



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

MEMORIA DE TITULO

**DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE CINTAS DE RIEGO PRESENTES EN EL MERCADO
NACIONAL**

WLADIMIR ADOLFO GIVOVICH DIAZ

SANTIAGO – CHILE 2005



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

MEMORIA DE TITULO

DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE CINTAS DE RIEGO PRESENTES EN EL MERCADO
 NACIONAL

Memoria para optar al Título
 Profesional de Ingeniero Agrónomo
 Mención: Manejo de Suelos y aguas

WLADIMIR ADOLFO GIVOVICH DIAZ

PROFESOR GUIA	CALIFICACIONES
Julio Haberland. Ingeniero Agrónomo PhD.	6,4
PROFESORES CONSEJEROS	
Ian Homer Dr. Ingeniero Agrónomo	6,2
Alejandro López Ingeniero Civil	6,4

SANTIAGO – CHILE
 2005

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los que facilitaron de una u otra forma la realización de esta memoria. En primer lugar mi familia, que durante toda mi carrera estuvieron cerca mío. En segundo lugar a mi profesor guía don Julio Haberland, quien dio apoyo a esta memoria pese a los pequeños desencuentros. A don Ian, profesor consejero, quien brindo un gran apoyo con ideas creativas para la puesta en marcha de los ensayos. Por ultimo, como olvidar mis grandes amigos Zorro, Badulaque, Rajis y Tongua Pain, que hicieron los momentos de soledad durante las extensas jornadas de mediciones en del laboratorio de hidráulica más gratos.

INDICE

RESUMEN	5
SUMMARY	5
INTRODUCCION	5
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVO ESPECIFICO	11
MATERIALES Y METODO	12
PRESENTACION DE MUESTRAS	12
ENSAYOS DE MEDICIONES FISICAS	12
DISTANCIA ENTRE LOS PUNTOS DE EMISIÓN	12
ESPESOR DE PARED DE LA CINTA DE GOTEO	13
ENSAYOS DE PRUEBAS	13
COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE DESCARGA A PRESIÓN NOMINAL, P_N	13
RELACIÓN ENTRE PRESIÓN Y DESCARGA.	14
RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDRÁULICA A TEMPERATURA AMBIENTE	14
PRESIÓN DE RUPTURA	15
SUSCEPTIBILIDAD AL TAPONAMIENTO	15
RESISTENCIA MECÁNICA A LA TRACCIÓN	15
PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	17
ENSAYOS DE MEDICIONES FISICAS	17
DISTANCIA ENTRE LOS PUNTOS DE EMISIÓN	17
ESPESOR DE PARED DE LA CINTA DE GOTEO	17
ENSAYOS DE PRUEBAS	18
COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE DESCARGA A PRESIÓN NOMINAL, P_N	18
RELACIÓN ENTRE PRESIÓN Y DESCARGA.	20
RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDRÁULICA A TEMPERATURA AMBIENTE	24
PRESIÓN DE RUPTURA	27
SUSCEPTIBILIDAD AL TAPONAMIENTO	28
RESISTENCIA MECÁNICA A LA TRACCIÓN	30
CONCLUSIONES	33
LITERATURA CITADA	34

RESUMEN

Con el propósito de comparar la calidad de algunos modelos cintas de riego presentes en el mercado chileno, con sus especificaciones técnicas dadas por respectivas fabricantes, 11 modelos de cintas de riego se sometieron a las siguientes pruebas: Descarga a presión nominal, relación presión descarga, resistencia a la presión hidráulica a temperatura ambiente, presión de ruptura, taponamiento físico y resistencia a la tracción. Como resultado de esta investigación, se obtuvo que existen diferencias en las propiedades determinantes de la calidad entre modelos de cintas de riego presentes en el mercado nacional. Además se obtuvo que existen diferencias entre las especificaciones técnicas dadas por los fabricantes de cintas de riego y resultados logrados en laboratorio para cada modelo de cinta evaluada.

Palabras claves: Cinta de riego, descarga, presión, resistencia mecánica a la tracción, susceptibilidad a taponamiento.

SUMMARY

The aim of this study was to compare the quality among some models of drip tapes present in the Chilean market.

Eleven different models of drip tapes were put through the following tests; discharge at nominal pressure, relation between pressure and discharge, resistance to hydraulic pressure in environmental temperature, break pressure, physic plugging and resistance to traction. As resolve it was that there are different of quality among those models. Also it got that there are differents between technicals specifications release for manufacturer and laboratory's results for each model drip tape studied.

Keywords: Drip tape, discharge, pressure, traction, plugging.

INTRODUCCIÓN

La adopción de un sistema de riego localizado de alta frecuencia, constituye una de las mayores inversiones que puede realizar un agricultor, por lo tanto, es relevante disponer de información fidedigna al momento de seleccionar los componentes de sistemas de riego.

Actualmente, al elegir los elementos que conforman un equipo de riego un diseñador, se orienta principalmente por la información entregada por el fabricante y empresas proveedoras (Rojas Gerardo, 2003). Al no contar con un organismo independiente que certifique la calidad de los equipos de riego, puede suceder que estas especificaciones técnicas sean imprecisas o incompletas y que como consecuencia no se logren los resultados esperados al implementar un sistema de riego localizado de alta frecuencia (RLAF). Dentro de los sistemas de RLAF se encuentra el sistema por goteo, el cual puede utilizar 2 sistemas para conducir agua (Gurovic, 1997):

- a) Tubería de polietileno orientada principalmente a frutales.
- b) Cinta de riego, motivo del presente estudio, la cual está orientada a cultivos anuales e invernaderos.

Las cintas de riego son tuberías flexibles, provistas de puntos de emisión espaciados regularmente a distancias variables. Como se aprecia en la figura 1, la cinta de riego, está constituida por dos conductos paralelos, uno principal (tubo de transporte), desde donde el agua pasa a uno secundario (tubo de reparto), a través de un orificio que provoca una primera pérdida de carga; desde el conducto secundario el agua sale al exterior por un segundo orificio. El orificio que comunica el conducto principal con el secundario lleva un pequeño filtro, en tanto que el conducto secundario presenta un canal regulador de flujo turbulento que produce la pérdida de carga final para la emisión del caudal especificado. (Ferreira, Selles y Pimsten, 1994).

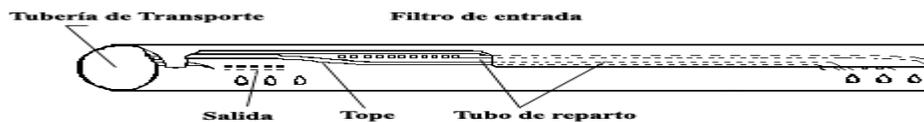


Figura 1. Esquema de una cinta de riego

Actualmente se importan 30.000.000.000 de metros de cintas, de las cuales el 40% son espesor 4mil, 30% 6 mil y 12% 8 mil y el resto de mayor espesor (Ver Cuadro 3).

La tecnología de cintas de riego ha evolucionado desde sus inicios (Matta, 1998) en búsqueda de ventajas como:

- a) Proveer una tecnología económica de riego localizado de alta frecuencia.
- b) Ofrecer al usuario una variedad de emisores a diferentes espaciamientos.

- c) Formar una franja continua de suelo mojado, para un desarrollo óptimo de las plantas con una alta eficiencia en el uso del agua, fertilizantes y agroquímicos.
- d) Facilitar el transporte, instalación (manual o mecánicamente) y utilización.

Las cintas pueden ser clasificadas según tres criterios, (ISO 9261, 1991).

1. Uniformidad del gasto de emisión

- a) Categoría A: Cintas de goteo, que tienen una alta uniformidad de gasto de emisión y pequeñas desviaciones del gasto de emisión nominal. (Cuadro 1).
- b) Categoría B: Cintas de goteo, que tienen una baja uniformidad de gasto de emisión y altas desviaciones del gasto de emisión nominal. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores máximos de uniformidad aceptados para cintas de distinta categoría.

Categoría	Desviación estándar (Sq)	Coefficiente de variación (Cv)
A	0.05	5%
B	0.1	10%

Fuente ISO 9261, 1991.

2. Capacidad de regular caudal

- a) Cinta de goteo no compensada: Son cintas de goteo en las cuales el gasto de emisión varía con las diferentes presiones hidráulicas.
- b) Cinta de goteo compensada: Son cintas de goteo con gasto de emisión relativamente constante frente a la variación de la carga hidráulica, dentro de los límites especificados por el fabricante.

