



RUM

Recinto
Universitario de
Mayagüez

universidad de puerto rico

SERVICIO DE EXTENSION AGRICOLA

DISEÑO PRELIMINAR DE SISTEMAS DE RIEGO

Eric A. Irizarry Otaño-MES, PE
Catedrático-Ingeniero Civil
SECCIÓN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y BIOSISTEMAS
eric.irizarry@upr.edu



OBJETIVOS

- **Aprender el diseño preliminar de sistemas de riego.**
- **Entender y aplicar los conceptos de uniformidad de riego.**



INTRODUCCIÓN

- **El riego es el intento del hombre de alterar localmente el ciclo hidrológico para promover un incremento en la productividad agrícola.**
- **Civilizaciones como los Mayas, Aztecas, Incas, Romanos, Sumerios, Egipcios entre muchas otras utilizaron su ingenio para canalizar el agua y poder aumentar la producción de sus campos.**
- **Esta tecnología ha sido elaborada hasta nuestros días creando una nueva ciencia.**



Para diseñar un sistema de riego es necesario combinar aspectos de:

– Agronomía

- Tipo de cultivo
- Profundidad de raíces
- Consumo de agua

– Suelo

- Disponibilidad de la tierra
- Textura y Profundidad
- Velocidad de infiltración
- Potencial de erosión
- Salinidad
- Topografía
 - Pendiente

– Hidráulica e hidrología

- Fuente y abasto de Agua
- Cantidad disponible y confiabilidad
- Calidad
- Nivel freático
- Precipitación y Evapotranspiración
- Limitaciones y obstrucciones de inundación

Consideraciones para diseñar un sistema de riego

□ Consideraciones sociales

- Disponibilidad de mano de obra
- Especialización de la mano de obra
- Nivel de automatización deseado
- Potencial de daños por vandalismo
- Asuntos políticos y legales

□ Consideraciones económicas

- Inversión de Capital
- Disponibilidad de Créditos
- Tasas de Interés
- Duración del Equipo



Tipos de sistemas de riego

- **Inundación**
- **Surcos**
- **Subterráneo**
- **Aspersión**
- **Por goteo**



Origen de la fuente de agua



➤ Fuente superficial

- Lagos o charcas
- Ríos, quebradas
- Canales de riego

➤ Fuente subterránea

- Pozos profundos
- Manantiales



Sistemas de filtración

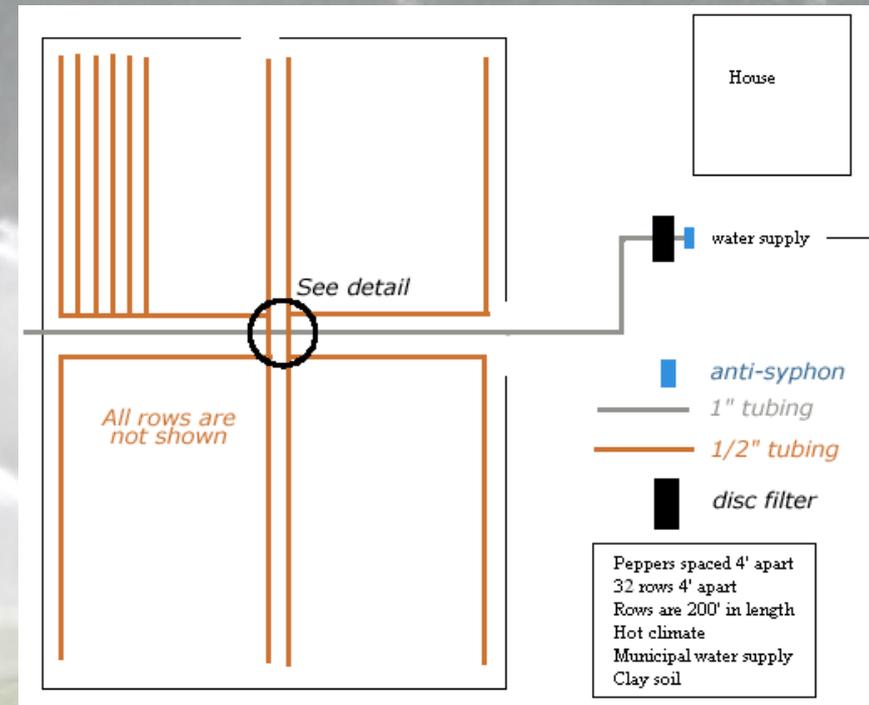
- **Filtro Centrífugo**
- **Filtro de Anillas (de disco)**
- **Filtro de Arena**
- **Filtro de Malla (de Tamiz)**



Diseño preliminar y riego por goteo

• Consideraciones

- La línea debe ser lo más corta y recta posible. La tubería muy larga, los codos y cualquier otro ángulo le restan presión y descarga al agua.
- Utilice una tubería adecuada para tener una descarga y presión constante. La pérdida de presión por cada toma no debe ser mayor de cinco (5) libras de presión.



