,440
6	1,330088	2,151023	2,861049	1,769133	4,626
7	1,395877	2,186987	3,052766	1,948474	4,782
8	1,453149	2,223088	3,230479	2,111643	4,942
9	1,503744	2,229921	3,35323	2,261246	4,972
10	1,549018	2,274594	3,523388	2,399458	5,173
	1,213612	2,106043	25,92521	15,57446	44,51

b =	0,432681
a =	1,580936
r ² =	0,982381

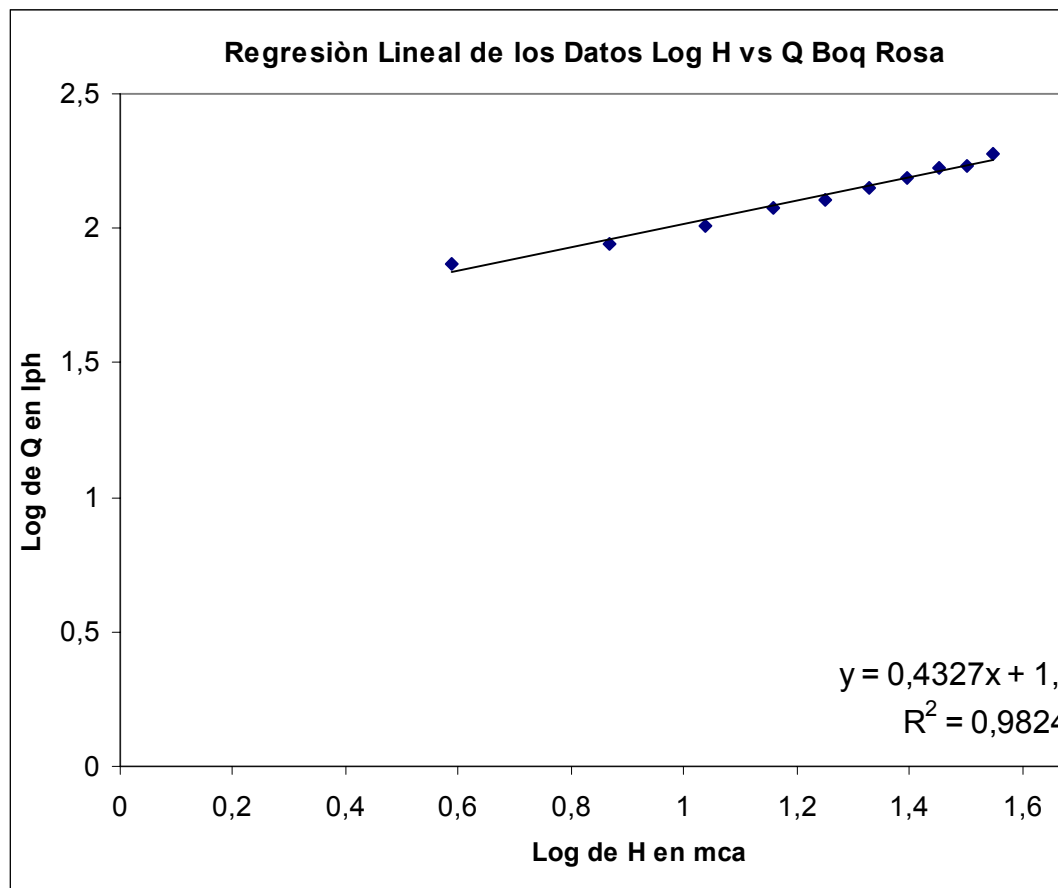


Figura No 3.5. Regresión lineal log para la boquilla Rosa

Boquilla color Negra:

$y = a + bx$

i	Xi	Yi	Xi * Yi	Xi ^2	Yi ^2
---	----	----	---------	-------	-------

1	0,594316	1,549528	0,920909	0,353211	2,4010
2	0,871779	1,606666	1,400658	0,759999	2,5813
3	1,039111	1,697009	1,76338	1,079751	2,8798
4	1,159902	1,770162	2,053214	1,345372	3,1334
5	1,254202	1,801416	2,259339	1,573022	3,245
6	1,331803	1,842519	2,453872	1,773698	3,3948
7	1,397469	1,870028	2,613306	1,952919	3,4970
8	1,454666	1,891261	2,751153	2,116054	3,5768
9	1,505085	1,905027	2,867227	2,265279	3,6291
10	1,550333	1,933203	2,997107	2,403531	3,7372
	1,215866	1,786682	22,08017	15,62284	32,075

b =	0,424645
a =	1,27037
r ² =	0,985241

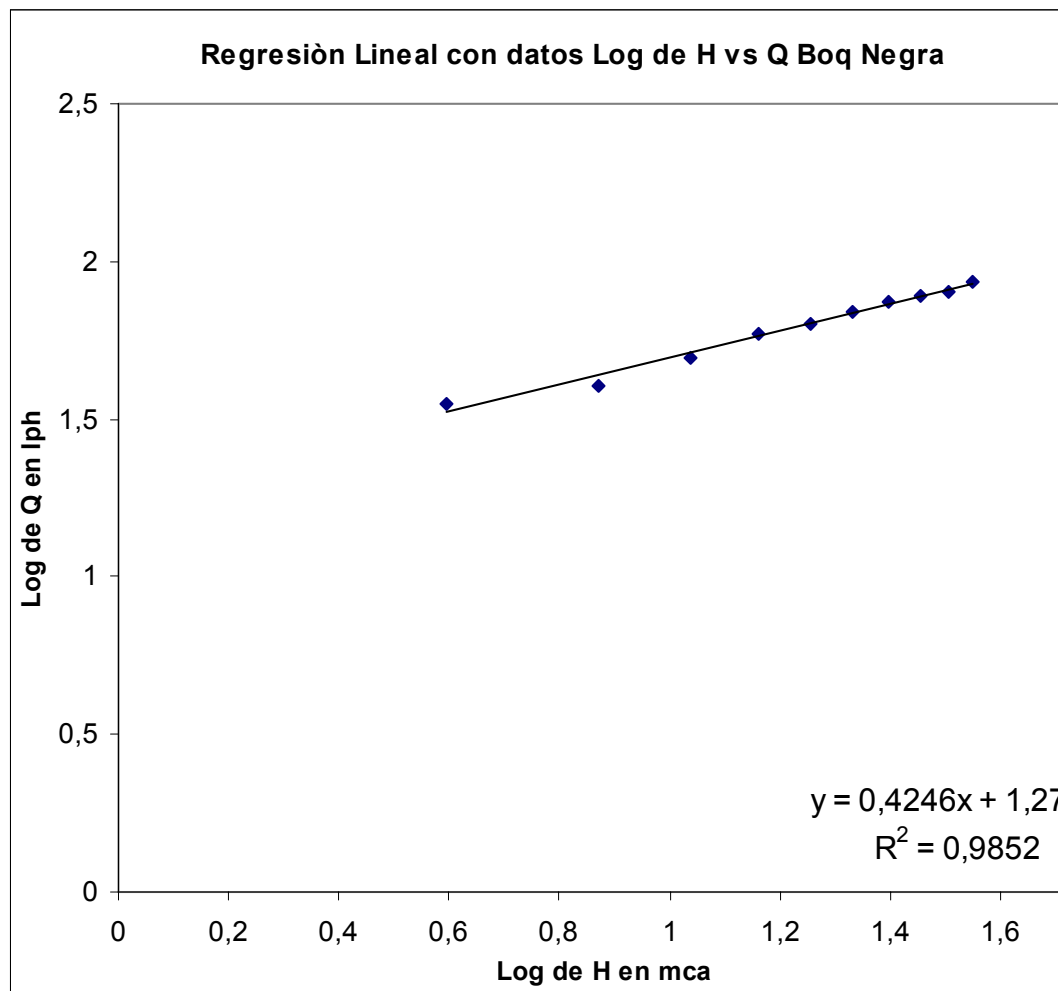


Figura No 3.6. Regresión lineal log para la boquilla Negra

Boquilla color Verde:

$$y = a + bx$$

i	Xi	Yi	Xi * Yi	Xi ^2	Yi ^2
---	----	----	---------	-------	-------

1	0,592953	1,662265	0,985645	0,351593	2,763123
2	0,87085	1,729649	1,506265	0,75838	2,991684
3	1,038278	1,801957	1,870933	1,078021	3,247050
4	1,159355	1,869855	2,167826	1,344105	3,496356
5	1,253634	1,917809	2,404232	1,571599	3,677992
6	1,331256	1,961299	2,610991	1,772241	3,846695
7	1,396979	1,986985	2,775777	1,95155	3,948110
8	1,454224	2,006687	2,918174	2,114768	4,026794
9	1,504589	2,043343	3,074391	2,263788	4,175249
10	1,549946	2,049288	3,176285	2,402332	4,199580
	1,215206	1,902914	23,49052	15,60838	36,37263

b =	0,43536
a =	1,373861
r ² =	0,98512

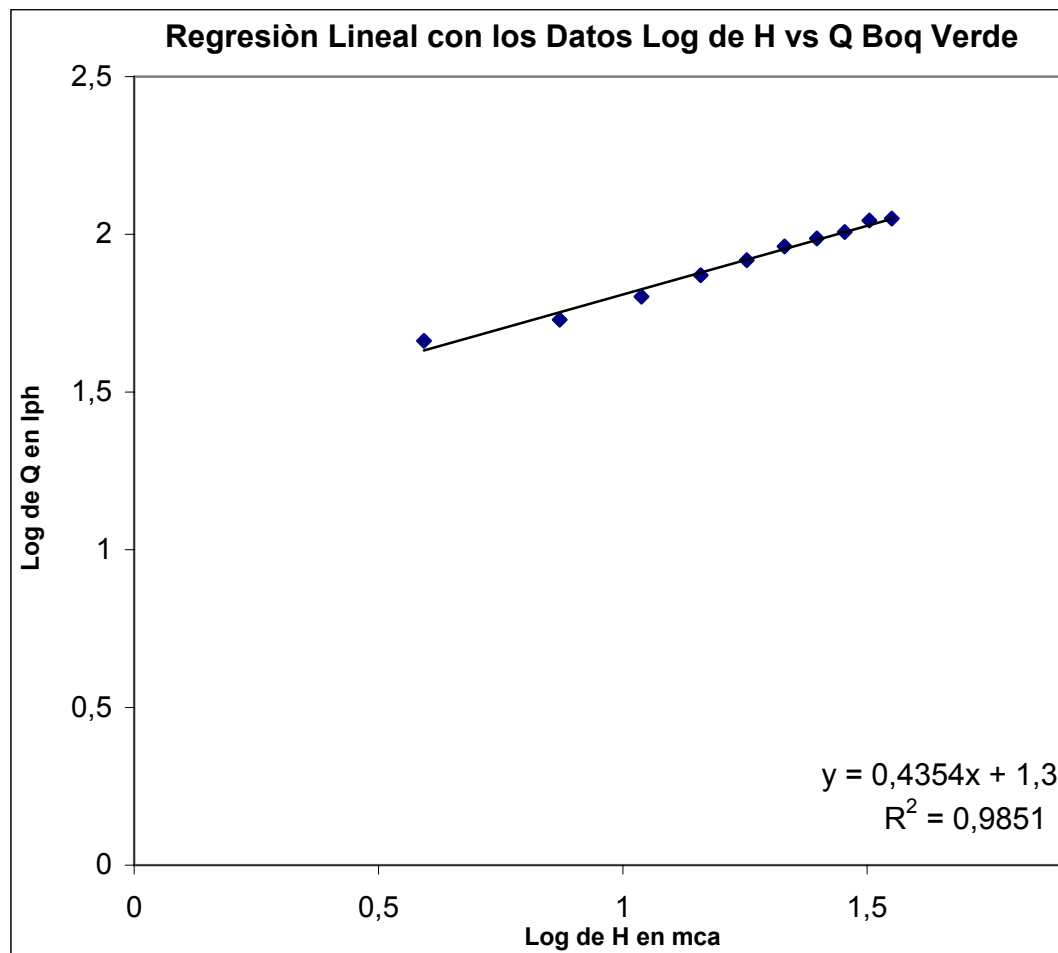


Figura No 3.7. Regresión lineal log para la boquilla Verde

Boquilla color Olivo:

$$y = a + bx$$

i	Xi	Yi	Xi * Yi	Xi ^2	Yi ^2
---	----	----	---------	-------	-------

1	0,578719	2,190046	1,267421	0,334915	4,79
2	0,862793	2,246318	1,938107	0,744411	5,045
3	1,032284	2,337154	2,412606	1,06561	5,462
4	1,154636	2,397692	2,76846	1,333183	5,748
5	1,249978	2,432347	3,04038	1,562444	5,916
6	1,328401	2,480212	3,294716	1,764649	6,151
7	1,394718	2,509065	3,499438	1,945238	6,295
8	1,452598	2,557262	3,714672	2,11004	6,539
9	1,503541	2,585921	3,888038	2,260635	6,686
10	1,549094	2,592969	4,016753	2,399692	6,723
	1,210676	2,432899	29,84059	15,52082	59,30

b =	0,447125
a =	1,891575
r ² =	0,976695

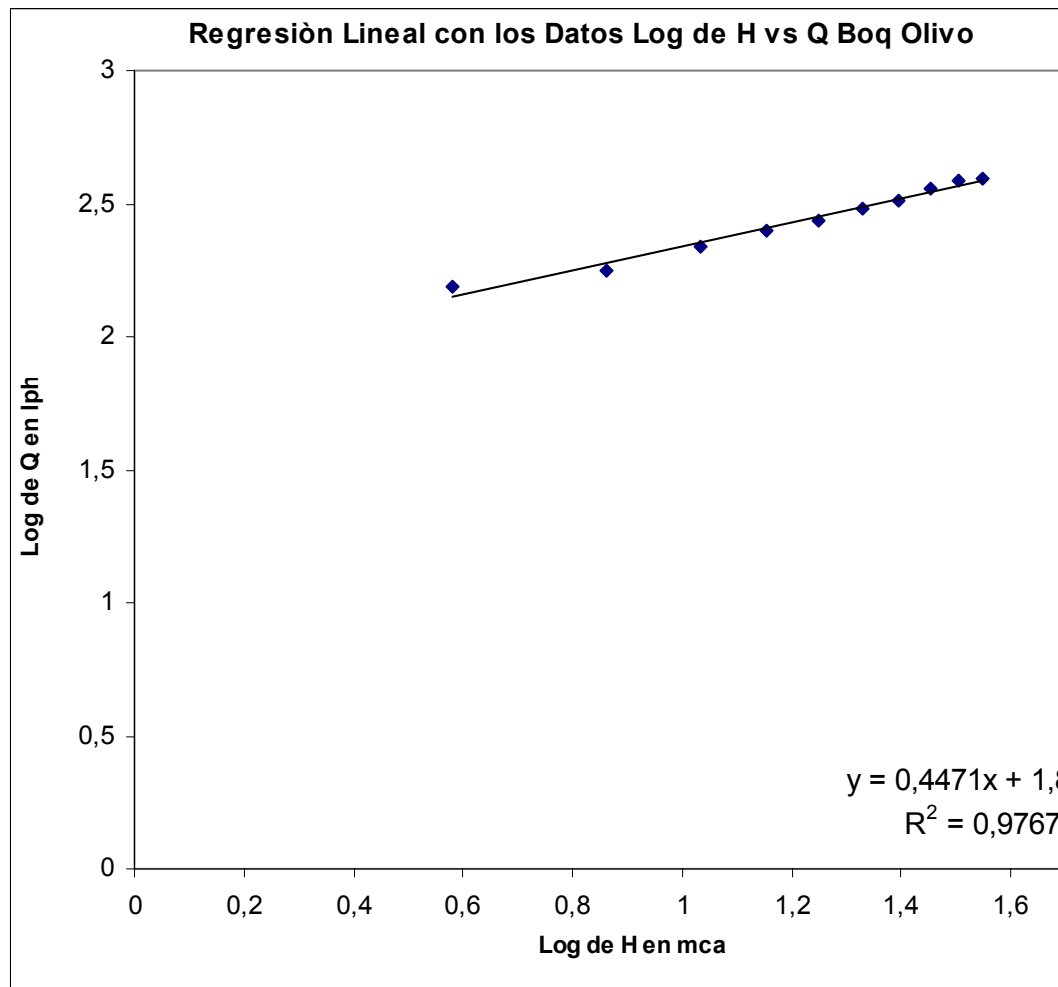


Figura No 3.8. Regresión lineal log para la boquilla Olivo

IV. – RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos promedio de la presión observada y gastos aforados en la boquilla de cada emisor, se ajustaron al modelo de regresión lineal logarítmico para comprobar los resultados de los coeficientes K y X hallados con el modelo de la computadora:

$$q = kh^x$$

$$\log q = \log kh^x$$

$$\log q = \log k + \log h^x$$

$$\log q = \log k + x \log h$$

Con este modelo se aplicó una regresión lineal tipo logarítmica a los datos calculados y de ahí se obtuvieron los coeficientes K y X del modelo potencial $q = kh^x$.