3. Vida útil

La vida útil es relacionada con el espesor de la pared de la cinta.

- a) Cinta de goteo reutilizable: Son cintas de goteo que están diseñadas para retirarse y reinstalarse, con el manejo adecuado, de una

temporada a otra. Se entenderá por cinta reutilizable a la cinta que posea un espesor de pared igual o mayor de $200\mu\text{m}$.

- b) Cintas de goteo no reutilizable: Son cintas de goteo no propuestas para remoción y reinstalación.

Entre los parámetros que determinan la calidad de las cintas de riego se destacan:

1. Coeficiente de variación de descarga a presión nominal.
2. Curva presión – descarga.
3. Resistencia a la presión hidráulica a temperatura ambiente.
4. Presión de ruptura.
5. Susceptibilidad al taponamiento físico de los emisores.
6. Resistencia a la tracción.

Media, Desviación estándar y coeficiente de variación de la descarga

Uno de los objetivos que se busca al implementar un sistema de riego de alta frecuencia, es suministrar una cierta cantidad de agua de acuerdo a las necesidades del cultivo en la forma más uniforme posible. Se busca a través de esto lograr una mayor homogeneidad del cultivo y por lo tanto simplificar su manejo. (FIA 2000). Consecuentemente, el conocimiento de estas propiedades es relevante para la elección de la cinta de riego.

Relación entre presión y descarga

La relación entre la presión y descarga, esta dada por la siguiente ecuación: (Ferreira y Selles, 1994)

$$q = kp^m \quad \text{(Ecuación 1).}$$

Donde:

- q = Caudal, ($\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{h}^{-1}$)
- k = Constante.
- m = Exponente del punto de emisión
- p = Presión de entrada en el punto de emisión, (KPa).

El exponente del punto de emisión, m , es la relación entre el gasto de emisión q en $\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{h}^{-1}$ y la presión de entrada en el punto de emisión p en kPa. (Ferreira y Selles, 1995). En otras palabras, es una medida de sensibilidad de los emisores al cambio de presión. Usando todos los valores de q y p , es posible calcular el exponente del punto de emisión, m , con la siguiente fórmula:

$$m = \frac{\sum(\log p_i)(\log q_i) - 1/n (\sum \log p_i)(\sum \log q_i)}{\sum (\log p_i)^2 - 1/n (\sum \log p_i)^2} \quad (\text{Ecuación 2}).$$

Donde:

- q = Caudal de emisión promedio, ($\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{h}^{-1}$).
- i = 1,2,3,...n.
- n = Número de valores de presión usados.
- p = Presión de entrada, (KPa).

El conocimiento de esta relación es de utilidad al momento de selección del emisor y facilitar el manejo adecuado del riego, ya que la descarga está directamente relacionada con el tiempo de riego (Gurovic, 1997).

Resistencia a la presión hidrostática

Una falla en el equipo de riego o un taponamiento masivo de la cinta de riego, puede generar una carga capaz de provocar ruptura en la cinta de riego. La resistencia a altas presiones va a variar de acuerdo al tipo de materiales empleados en la fabricación de la cinta y al espesor de su pared.

Taponamiento físico de los emisores

El taponamiento físico de los emisores es provocado por partículas que tienen un tamaño mayor a la abertura del emisor (Ferrada y Rojas 2003). Este taponamiento trae como consecuencia una descarga desuniforme, generando por lo tanto una heterogeneidad en el crecimiento del cultivo. La sensibilidad a taponamiento va a depender de factores como: diámetro mínimo de paso del emisor, velocidad de aplicación, diseño del emisor (sinuosidad) y calidad de agua riego entendida como tamaño de partículas en suspensión y su concentración en el agua, (Pitts, y Tacker, 1986). La probabilidad de ocurrencia de obstrucciones según contenido de partículas y sustancias disueltas en el agua, se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2. Probabilidad de ocurrencia de taponamiento.

Obstrucción física	Baja	Media	Alta
Materiales en suspensión (mg kg^{-1})	50	50-100	> 100

Fuente "Prevención y control de obstrucciones en equipos de riego tecnificado"
Ferrada. L y Rojas W., 2003.

Resistencia mecánica a la tracción.

La resistencia a la tracción va a variar de acuerdo al tipo de materiales empleados en la fabricación de la cinta, densidad y al espesor de su pared. Al realizar prácticas agrícolas como el desmalezamiento o cuando se desea guardar la cinta para la próxima temporada, necesariamente ésta se debe mover produciendo tensiones que pueden causar su ruptura.

Objetivo General

El objetivo general de esta investigación, fue comparar las especificaciones técnicas dadas por los fabricantes de cintas de riego, con los resultados obtenidos en laboratorio.

Objetivos Específicos

1. Comparar las especificaciones de descarga, a diferentes presiones, dada por los fabricantes, con las obtenidas en laboratorio.
2. Determinar las especificaciones de resistencia a la presión hidráulica y tracción con las obtenidas en laboratorio.
3. Determinar la susceptibilidad a taponamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Las cintas fueron adquiridas en el mercado de materiales de riego. Para la identificación de muestras, se designó con letras mayúsculas las marcas de cintas de riego y se enumeró los modelos para cada marca. En total se evaluaron 11 modelos de cinta correspondientes a 5 marcas de este producto. Las muestras de cintas, se obtuvieron de un universo de 500 emisores, para cada modelo de cinta. (ANSI/ASAE S553 MAR01).

Las especificaciones técnicas para cada modelo de cinta evaluado se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3 especificaciones técnicas por modelo

Modelo	Clase	Vida útil	Distancia	Espesor		Descarga
			entre emisores	μm	mil	informada
			$\text{m} \times 10^{-2}$			$\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{h}^{-1}$
A1	A	N. R.*	20	127	5	1
A2	A	R.**	30	203.8	8	0.56
A3	A	R.	20	381	15	1
B1	A	N. R.	20	152.4	6	1
C1	A	N. R.	20	152.4	6	1.1
C2	A	N. R.	30	152.4	6	1.1
D1	A	N. R.	20	101.6	4	1.02
D2	A	R.	30	203.2	8	1.02
E1	A	N. R.	10	150	6	0.4
E2	A	R.	10	200	8	0.4
E3	A	R.	30	400	16	2.66

*NR: No reutilizable

**R: Reutilizable

Ensayos de Mediciones Físicas

1. Distancia entre los puntos de emisión (ANSI/ASAE S553 MAR01 E ISO 9261.1991).

La unidad de muestra 1 metro lineal de cinta de riego. Se realizaron 5 repeticiones.

Se midieron 5 espaciamentos de los puntos de emisión con una exactitud de 1 mm. Para ser aceptado por la norma, no debe presentar una diferencia mayor a 5% de lo especificado por el fabricante.

2. Espesor de pared de la cinta de goteo (ANSI/ASAE S553 MAR01 E ISO 9261.1991).

Se realizaron 5 repeticiones. Se procedió a medir el espesor de pared de la cinta de goteo, en cuatro puntos espaciados equidistantes en la periferia del tubo. Se acepta si el espesor no presenta una diferencia mayor de $\pm 10\%$ de la especificación de diseño.

Ensayos de Pruebas Hidráulicas

Para llevar a cabo algunas de estas pruebas se utilizó un equipo de presión hidrostática, capaz de estabilizar progresivamente y sin golpes hidráulicos, la presión necesaria en un intervalo de tiempo de 10 s a 30 s, y mantenerla dentro de 2 % de variación (Figura 2). Se contó además con un manómetro análogo de glicerina con división de escala de 1 kPa y otro de mercurio, un colector para cada emisor, un cronómetro y una balanza. El agua usada fue de pozo con calidad de agua potable. El detalle de las evaluaciones se presenta a continuación:

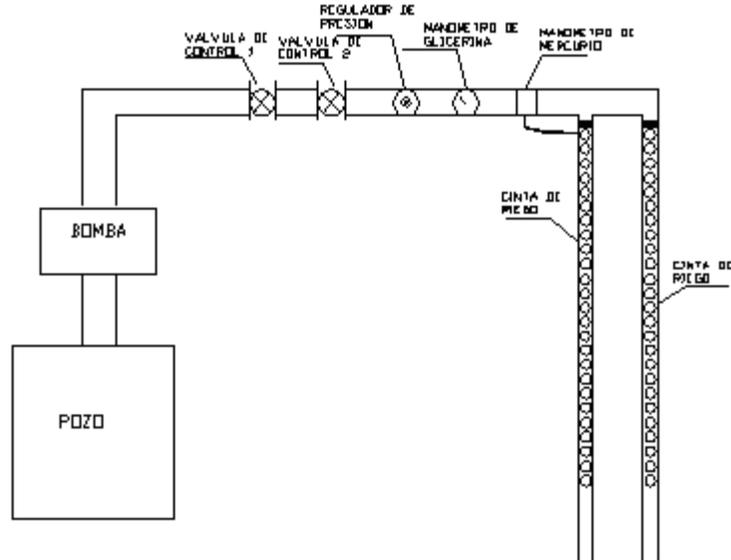


Figura 2. Esquema del Banco de Prueba utilizado.