Tipos de tuberías

➤ Galvanizada

- Tiene un largo de 21 pies.
- Por su exposición al sol, debe ser cuidadoso en la selección del diámetro adecuado.
- La corrosión ofrece resistencia al pasar el agua y causa, pérdida de presión y descarga.
- Vida útil entre 15 a 17 años.



Tipos de tuberías

➤ Cobre:

- Rollos de 100 pies de largo y de distintos diámetros.
- Debido a su alto costo se usa solamente en instalaciones cortas y cuando la línea se instala bajo concreto.



➤ Plástica:

- Secciones de 20 pies.
- Las paredes vienen en distintos groesores para usarse en diferentes presiones.
- La resistencia que le ofrece al paso del agua es bien baja.



Tipos de tuberías

➤ Plástica:

- ❖ No reacciona con los minerales del agua; por lo tanto, no se corroe.
- ❖ Se debe usar bajo tierra porque el sol la afecta.
- ❖ Su costo es el más bajo en el mercado.

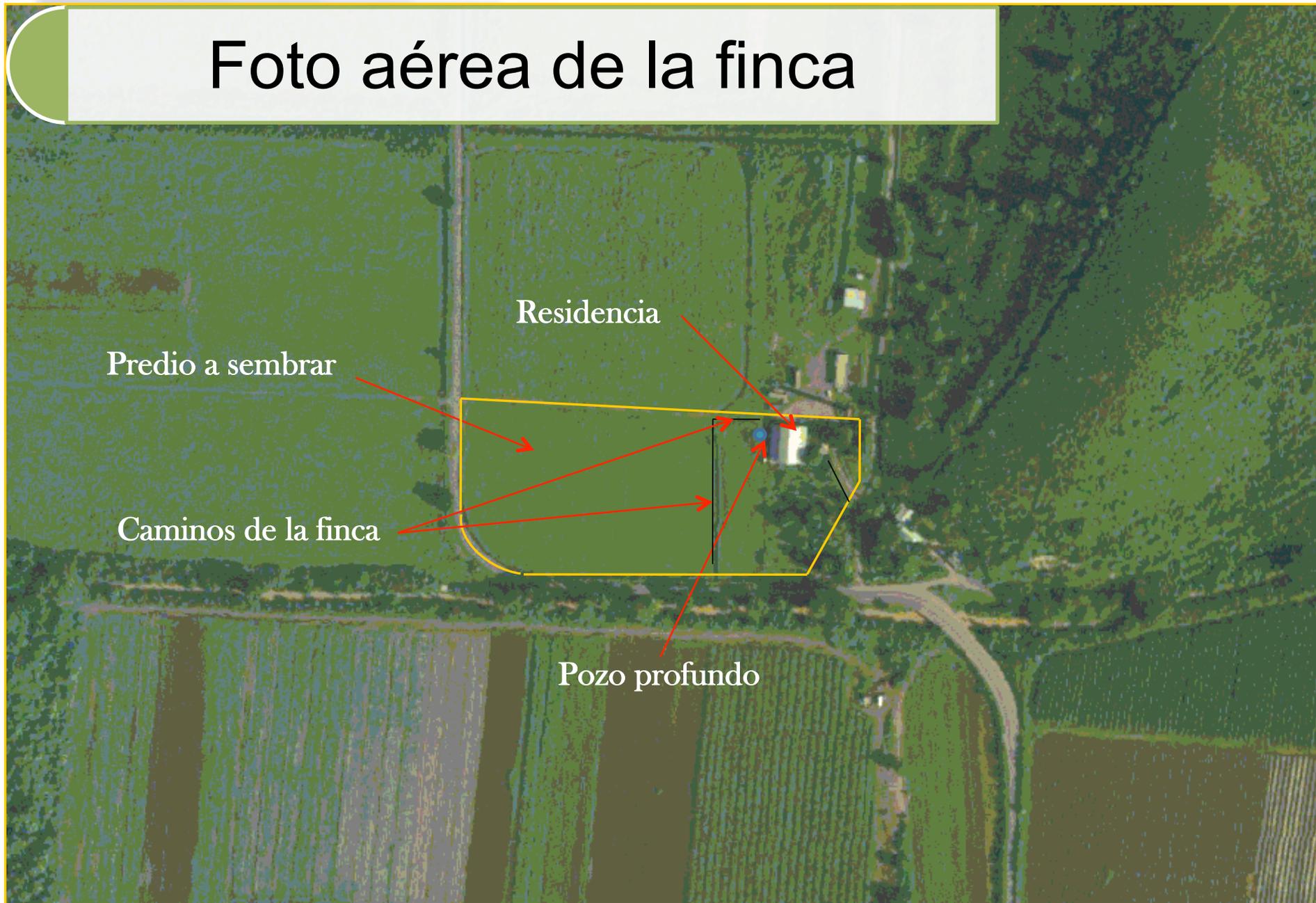


Diseño preliminar

- **Datos Generales de la Finca**

- Agricultor quiere sembrar dos (2) cuerdas de terreno en hortalizas.
- La finca se ubica en el municipio de Guánica.
- Consta de 3.5 cuerdas llanas.
- Tiene facilidades de energía eléctrica.
- Cuenta con un pozo profundo que produce 100 gpm.