Del modelo de regresión lineal $y = a + bx$, $a = \log K$; $b = x$; $X = \log h$

Y también se calculó el coeficiente de correlación (r^2) para evaluar el grado de ajuste de los datos al modelo; encontrando para todas las boquillas estudiadas un rango de valor de 0.98 – 0.99.

El valor del exponente x de los micro aspersores estudiados se localizó entre un rango de 0.43 – 0.47, clasificando a los emisores según este rango como emisores que operan en un flujo del tipo turbulento. Los cuales se pueden apreciar en el cuadro 10.

Los valores del coeficiente K, fluctuaron en el rango de 0.999 a 1.8915 para los 8 micro aspersores estudiados, dicho coeficiente indica la descarga unitaria de la boquilla esperada al operar el emisor a una carga unitaria de H = 1 mca. Los cuales se pueden apreciar en el cuadro 10.

Cuadro No 4.1. Resultados de presiones y descargas calculadas en la salida orificio de la boquilla de los micros aspersores estudiados:

Boq Nara									
Pres mca	3,88	7,46	10,9	14,4	17,9	21,5	25,0	28,5	32,0
Q en lph	20,3	23,8	29,7	32,2	36,9	41,3	45,0	47,7	51,6
Boq Blan									
Pres mca	3,83	7,32	10,8	14,3	17,8	21,3	24,8	28,3	31,9
Q en lph	119	141	173	203	224	253	274	293	311
Boq Azul									
Pres mca	3,91	7,42	10,9	14,4	17,9	21,4	24,9	24,9	31,9
Q en lph	52,8	60,7	73,5	85,2	93,5	104	112	116	121
Boq Amar									
Pres mca	3,85	7,35	10,8	14,3	17,8	21,2	24,8	28,3	31,8
Q en lph	102	119	142	158	181	201	216	229	245
Boq Rosa									
Pres mca	3,88	7,39	10,8	14,3	17,8	21,3	24,8	28,3	31,9
Q en lph	73,6	87,3	101	118	127	141	153	167	169
Boq Negra									
Pres mca	3,93	7,44	10,9	14,4	17,9	21,4	24,9	28,4	32,0
Q en lph	35,4	40,4	49,7	58,9	63,3	69,5	74,1	77,8	80,3
Boq Verde									
Pres mca	3,92	7,43	10,9	14,4	17,9	21,4	24,9	28,4	31,9
Q en lph	45,9	53,6	63,3	74,1	82,7	91,4	97,0	101	110
Boq Olivo									
Pres mca	3,79	7,29	10,7	14,2	17,7	21,3	24,8	28,3	31,8
Q en lph	154	176	217	249	270	302	322	360	385

Con los valores de gasto y presión que se reportan en el cuadro 4.8, los cuales fueron encontrados mediante la aplicación de formulas hidráulicas (Darcy – Weisbach, ecuación de continuidad y teorema de Bernoulli); se procede a usar dichos valores para fabricar las curvas de operación de las boquillas estudiadas, a las cuales se les aplica el modelo de regresión potencial para determinar los valores de los coeficientes K y X de dicho modelo potencial.

Estos valores del cuadro 1 obtenidos, designan o muestran la tendencia de operación de los micro aspersores a través de diferentes presiones de operación, esto de saber dicha tendencia de operación es de mucha importancia desde el punto de vista de diseño y desde el punto de vista de operación del sistema de riego en campo, ya que el operar el sistema a presiones mayores a la nominal, repercute en el consumo de energía eléctrica de la bomba utilizada para proporcionar la energía necesaria para operar el sistema.

Se halló que la presión de operación de la boquilla es un poco mayor a la reportada por el fabricante en su catalogo, esto debido a la influencia de la pendiente topográfica que tiene la instalación del banco de prueba. En lo que respecta a la pérdida de energía en la lateral, observamos que se comporta de una manera similar al variar la presión de operación del sistema.

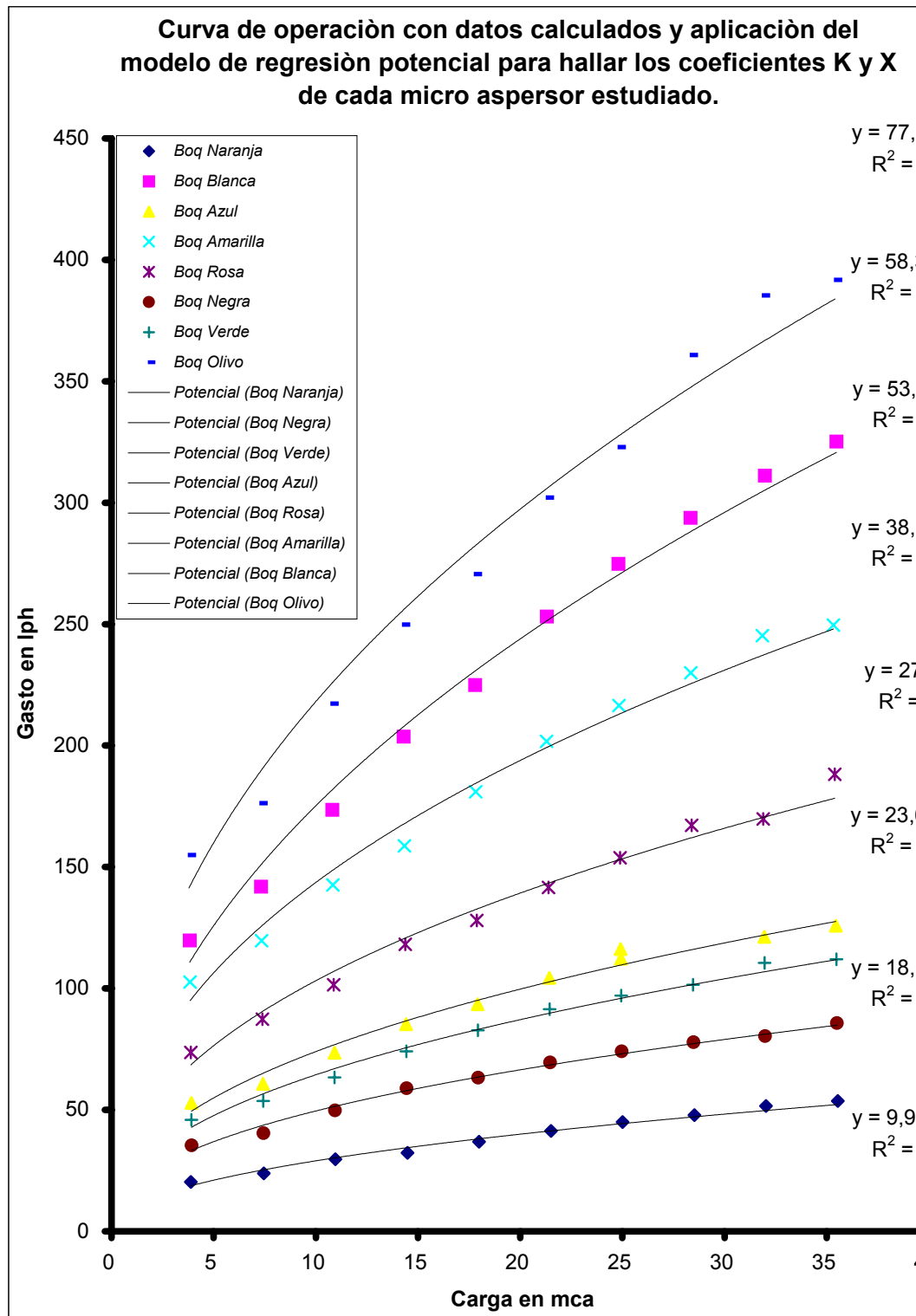


Figura No 4.1. Curvas de operación de las 8 boquillas estudiadas para obtener la fórmula y los valores de K, X y r^2 para cada emisor.

Se observo que los coeficientes X encontrados para los micro aspersores estudiados, están próximos al 0.5, lo cual es muy favorable ya que este parámetro nos denota que el emisor esta trabajando bajo la influencia del flujo turbulento, lo cual es muy recomendable, aparte de que ya se sabe que estos tipos de emisores estudiados operan bajo este régimen, por lo que al encontrar los coeficientes X cercanos al valor de 0.5, se esta recalcando que estos emisores realmente operan bajo este tipo de régimen.

Los valores que se obtuvieron del r^2 , se observo que están muy cercanos ala unidad (1), lo cual nos indica que el ajuste estadístico aplicado a los datos obtenidos, se distribuyen de una manera aceptable.

Cuadro No 4.2 Valores de presión y gatos obtenidos de la alimentación de las formulas obtenidas de la figura 4., para las curvas de operación de cada boquilla estudiada.

Boquilla Naranja

P mca	3,52	7,03	10,55	14,06	17,58	21,09	24,61	28,12	31,64
Q lph	17,89	24,66	29,75	33,99	37,68	41,00	44,03	46,84	49,47

Boquilla Negra

P mca	3,52	7,03	10,55	14,06	17,58	21,09	24,61	28,12	31,64
Q lph	31,78	42,66	50,67	57,26	62,95	68,01	72,62	76,85	80,79

Boquilla Verde

P mca	3,52	7,03	10,55	14,06	17,58	21,09	24,61	28,12	31,64
Q lph	40,89	55,29	65,97	74,77	82,40	89,21	95,40	101,11	106,43

Boquilla Azul

P mca	3,52	7,03	10,55	14,06	17,58	21,09	24,61	28,12	31,64
Q lph	47,20	63,60	75,73	85,71	94,34	102,04	109,04	115,49	121,50

Boquilla Rosa

P mca	3,52	7,03	10,55	14,06	17,58	21,09	24,61	28,12	31,64
Q lph	65,64	88,60	105,59	119,59	131,71	142,52	152,35	161,42	169,86

Boquilla Amaril

P mca	3,52	7,03	10,55	14,06	17,58	21,09	24,61	28,12	31,64
Q lph	91,38	123,34	146,99	166,48	183,35	198,40	212,09	224,70	236,45

Boquilla Blanca

P mca	3,52	7,03	10,55	14,06	17,58	21,09	24,61	28,12	31,64
Q lph	106,38	148,09	179,71	206,17	229,33	250,19	269,29	287,01	303,61
Boquilla Olivo									
P mca	3,52	7,03	10,55	14,06	17,58	21,09	24,61	28,12	31,64
Q lph	136,67	186,33	223,36	254,02	280,67	304,51	326,23	346,30	365,03

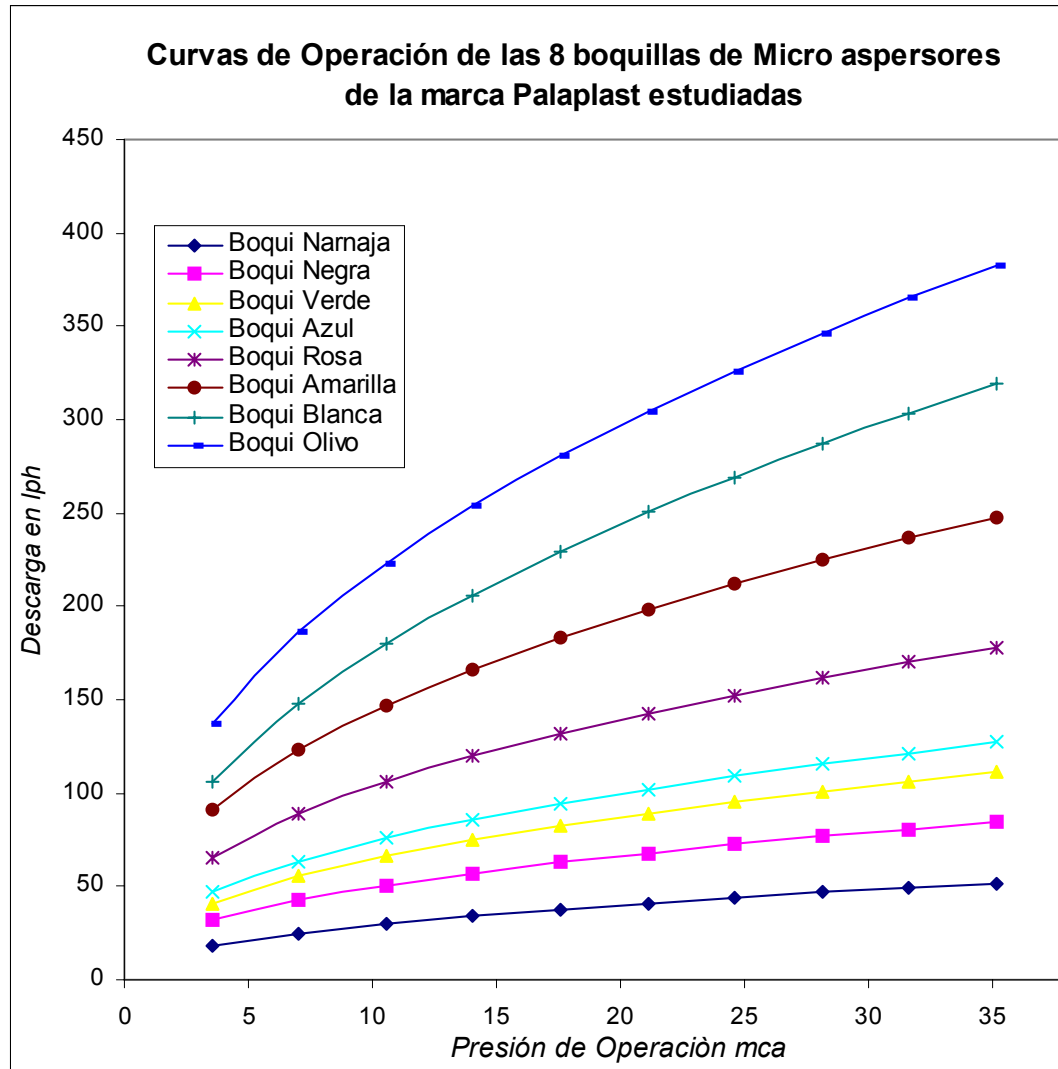


Figura No 4.2 Curvas de Operación de las 8 boquillas estudiadas.