1. Coeficiente de variación de descarga a presión nominal, p_n (ISO 9261. 1991)

La unidad de muestra comprendió un tramo de cinta de riego constituida por 25 emisores continuos. Se realizaron 5 repeticiones por cinta para esta prueba. Para cada caso se determinó:

- a) Descarga: La descarga de cada emisor fue colectada en un recipiente de peso conocido. Se operó 3 veces a $p_{m\acute{a}x}$ y 3 veces a $p_{m\acute{i}n}$ alternadamente, por un tiempo de 3 minutos para cada presión, con el propósito de purgar de aire a la cinta, luego se midió la descarga producida durante 10 minutos a presión nominal, p_n . Se calculó la descarga usando la siguiente ecuación:

$$Pa = Pf - Pi \quad (\text{Ecuación 3}).$$

Donde:

- Pa = Peso de la descarga de agua (Kg.).
 Pf = Peso final del colector (Kg.).
 Pi = Peso inicial del colector (Kg.).

Luego: asumiendo densidad del agua = 1 Mg/m^3

$$V = \frac{m}{D} \quad (\text{Ecuación 4}).$$

Donde:

- V = Volumen de la descarga (m^3).
 m = Masa de la descarga (Mg).
 D = Densidad del agua. (Mg/m^3).

- b) Media (\bar{q}): Este parámetro, no debe presentar una diferencia porcentual superior a $\pm 10\%$ de la descarga a presión nominal dada por el fabricante, para ser aceptada por la norma. La descarga media fue calculada con la siguiente ecuación:

$$\bar{q} = \frac{\sum q}{n} \quad (\text{Ecuación 5}).$$

Donde:

- \bar{q} = Descarga media.
 $\sum q$ = Sumatoria datos.
 n = Número de datos.

- c) Desviación estándar de la tasa de emisión promedio de los emisores de prueba, Sq . La Sq , no puede ser superior de 0.05 respecto al flujo nominal, q_n , para emisores pertenecientes a la categoría A y no más de un 0.01 para emisores pertenecientes a la categoría B, para ser aceptado. Este parámetro fue calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$Sq = \sqrt{\frac{\sum q^2 - (\sum q)^2 / n}{n - 1}} \quad (\text{Ecuación 6}).$$

Donde:

- Sq = Desviación estándar de la descarga.
 q = Descarga de cada emisor.
 n = Número de emisores.

- d) Coeficiente de variación, Cv , de la tasa de emisión de los emisores de prueba: Los emisores cumplirán con la norma si su Cv es menor a un 5% para los emisores pertenecientes a la categoría A y a un 10% para los emisores de categoría B. Se utilizó la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente de variación:

$$Cv = \frac{Sq}{q} \quad (\text{Ecuación 7}).$$

Donde:

$$S_q = \text{Desviación estándar de la descarga.}$$

$$\bar{q} = \text{Descarga media.}$$

2. Relación entre presión y descarga, (ISO 9261, 1991)

Para evaluar esta relación la unidad de muestra comprendió un tramo de cinta de riego constituida por 25 emisores continuos. Se designó como emisor número 1, al emisor más alejado del punto de ensamblaje hasta llegar al número 25.

La descarga de los emisores fue medida durante 5 minutos a 7 presiones. Para cada presión de prueba, se realizaron 5 repeticiones. Las mediciones se efectuaron una vez transcurrido 3 minutos de haber variado la presión.

Se determinó la descarga media \bar{q} , desviación estándar, S_q y el coeficiente de variación C_v , respecto a q_n , para cada presión, tal como fue indicado en el punto 1.

Se construyó la curva presión descarga para cada modelo. La relación entre la presión y descarga está dada por la ecuación 1.

3. Resistencia a la presión hidráulica a temperatura ambiente, (ISO 9261, 1991)

La unidad de muestra para este ensayo comprendió un tramo de cinta de riego constituida por 25 emisores continuos, realizándose 5 repeticiones.

Se procedió a aumentar la presión de agua gradualmente en un tiempo mínimo de 10 s hasta una presión igual a 1,2 veces la presión máxima de trabajo para cintas de goteo no reutilizables, o hasta una presión igual a 1,8 veces la presión máxima de trabajo para cintas de goteo reutilizables, manteniendo esta presión de prueba durante una hora. A continuación se redujo la presión de prueba, a la presión nominal, manteniéndola durante 3 min. Luego se midió el gasto de emisión de cada punto de emisión, a p_n , tal como fue indicado en el punto 1. Se aceptó la cinta de riego, en el caso que el gasto de emisión presente una S_q inferior al 0.10 de su valor de prueba.

4. Presión de ruptura (ASTM D638)

Para esta prueba la unidad de muestra comprendió un tramo de cinta de riego constituida por 25 emisores continuos. Se realizaron 5 repeticiones.

Se operó el equipo a la presión máxima recomendada, a continuación se incrementó la presión de entrada paulatinamente cada 3 minutos, hasta que se rompió la cinta de riego. Cada incremento fue igual a 3 Kpa.

5. Susceptibilidad al taponamiento

La unidad de muestra comprendió un tramo de cinta de riego constituida por 25 emisores continuos y se realizaron 5 repeticiones.

Se tamizó suelo a $120\mu\text{m}$, (equivalente al tamaño de partículas presentes en un agua después haber pasado por un filtro de 140 mesh), luego se incorporó a un pozo con agua formando una suspensión, a 100 mg kg^{-1} , la cual fue mezclada durante toda la prueba. Se operó el equipo por un tiempo de 72 horas a presión nominal, una vez transcurrido este tiempo, se calculó la descarga media producida, desviación estándar y el coeficiente de variación, tal como fue explicado en el punto 1.

6. Resistencia mecánica a la tracción (ANSI/ASAE S553 MAR01b)

La unidad de muestra comprende 1 m de cinta de riego. Se realizaron 5 repeticiones.

Se ejerció una fuerza normal, por medio de un medidor de tensión, aplicando una tensión por 5 minutos desde 0 N hasta 20 N, o hasta que la muestra fallase. Se registró la elongación observada por cada incremento de fuerza. Se midieron 7 incrementos, (3N, 6N, 9N, 12N, 15N, 18N, 21N), fuerzas que se ejercieron por medio de adición de peso a un extremo de la cinta. (Figura 2).

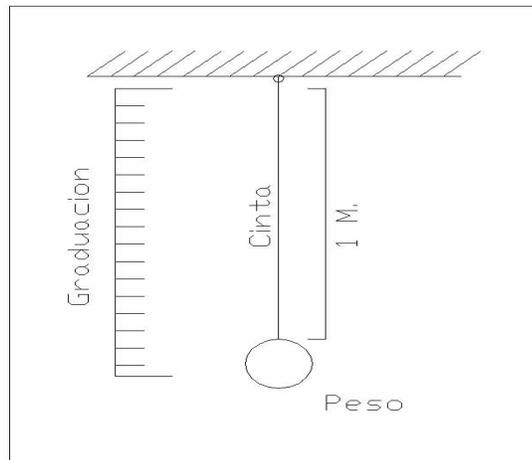


Figura 2, diseño de medidor de tensión.

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Resultados de los Ensayos de Mediciones Físicas

1. Distancia entre los puntos de emisión

Los valores de distancia entre emisores informados y aquellos medidos se presentan en el Cuadro 4.

Todos los modelos medidos cumplen con la norma, presentando una diferencia menor de 5%, de lo informado por los fabricantes a excepción de los modelos E1 y E3 que presentan una diferencia porcentual de un 6.4 y 7.6% respectivamente.