Foto aérea de la finca



Predio a sembrar

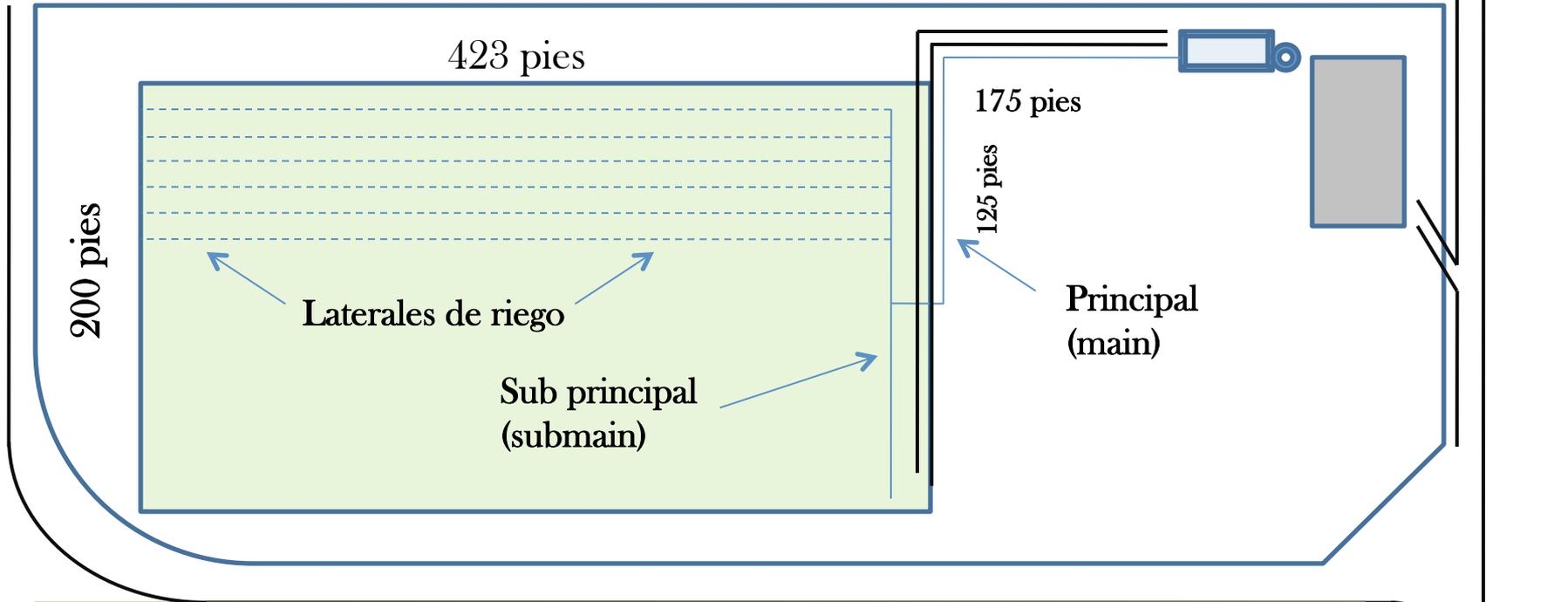
Residencia

Caminos de la finca

Pozo profundo

Diseño Preliminar del Sistema de Riego por Goteo
para la finca del Sr. Fulano de Tal

Ubicación : Municipio de Guánica



Cultivo : Hortalizas Kc: 0.97 Eto: 5.6 mm/día Área: 200' x 423' = 86400 pies²

Fuente de Agua: pozo profundo Capacidad : 100 gpm

Posibles Filtros: hidrociclónico y filtro de malla con tamiz #200

Tubería: principal PVC clase 160 C = 150 Eficiencia del sistema : 85%
Sub principal Polyethylene SDR - 7 C = 140

Diseño preliminar

- Estimar la cantidad de agua a usar

$$EWU = \frac{Et_o \times K_c \times A \times 0.62}{E}$$

- EWU = estimado de agua a usar (gal/día)
- Et_o = evapotranspiración (pulg/día) (peor de los casos)
- K_c = coeficiente de cosecha (peor de los casos)
- A = área en pies cuadrados
- E = eficiencia del sistema
- 0.62 = factor de conversión de unidades a galones por día