En el grafico 2 se observa las curvas de operación de las 8 boquillas analizadas de la marca palaplast, este graficó denota el comportamiento de los emisores a diferentes presiones, lo cual desde el punto de vista de diseño es muy importante conocer, dado que al diseñar un sistema de riego sub foliar, las presiones de operación van a variar dependiendo de las características de diseño y del terreno, por tal motivo es importante saber que gasto va estar dando

el emisor al estar variando la presión de operación del sistema.. La persona dedicada a diseñar sistemas de riego no solo sub foliares si no cualquier otro sistema de riego, debe contar con una grafica similar dependiendo el emisor a utilizar para poder conocer el comportamiento del emisor seleccionado.

En este grafico se toma como presión nominal de operación 21.1 mca lo cual es el equivalente a 30 psi, debido principalmente a que se han llevado a cabo muchos experimentos de presión optima de diseño y de funcionamiento, encontrando que a dicha presión, los micro aspersores operan de una manera eficiente tanto para la distribución del agua en el suelo, como desde el punto de vista económico.

Cuadro No 4.3. Resultados de los coeficientes K, x y r² de los micros aspersores estudiados:

Boquilla	Q nom	H nom	K	X	R ²	Formula
Naranja	40 lph	29 psi	0.9998	0.4628	0.9806	$q = 0.999 x^{0.46}$
Blanca	250 lph	29 psi	1.7662	0.4773	0.9862	$q = 1.7662 x^{0.4}$
Azul	105 lph	29 psi	1.4390	0.4303	0.9802	$q = 1.439x^{0.430}$
Amarilla	200 lph	29 psi	1.7246	0.4327	0.9817	$q = 1.7246x^{0.4}$
Rosa	140 lph	29 psi	1.5809	0.4326	0.9823	$q = 1.5809x^{0.4}$
Negra	70 lph	29 psi	1.2703	0.4246	0.9852	$q = 1.2703x^{0.4}$
Verde	90 lph	29 psi	1.3738	0.4353	0.9851	$q = 1.3738x^{0.4}$
Olivo	300 lph	29 psi	1.8915	0.4471	0.9767	$q = 1.8915x^{0.4}$

Resultados de la regresión logarítmica hecha con la formula, no con la computadora.

En el cuadro No 4.3 se observa que a manera que aumenta el gasto nominal de la boquilla estudiada, aumenta

el coeficiente K del modelo estadístico $q = KH^x$, por lo que se deduce que dicho coeficiente depende principalmente del diámetro y del gasto del orificio. En lo que respecta a el coeficiente X se observa que se mantiene de una manera constante sin importar que el gasto del emisor aumente o disminuya, de igual manera para el coeficiente de uniformidad r^2 se observa que se mantiene de una manera constante; por lo que se deduce que tanto el coeficiente X y el r^2 no dependen directamente del gasto de la boquilla ni del diámetro de la misma.

Cuadro No 4.4 Resumen de los cálculos aplicados a los resultados de presión en la boquilla para ajustarlos al modelo de regresión lineal $y = a + bx$; donde $a = K$ y $b = X$. Del modelo de regresión potencial $q = KH^x$

Boquilla	Q Nom	H Nom	a	b	R²	Formula
Naranja	40 lph	29 psi	0.9998	0.4628	0.98	$Y = 0.9998 + 0.4628x$
Blanca	250 lph	29 psi	1.7663	0.4773	0.986	$Y = 1.7663 + 0.4773x$
Azul	105 lph	29 psi	1.439	0.4303	0.98	$Y = 1.439 + 0.4303x$
Amarilla	200 lph	29 psi	1.7246	0.4327	0.9818	$Y = 1.7246 + 0.4327x$
Rosa	140 lph	29 psi	1.581	0.4327	0.9824	$Y = 1.581 + 0.4327x$
Negra	40 lph	29 psi	1.2704	0.4246	0.9852	$Y = 1.2704 + 0.4246x$
Verde	90 lph	29 psi	1.3738	0.4354	0.9851	$Y = 1.3738 + 0.4354x$
Olivo	300 lph	29 psi	1.8915	0.4471	0.9767	$Y = 1.8915 + 0.4471x$

El cuadro No 4.3 y 4.4 muestran los valores de los coeficientes K y x (cuadro No 4.3) y los valores de a y b (cuadro No 4.4) del modelo de regresión lineal, esto se llevo a cabo con la finalidad de comprobar y saber que es lo que hace la computadora al correr un modelo potencial a un conjunto de datos. Los valores de a y b del cuadro 4 están sacados con la formula $y = a + bx$, las formulas para hallar a y b, ya fueron descritas anteriormente. Con esto podemos constatar que el modelo de regresión lineal logarítmica, esta bien aplicado dado a que se llegan a los mismo resultados tanto los hechos por la computadora como los hallados por medio de la aplicación del modelo de regresión lineal.

Cuadro No 4.5. Cálculo del porcentaje de variación del gasto con respectos a los gasto nominales proporcionados por el fabricante (Palaplast) y los gastos hallados en el banco de prueba:

Boq	P psi	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0	40,0	45,0
Nar	Q lph	13,1	20,1	25,8	30,8	35,4	40,0	43,6	47,4	50,9
	*Qlph	17,9	24,7	29,7	34,0	37,7	41,0	44,0	46,8	49,5
Boq	P psi	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0	40,0	45,0
Blan	Q lph	116,9	159,4	191,2	217,5	240,4	250	279,5	296,7	312,8
	*Qlph	106,4	148,1	179,7	206,2	229,3	250,2	269,3	287,0	303,6
Boq	P psi	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0	40,0	45,0
Ros	Q lph	60,9	84,3	102	116,8	129,7	140	151,9	161,8	171,0
	*Qlph	65,6	88,6	105,6	119,6	131,7	142,5	152,4	161,4	169,9

Boq	P psi	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0	40,0	45,0
Neg	Q lph	32,1	44,7	54,3	62,3	69,3	70,0	81,3	86,7	91,7
	*Qlph	31,8	42,7	50,7	57,3	62,9	68,0	72,6	76,9	80,8
Boq	P psi	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0	40,0	45,0
Ver	Q lph	40,0	55,8	67,8	77,8	86,6	90,0	101,7	108,5	114,8
	*Qlph	40,9	55,3	66,0	74,8	82,4	89,2	95,4	101,1	106,4
Boq	P psi	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0	40,0	45,0
Azul	Q lph	50,6	68,8	82,3	93,4	103,1	105	119,6	126,9	133,6
	*Qlph	47,2	63,6	75,7	85,7	94,3	102	109	115,5	121,5
Boq	P psi	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0	40,0	45,0
Ama	Q lph	91,1	124,7	149,9	170,7	188,9	200	220	233,7	246,5
	*Qlph	91,4	123,3	147	166,5	183,4	198,9	212,1	224,7	236,5
Boq	P psi	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0	40,0	45,0
Oliv	Q lph	121,1	174	215,2	250,2	281,1	300	335,3	359,6	382,4
	*Qlph	136,7	186,3	223,4	254	280,7	304,5	326,2	346,3	365,0

- Q lph: - Gasto hallado en el trabajo.
Q lph: - Gasto sacado del catalogo del fabricante Palaplast.

En el cuadro 5 se observo que la variación de los gastos están dentro del rango de tolerancia que marca la norma **NMX – 0 – 084 – SCFI – 2001**, la cual dice que debe haber una tolerancia del 5 % entre el valor del gasto reportado por el fabricante y el valor del gasto hallado al correr la prueba en un banco de prueba. Por tal motivo se puede decir que los valores de gasto encontrados en el estudio si son aceptables para usarlos ya sea para fines de diseño de sistemas de riego sub foliares o como apoyo para la determinación del funcionamiento de los micro aspersores en campo.

En lo que respecta a la presión de operación de los micro aspersores, se acepta que es el parámetro que mas incide directamente en la descarga de cada emisor, por lo que para poder obtener resultados similares con el fabricante, al momento de correr las pruebas, se usaron intervalos de presión de 5 psi a la salida de la bomba, de ahí

se fue aplicando las formulas hidráulicas (Bernoulli y Darcy – Weisbach) para poder determinar la presión exacta a la salida de la boquilla. Una vez teniendo la presión en la boquilla, se grafico y se obtuvo la formula para cada boquilla estudiada. Con dicha formula podemos nosotros introducir cualquier valor de presión de operación ya sea en mca o en psi y poder obtener el valor del gasto para dicha presión de interés.

Cuadro No 4.6. Concentración de resultados de lámina promedio, los coeficientes de variación y diámetros de alcance para cada una de las boquillas estudiadas:

Boquilla	H nom	Q nom	Lam Pro mm	Coef Varia %	D alca m
Naranja	40 lph	29 psi	3.3885	37.7 %	5.0
Blanca	250 lph	29 psi	9.8098	28.3 %	8.75
Azul	105 lph	29 psi	3.7952	23.6 %	7.5
Amarilla	200 lph	29 psi	6.5554	29.3 %	8.85
Rosa	140 lph	29 psi	6.8440	21.1 %	8.5
Negra	70 lph	29 psi	5.5572	11.7 %	6.5
Verde	90 lph	29 psi	11.4433	24.3 %	7.5
Olivo	300 lph	29 psi	4.9063	28.1 %	9.2

En el cuadro No 4.6 se observo que el comportamiento de la lamina promedio no se, dio que a mayor gasto de la boquilla mayor va ser la lamina. Dado a que el patrón de distribución de la precipitación no obedece únicamente al gasto de la boquilla, si no que también depende del diámetro de cobertura del micro aspersor.

Para la determinación de dicha lamina promedio, si observamos el procedimiento, no se tomaron en cuenta algunos pluviómetros, esto con la finalidad de que al reducir

el diámetro de alcance del micro aspersor, tomamos en cuenta nada más la precipitación más cercana al emisor, haciendo con esto que dichos valores sean más grandes y con ello poder obtener valores de coeficiente de uniformidad más bajos, debido a que los micro aspersores no se traslapan uno con otro. Tal y como lo mencionan Sadam y Shani en su estudio acerca de micro aspersores, que entre más bajos sean los valores de coeficientes de variación mejor es la distribución de la lamina precipitada.

En su estudio ellos reportan como aceptables valores de C.V iguales o menores de 30 % como valores aceptables para micro aspersores; como se puede ver en el cuadro de las 8 boquillas estudiadas nada más la naranja se sale fuera de este margen al obtener un valor de C.V = 37 %, por lo que se deduce que esta boquilla debe ser seleccionada para plantas pequeñas tales como manzanos, duraznos, chabacanos, vid y nogales en sus primeros 6 años de plantación, debido a que para plantas mayores, pues la superficie explorada por las raíces tan bien es mayor y la boquilla naranja sería ineficiente para suministrar el agua que necesitan dichas raíces para satisfacer sus necesidades hídricas.

Para diseño si aceptamos el supuesto de que la parte aérea de la planta es similar a la parte subterránea de la misma, entonces las 7 boquillas restantes del cuadro 6, se pueden usar para árboles frutales que cuenten con un diámetro de copa igual o menor al diámetro de alcance de la boquilla seleccionada. Si observamos el coeficiente de uniformidad de dichas boquillas vemos que si caen dentro del margen expuesto por Sadam y Shani, por lo que podremos considerar como aceptable la distribución de la lamina precipitada de dichos emisores.

**Isogramas del patrón de cobertura de los micros
aspersores para cada una de las boquillas estudiadas:**

Figura No 4.3 Isograma de la distribución de la precipitación
de la boquilla Naranja a una presión nominal de 30 psi.



Figura No 4.4 Isograma de la distribución de la precipitación
de la boquilla Blanca a una presión nominal de 30 psi.

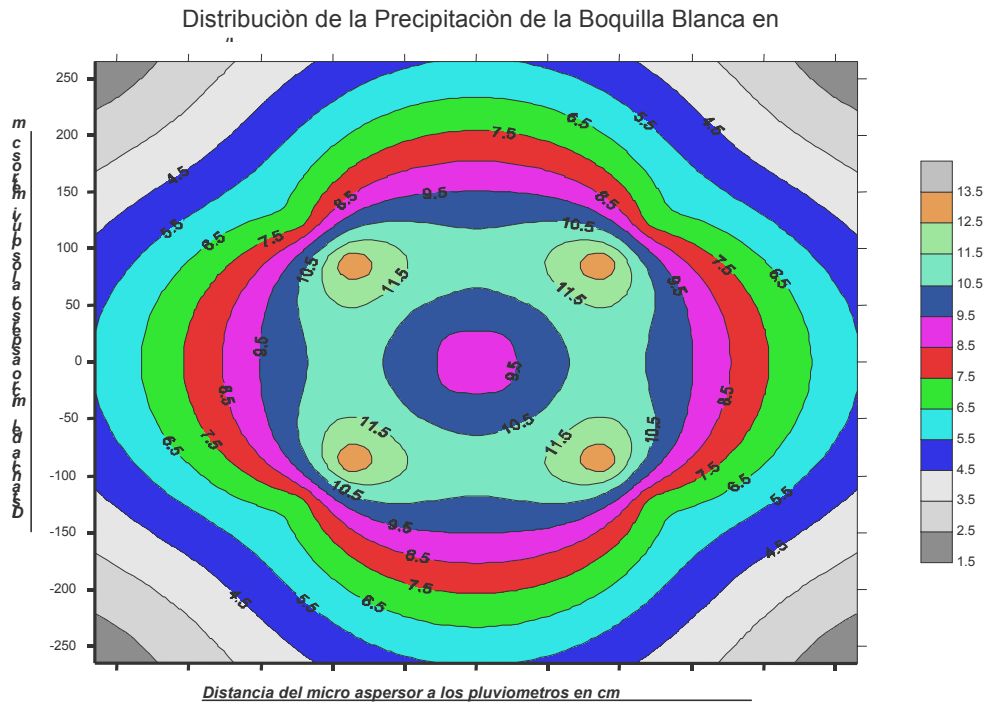


Figura No 4.5 Isograma de la distribución de la precipitación de la boquilla Azul a una presión nominal de 30 psi.