Cuadro 4. Distancia entre los puntos de emisión.

Modelo	Distancia Informada (m x 10 ⁻²)	Distancia Medida (m x 10 ⁻²)	Diferencia porcentual
A1	20	20.1	0.5
A2	30	29.78	-0.7
A3	20	19.74	-1.3
B1	30	29.72	-0.9
C1	30	30.94	3.1
C2	20	20.8	4.0
D1	20	20.3	1.5
D2	20	20.52	2.6
E1	10	10.64	6.4
E2	10	10.76	7.6
E3	30	29.62	-1.3

2. Espesor de pared de la cinta de goteo

Para el caso del espesor de pared, cuyos valores informados y medidos se presentan en el Cuadro 5, todos los modelos medidos cumplen con la norma. Es decir presentan una diferencia menor de 10%, de lo informado por los fabricantes.

Cuadro 5. Espesor de pared por modelo.

Modelo	Espesor Informado (m x 10 ⁻²)	Espesor Medido (m x 10 ⁻²)	Diferencia porcentual.
A1	127	129.92	2.3
A2	203.8	205.6	0.9
A3	381	385.74	1.2
B1	152.4	154.98	1.7
C1	152.4	156	2.4
C2	152.4	154.48	1.4
D1	101.6	103	1.4
D2	203.2	204.32	0.6
E1	150	152.8	1.9
E2	200	203.78	1.9
E3	400	393.3	-1.7

Resultados de los Ensayos de Pruebas Hidráulicas

A continuación se presentan los resultados de las pruebas:

1. Coefficiente de variación de descarga a presión nominal, p_n (ISO 926, 1991)

Los valores de descarga media ($m^3 \times 10^{-3}h^{-1}$), obtenidos a presión nominal, (D.O. p_n), para cada modelo de cinta de riego después de una hora de descarga, se presentan en el cuadro 6, con sus respectivas desviaciones estándares y diferencia porcentuales, calculadas respecto a la descarga informada por los fabricantes (D.I.). Los valores de D.O p_n , que se obtuvieron para cada modelo durante esta prueba, se encuentran en el Anexo 1.

Cuadro 6. Desviación estándar y diferencia porcentual entre D.I. y D.O p_n

Modelo	Descarga informada (m ³ x 10 ⁻³ h ⁻¹)	Descarga obtenida (m ³ x 10 ⁻³ h ⁻¹)	Sq	Diferencia porcentual
A1	1	1.038	0.027	3.840
A2	0.56	0.558	0.002	-0.446
A3	1	1.089	0.063	8.890
B1	1	1.005	0.004	0.500
C1	1.1	0.992	0.077	-9.836
C2	1.1	1.041	0.042	-5.364
D1	1.02	0.979	0.029	-4.020
D2	1.02	0.976	0.031	-4.314
E1	0.4	0.369	0.022	-7.850
E2	0.4	0.399	0.001	-0.250
E3	2.66	2.671	0.008	0.414

Al comparar los valores obtenidos con los informados por los fabricantes, todos los modelos evaluados cumplen con la norma, presentan descargas medias obtenidas a p_n (D.O p_n), con diferencias porcentuales respecto a la descarga informada (D.I), menores a un 10%; valores que fluctúan entre un -9.836% hasta un 8.890%, para los modelos C1 y A3 respectivamente. Es decir, los emisores del modelo C1 entregan una descarga inferior a la informada en un 9.836%, por otro lado, los emisores del modelo A3 entregan una descarga que supera a la informada en un 8.890%. La desviación estándar, Sq, de D.O p_n respecto D.I., su valor fluctúa entre 0.077 y 0.001, (C1 y E2 respectivamente).

Los valores de Sq y C.v., de descarga a presión nominal, p_n, por modelo, se presentan el Cuadro 7. Los valores de descarga que se obtuvieron durante esta prueba se presentan en el Anexo 1.

Cuadro 7. Desviación estándar y coeficiente de variación a p_n por modelo.

Modelo	Sq	C.v
A1	0.046	4.44%
A2	0.018	3.17%
A3	0.017	1.56%
B1	0.028	2.80%
C1	0.044	4.52%
C2	0.046	4.45%
D1	0.026	2.70%
D2	0.022	2.28%
E1	0.033	8.93%
E2	0.023	5.81%
E3	0.051	1.89%

Al comparar los valores obtenidos con los informados para cada modelo, prácticamente todos cumplen con la norma exigida para cintas clase A, (presentan una Sq menor de un 0.05), a excepción del modelo E3, que presenta una Sq de 0.051. El modelo que presenta menor desviación estándar es A3, cuyo Sq alcanza tan solo a 0.017.

En relación al coeficiente de variación, los modelos E1 y E2, no cumplen con la norma exigida para cintas de clase A, ya que presentan un C.v. mayor al 5% (8.93 y 5.81% respectivamente). Es decir, las descargas de estos modelos presentan una desuniformidad mayor a lo permitido por la norma para modelos de clase A.

Dentro de modelos de una misma marca, el C.v. disminuye al aumentar el espesor de la pared de la cinta. Por lo tanto, se desprende que el espesor de la pared de la cinta tiene relación con la uniformidad de la descarga. Esto se puede deber a que el espesor de la pared de la cinta le confiere estabilidad a los puntos de emisión.

2. Relación entre presión y descarga

Las curvas presión descarga para cada uno de los modelos se presentan en las figuras 3 a la 7. En cada figura se indica el modelo evaluado y las ecuaciones que relacionan la descarga con la carga hidráulica, con sus respectivos coeficientes de determinación R^2 . Los valores de descarga ($m^3 \times 10^{-3} h^{-1}$), que se obtuvieron para cada modelo durante toda esta prueba, se presentan en el Anexo 2.

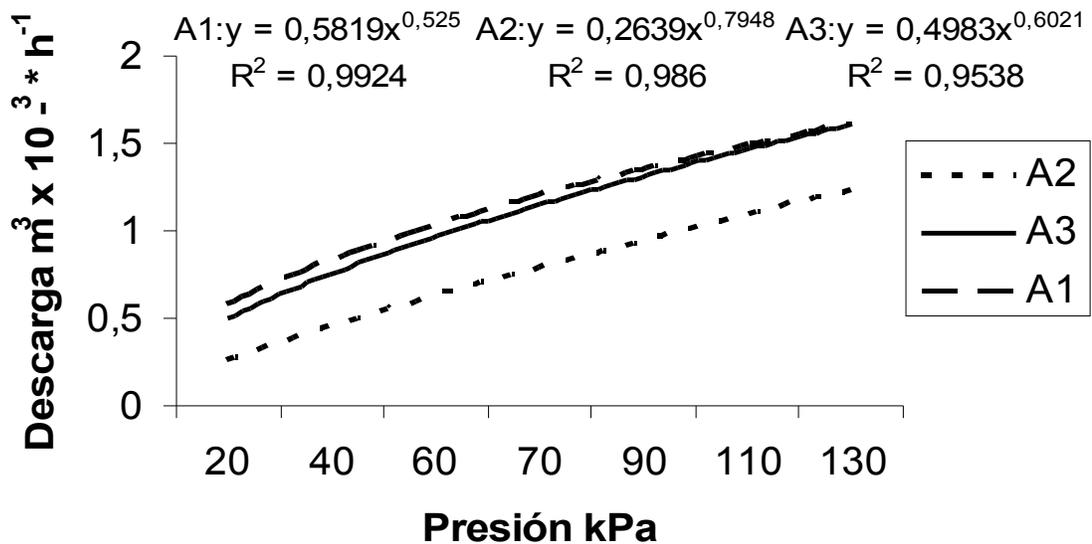


Figura 3. Curva presión descarga modelos A1, A2 y A3.