Estimar uso de agua

- Hay que cambiar las unidades de evapotranspiración:

$$E_{to} = \left(5.6 \frac{\text{mm}}{\text{día}}\right) \left(\frac{1\text{m}}{1000\text{mm}}\right) \left(\frac{3.281\text{pies}}{1\text{m}}\right) \left(\frac{12\text{in}}{1\text{pies}}\right)$$

$$E_{to} = 0.221 \text{ in} / \text{día}$$

- Se sustituye los valores en la ecuación:

$$EWU = \frac{E_{to} \times K_c \times A \times 0.62}{E}$$

$$EWU = \frac{(0.221 \text{ pulg} / \text{día})(0.97)(84,600 \text{ pies}^2)(0.62)}{0.85}$$

$$EWU = 13,228.4 \text{ gal} / \text{día}$$

Diseño preliminar

- Escoger Laterales de Riego
 - Se escogió un línea que aplica 0.45 gpm / 100 pies @ 8 psi
 - El largo de las laterales es de 423 pies
 - El predio mide 200 pies de ancho
 - Distancia de siembra es de 6 pies entre bancos y 12 pulgadas entre plantas
 - 1 línea de riego por banco

Diseño preliminar

➤ Cálculo de tubería sub principal

➤ Cantidad de agua aplicada por cada lateral de riego:

➤ $(423\text{pies/lateral})(0.45\text{gpm}/100\text{pies}) = 1.90 \text{ gpm/lateral}$

➤ Cantidad de bancos por predio a regar

➤ $(\text{Predio } 200 \text{ pies de ancho}) / (6 \text{ pies / banco}) = 33.3 \text{ bancos } \pm 34 \text{ bancos}$

➤ Como el manifold se establece en el medio del predio se regaran 17 bancos a cada lado de este

➤ Cantidad de agua a aplicar por predio

➤ $(17 \text{ bancos})(1.90 \text{ gpm/banco}) =$

➤ $32.3 \text{ gpm } \pm 33 \text{ gpm}$

Class 160 IPS U.S. PVC Plastic Pipe

(1120,1220) C=150 SDR 26
PRESSURE LOSS PER 100 FEET OF PIPE (PSI) SIZES 6" THRU 12"