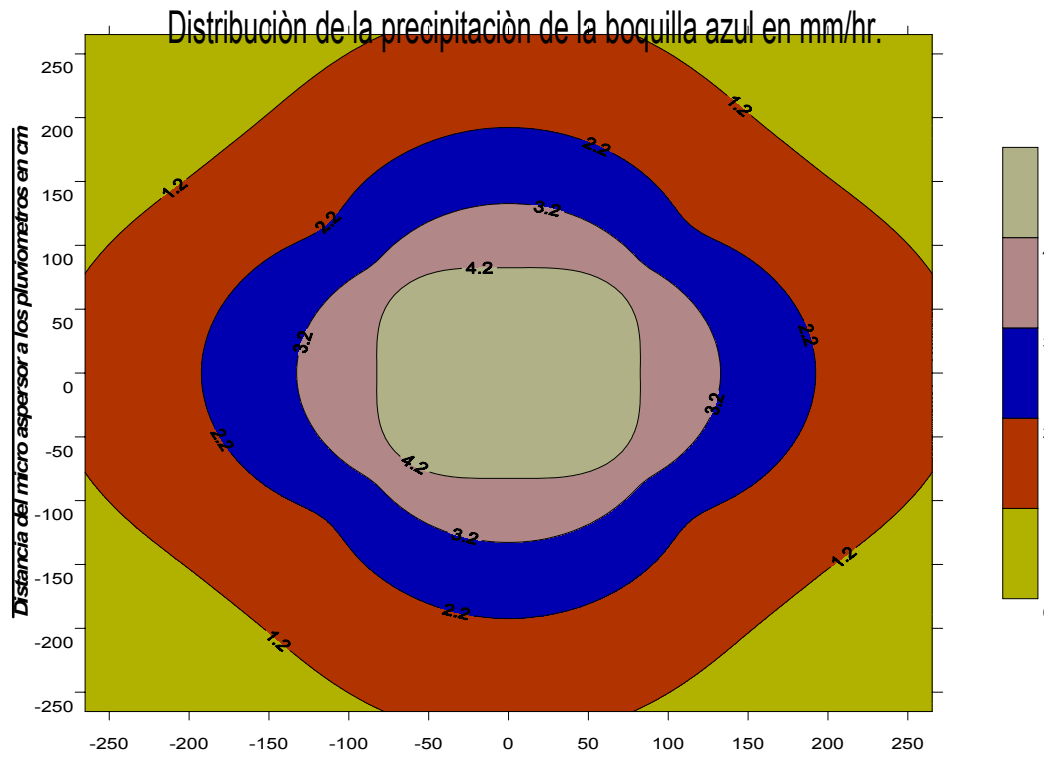


Figura No 4.6 Isograma de la distribución de la precipitación de la boquilla Amarilla a una presión nominal de 30 psi.

Distribución de la Precipitación de la Boquilla Amarilla en mm/hr.

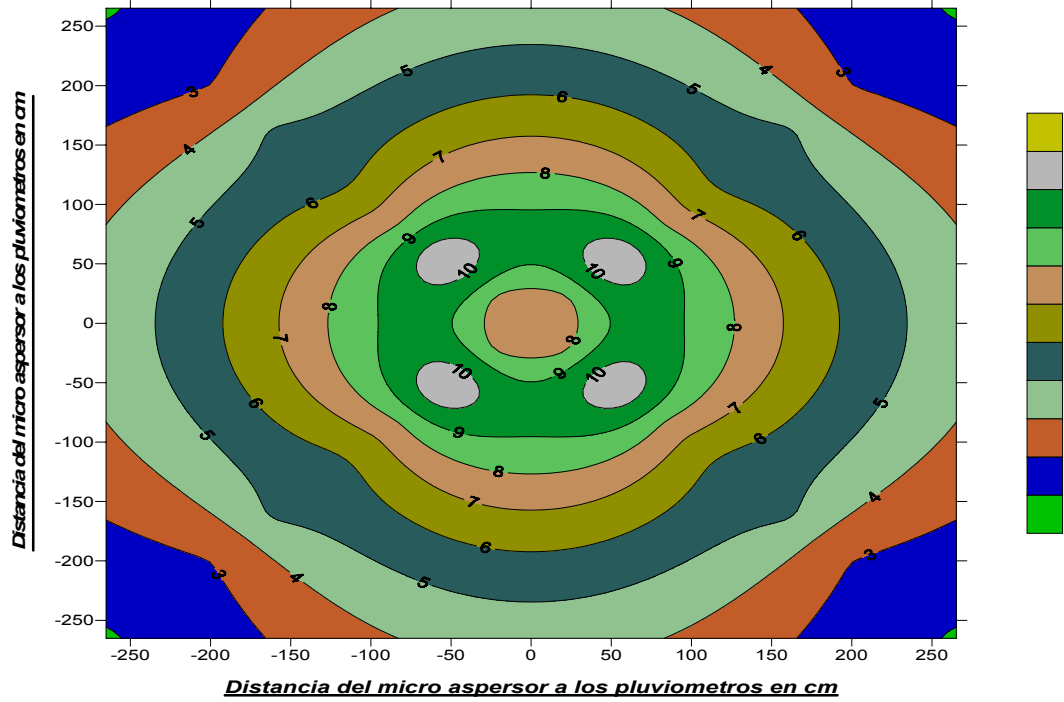


Figura No 4.7 Isograma de la Distribución de la precipitación de la boquilla Rosa a una presión nominal de 30 psi.

Distribución de la Precipitación de la Boquilla Rosa en mm/hr.

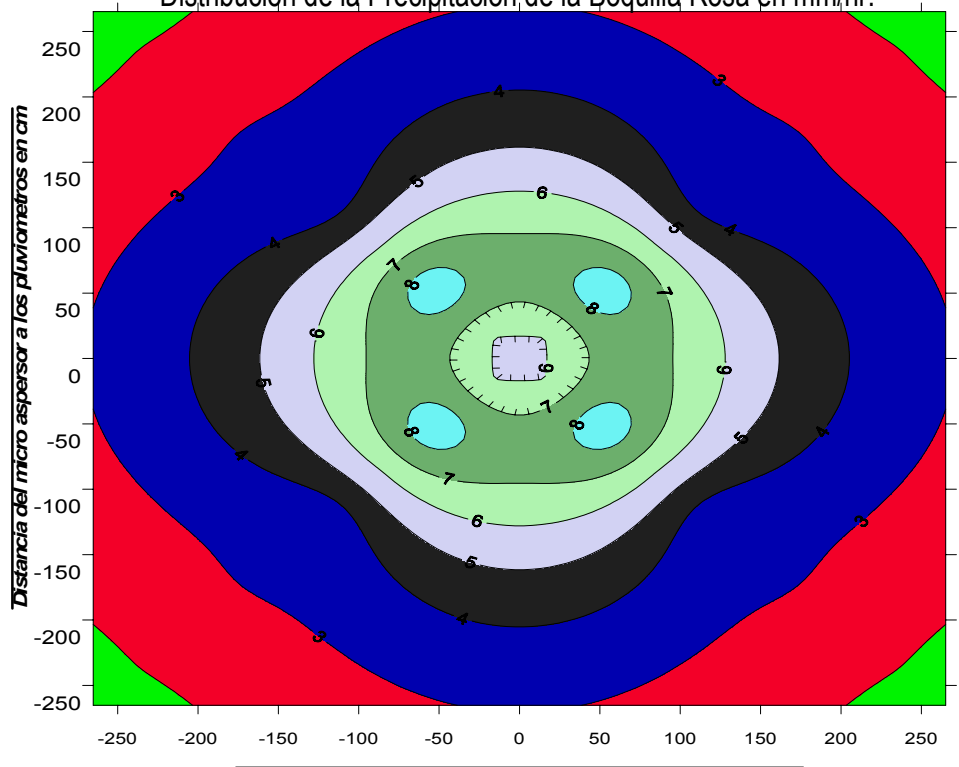


Figura No 4.8 Isograma de la distribución de la precipitación de la boquilla Negra a una presión nominal de 30 psi.

Distribución de la Precipitación de la Boquilla Negra en mm/hr.

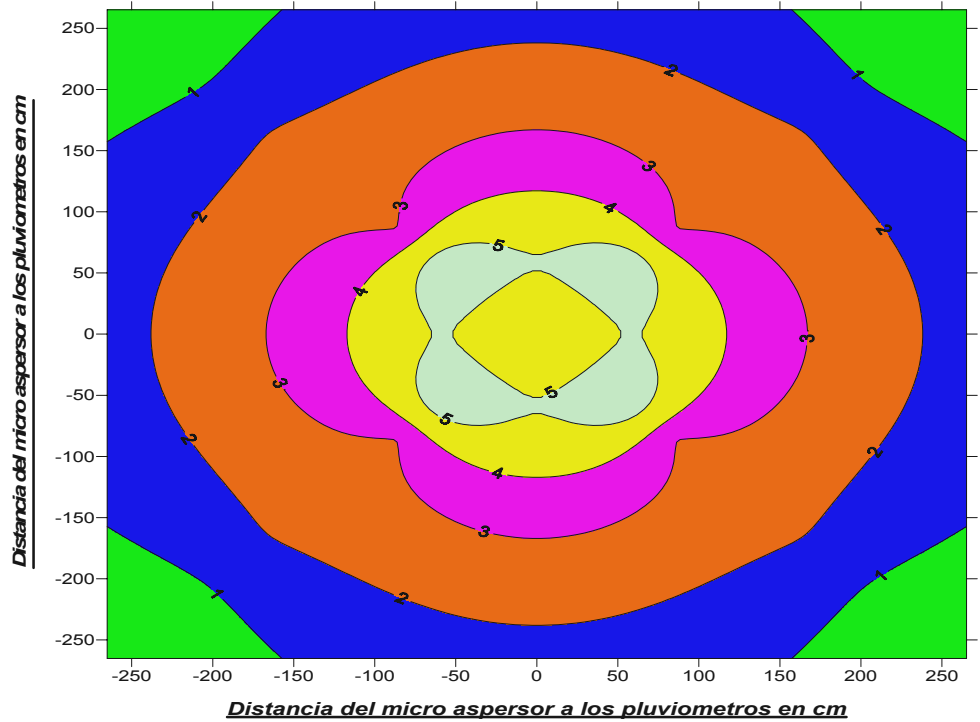


Figura No 4.9 Isograma de la distribución de la precipitación de la boquilla Verde a una presión nominal de 30 psi.

Distribución de la Precipitación de la Boquilla Verde en mm/hr

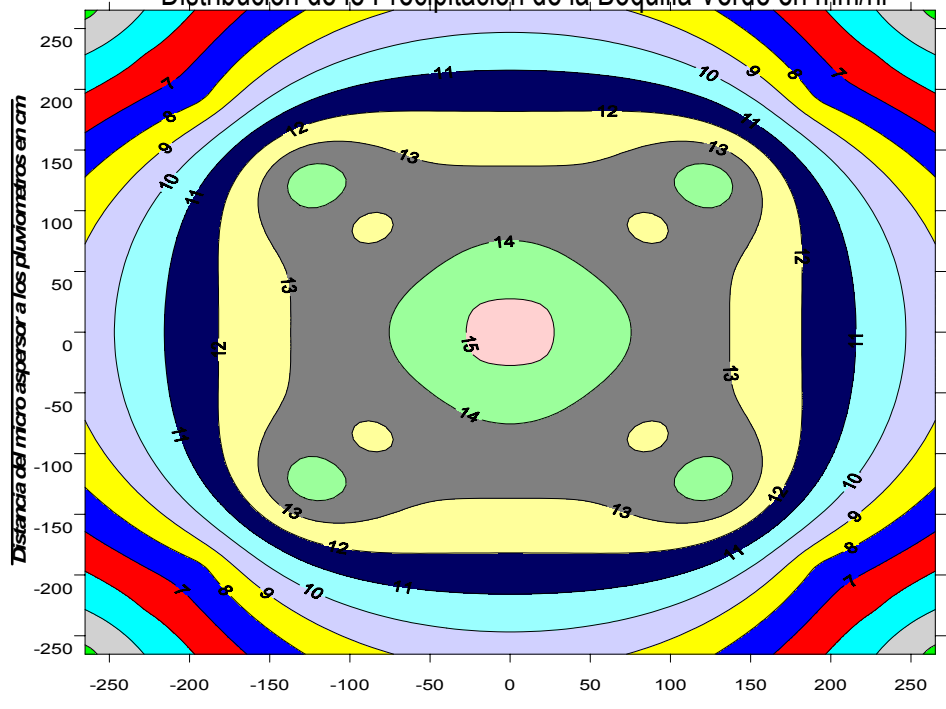
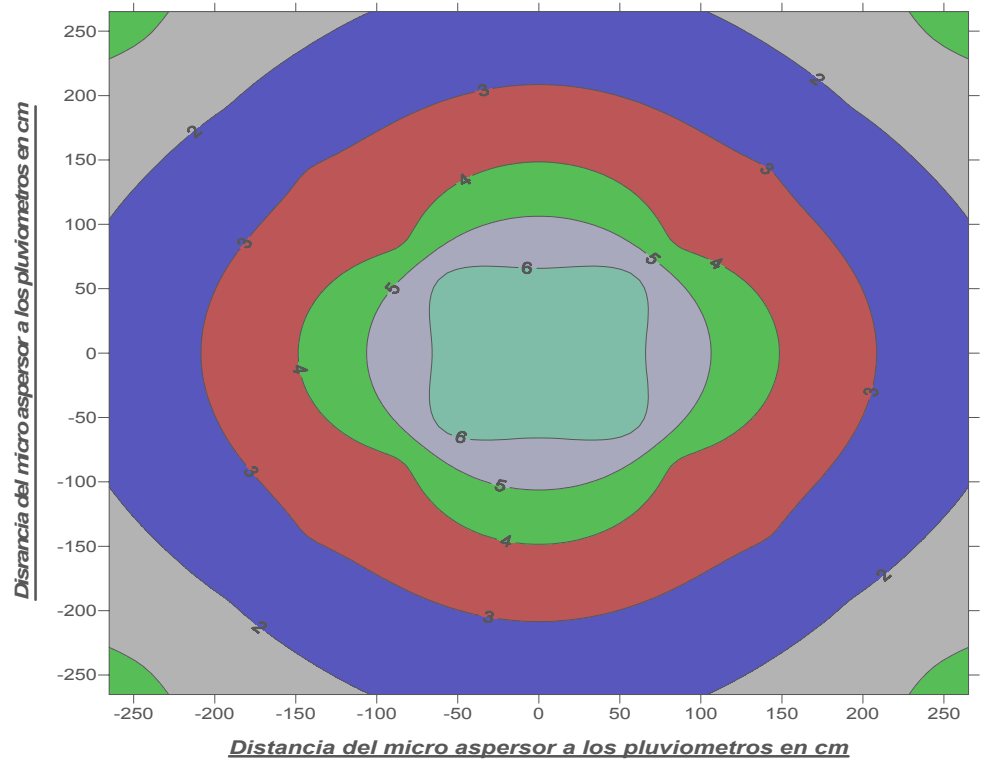


Figura No 4.10 Isograma de la distribución de la precipitación de la boquilla Olivo a una presión nominal de 30 psi

Distribución de la Precipitación de la Boquilla Olivo en mm/hr.



Como se pudo observar en las figuras de los Isogramas, la distribución del patrón de distribución de la precipitación de las boquillas estudiadas, estas se asemejan a una distribución del tipo normal (campana Gauss), tal y como lo propone en su artículo sistemas de micro riego Sholomo Armoni.