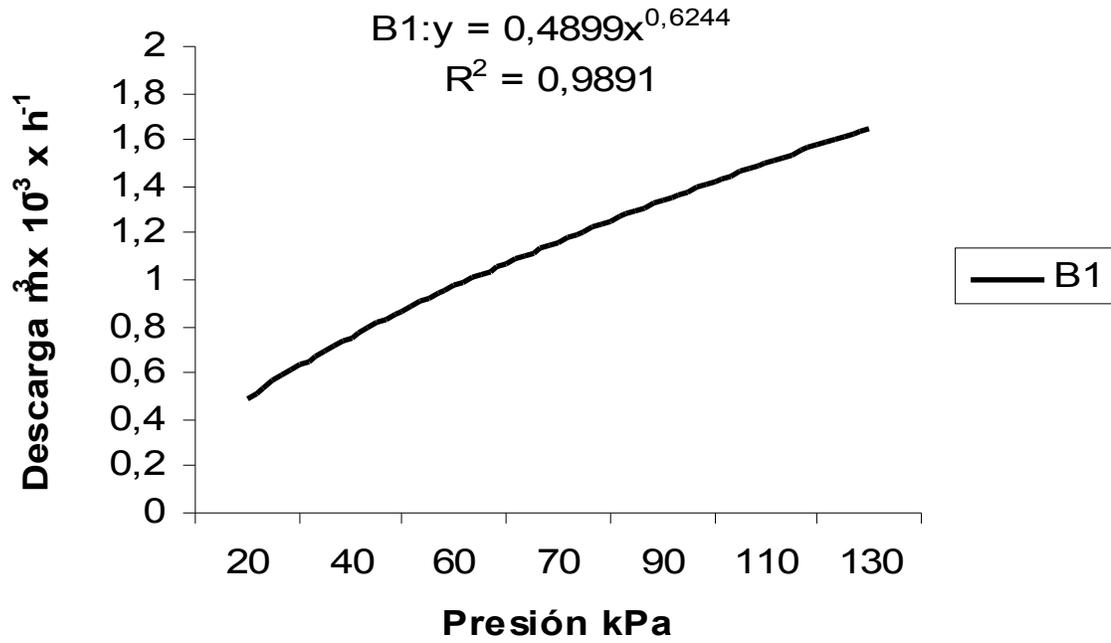


Figura 4. Curva presión descarga modelo B1.

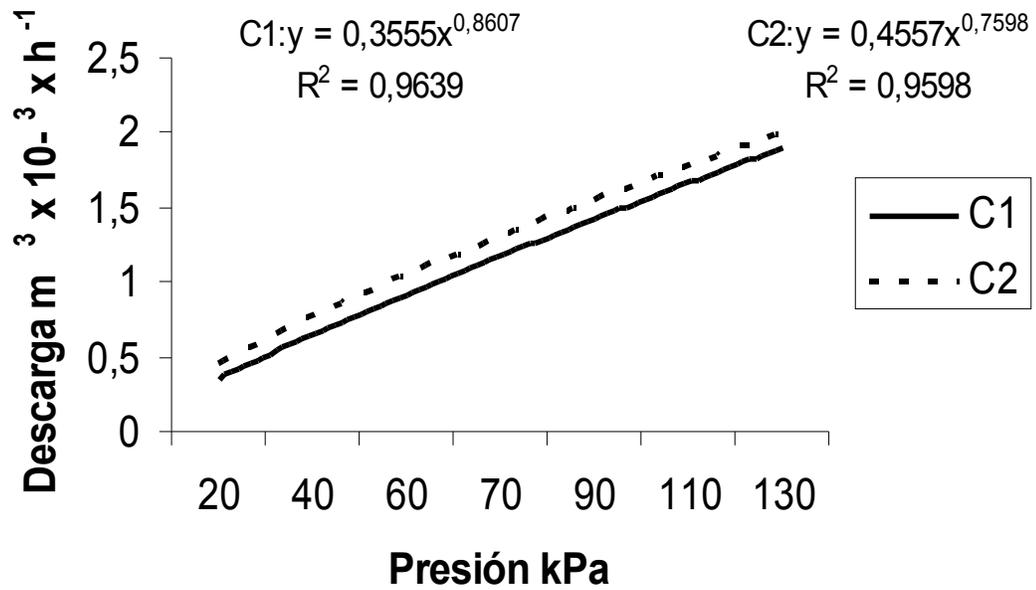


Figura 5. Curva presión descarga modelos C1 y C2.

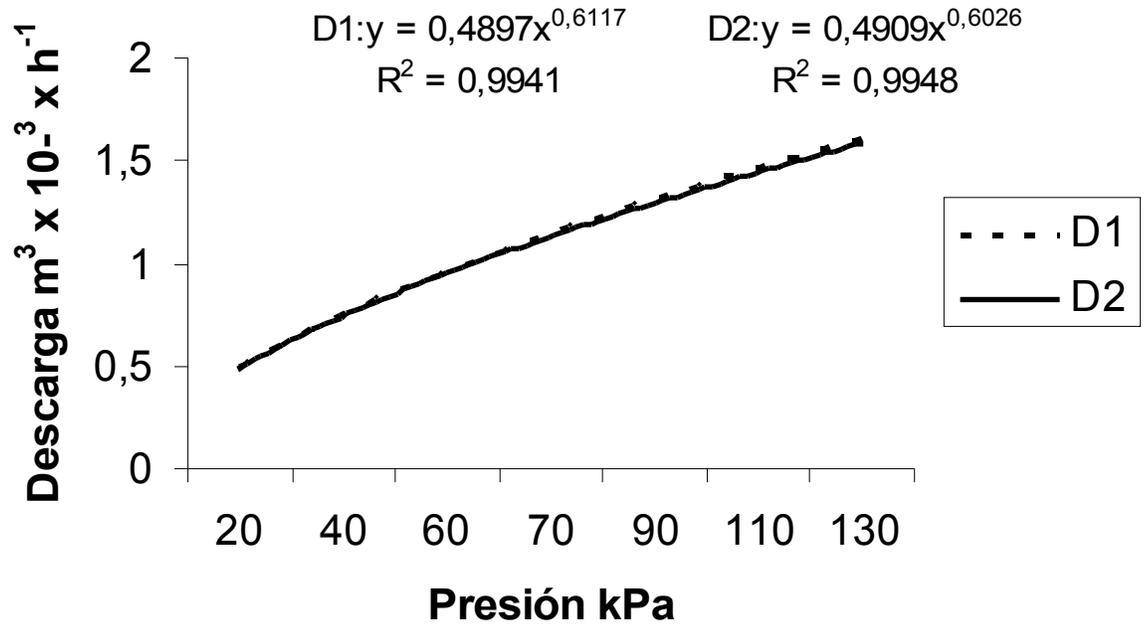


Figura 5. Curva presión descarga modelos D1 y D2.

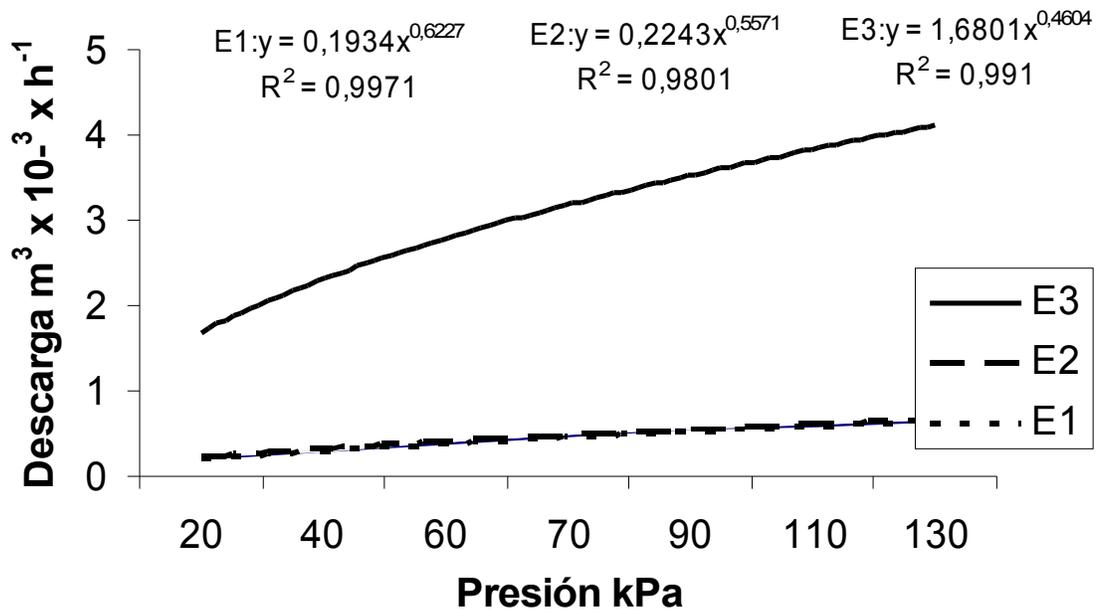


Figura 7. Curva presión descarga modelos E1, E2 y E3.