Nominal Size Pipe ID Pipe OD Wall Thick	6"		8"		10"		12"		Nominal Size Pipe ID Pipe OD Wall Thick	8"		10"		12"	
	Flow GPM	Velocity FPS PSI LOSS	Flow GPM		Velocity FPS PSI LOSS										
40	0.44	0.01						1850	11.91	1.98	7.66	0.68	5.45	0.29	
45	0.49	0.01						1900	12.23	2.08	7.87	0.71	5.60	0.31	
50	0.55	0.01						1950	12.55	2.18	8.08	0.75	5.74	0.32	
55	0.60	0.01						2000	12.88	2.28	8.29	0.78	5.89	0.34	
60	0.65	0.01						2050	13.20	2.39	8.49	0.82	6.04	0.36	
65	0.71	0.01						2100	13.52	2.50	8.70	0.85	6.18	0.37	
70	0.76	0.02	0.45	0.00				2150	13.84	2.61	8.91	0.89	6.33	0.39	
75	0.82	0.02	0.48	0.01				2200	14.16	2.72	9.11	0.93	6.48	0.41	
80	0.87	0.02	0.52	0.01				2250	14.48	2.84	9.32	0.97	6.63	0.42	
85	0.93	0.02	0.55	0.01				2300	14.81	2.96	9.53	1.01	6.77	0.44	
90	0.98	0.03	0.58	0.01				2350	15.13	3.08	9.74	1.05	6.92	0.46	
95	1.04	0.03	0.61	0.01				2400	15.45	3.20	9.94	1.09	7.07	0.48	
100	1.09	0.03	0.64	0.01				2450	15.77	3.32	10.15	1.14	7.22	0.50	
110	1.20	0.04	0.71	0.01				2500	16.09	3.45	10.36	1.18	7.36	0.51	
120	1.31	0.04	0.77	0.01				2550	16.42	3.58	10.56	1.22	7.51	0.53	
130	1.42	0.05	0.84	0.01	0.54	0.00		2600	16.74	3.71	10.77	1.27	7.66	0.55	
140	1.53	0.06	0.90	0.02	0.58	0.01		2650	17.06	3.84	10.98	1.32	7.80	0.57	
150	1.64	0.07	0.97	0.02	0.62	0.01		2700	17.38	3.98	11.19	1.36	7.95	0.59	
160	1.75	0.08	1.03	0.02	0.66	0.01		2750	17.70	4.12	11.39	1.41	8.10	0.61	
170	1.85	0.09	1.09	0.02	0.70	0.01		2800	18.03	4.26	11.60	1.46	8.25	0.64	
180	1.96	0.10	1.16	0.03	0.75	0.01		2850	18.35	4.40	11.81	1.51	8.39	0.66	
190	2.07	0.11	1.22	0.03	0.79	0.01		2900	18.67	4.54	12.01	1.55	8.54	0.68	
200	2.18	0.12	1.29	0.03	0.83	0.01	0.59	0.00	2950	18.99	4.69	12.22	1.60	8.69	0.70
225	2.45	0.14	1.45	0.04	0.93	0.01	0.66	0.01	3000	19.31	4.84	12.43	1.66	8.84	0.72
250	2.73	0.18	1.61	0.05	1.04	0.02	0.74	0.01	3050	19.63	4.99	12.64	1.71	8.98	0.74
275	3.00	0.21	1.77	0.06	1.14	0.02	0.81	0.01	3100	19.96	5.14	12.84	1.76	9.13	0.77
300	3.27	0.25	1.93	0.07	1.24	0.02	0.88	0.01	3150			13.05	1.81	9.28	0.79
325	3.55	0.28	2.09	0.08	1.35	0.03	0.96	0.01	3200			13.26	1.87	9.42	0.81
350	3.82	0.33	2.25	0.09	1.45	0.03	1.03	0.01	3250			13.48	1.92	9.57	0.84
375	4.09	0.37	2.41	0.10	1.55	0.04	1.10	0.02	3300			13.67	1.97	9.72	0.86
400	4.36	0.42	2.58	0.12	1.66	0.04	1.18	0.02	3350			13.88	2.03	9.87	0.89
425	4.64	0.47	2.74	0.13	1.76	0.04	1.25	0.02	3400			14.09	2.09	10.01	0.91
450	4.91	0.52	2.90	0.14	1.86	0.05	1.33	0.02	3450			14.29	2.14	10.16	0.93
475	5.18	0.58	3.06	0.16	1.97	0.05	1.40	0.02	3500			14.50	2.20	10.31	0.96
500	5.46	0.63	3.22	0.18	2.07	0.06	1.47	0.03	3550			14.71	2.26	10.46	0.99
550	6.00	0.75	3.54	0.21	2.28	0.07	1.62	0.03	3600			14.91	2.32	10.60	1.01
600	6.55	0.89	3.86	0.25	2.49	0.08	1.77	0.04	3700			15.33	2.44	10.90	1.06
650	7.09	1.03	4.18	0.28	2.69	0.10	1.91	0.04	3800			15.74	2.56	11.19	1.12
700	7.64	1.18	4.51	0.33	2.90	0.11	2.06	0.05	3900			16.16	2.69	11.49	1.17
750	8.18	1.34	4.83	0.37	3.11	0.13	2.21	0.06	4000			16.57	2.82	11.78	1.23
800	8.73	1.51	5.15	0.42	3.31	0.14	2.36	0.06	4100			16.99	2.95	12.08	1.29
850	9.27	1.69	5.47	0.47	3.52	0.16	2.50	0.07	4200			17.40	3.09	12.37	1.35
900	9.82	1.88	5.79	0.52	3.73	0.18	2.65	0.08	4300			17.81	3.22	12.66	1.41
1000	10.81	2.28	6.44	0.63	4.14	0.22	2.95	0.09	4400			18.23	3.36	12.96	1.47
1050	11.46	2.50	6.76	0.69	4.35	0.24	3.09	0.10	4500			18.64	3.51	13.25	1.53
1100	12.00	2.72	7.08	0.75	4.56	0.26	3.24	0.11	4600			19.06	3.65	13.55	1.59
1150	12.55	2.96	7.40	0.82	4.78	0.28	3.39	0.12	4700			19.47	3.80	13.84	1.66
1200	13.09	3.20	7.73	0.89	4.97	0.30	3.53	0.13	4800			19.89	3.95	14.14	1.72
1250	13.64	3.45	8.05	0.96	5.18	0.33	3.68	0.14	4900					14.43	1.79
1300	14.18	3.71	8.37	1.03	5.39	0.35	3.83	0.15	5000					14.73	1.86
1350	14.73	3.98	8.69	1.10	5.59	0.38	3.98	0.16	5100					15.02	1.93
1400	15.28	4.26	9.01	1.18	5.80	0.40	4.12	0.18	5200					15.31	2.00
1450	15.82	4.54	9.33	1.26	6.01	0.43	4.27	0.19	5300					15.61	2.07
1500	16.37	4.84	9.66	1.34	6.21	0.46	4.42	0.20	5400					15.90	2.14
1550	16.91	5.14	9.98	1.42	6.42	0.49	4.56	0.21	5500					16.49	2.29
1600	17.46	5.45	10.30	1.51	6.63	0.52	4.71	0.23	5600					17.08	2.45
1650	18.00	5.77	10.62	1.60	6.84	0.55	4.86	0.24	5800					17.67	2.60
1700	18.55	6.10	10.94	1.69	7.04	0.58	5.01	0.25	6000					18.26	2.77
1750	19.09	6.44	11.27	1.78	7.25	0.61	5.15	0.27	6200					18.85	2.94
1800	19.64	6.78	11.59	1.88	7.46	0.64	5.30	0.28	6400					19.44	3.11
									6600						

Shaded area represents velocities over 5 fps. Use with caution where water hammer is a concern.