De los mismos isogramas se puede deducir que para la boquilla naranja y para la boquilla azul, existe un área regada por el micro aspersor, que no alcanza a considerarse como un área suficientemente irrigada como lo mencionan Sadam y Shani en sus experimentos, el cual dice que para precipitaciones menores de 1 mm/hr, no se consideran como precipitaciones que riega la superficie ineficientemente. Por lo tanto al diseñar un sistema de riego sub foliar y usar dichas boquillas, hay que considerar que el área del suelo

explorada por las raíces del cultivo no sea mayor que el área regada eficientemente por la boquilla seleccionada.

En los isogramas también se pudo observar que las precipitaciones disminuyen a medida que la precipitación se aleja del centro del micro aspersor, por lo que a medida que el diámetro de alcance del micro aspersor aumente, pues mayor va ser el efecto del viento sobre el patrón de distribución de la precipitación. En micro aspersores el efecto del viento tiene poca incidencia ya que la boquilla se sitúa muy cerca del suelo, reduciendo con esto también las pérdidas de agua por evaporación.

Cuadro No 4.7 Resultados de la precipitación en cada anillo para cada una de las boquillas estudiadas.

Anillo	Precipitación mm/hr							
	Boq Naranja	Boq Blanca	Boq Azul	Boq Amarilla	Boq Rosa	Boq Negra	Boq Verde	Boq Oliva
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	5,60	9,31	4,28	7,47	6,02	4,43	15,12	6,02
2,00	2,65	10,81	4,94	11,17	8,89	5,93	13,89	6,02
3,00	0,96	10,34	3,01	7,44	5,78	2,89	12,62	3,01
4,00	0,50	6,93	1,93	5,55	3,07	2,65	14,97	3,01
5,00	0,00	5,60	1,68	5,21	3,25	2,16	11,39	2,16
6,00	0,00	4,10	0,72	3,13	2,65	1,20	7,71	1,20

7,00	0,00	2,89	0,48	2,41	2,16	0,50	5,94	1,
8,00	0,00	1,68	0,25	1,93	1,32	0,25	3,37	0,

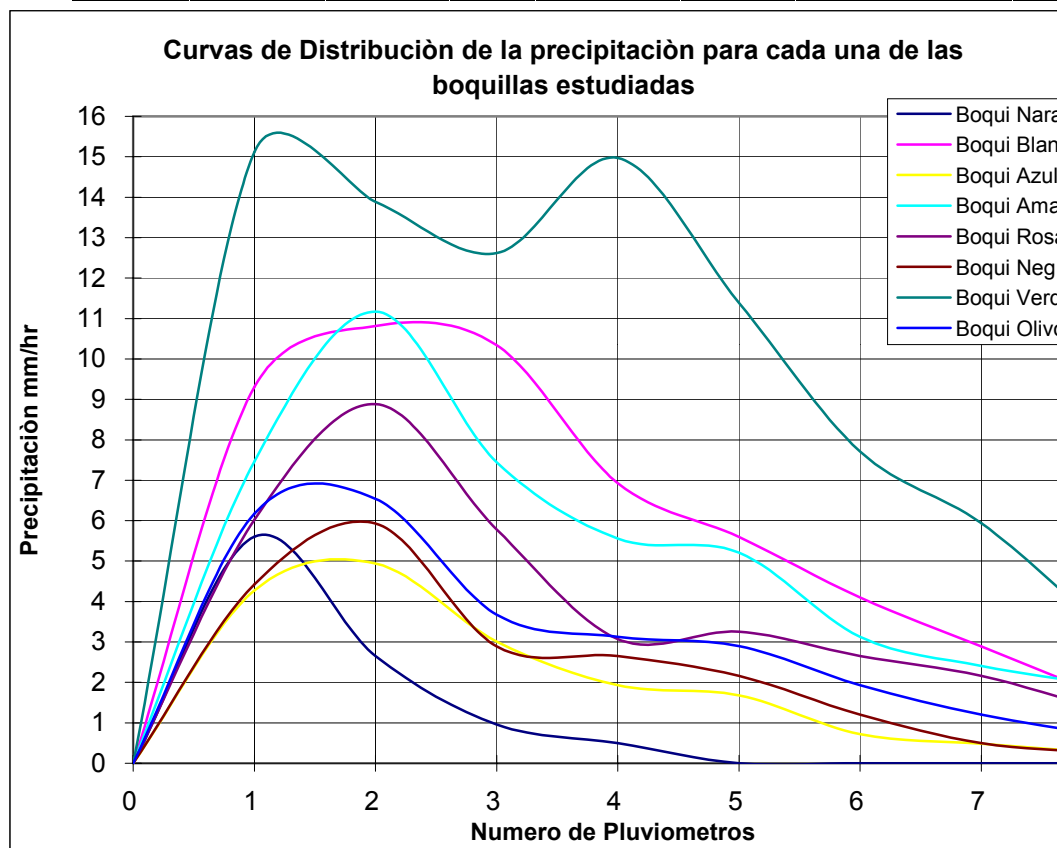


Figura No 4.11 Distribución de la precipitación para cada una de las boquillas estudiadas.

La figura No 4.11 muestra el perfil de la precipitación en un ángulo de 90° para las 8 boquillas estudiadas, de lo cual se deduce que la mayor precipitación se sitúa cerca del micro aspersor, por lo tanto se recomienda que la ubicación del micro aspersor con referencia al árbol sea no mayor de 30 cm del tronco, esto con la finalidad de que la mayor precipitación sea aprovechada por la zona de raíces de mayor densidad.

El efecto del tipo de difusor que se utilizo en este estudio (deflector tipo bailarina), se sabe que influye en el rompimiento del chorro de agua emitido por la boquilla, esto con la finalidad de simular una lluvia artificial, la cual dependiendo de la presión de operación del micro aspersor,

será el diámetro de la gota, se maneja como una presión nominal de operación de 30 psi, dado a que a esta presión, la gota de lluvia no es arrastrada muy fácilmente por el viento cercano al suelo y con esto también se está previniendo de la evaporación que pueda sufrir dicha lluvia artificial, ayudando con esto a disminuir al mínimo las pérdidas de agua por evaporación.

Las estrías con que cuenta el difusor tipo bailarina, le ayudan a que el diámetro de alcance de la lluvia sea mayor, contribuyendo con esto a cubrir un área mayor de riego, el efecto de contar con el difusor tipo bailarina es que a mayor área de riego, menor es la lamina promedio aplicada, por lo tanto hay que tener un buen control del tiempo de riego aplicado, para que no se dejen áreas ineficientemente regadas tal como lo menciona Sadam y Shani.

V. CONCLUSIONES

Mediante el análisis hidráulico y el trabajo desarrollado para calcular las presiones y lamina media respectivamente para cada micro aspersor estudiado, nos permite llegar a las siguientes conclusiones:

1.– La aplicación de la fórmula de Darcy – Weisbach, como la ecuación básica o estándar para calcular las pérdidas de

energía en tuberías cortas, ya que nos permite trabajar con diferentes presiones, diámetros, variar la temperatura del agua y agregar las pérdidas de energía por accesorios con que cuente la instalación.

2.– Se observa que la variación del gasto en comparación con el obtenido y el reportado por el fabricante, se esta dentro del margen de tolerancia estipulado por la norma **NMX – 0 – 084 – SCFI – 2001**, dado a que en ninguna boquilla se excede del 5% de variación, por lo que se concluye diciendo que las curvas de operación a partir de dichos gastos obtenidos son validos para usarlos ya sea en el campo de diseño o en operación de sistemas de riego por micro aspersión.

3.– Se diseño el banco de prueba con capacidad para 10 micro aspersores de cualquier marca, como se muestra en el plano. Este banco puede ser utilizado también para la prueba de goteros, cintas de goteo, etc. Dado a que según la norma **NMX – 0 – 084 – SCH – 2001** y los resultados obtenidos en los micro aspersores, este banco cubre los planteamientos estipulados por dicha norma, tales como presión mínima, nominal y máxima, precisión de los materiales, diámetros de cobertura de los emisores, laminas precipitadas, etc.

4.– Como los gastos obtenidos están dentro del rango de tolerancia en comparación con los gastos reportados por el fabricante, las curvas de operación hechas a partir dichos gasto y presiones se aceptan como validas para usarlas en diseño y operación de sistemas de riego con micro aspersores.

El conocimiento de los coeficientes K y x del modelo estadístico de la regresión potencial $q = KH^x$ al cual se ajustan los emisores estudiados, tiene varias utilidades, una de ellas desde el punto de vista de diseño es que con estos datos, y el conocimiento de la uniformidad de distribución del agua y el coeficiente de variación de manufactura, nos permite conocer la caída de carga permisible tanto en la lateral como en el manifiol del sistema de riego que estemos diseñando.

Como se pudo observar en los cuadros de resultados los gastos calculados en nuestro experimento y los gastos dados por el fabricante, se sitúan dentro del rango de tolerancia expuesto por la norma oficial activa para rociadores presurizados.

En lo que respecta al valor del coeficiente x encontrado para las boquillas estudiadas, se observa que todos están muy cercanos al valor de 0.5, dicho valor, según las normas de la ASAE se califica a este valor típico para los emisores que operan en un régimen de flujo turbulento.

Se observa que a mayor alcance en diámetro de mojado de la boquilla menor es la lamina promedio precipitada, lo que trae consigo que menor sean las posibilidades de reponer el contenido de humedad perdido por el suelo tanto por evaporación como por la humedad absorbida por las raíces del cultivo.

La conclusión mas importante que obtenemos es que a medida que es mayor el coeficiente de variación calculado para un micro emisor, es decir cuanto mayores sean las diferencias entre la lamina media entre un anillo y otro, menor será la máxima dotación de agua permisible. De lo contrario, se producirán perdidas por percolación. Bajo estas condiciones, una parte del diámetro de cobertura del micro

emisor no recibirá el volumen de agua necesario para reponer el consumo de agua por el cultivo. La economía del agua nos obliga a reducir la lámina, lo que nos obligara a reducir los intervalos de riego.

Ya que no resulta realista aspirar a una eficiencia del 100 %, hemos de considerar como optima una eficiencia de 95 %. Es decir, que no se pierda por percolación más del 5 % de la dotación de la lámina bruta. Por todo ello, siempre hemos de basar nuestros cálculos en la lámina del anillo 1, dado a que este recibe la lámina de mayor cantidad.

VI. - RESUMEN

VI. – BIBLIOGRAFIA

American Society of Agricutury Engineers, ASAE 2004. Standards; <http://asae.org>

Armoni Raanana S (1989). Riego por Micro aspersion. Impreso en España.

Briones Sánchez Gregorio e Ignacio García Casillas (1986). Diseño y Evaluación de Sistemas de Riego por Aspersion y Goteo. Editada por la U.A.A.A.N.

Catalogo Palaplast (2003).

Cruz Bautista Fidencio (2002). Tesis Licenciatura. Diseño e Instalación de un Sistema de Inyección de Fertilizantes Automatizado en Nogal en Micro aspersion.

Eigel y Moore (1983). Métodos para medir el diámetro de la gota de lluvia a diferentes presiones en Micro aspersores.

García Delgado Miguel Ángel (1986). Tesis Licenciatura

Garza Vara Sergio Z (2001 – 2002). Apuntes de los Cursos de Hidráulica I e Hidráulica II.

Halzafel H. Eduardo (1995). Definición de Micro aspersion.

Hargogar N. Gustavo (2001). Impacto de los Sistemas de Micro riego en la agricultura.

http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/alfaro.html

ALFARO, J. F., Adaptabilidad de dos Sistemas de Irrigação Localizada e por Aspersção, aos solos arenosos nos projectos de Irrigação Pública do Nordeste Brasileiro. Relatorio de consultaría. The World Bank, Ministry of Irrigation, PROINE. Brasilia, August 1988, 85 pp.

http://www.chileriego.cl/revista/rev4/rev4_17.htm.

http://www.editorial.cda.ulpqc.es/instalaciòn/1ABASTO/13di_mencionado/i132.html.

http://www.inia.cl/cobertura/quilamapu/pubycam/informativos/info_18.html.

<http://www.unesco.org.uv/phi/libros/usoeficiente/alfaro.html>.

IMTA (1997). Manual para diseño de Zonas de Riego Pequeñas.

J. H. Tuner, Planning for System. AAVIM. Eng. Center, Athens. GA. 30602.

Peña et al (1979). Desarrollo de una teoría para el calculo de perdidas de energía en tuberías con salidas múltiples.

Savaldi citado por Costa (1994). Factores a considerar en la Uniformidad de la distribución del agua.

Secretaría de Economía (2001). Norma oficial NMX – 0 – 084 – SCFI. 2001. CDU: 631.372. Para Roceadores de Riegos Presurizados – Especificaciones y Métodos de Prueba.

VII. – Anexos:

Datos de campo para obtener las curvas de operación de las boquillas estudiadas de la marca Palaplast:

Boquilla Naranja:

Presión = 5 psi		Presión = 10 psi		Presión = 15 psi	
67	62	75	70	90	100
67	63	78	72	95	90
61	62	70	80	90	92
68	60	80	72	100	90
60	66	72	75	90	90
Tf = 10,00 seg		Tf = 10,21 seg		Tf = 10,08 seg	

Presión = 20 psi		Presión = 25 psi		Presión = 30 psi	
105	95	110	110	115	125
100	95	115	117	110	112
100	90	115	120	120	115
108	105	115	115	123	110
100	110	115	120	121	105
Tf = 10,1 seg		Tf = 10,04 seg		10,15	

Presión = 35 psi		Presión = 40 psi		Presión = 45 psi	
140	145	157	150	168	160
140	140	150	150	155	160
140	145	140	150	160	168
140	135	155	140	160	158
140	140	150	150	162	160
Tf = 10,21 seg		Tf = 10,25 seg		Tf = 10,33 seg	

Presión = 50 psi	
170	170
165	170
160	175
170	165
162	170
Tf = 10,15 seg	

Boquilla Blanca:

Presión = 5 psi		Presión = 10 psi		Presión = 15 psi	
315	320	380	375	410	402
320	318	375	372	405	410
310	305	378	378	408	417
312	310	365	380	413	415
318	322	370	365	415	408
Tf = 10,02 seg		Tf = 10,1 seg		Tf = 10,25 seg	

Presión = 20 psi		Presión = 25 psi		Presión = 30 psi	
465	460	510	503	630	620
450	455	505	510	620	625
455	462	508	513	625	635
458	459	501	502	620	630
452	460	500	498	625	625
Tf = 10,17 seg		Tf = 10,13 seg		9	

Presión = 35 psi		Presión = 40 psi		Presión = 45 psi	
650	670	705	701	740	735
665	672	710	715	735	740
660	668	690	710	730	738
670	670	695	698	733	742
665	675	692	700	725	730
Tf = 10,21 seg		Tf = 10,21 seg		Tf = 10,2 seg	

Presión = 50 psi	
760	775
755	768
762	765
765	760
770	763
Tf = 10,2 seg	

Boquilla Azul:

Presión = 5 psi		Presión = 10 psi		Presión = 15 psi	
168	165	185	190	230	233
169	160	183	190	225	225
160	170	180	205	230	235
160	165	190	190	235	225
162	168	190	190	225	230
Tf = 10,31 seg		Tf = 10,18 seg		Tf = 10,24 seg	

Presión = 20 psi		Presión = 25 psi		Presión = 30 psi	
275	270	290	299	315	315
275	260	285	292	305	313
260	260	285	298	310	303
265	265	288	295	305	308
260	268	293	290	310	305
Tf = 10,31 seg		Tf = 10,31 seg		Tf = 10,9 seg	

Presión = 35 psi		Presión = 40 psi		Presión = 45 psi	
345	360	362	370	395	345
340	345	360	352	345	390
340	362	362	370	395	385
350	353	360	360	340	398
353	350	365	362	390	395
Tf = 10,34 seg		Tf = 10,12 seg		Tf = 10,15 seg	

Presión = 50 psi	
377	382
385	425
400	385
380	398
390	400
Tf = 10,39 seg	

Boquilla Amarilla:

Presión = 5 psi		Presión = 10 psi		Presión = 15 psi	
315	310	370	365	410	415
310	305	365	366	405	405
308	312	372	350	408	410
305	290	355	345	400	412
295	295	350	348	395	398
Tf = 10,31 seg		Tf = 10,36 seg		Tf = 10,33 seg	

Presión = 20 psi		Presión = 25 psi		Presión = 30 psi	
470	465	510	508	550	543
465	455	506	512	545	530
455	460	512	505	533	539
460	450	500	515	535	535
452	455	495	490	538	540
Tf = 10,08 seg		Tf = 10,22 seg		9,75	

Presión = 35 psi		Presión = 40 psi		Presión = 45 psi	
610	615	680	685	710	712
615	605	685	655	698	702
600	598	675	675	705	708
590	595	660	660	700	698
595	590	655	650	695	700
Tf = 10,18 seg		Tf = 10,16 seg		Tf = 10,27 seg	

Presión = 50 psi	
745	750
755	735
735	740
730	730
737	735
Tf = 10,11 seg	

Boquilla Rosa:

Presión = 5 psi		Presión = 10 psi		Presión = 15 psi	
185	192	225	215	270	220
185	185	225	210	265	258
180	185	215	220	220	265
180	180	220	228	272	260
195	195	225	225	272	265
Tf = 10,42 seg		Tf = 10,16 seg		Tf = 10,25 seg	

Presión = 20 psi		Presión = 25 psi		Presión = 30 psi	
300	302	365	360	405	410
290	295	355	355	395	408
300	295	350	350	400	395
300	300	345	358	395	405
295	310	350	350	390	400
Tf = 10,08 seg		Tf = 10,10 seg		10,1	

Presión = 35 psi		Presión = 40 psi		Presión = 45 psi	
410	425	430	410	415	400
405	420	415	400	455	450
406	415	425	430	402	450
410	422	435	415	400	450
400	415	435	430	420	450
Tf = 10,14 seg		Tf = 10,11 seg		Tf = 10,26 seg	

Presión = 50 psi	
440	425
475	470
735	440
450	432
440	450
Tf = 10,25 seg	

Boquilla Olivo:

Presión = 5 psi		Presión = 10 psi		Presión = 15 psi	
510	515	660	651	710	705
512	495	655	645	690	665
502	510	671	660	685	670
495	505	655	650	700	692
490	485	650	635	690	680
Tf = 10,20 seg		Tf = 10,31 seg		Tf = 10,08 seg	

Presión = 20 psi		Presión = 25 psi		Presión = 30 psi	
760	755	810	812	875	885
755	765	805	806	880	875
765	730	795	780	865	860
745	725	790	795	845	850
740	745	796	785	840	855
Tf = 10,27 seg		Tf = 10,04 seg		Tf = 10,2 seg	

Presión = 35 psi		Presión = 40 psi		Presión = 45 psi	
925	920	995	1010	1050	1045
915	915	985	1004	1045	1060
911	918	980	990	1040	1035
906	925	988	985	1035	1025
905	895	1000	980	1030	1020
Tf = 10,26 seg		Tf = 10:00 seg		Tf = 10,26 seg	

Presión = 50 psi	
1080	1085
1075	1070
1065	1045
1055	1035
1060	1030
Tf = 10,09 seg	

Boquilla Negra:

Presión = 5 psi		Presión = 10 psi		Presión = 15 psi	
115	115	130	130	165	165
110	115	130	131	165	160
110	120	130	130	158	155
110	110	132	130	160	160
120	120	131	132	165	155
Tf = 10,14 seg		Tf = 10,01 seg		Tf = 10,15 seg	

Presión = 20 psi		Presión = 25 psi		Presión = 30 psi	
192	190	205	205	205	200
195	182	200	205	202	205
192	190	205	210	205	210
190	190	200	205	208	215
192	190	200	210	205	205
Tf = 10,28 seg		Tf = 10,12 seg		Tf = 10,9 seg	

Presión = 35 psi		Presión = 40 psi		Presión = 45 psi	
240	245	235	260	241	255
235	245	260	240	265	250
240	245	260	270	280	285
235	200	255	230	265	235
265	245	240	265	250	270
Tf = 10,00 seg		Tf = 10,11 seg		Tf = 10,01 seg	

Presión = 50 psi	
255	270
290	265
290	295
285	250
285	285
Tf = 10,15 seg	

Boquilla Verde:

Presión = 5 psi		Presión = 10 psi		Presión = 15 psi	
85	74	115	105	145	150
65	65	112	110	155	146
55	70	110	112	135	135
70	55	105	120	140	125
72	45	100	95	125	120
Tf = 10,23 seg		Tf = 10,16 seg		Tf = 10,13 seg	

Presión = 20 psi		Presión = 25 psi		Presión = 30 psi	
195	200	210	225	265	260
185	190	215	215	255	250
170	185	205	220	250	270
165	175	195	210	233	245
155	160	185	205	245	255
Tf = 10,24 seg		Tf = 10,03 seg		Tf = 10,2 seg	

Presión = 35 psi		Presión = 40 psi		Presión = 45 psi	
315	325	385	395	430	445
305	320	365	385	425	435
310	310	355	370	420	430
318	300	345	365	430	440
300	295	350	370	415	435
Tf = 10,12 seg		Tf = 10,05 seg		Tf = 10,18 seg	

Presión = 50 psi	
485	490
490	475
465	480
455	465
460	470
Tf = 10,20 seg	

Datos obtenidos de campo para sacar los patrones de precipitación de las diferentes boquillas estudiadas de la marca Palaplast

Boq Naranja	Pres = 30 psi	Sep / botes = 50 cm	Tie = 30 min
-------------	---------------	---------------------	--------------

	Colectores y volumen colectado en ml							
Línea	a	b	c	d	e	f	g	h
1	23	12	2	0	0	0	0	0
2	23	5	5	2	0	0	0	0
3	25	23	5	2	0	0	0	0
4	22	4	2	1	0	0	0	0

Boq Blanca:	Pres = 30 psi	Sep / botes = 50 cm	Tie = 30 min
-------------	---------------	---------------------	--------------

	Colectores y volumen colectado en ml							
Línea	a	b	c	d	e	f	g	h
1	31,5	42	68,5	33,5	25	17,5	13	2,5
2	36	42	46	28	21	13,5	7,5	4
3	29	49	37,5	26	26	24,5	12	8
4	58	46,5	69,5	27,5	21	12,5	12,5	12,5

Boquilla Rosa:	Pres = 30 psi	Sep / botes = 50 cm	Tie = 30 min
----------------	---------------	---------------------	--------------

	Colectores y volumen colectado en ml							
Línea	a	b	c	d	e	f	g	h
1	25	37	22	13	14	9	6	4
2	27	30	30	14	14	13	11	6
3	29	45	16	11	11,5	12	14	6,5
4	19	35,5	28	13	12,5	9	5	4

Boq Negra:	Pres = 30 psi	Sep / botes = 50 cm	Tie = 30 min
------------	---------------	---------------------	--------------

	Colectores y volumen colectado en ml							
Línea	a	b	c	d	e	f	g	h
1	20,5	23,5	8	7,5	4	1	0	1

2	21	23	11	10,5	9,5	4,5	0	0
3	13	26	13	10	9	5,5	2,5	1
4	19	26	15	13,5	11	9	4	2

Boq Verde:	Pres = 30 psi	Sep / botes = 50 cm	Tie = 30 min
------------	---------------	---------------------	--------------

Colectores y volumen colectado en ml								
Línea	a	b	c	d	e	f	g	h
1	58	59,5	61	64	58	31,5	24	13
2	49	51,5	43	44	35	31	21,5	12,5
3	51	36,5	34,5	30,5	41	30,5	25	14
4	93	83	71	110	55	35	28	16,5

Boq Azul	Pres = 30 psi	Sep / botes = 50 cm	Tie = 30 min
----------	---------------	---------------------	--------------

Colectores y volumen colectado en ml								
Línea	a	b	c	d	e	f	g	h
1	18	8	5	4	2	1	0	0
2	17	26	6	4	4	3	2	0
3	18	29	27	15	12	6	4	2
4	18	19	12	10	8	2	1	0

Boq Amarilla:	Pres = 30 psi	Sep / botes = 50 cm	Tie = 30 min
---------------	---------------	---------------------	--------------

Colectores y volumen colectado en ml								
Línea	a	b	c	d	e	f	g	h
1	26,5	27,5	27	22	18	14	13	8,5
2	36	71,5	32	23	20	7,5	8	5
3	31,5	46,5	28	27,5	25,5	15	10	8
4	30	40	36,5	19,5	15,5	16	10	7,5

Boquilla Olivo:	Pres = 30 psi	Sep / botes = 50 cm	Tie = 30 min
-----------------	---------------	---------------------	--------------

Colectores y volumen colectado en ml								
Línea	a	b	c	d	e	f	g	h
1	27	24	16	13,5	10,5	10	5	4
2	31	22	15	13	11,5	8	4	3
3	23,5	26	14	12	12	5,5	5	2,5
4	21	36,5	16	12,5	11	8	4	3

Norma oficial vigente para el funcionamiento y la
operación de los rociadores para riego presurizados
(IMTA 2002).

NMX-O-084-SCFI-2001

CDU: 63



**ROCIADORES PARA RIEGO PRESURIZADO –
ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA**

**IRRIGATION SPRAYERS – SPECIFICATIONS AND TEST
METHODS**

1. - INTRODUCCIÓN

En México, la producción en los veinte millones de hectáreas donde se practica la agricultura, de las cuales aproximadamente seis corresponden a riego, no han sido suficientes para satisfacer la demanda de alimentos de la

población en México y, en consecuencia, se tiene que recurrir a la importación de los faltantes.

Con el objeto de favorecer el aprovechamiento del agua en las actividades agrícolas de una manera más eficiente y productiva, el Gobierno Federal ha puesto en marcha varios programas para apoyar la instalación de sistemas de riego presurizado.

Sin lugar a dudas, la efectividad de estos sistemas será un hecho, siempre y cuando éstos se diseñen, instalen y operen adecuadamente, con referencia a criterios de calidad acordados previamente. Y para ello es de primordial importancia contar con las herramientas pertinentes para evaluarlos.

En este sentido, las normas de calidad son la herramienta indicada, ya que nos permiten referenciar las pruebas necesarias para demostrar el cumplimiento de aquellos requisitos o criterios de calidad.

Entre los equipos que han tenido mayor demanda en México, además de los aspersores, cintas de goteo, goteros y micro aspersores, están los rociadores, que son muy utilizados en la producción de frutas y en el riego de jardines, que aunque estos últimos competen al subsector urbano y no al rural, no obstante son grandes consumidores de agua. De ahí la necesidad de contar con una norma sobre rociadores, precisamente, los cuales son objeto de esta norma.

2. - OBJETIVO

Esta norma mexicana establece las especificaciones y los métodos de prueba que deben cumplir los rociadores para uso agrícola con el fin de ahorrar agua en su uso y funcionamiento hidráulico.

3. - CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana es aplicable a los rociadores para uso agrícola fabricados de diferentes materiales, nacionales o extranjeros, que se comercialicen dentro del territorio nacional.

Esta norma mexicana comprende la micro aspersión tipo estático, los rociadores para jardín y los usados para pivote central y avance frontal.

NOTA.- Corresponde a los fabricantes o proveedores de los mismos el cumplimiento de la presente norma.

4. - REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta norma se debe consultar la siguiente norma mexicana vigente:

NMX-Z-012/2-1987	Muestreo para la inspección por atributos - Parte 2: Método de muestreo, tablas y gráficas. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de octubre de 1987.
------------------	--

5. - DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

5.1. , Ángulo del chorro del rociador

Ángulo de inclinación que forma el chorro del agua en la salida de la boquilla del rociador con respecto a un plano horizontal de referencia, a la presión de prueba.

5.2. - Boquilla

Accesorio con un orificio sujeto a una carga de presión tal que produce la emisión de un chorro de agua.

5.3. - Colector

Recipiente utilizado para recolectar el agua descargada por el rociador, durante la prueba de distribución de agua.

5.4. - Curva de distribución

Curva media de las alturas del agua acumulada en colectores puestos a lo largo del radio de cobertura del rociador, y en función de las distancias de los colectores al rociador.

5.5. - Diámetro de cobertura de trabajo

Diámetro del círculo del suelo humedecido por el rociador durante su funcionamiento.

5.6. - Gasto nominal

Cantidad de agua descargada por el rociador en la unidad de tiempo a la temperatura ambiente y a la presión de trabajo declarada por el fabricante y con una boquilla específica.

5.7. - Intervalo de presiones de trabajo

Intervalo de presiones del rociador, limitado entre la presión de trabajo mínima y la presión de trabajo máxima recomendadas por el fabricante, a la cual el rociador opera en forma de trabajo; la presión está dada en kg/cm^2 (véase figura 1).

5.8. - Intervalo de regulación

Intervalo de presiones a la entrada de un rociador compensado para que opere por diseño con descargas dentro de + 10 % y - 15 % de su gasto nominal.

5.9. - Patrón de cobertura del rociador

Área mojada por el rociador descrita por sectores angulares múltiplos de 90° .

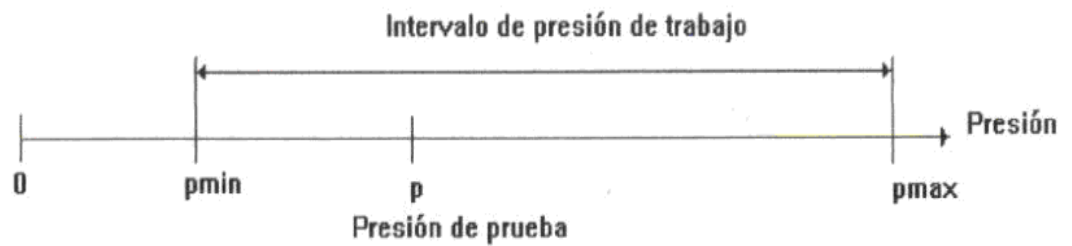


FIGURA 1.- Intervalo de presión de trabajo

5.10. - Presión de prueba, p

Cualquier presión a la entrada del rociador estipulada por el fabricante como específicamente la presión de prueba (normalmente es igual a la presión de trabajo nominal).