Los valores del exponente m obtenidos, (Cuadro 8), fluctúan entre 0.8607 y 0.4604 (C1 y E3 respectivamente). Es decir, C1 es el modelo evaluado que presenta mayor variación de descarga al cambiar la presión de operación; contrario a lo presentado por E3.

Al comparar los valores del exponente m de la ecuación de descarga, no se observan diferencias de este entre modelos de igual marca e igual descarga a p_n y distinto espesor de pared, por lo tanto, se asume, que no existe relación entre el espesor de la pared y la magnitud del exponente m en los modelos evaluados.

Cuadro 8. Valor del exponente m de la ecuación de descarga por modelo.

Modelo	m
A1	0.525
A2	0.7948
A3	0.6021
B1	0.6244
C1	0.8607
C2	0.7598
D1	0.6117
D2	0.6026
E1	0.6227
E2	0.5571
E3	0.4604

Los modelos de marca C, fueron los que presentaron mayor exponente m , al compararlos con modelos de otras marcas. Es decir, presentan mayor variación en su descarga al variar la presión de operación, quizás debido a que el diseño de su conducto de reparto y/o emisor no es capaz de compensar las variaciones de presión.

Los valores de Sq calculados para cada modelo durante toda la prueba se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Desviación estándar a distintas presiones por modelo.

Modelo	Presión kPa						
	20	40	50	70	90	110	130
A1	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq
A1	0.021	0.028	0.046	0.04	0.083	0.099	0.1
A2	0.014	0.013	0.018	0.024	0.045	0.044	0.047
A3	0.013	0.018	0.017	0.016	0.024	0.016	0.018
B1	0.024	0.017	0.028	0.044	0.046	0.049	0.058
C1	0.026	0.043	0.045	0.048	0.056	0.061	0.099
C2	0.024	0.036	0.046	0.047	0.069	0.075	0.105
D1	0.022	0.03	0.026	0.037	0.044	0.056	0.052
D2	0.015	0.021	0.022	0.023	0.027	0.025	0.047
E1	0.021	0.014	0.051	0.028	0.024	0.029	0.023
E2	0.015	0.009	0.023	0.013	0.016	0.018	0.029
E3	0.046	0.052	0.051	0.045	0.054	0.055	0.066

Todos los modelos presentaron incremento en su Sq al aumentar la presión de operación. Es decir, la uniformidad de descarga disminuye al aumentar la presión de operación para todos los modelos evaluados. Los modelos de marca E, presentaron las menores variaciones de Sq , quizás atribuible a su diseño. En cambio los modelos marca C presentaron las mayores variaciones de Sq .

En cuanto al $Cv.$, (Cuadro 10), se observa que a valores extremos presión de trabajo para esta prueba, se concentran los mayores valores de $Cv.$ (en negrita y cursiva). Por lo tanto se considera que el rango óptimo de operación varía entre 50 y 70 Kpa., rango en que la descarga presenta una mayor uniformidad.

Cuadro 10. Coeficiente de variación a distintas presiones por modelo.

Modelo	Presión kPa						
	20	40	50	70	90	110	130
A1	C.v						
A1	3.5%	3.2%	4.4%	3.4%	6.3%	6.7%	5.9%
A2	5.0%	2.9%	3.2%	2.2%	3.1%	4.0%	3.8%
A3	3.0%	2.3%	1.5%	1.4%	1.9%	1.2%	1.1%
B1	4.9%	2.1%	2.8%	4.1%	3.5%	3.4%	3.3%
C1	8.8%	5.7%	4.5%	3.7%	4.0%	4.0%	5.6%
C2	5.3%	3.8%	4.4%	3.8%	4.5%	4.3%	5.4%
D1	4.6%	3.9%	2.7%	3.3%	3.6%	3.8%	3.1%
D2	3.2%	2.8%	2.3%	2.1%	2.1%	1.7%	2.9%
	10.4						
E1	%	8.9%	5.1%	6.1%	4.5%	5.0%	3.5%
E2	6.1%	5.8%	3.1%	2.8%	2.9%	2.9%	4.3%

E3 2.6% 2.3% 1.9% 1.4% 1.5% 1.4% 1.6%

3. Resistencia a la presión hidráulica a temperatura ambiente, (ISO 9261. 1991)

Los valores de descarga media a presión nominal, obtenidos para cada modelo después de haber sometido las cintas a la prueba de presión hidráulica a temperatura ambiente, (D.O.P p_n), se presentan en el Cuadro 11. Además se presenta la descarga media con su respectiva desviación estándar y diferencia porcentual calculada respecto a la descarga obtenida a presión nominal, p_n , (D.O. p_n). Los valores de D.O.P p_n , que se obtuvieron para cada modelo durante toda la prueba, se encuentran en el Anexo 3.

Cuadro 11. Desviación estándar y diferencia porcentual D.O.P. p_n respecto a D.O p_n ($m^3 \times 10^{-3}h^{-1}$).

Modelo	Presión de prueba*	D.O. p_n ($m^3 \times 10^{-3}h^{-1}$)	D.O.P. p_n ($m^3 \times 10^{-3}h^{-1}$)	Sq	Diferencia porcentual
A1	1.2 $P_{m\acute{a}x}$	1.038	1.077	0.027	3.72
A2	1.8 $P_{m\acute{a}x}$	0.558	0.575	0.012	3.14
A3	1.8 $P_{m\acute{a}x}$	1.089	1.091	0.001	0.16
B1	1.2 $P_{m\acute{a}x}$	1.005	1.034	0.021	2.89
C1	1.2 $P_{m\acute{a}x}$	0.992	1.009	0.012	1.73
C2	1.2 $P_{m\acute{a}x}$	1.041	1.056	0.011	1.44
D1	1.2 $P_{m\acute{a}x}$	0.979	0.994	0.011	1.53
D2	1.8 $P_{m\acute{a}x}$	0.976	0.988	0.008	1.23
E1	1.8 $P_{m\acute{a}x}$	0.369	0.371	0.002	0.65
E2	1.8 $P_{m\acute{a}x}$	0.399	0.401	0.001	0.50
E3	1.8 $P_{m\acute{a}x}$	2.671	2.676	0.004	0.19

*Presión de prueba de acuerdo a especificaciones técnicas. (Ver metodología).

Al comparar los valores entre D.O p_n y D.O.P p_n , se observa que todos los modelos aumentan su descarga después de haber sido sometido a esta prueba. Pese a esto, todos los modelos de cinta cumplen con la norma, es decir presentan una Sq menor de 0.10, entre D.O. p_n y D.O.P p_n , los valores de Sq calculados, fluctúan entre 0.027 y 0.001, (A1 y A3 respectivamente). Es decir, el modelo A1, presenta mayor aumento en su descarga media después de haber sido sometido a esta prueba, por lo tanto se asume que presenta una mayor susceptibilidad a deformarse, ratificado en las pruebas de presión de ruptura y resistencia a la tracción que se presentan más adelante.

Para los modelos pertenecientes a las marcas A y D, se observa, que la Sq y la diferencia porcentual de D.O.P p_n respecto a D.O. p_n disminuye al aumentar el espesor de la pared de la cinta de riego, situación esperable debido a que esta propiedad de la cinta, confiere resistencia a deformación al

tubo de reparto y orificio de emisión de la cinta, provocado como en este caso por un incremento en la presión de operación.

Analizando por marca, E, presenta menor variación en su descarga después de haber sido sometida a esta prueba, por presentar las menores Sq entre D.O. p_n y D.O.P p_n ; contrario a lo presentado por la cinta de la marca B.

Los valores de Sq y $C.v.$, obtenidos para cada modelo durante esta prueba, se muestran en el cuadro 12. Los valores de D.O.P p_n , para cada modelo se presentan en el Anexo 4.

Cuadro 12. Desviación estándar y coeficiente de variación calculados en la prueba de descarga a p_n y resistencia a la presión hidráulica.

Modelo	$Sq. p_n$	$Sq. P$	$Cv. p_n$	$Cv. P$
A1	0.046	0.061	4.44%	5.90%
A2	0.018	0.032	3.17%	5.70%
A3	0.017	0.026	1.56%	2.37%
B1	0.028	0.047	2.80%	4.74%
C1	0.044	0.052	4.52%	5.20%
C2	0.046	0.048	4.45%	4.58%
D1	0.026	0.028	2.70%	2.80%
D2	0.022	0.027	2.28%	2.80%
E1	0.033	0.033	8.93%	8.80%
E2	0.023	0.029	5.81%	7.20%
E3	0.051	0.050	1.89%	1.90%

- $Sq. p_n$: Desviación estándar calculada en prueba de descarga a p_n .
 $Sq. P$: Desviación estándar calculada en prueba de resistencia a la presión hidráulica.
 $Cv. p_n$: Coeficiente de variación calculado en la prueba de descarga a p_n .
 $Cv. P$: Coeficiente de variación calculado en la prueba de resistencia a la presión hidráulica.

Comparando las Sq obtenidas en la prueba de descarga a presión nominal, con las obtenidas en esta prueba, se observa que aumentó en todos los modelos evaluados, menos en E1 y E3, en que Sq , se mantiene y disminuye respectivamente. El modelo que presenta mayor diferencia entre estas Sq es B1; en cambio el modelo E3, presenta la menor diferencia entre estas Sq . En otras palabras, entre los modelos de cintas de riego evaluados, B1 presenta valores de descarga con mayor diferencial de dispersión entre los D.O. p_n y D.O.P p_n ; contrario a lo presentado por E1.

Los modelos pertenecientes a las marca A y B, registraron el mayor diferencial entre estas desviaciones, lo que se traduce en un aumento en la desuniformidad de descarga, quizás atribuible al diseño del tubo de reparto, orificio de emisión y/o a la uniformidad de diseño de la cinta.

Para esta prueba, observa que el modelo que presenta mayor Sq es, A1 (6.1%); contrario a lo presentado por A3, (2.6%). Por marcas, se observa que la Sq disminuye al aumentar el espesor de la pared de la cinta.

El C.v., presenta un comportamiento similar al presentado por la Sq , aumenta en todos los modelos, después de ser sido sometido a esta prueba, menos para el modelo E1, el cual disminuye levemente.

4. Presión de ruptura

Los valores resultantes de esta prueba se presentan en el Cuadro 13. La presión máxima de operación en esta prueba fue 39 Kpa.

Cuadro 13. Presión de ruptura.

Modelo	Espesor	Presión de ruptura (kPa x 10 ⁻²)
A1	127	2.1
A2	204	3.3
A3	381	N.R*
B1	152	2.4
C1	152	3.3
C2	152	3.3
D1	102	2.4
D2	203	N.R*
E1	150	N.R*
E2	200	N.R*
E3	400	N.R*

* No registra ruptura.

El valor de ruptura se mantuvo en las 5 repeticiones que se realizaron para cada modelo de cinta. Esto permite inferir la uniformidad en el espesor de pared, corroborado con las mediciones del espesor de pared. (Ver mediciones).

Los modelos A3, D2, E1, E2 y E3 no registraron ruptura. A1 fue el modelo que presentó ruptura a menor presión de entrada, pese a no ser el modelo con la pared más delgada (E4), por lo tanto se atribuye esta respuesta a la composición y/o a la densidad del material de este modelo de cinta. Para modelos de marcas A y D, a menor espesor de pared menor es la presión de ruptura, situación esperable, ya que el grosor de pared confiere resistencia a la pared al ser esta sometida a presión.

E1 y E2, no presentan ruptura, mientras modelos de otras marcas con igual e incluso mayor espesor si, situación atribuible a la composición, densidad del material de la pared de la cinta y/o al diseño de la cinta.

5. Susceptibilidad al taponamiento

Los valores de descarga media ($\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{h}^{-1}$), obtenidos en la prueba de taponamiento, (D.O.T.), con su respectiva desviación estándar y diferencia porcentual entre D.O. p_n y D.O.T, después de 72 horas cronológicas de operación a presión nominal se muestran en el cuadro 14. Los valores de descarga obtenidos durante toda la prueba de taponamiento (D.O.T. p_n), para cada modelo, se encuentran en el Anexo 4.

Cuadro 14. Desviación estándar y diferencia porcentual D.O.T. p_n respecto a D.O. p_n ($\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{h}^{-1}$).

Modelo	Descarga obtenida a p_n ($\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{h}^{-1}$)	Descarga obtenida prueba de taponamiento. ($\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{h}^{-1}$)	S_q	Diferencia porcentual
A1	1.038	0.985	0.038	-5.18
A2	0.558	0.531	0.019	-4.75
A3	1.089	1.037	0.037	-4.77
B1	1.005	0.949	0.040	-5.57
C1	0.992	0.928	0.045	-6.43
C2	1.041	0.986	0.039	-5.28
D1	0.979	0.959	0.014	-2.04
D2	0.976	0.935	0.029	-4.20
E1	0.369	0.348	0.015	-5.59
E2	0.399	0.379	0.014	-5.01
E3	2.671	2.654	0.012	-0.64

Al comparar los valores de D.O. p_n y D.O.T, se observa que todos los modelos presentaron una disminución de su descarga después de haber sido sometido a esta prueba, valores que fluctúan entre -6.43% y -2.04%, (C1 Y D1 respectivamente). Este efecto provocado por las partículas en suspensión en el agua, denota la importancia del elemento filtrante en cualquier sistema de riego localizado.

Las S_q de D.O.T respecto a D.O. p_n , por modelo, fluctúan entre 0.045 y 0.012 (C1 y E3 respectivamente). Es decir, el modelo C1 es el que presenta una mayor variación su descarga provocada por el taponamiento físico de sus emisores; contraria a lo presentado por E3.

La marca E, es la que presenta menor susceptibilidad a taponamiento físico, debido a que presenta menor Sq promedio por marcas, por lo tanto se infiere que los modelos de esta marca poseen el mayor diámetro mínimo de flujo; por el contrario los modelos de marca C, presentan una mayor Sq , por lo tanto se supone que poseen el diámetro mínimo de flujo menor, provocando estancamiento de partículas sólidas en suspensión y consiguiente taponamiento.

Los valores de Sq y $C.v.$, calculados para cada modelo durante esta prueba, se muestran en el cuadro 15. Los valores de D.O.P p_n , para cada modelo se encuentran en el Anexo 5.

Cuadro 15. Desviación estándar y coeficiente de variación calculados en las prueba de descarga a p_n y susceptibilidad a taponamiento.

Modelo	$Sq p_n$	$Sq T.$	$C.v p_n$	$C.v T$
A1	0.046	0.067	4.44%	6.83%
A2	0.018	0.042	3.17%	8.00%
A3	0.017	0.048	1.56%	2.69%
B1	0.028	0.044	2.80%	4.60%
C1	0.044	0.047	4.52%	5.10%
C2	0.046	0.054	4.45%	5.50%
D1	0.026	0.029	2.70%	3.00%
D2	0.022	0.032	2.28%	3.50%
E1	0.033	0.034	8.93%	9.71%
E2	0.023	0.034	5.81%	8.80%
E3	0.051	0.051	1.89%	1.90%

$Sq. p_n$: Desviación estándar calculada en prueba de descarga a p_n .

$Sq. T$: Desviación estándar calculada en prueba de susceptibilidad a taponamiento.

$Cv. p_n$: Coeficiente de variación calculado en la prueba de descarga a p_n .

$Cv. T$: Coeficiente de variación calculado en la prueba de susceptibilidad a taponamiento.

Se observa, que todos los modelos después de ser sometidos a esta prueba, presentan un aumento en sus Sq y $C.v.$, respecto a los calculados en la prueba de descarga a p_n . Es decir, disminuye la uniformidad de descarga, producto del taponamiento de los emisores.

Por marcas, se observa que los mayores incrementos de Sq y $C.v.$, los presentan los modelos pertenecientes a las marcas A y B. Es decir, el efecto de la prueba de taponamiento en la descarga para estos modelos es irregular, siendo atribuible la uniformidad de diseño de las zonas de reparto y emisión de la cinta. (Ver figura 1). La diferencia de los valores de Sq

calculadas en las pruebas de D.O.T y D.O. p_n fluctúan entre 0.067 y 0.029 (A3 y E3 respectivamente). Con respecto a C_v , la diferencia de los valores calculados en las pruebas de D.O.T y D.O. p_n fluctúan entre 4.83% y 0.01% (A2 y E3 respectivamente). Por lo tanto, el modelo E3 es el que presenta una menor susceptibilidad al taponamiento físico de emisores.

6. Resistencia a la tracción

Las curvas de estiramiento para cada modelo evaluado, se muestran a continuación. Los valores obtenidos durante toda la prueba para cada modelo se encuentran en el Anexo 5.

Curva de estiramiento

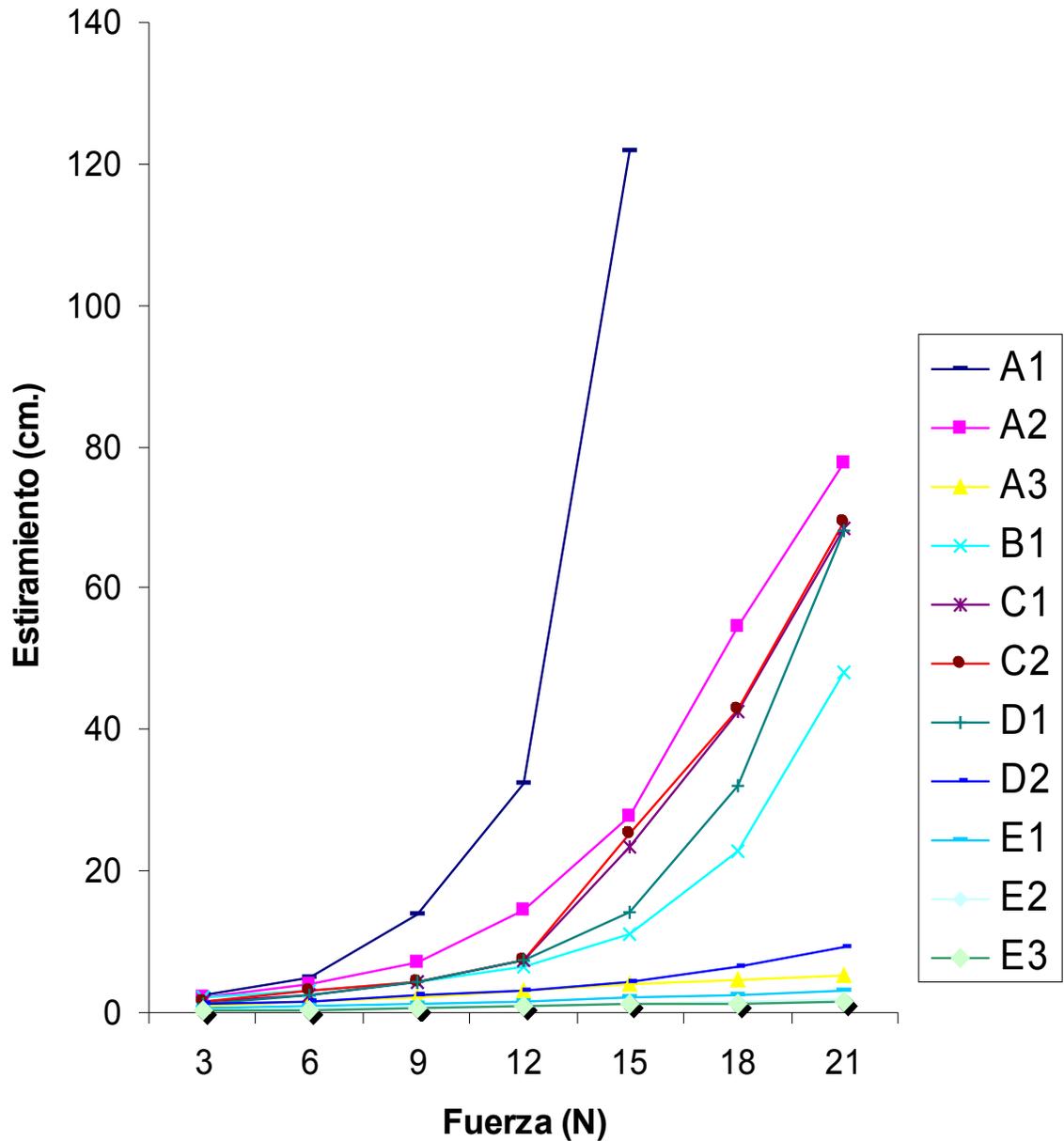


Figura 8. Curvas de estiramiento para cada modelo evaluado.

Después de haber sometido a prueba de tracción, cumplen con la norma los modelos A3, D2, E1, E2 y E3, (aumentaron menos de un 25% su tamaño original de prueba, (1m.)).

El modelo que presenta una mayor respuesta a tracción es A1, el cual se rompe al ser sometido a una fuerza de 18 N.; contrario a lo presentado por E3, que al final de la prueba aumento su tamaño en sólo 1.56%.

Además relacionando con los valores obtenidos en la prueba de resistencia a la presión hidráulica, y presión de ruptura, en que A1 presentó la mayor desviación estándar y diferencia porcentual respecto al valor de descarga obtenido en la prueba de descarga a p_n , por lo tanto, se asume que este modelo es el que presenta la pared con menor tolerancia al estrés hídrico y mecánico.

Los modelos de marca E, registran menor variación de tamaño en toda la prueba, incluso al ser comparados con modelos de mayor espesor de pared, resultan mejor evaluados para esta prueba. Los factores que explicarían este comportamiento, serían el ancho, composición y densidad de la cinta.

Por marcas, se observa que a menor espesor de pared mayor es el estiramiento, esperable debido a que esta propiedad de la cinta, le confiere resistencia a deformación provocado por fuerzas externas.

CONCLUSIONES

1. Existen diferencias entre las especificaciones técnicas informadas por los fabricantes con las obtenidas en laboratorio, por lo tanto sería recomendable la existencia de un organismo certificador de equipos de riego que verifique que las especificaciones técnicas informadas.
2. Existen diferencias entre las descargas informadas por los productores a p_n , con las obtenidas en laboratorio en todos los modelos evaluados.
3. Todos los modelos evaluados cumplen con la norma para la prueba de descarga a presión nominal.
4. La desuniformidad de la descarga aumenta al aumentar la presión de operación para todos los modelos evaluados.
5. La descarga media a presión nominal aumentó dentro del rango permitido por la norma ISO 9261, en todos los modelos después de haber sometido a prueba de presión hidráulica a temperatura ambiente.
6. La uniformidad de la descarga disminuye, después de haber sometido a prueba de presión hidráulica a temperatura ambiente, en todos los modelos evaluados con respecto a los obtenidos en la prueba de descarga a p_n .
7. El taponamiento físico de emisores provoca una disminución en la descarga emitida y un aumento en la desuniformidad de esta.
8. El espesor de la pared está relacionado con la resistencia al estiramiento y a la presión hidráulica.
9. Es importante la existencia de un organismo independiente que certifique la calidad de los equipos de riego que entran al país con el fin de resguardar a los demandantes.

LITERATURA CITADA

- ANSI/ASAE S553 MAR01. Collapsible emitting hose (Drip tape). Specification and performance testing.
- ASTM D638, Standar test method for tensile properties of plastic.
- Ferrada. L y Rojas Trujillo W “Prevención y control de obstrucciones en equipos de riego tecnificado”.
http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-011.htm visitado el 28/10/03
- Ferreira R. Selles G. y Pimsten A. 1994. Diseño, manejo y mantenimiento de equipos localizado de alta frecuencia en Boletín INIA N° 35.
- Fundación para la innovación agraria FIA. 2000. Riego y drenaje. 91p.
- Gurovic Luis A. 1997. Riego superficial tecnificado. 616 p.
- ISO 9261-1991 Agricultural irrigation equipment - Emitting pipe systems - Specification and test methods.
- MATTA C., R, 1998. Instalación, manejo y mantención de sistemas de riego presurizado. Comisión Nacional de Riego. Programa de Desarrollo de Sistemas de Riego en el Secano Interior y Costero. Componente Nacional: Capacitación y Difusión de Tecnologías de Riego. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Riego y Drenaje. Publicaciones de Riego y Drenaje 24p.
- Pitts, D.J. and P.L. Tacker, 1986. Trickle Irrigation: Causes and prevention of emitter plugging., cooperative extension service, University of Arkansas.
- Rojas Gerardo, 2003. Diseño de una unidad de certificación de equipos de riego. Memoria de título de Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Chile. Santiago de Chile. 252p.