Diseño preliminar

- Luego de buscar en las Tablas de Características y pérdidas por fricción, se escogió una tubería de 2.0 pulgadas de diámetro.
- Cálculo de las pérdidas por fricción en la línea sub principal de 2 pulgadas de diámetro
 - Según la tabla en esta tubería se pierden 0.97psi /100 pies
 - $(100 \text{ pies de tubería sub principal}) (0.97\text{psi}/100\text{pies})= 0.97\text{psi}$

Las pérdidas por fricción en esta tubería es de 0.97 psi

Diseño preliminar

- Si se desea ser **más preciso** en este cálculo o no tiene las tablas de características de las tuberías se puede utilizar la ecuación de Hazen-Williams para obtener las pérdidas por fricción:

$$H_f = 0.00090194 \left(\frac{100}{C} \right)^{1.852} \left(\frac{Q^{1.852}}{d^{4.866}} \right) L$$

$$H_f = 0.00090194 \left(\frac{100}{140} \right)^{1.852} \left(\frac{32.3 \text{ gpm}^{1.852}}{2.067 \text{ in}^{4.866}} \right) 100 \text{ pies}$$

$$H_f = 0.88 \text{ psi}$$

Diseño preliminar

- Cálculo de pérdidas por fricción y tamaño de la tubería principal
- Cantidad de bancos por predio a regar
 - (Predio 200 pies de ancho) / (6 pies / banco) =
33.3 bancos ± 34 bancos
- Cantidad de agua a aplicar por predio
 - (34 bancos)(1.90 gpm/banco) =
64.6 gpm ± 65 gpm
- Buscamos en las Tablas de Características de Pérdidas por Fricción:
 - Se escogió la tubería de 3 pulgadas de diámetro
 - Según la tabla en esta tubería se pierden 0.32psi /100 pies
 - (300 pies de tubería principal de 3" de diámetro) (0.32psi/100pies) =
0.96 psi de pérdidas por fricción

Diseño preliminar

- Utilizando la ecuación de Hazen-Williams para obtener las pérdidas por fricción

$$H_f = 0.00090194 \left(\frac{100}{C} \right)^{1.852} \left(\frac{Q^{1.852}}{d^{4.866}} \right) L$$

$$H_f = 0.00090194 \left(\frac{100}{150} \right)^{1.852} \left(\frac{64.6 \text{ gpm}^{1.852}}{3.230 \text{ in}^{4.866}} \right) 300 \text{ pies}$$

$$H_f = 0.957 \text{ psi}$$

Diseño preliminar

- Existen ecuaciones para calcular las pérdidas menores o pérdidas por fricción en los accesorios de los sistemas de riego.
 - Como esto es un **diseño preliminar** se puede estimar estas pérdidas asumiendo un 15 % del total de las pérdidas por fricción.
- Siguiendo nuestro ejemplo:
 - Pérdidas en el lateral de riego = 8.0 psi
 - Pérdidas en tubería sub principal = 0.97 psi
 - Pérdidas en la tubería principal = 0.96 psi
 - Pérdidas aproximada en los filtros = 15.0 psi
 - 24.93 psi**

Diseño preliminar

- Las pérdidas menores se pueden estimar como sigue:

$$(24.93 \text{ psi}) (0.15)$$

$$= 3.734 \text{ psi}$$

- Las pérdidas totales por fricción se pueden estimar:

$$(24.93 \text{ psi} + 3.74 \text{ psi})$$

$$= 28.67 \text{ psi}$$

La Carga Dinámica Total para el sistema de riego es de

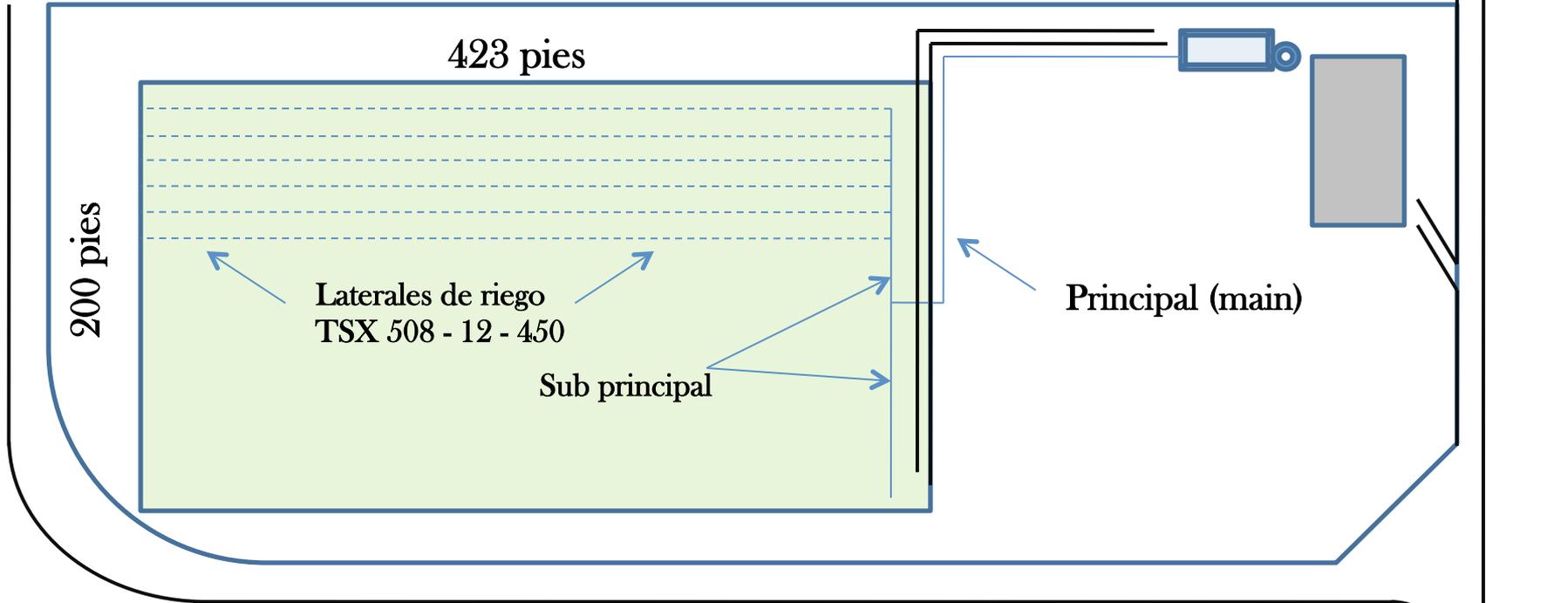
$$(28.67 \text{ psi})(1 \text{ pies}/0.433 \text{ psi}) =$$

$$\text{CDT} = 66.2 \text{ pies}$$

Diseño Preliminar del Sistema de Riego por Goteo

para la finca del Sr. Fulano de Tal

Ubicación : Municipio de Guánica



Cultivo : Hortalizas Área: aproximadamente 2 cuerdas

Fuente de Agua: pozo profundo Capacidad : 100 gpm

Consumo estimado de agua: 13,228 gal/día Carga dinámica total : 66 pies ó 28.57 psi

Posibles Filtros: hidrociclónico y filtro de malla con tamiz #200

Tubería: <u>principal</u>	<u>PVC clase 160</u>	<u>C = 150</u>	<u>3" diámetro</u>
<u>Sub principal</u>	<u>Polyethylene SDR - 7</u>	<u>C = 140</u>	<u>2" diámetro</u>



Uniformidad en la aplicación de agua

Expresión matemática que relaciona la aplicación del agua a las plantas a través del campo

Uniformidad de aplicación en sistemas de riego

- **Utilizando el coeficiente de variabilidad de los equipos nuevos**

• $U =$

$$\left[1 - \frac{1.27 \times CV}{\sqrt{n}} \right] \times \left[\frac{q_{\min}}{q_{ave}} \right] \times 100$$

- **Utilizando la variabilidad del flujo en el campo.**

• $U = (1 - V) \times 100$

Clasificación de valores de Uniformidad :

- 90 – 95 % excelente
- 80 – 89 % bueno
- 70- 79 % aceptable
- 60 – 69 % pobre
- < 59 % no aceptable



Uniformidad en sistemas nuevos

- $$U = \left[1 - \frac{1.27 \times CV}{\sqrt{n}} \right] \times \left[\frac{q_{\min}}{q_{\text{ave}}} \right] \times 100$$

- U = uniformidad de distribución %

- n = numero de emisores /planta

- Usar 1 si la distancia entre emisores es \leq 1 pies

- CV = coeficiente de variación de manufactura de emisores

- Afectado por el fabricante

- q_{\min}/q_{ave} = razón de flujo de agua

- Afectado por diferencias en presión

Uniformidad en sistemas de riego en uso actual

$$U = (1 - V) \times 100$$

- **U = uniformidad de distribución**
- **V = Coeficiente de variación**
 - **Variabilidad del flujo individual de cada gotero en relación al flujo promedio de todos los goteros**



Procedimiento de evaluación de campo

- Escoger al azar 18 goteros de cada predio.
- Obtener varios envases de 200 ml.
- Operar el sistema a la presión de diseño y dejarlo funcionar hasta remover el aire de las líneas.
- Medir el tiempo necesario para llenar los envases en cada uno de los goteros muestreados.
- Calcular T máxima sumando los 3 tiempos mayores muestreados.
- Calcular T mínima sumando los tres tiempos menores muestreados.
- Utilizar la grafica de uniformidad de campo para determinar la clasificación.