5.11. - Presión de trabajo máxima, $P_{m\acute{a}x}$

Mayor presión de trabajo estipulada por el fabricante y medida cerca de la base del rociador, en un punto situado aproximadamente a 20 cm abajo de la boquilla principal pero con el manómetro situado a la misma altura que aquella (véase figura 2).

5.12. - Presión de trabajo mínima, $P_{m\acute{i}n}$

Menor presión de trabajo estipulada por el fabricante y medida cerca de la base del rociador, en un punto situado aproximadamente a 20 cm abajo de la boquilla principal pero con el manómetro situado a la misma altura que ésta (véase figura 2).

5.13. - Presión de trabajo nominal, P_{nom}

Presión de la prueba del rociador de acuerdo con el diámetro equivalente de la boquilla y declarada por el fabricante.

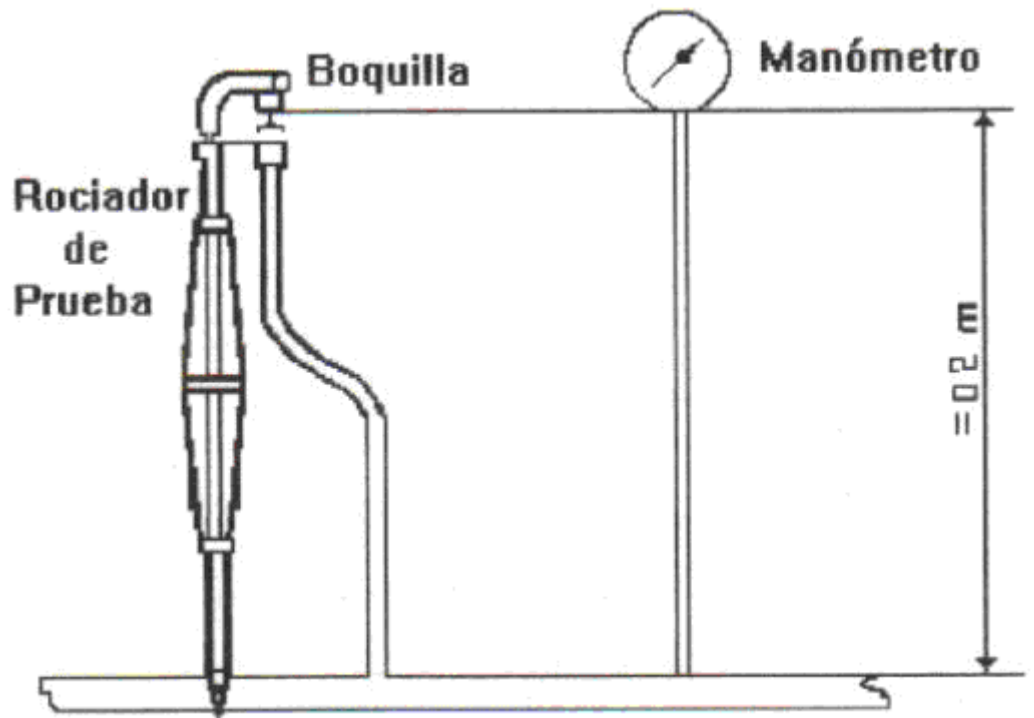


FIGURA 2.- Medición de la presión del rociador

5.14. - Radio de alcance del chorro del rociador

Distancia máxima que alcanza el chorro de agua medido a partir del eje central del rociador.

5.15. - Rociador

Dispositivo sin movimiento de sus partes, para distribuir agua en pequeños chorros finos o en forma de abanico.

5.16. - Rociador para riego con presión no regulada

Rociador con gasto variable a presiones variables de entrada.

5.17. - Rociador para riego con presión regulada

Rociador con gasto relativamente constante a presiones variables de entrada y dentro de los límites especificados por el diseño.

5.18. - Temperatura ambiente

Temperatura del entorno en el intervalo de 293 K a 303 K (20°C a 30°C).

6. - CLASIFICACIÓN

Para propósitos de esta norma los rociadores se clasifican de dos maneras, a saber:

a). - Por sus características de funcionamiento:

- Rociadores regulados, y
- Rociadores no regulados.

b). - Por sus características de cobertura del chorro:

- Uniforme (por ejemplo, el patrón de algunos rociadores de círculo completo, 360°, con diferentes patrones de mojado, 90°, 180°, 270° o 360°), y
- No uniforme (por ejemplo, el obtenido de rociadores de chorro fino).

7. - ESPECIFICACIONES

7.1. - Acabados

Los componentes del rociador no deben mostrar burbujas de aire, agujeros o fracturas visibles o cualquier otro tipo de defectos, y sus superficies deben ser lisas y estar libres de filos agudos.

La fabricación del rociador debe ser tal que se permita el reemplazo de sus componentes manualmente o con las herramientas indicadas por el proveedor.

Todos los componentes de los rociadores de la muestra de prueba deben revisarse visualmente para comprobar lo indicado anteriormente y, asimismo, sus componentes deben desensamblarse e intercambiarse aleatoriamente, comprobando que no existen problemas de ínter cambiabilidad.

7.2. - Conexiones roscadas

Si el rociador lleva conexiones roscadas, la rosca debe cumplir con lo indicado en el inciso 10.1 (véase 10 Bibliografía).

Las partes ensambladas mediante rosca deben soportar un par de apriete de 7 N-m durante 1 h sin mostrar daños visuales.

7.3. - Resistencia hidrostática

7.3.1. - A temperatura ambiente

El rociador no debe mostrar signos de daños ni fugas a través de sus conexiones, cuando se prueba de acuerdo al método de prueba indicado en el inciso 8.2.1 de esta norma.

7.3.2. - A alta temperatura

El rociador no debe mostrar fugas a través de sus conexiones, cuando se prueba de acuerdo al método de prueba indicado en el inciso 8.2.2 de esta norma.

7.4. - Uniformidad del gasto

El gasto del rociador debe variar no más de 10 % para rociadores regulados y 7 % para no regulados. El gasto de los rociadores se debe medir a la presión nominal.

7.5. - Curvas del gasto en función de la presión

7.5.1. - Rociadores regulados

Los gastos máximo y mínimo no deben desviarse en + 10 % o - 15 % del nominal y el gasto medio más del 5 % del nominal.

7.5.2. - Rociadores no regulados

El gasto debe desviarse de la declarada por el fabricante un 5 % máximo, cuando se prueba de acuerdo a lo indicado en el inciso 8.3 de esta norma.

7.6. - Distribución del agua

La curva de distribución promedio del agua acumulada en los colectores no debe variar en $\pm 15 \%$ a partir de la curva de distribución propuesta por el fabricante, según la prueba indicada en el inciso 8.4 de esta norma.

7.7. - Diámetro efectivo de cobertura

El diámetro de cobertura medido no debe variar del diámetro de cobertura declarado por el fabricante en más de $\pm 10 \%$, cuando se prueba de acuerdo a lo indicado en el inciso 8.5.

7.8. - Patrón de cobertura del rociador

El patrón de cobertura del rociador no debe variar en $\pm 10 \%$ del declarado por el fabricante, cuando se prueba de acuerdo a lo indicado en el inciso 8.6 de esta norma.

8. - MUESTREO

Los parámetros para determinar el plan de muestreo para inspección del lote de rociadores adquirido, y de acuerdo a lo indicado en la norma mexicana NMX-Z-012/2 (véase 3 Referencias), son los siguientes:

Nivel de inspección general	I
Muestreo	Simple
Inspección	Normal
Nivel de calidad aceptable, NCA	1,5 para características críticas y mayores
	2,5 para características menores como mínimo o cualquier otro acordado entre cliente y proveedor.

Para el caso de las especificaciones indicadas en los incisos 6.5 a 6.8, el tamaño de la muestra debe ser de cuatro rociadores.

Las pruebas deben realizarse en los rociadores con sus componentes intercambiados.

9. - MÉTODOS DE PRUEBA

9.1. - Condiciones generales

Las pruebas deben realizarse con agua a la temperatura ambiente.

Los instrumentos utilizados para las mediciones del gasto y la presión deben tener una precisión de 5 %.

La tolerancia permitida en la precisión de la medición de la presión debe ser de $\pm 2\%$, y ésta no debe variar más del 5% durante la ejecución de la prueba.

Antes de realizar las pruebas de funcionamiento, los rociadores de la muestra deben operarse durante 1 h a la presión de trabajo nominal.

9.2. - Resistencia hidrostática

9.2.1. - A temperatura ambiente

Esta prueba debe ser efectuada después de 24 h de operación del rociador.

Los rociadores deben ser montados en el equipo de prueba cumpliendo con las condiciones de la prueba declaradas por el fabricante. Deben colocarse tapones en el sitio de las boquillas (proporcionados por el fabricante con las mismas características físicas de las boquillas), previendo que no quede aire atrapado en su interior que produzca variaciones de la presión durante esta prueba.

Con las mismas condiciones de montaje indicadas antes y sin emplear materiales adicionales de sellado, se debe iniciar la prueba a partir de la presión mínima de trabajo hasta dos veces la presión de trabajo máxima, realizando incrementos de presión de 100 kPa (1 kg/cm²) y manteniendo la presión en cada uno de ellos durante 5 s como mínimo.

El rociador debe soportar una presión hidrostática según lo indicado en el inciso 6.3, manteniendo la presión durante 1 h a la temperatura ambiente.

9.2.2. - A alta temperatura

Proceder igual que lo indicado en el inciso anterior.

- a). - Introducir el rociador en agua a $333\text{ K} \pm 5\text{ K}$ ($60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) y permitir que éste se llene verificando que no haya aire en su interior.
- b). - Aplicar una presión hidráulica al rociador, aumentándola desde cero hasta la presión máxima de trabajo en un período de 15 s; mantener esta presión por un período de 24 h.

9.3. - Gasto en función de la presión

- a). - Mida el gasto dentro del intervalo de presión de trabajo del rociador, extendiéndose un 20 % en ambos lados del intervalo (de $0,8 P_{\text{mín}}$ a $1,2 P_{\text{máx}}$) a presiones diferenciales de 50 kPa máximo (véase figura 1).
- b). - Para rociadores no regulados, calcule la media del gasto y grafique los valores como una función de la presión.
- c). - Para rociadores regulados, determine los gastos máximo y mínimo y calcule el gasto medio.

9.4. - Distribución del agua

La prueba se debe realizar en un local cubierto y sin viento.

El área de prueba debe estar a nivel y dividida en cuadrados de 50 cm por lado para rociadores con un diámetro de cobertura efectivo de hasta 6 m y de 125 cm

para mayores que 6 m, y los colectores se deben colocar en los vértices de estos cuadrados (véase figura 3).

Los colectores deben ser cilíndricos o cónicos con las paredes a 45° al menos con la horizontal y no tener filos agudos ni estar deformados. Su diámetro debe estar entre 10 cm y 15 cm.

La parte abierta de los colectores debe estar en el mismo plano horizontal cuando sean colocados en su posición de prueba y su número ser suficiente para cubrir el área total de cobertura del rociador.

Se debe quitar el colector central del área de prueba e instalar en su lugar el rociador a probar, de tal manera que el agua descargada por él lo sea a una altura de 20 cm arriba de la parte abierta de los colectores (véase figura 4), a menos que el fabricante recomiende otra altura.

- a). - Opere el rociador durante 1 h mínimo con la presión nominal en la entrada del mismo.
- b). - Mida la cantidad de agua recolectada en cada uno de los colectores colocados en dos radios en ángulo recto uno del otro dentro del área de cobertura.
- c). - Divida el volumen de agua V (en cm cúbicos) recolectada en cada colector entre el área abierta A (en cm cuadrados) y exprese los resultados en mm/h, calculados de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Lámina horaria de agua, } h, = \frac{V \times 10}{t \times A}$$

donde:

V es el volumen en centímetros cúbicos, recolectados en cada colector;

A es el área en centímetros cuadrados de la abertura del colector, y

t es la duración de la prueba en horas.

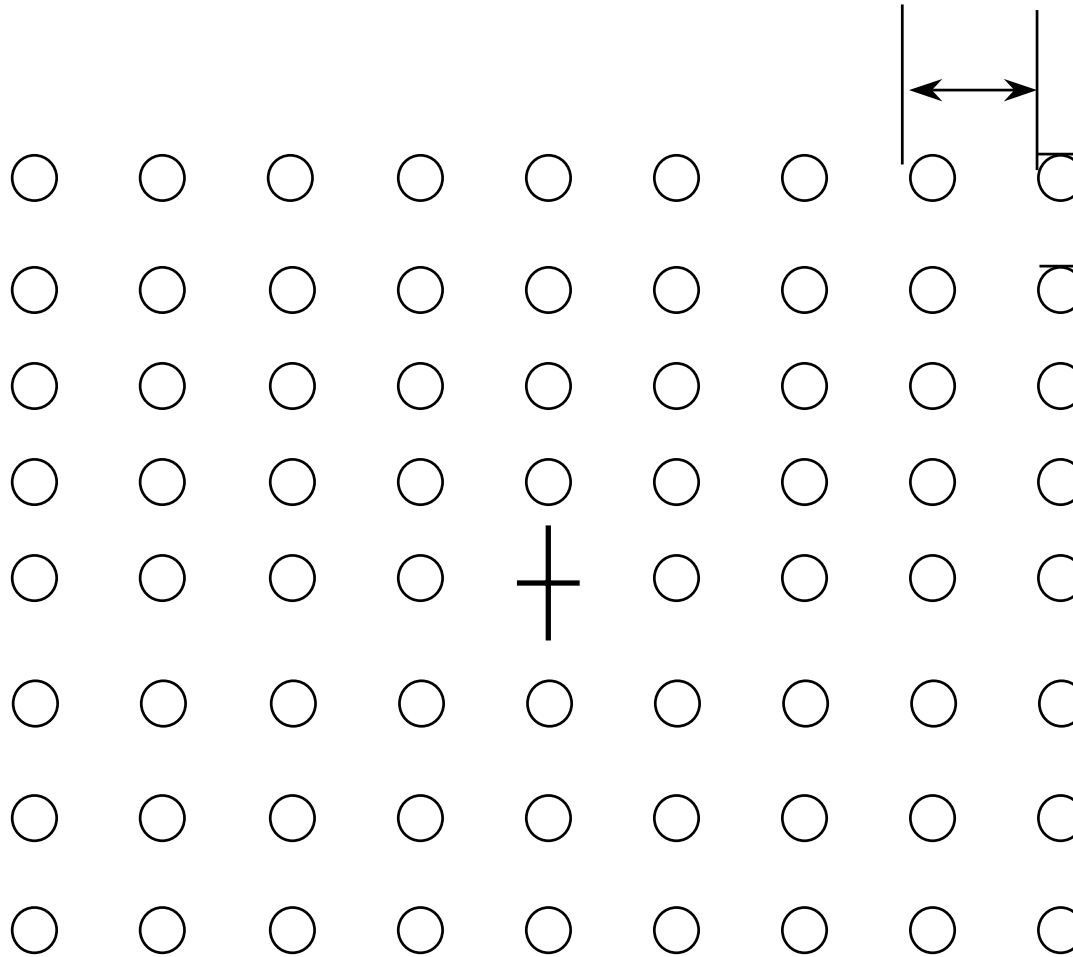



FIGURA 3.- Arreglo para la prueba de distribución de agua y el diámetro de cobertura

 Rociador

 Pluviometro

$m = 25 \text{ cm máx.}$

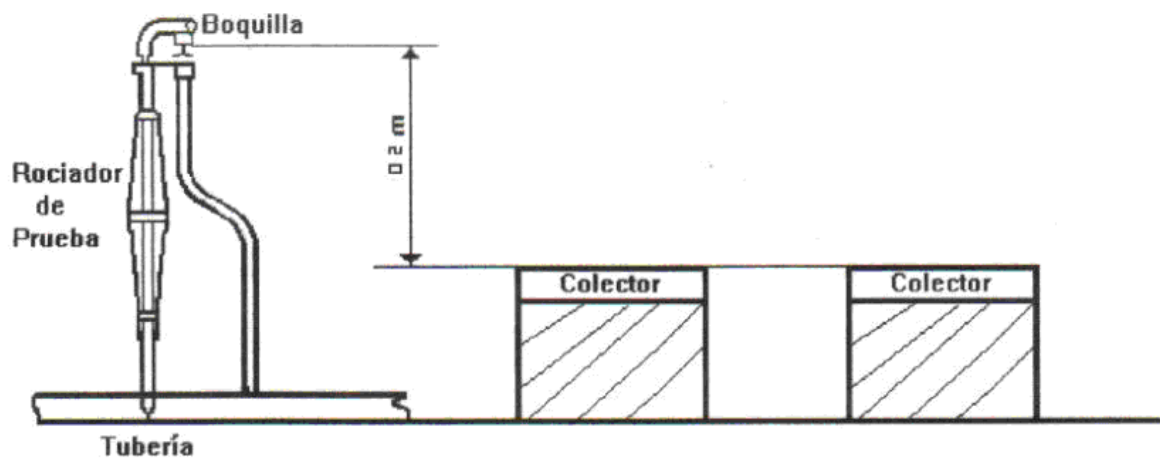


FIGURA 4.- Arreglo del rociador para la prueba de distribución de agua

- d) Grafique las curvas de distribución de agua de todos los colectores que se midieron como una función de la distancia de cada colector al rociador a lo largo de dos radios.
- e) Calcule y grafique la curva media de alturas de las dos curvas obtenidas (véase figura 5).

Los resultados deben ser los especificados en el inciso 6.6 de esta norma.

9.5. - Diámetro efectivo de cobertura

Mida la distancia a lo largo de dos radios desde el rociador hasta el punto más lejano donde éste descargue a un gasto mínimo de 0,25 mm/h para rociadores con gastos mayores de 75 l/h, y 0,13 mm/l para rociadores con gasto iguales o menores de 75 mm/h, medidos en cualquier

arco de cobertura excepto en los arcos de los extremos en rociadores de círculo parcial.

El diámetro debe cumplir con lo especificado en el inciso 6.7 de esta norma.

NOTA.- El diámetro efectivo de cobertura es la media de las distancias medidas multiplicada por dos.

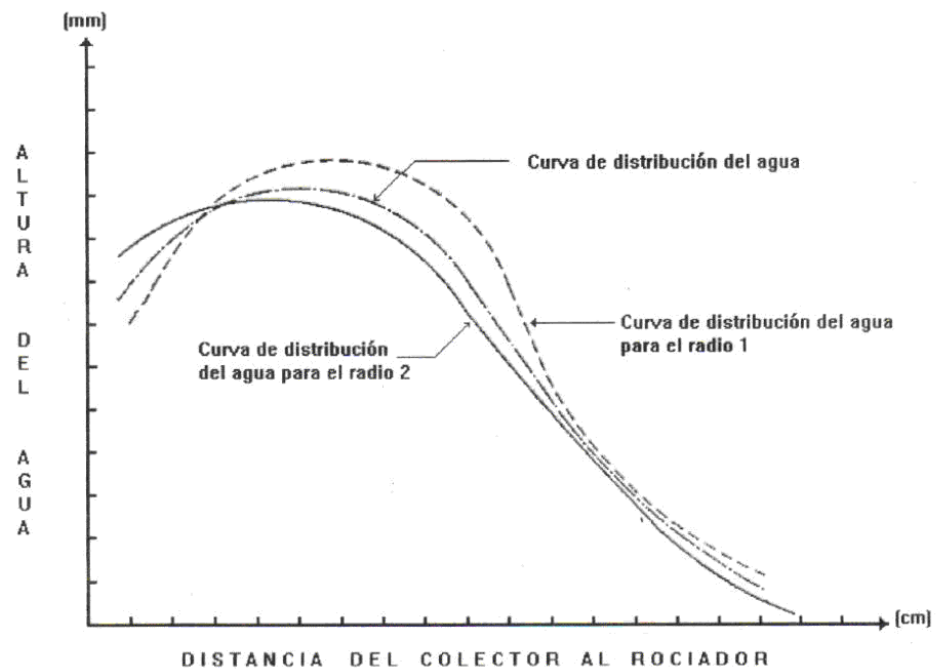


FIGURA 5.- Curvas de distribución de agua

9.6 Patrón de cobertura del rociador

- a) Mida la lámina horaria (mm/h) en todos los colectores en el área de cobertura del mismo y marque los valores en papel cuadriculado.
- b) Grafique las curvas conectando los puntos de los colectores de igual lámina horaria (véase figura 6).

El diámetro de cobertura obtenido debe cumplir con lo indicado en el inciso 6.8.

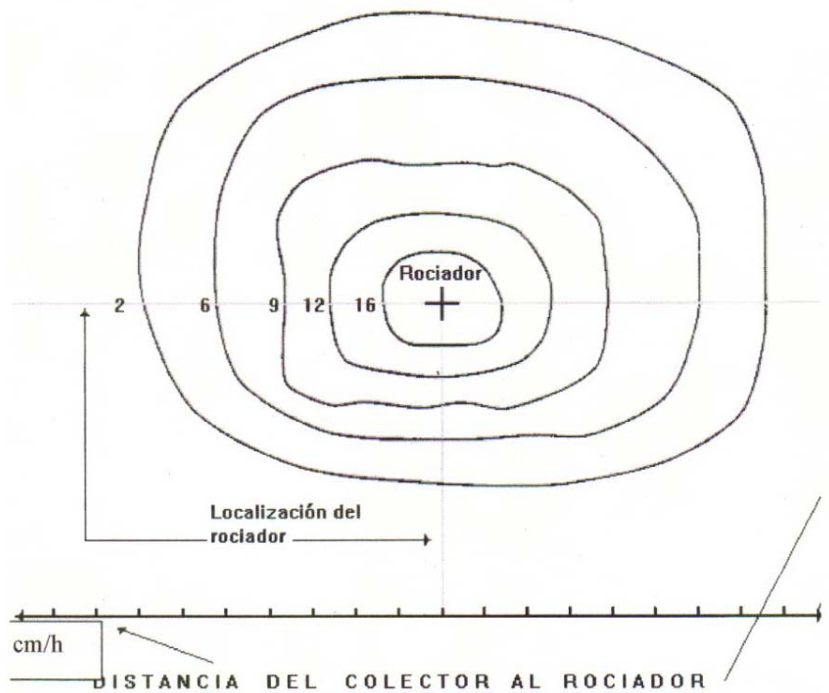


FIGURA 6.- Isograma del patrón de cobertura del rociador con líneas de igual aplicación de agua

10. - MARCADO

El marcado del producto objeto de la aplicación de esta norma debe hacerse con caracteres legibles e indelebiles e incluir como mínimo lo siguiente (en caso de que el marcado no sea posible hacerlo en el rociador, éste puede hacerse en el empaque):

- Nombre, razón social, marca registrada o símbolo del fabricante;
- Designación del producto;
- Uso (riego);
- Fecha de fabricación (mes/año), y
- La leyenda "HECHO EN MÉXICO" o, en su caso, indicar país de origen.

10.1. - Rociador

Cada rociador debe portar una marca clara y permanente incluyendo la siguiente información:

- Nombre del fabricante, razón social, marca comercial o símbolo, cualquiera de ellos;
- Modelo, y
- Leyenda: "Hecho en México" o, en su caso, nombre del país de origen.

10.2. - Envase

- Fecha de fabricación;
- Número identificación del catálogo del fabricante y/o modelo;
- Cantidad contenida por envase;
- Tipo de conexión (diámetro nominal, macho o hembra);
- Identificación de la boquilla, y

- Marca para designar la posición de la boquilla (si la posición de la boquilla afecta la operación del rociador).

10.3. - Boquilla

Cada boquilla debe aportar una marca clara y permanente incluyendo las siguientes particularidades:

- **Identificación de la boquilla de acuerdo al correspondiente con el catálogo del fabricante;**
- **Marca indicando la posición de la boquilla (si ésta afecta la operación del rociador), y**
- **Debe darse una explicación de la marca en el catálogo del fabricante.**

NOTA.- Una de las marcas listadas puede ser una identificación de la marca, tal como el color proporcionado en la descripción del catálogo del fabricante.

11. - BIBLIOGRAFÍA

- 11.1 ISO 7-1:1994 Pipe threads where pressure-tight joints are made on the threads - Part 1:Dimensions, tolerances and designation.
- 11.2 ISO 8026: 1995 Agricultural Irrigation equipment - Sprayers - General requirements and test methods.

**12. - CONCORDANCIA CON NORMAS
INTERNACIONALES**

Esta norma mexicana es equivalente a la norma internacional ISO 8026:1995.

APÉNDICE INFORMATIVO A

DATOS DEL ROCIADOR QUE DEBEN SER PROPORCIONADOS POR EL PROVEEDOR

El fabricante debe proporcionar la información adecuada de sus productos en forma de catálogos e instructivos, de todas las marcas y tipos de rociadores y boquillas que fabrique. Los datos técnicos que debe contener el catálogo del fabricante deben de estar basados en las pruebas del inciso 8, a saber:

- a) Número de catálogo del rociador.

- b) Datos generales:
 - b.1) Modelo y tipo del rociador;
 - b.2) Ángulo de la trayectoria del chorro;
 - b.3) Materiales de las partes del rociador, y
 - b.4) Diámetro nominal del rociador.

- c) Instrucciones de:
 - c.1) Instalación de boquillas cuando esto afecte la operación del rociador;
 - c.2) Características de operación, mantenimiento y almacenamiento del rociador;
 - c.3) Limitaciones de uso del rociador (fertilizantes, químicos, calidad del agua), y
 - c.4) Montaje del rociador, par de apriete de ajuste de las conexiones del rociador y de las boquillas.

- d) Datos de prueba:
 - d.1) Altura del elevador;

- d.2) Presión nominal.- Se deben reportar presiones nominales a cada 50 KPa (0,5 kg/cm²) dentro del rango de presiones de trabajo del rociador;
- d.3) Gasto de operación, y
- d.4) Diámetro de cobertura.

- e) Recomendaciones:
 - e.1) Coeficiente de uniformidad;
 - e.2) Separación de rociadores para diferentes condiciones específicas de espaciamiento de rociadores, y
 - e.3) Velocidad del viento a la cual el fabricante obtuvo los datos de prueba del catálogo.

APÉNDICE INFORMATIVO B

PRUEBA DE DURABILIDAD

Se recomienda realizar esta prueba cada seis meses, de acuerdo al siguiente procedimiento:

- a) Opere el rociador continuamente durante 1 500 h a la presión de trabajo nominal.
- b) Utilice agua filtrada de acuerdo a las indicaciones del fabricante o, en su defecto, utilizando un filtro con aberturas de 0,4 mm.
- c) Después de este período:
 - el gasto medido del rociador debe ser el 10 % del gasto inicial;
 - el rociador no debe mostrar defectos visibles.

MÉXICO D.F., A

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS

MIGUEL AGUILAR ROMO

JADS/AFO/DLR/MRG

PREFACIO

En la elaboración de la presente norma mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

- AMANCO MÉXICO, S.A. DE C.V.
- ASOCIACIÓN MEXICANA DE RIEGO, A.C.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE USUARIOS DE RIEGO, A.C.
- CENTRO NACIONAL DE LA CALIDAD DEL PLÁSTICO, S.C.
- CERTIFICACIÓN MEXICANA, A.C.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
Subdirección General de Operación;
Subdirección General Técnica.
- COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN NACIONAL DE SISTEMAS Y EQUIPO DE RIEGO
- GRUPO TECNOREIN, A.C.
- PLÁSTICOS REX, S.A. DE C.V.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Dirección General de Agricultura Fideicomiso de
Riesgo Compartido.

- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua –
Coordinación de Tecnología de Riego y Drenaje –
Coordinación de Tecnología Hidráulica.

- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHAPINGO

- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MORELOS

Datos reales sacados del catalogo del fabricante palaplast para sacar las curvas de operación, los coeficientes K y X y su formula:

Boquilla:	P (psi)	14,5	21,8	29	36,3	43,5	50,8
Naranja	Q (lph)	25	32	40	46	50	53
Boquilla:	P (psi)	14,5	21,8	29	36,3	43,5	50,8
Blanca	Q (lph)	192	224	250	281	312	335
Boquilla:	P (psi)	14,5	21,8	29	36,3	43,5	50,8
Rosa	Q (lph)	100	121	140	158	167	179
Boquilla:	P (psi)	14,5	21,8	29	36,3	43,5	50,8
Negra	Q (lph)	55	64	70	84	92	98
Boquilla:	P (psi)	14,5	21,8	29	36,3	43,5	50,8
Verde	Q (lph)	67	82	90	103	116	121
Boquilla:	P (psi)	14,5	21,8	29	36,3	43,5	50,8
Azul	Q (lph)	84	95	105	121	133	145
Boquilla:	P (psi)	14,5	21,8	29	36,3	43,5	50,8
Amarilla	Q (lph)	149	176	200	224	243	262
Boquilla:	P (psi)	14,5	21,8	29	36,3	43,5	50,8
Olivo	Q (lph)	214	257	300	346	382	403

Boquilla:	P (psi)	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
Blanca	Q (lph)	116.8	159.4	191.2	217.5	240.3	260.8	279.4	296.7
Boquilla:	P (psi)	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
Rosa	Q (lph)	60,90	84,34	102.1	116.8	129.7	141.3	151.9	161.8
Boquilla:	P (psi)	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
Negra	Q (lph)	32,14	44,73	54,28	62,26	69,25	75,55	81,31	86,66
Boquilla:	P (psi)	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
Verde	Q (lph)	40,00	55,78	67,76	77,79	86,57	94,49	101.7	108.5
Boquilla:	P (psi)	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
Azul	Q (lph)	50,65	68,78	82,27	93,42	103.1	111.7	119.6	126.8
Boquilla:	P (psi)	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
Amarilla	Q (lph)	91,11	124.7	149.8	170.7	188.8	205.1	219.9	233.7
Boquilla:	P (psi)	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
Olivo	Q (lph)	121.1	174.1	215.2	250.2	281.2	309.3	335.3	359.6

Curvas de operación dadas por la empresa Palaplast para los emisores estudiados.