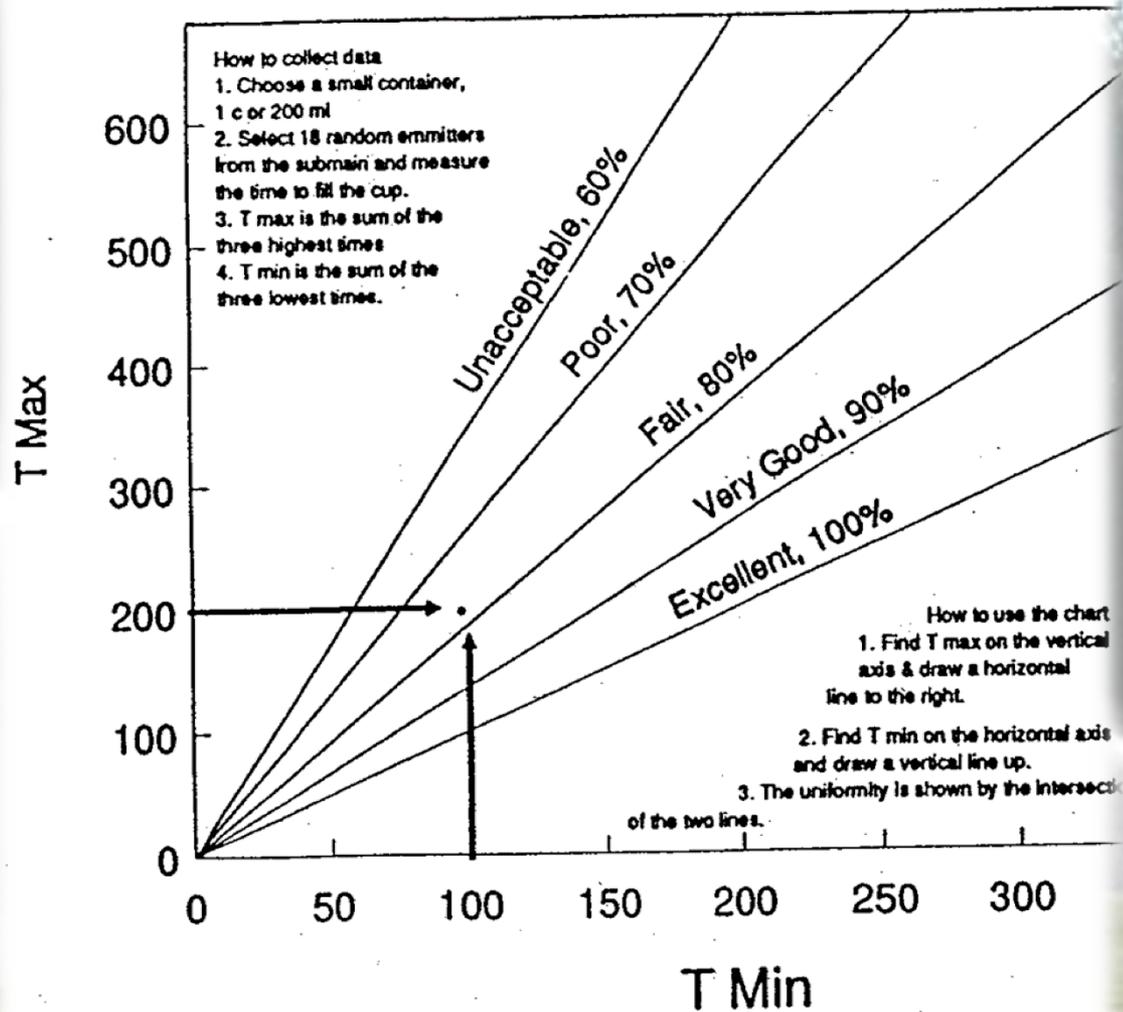


Figure 3. Field method for calculating system uniformity.

Identificación de problemas

Falla	Causa	Remedio
1. Uniformidad de 60 %	Pobre recopilación de datos Obstrucción en los filtros, líneas o goteros	Tomar mas goteros como muestra Limpiar filtros, lavar líneas y goteros con ácido Limpiar goteros tapados o reemplazarlos
2. Diferencia considerable en T máximo y T mínimo.	Posibilidad de línea de goteros rota o tapada	Reparar las líneas rotas y limpiar líneas tapadas
3. Pérdida de presión debido a la excesiva fricción de las líneas	Tubería menor a la requerida en el diseño	Revisar diseño y corregir fallas.



Gracias

La Universidad de Puerto Rico en cooperación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos