



**Artículo: ANEI-S10029**

**X CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN**  
Simposio 1. Ingeniería de Riego

Chihuahua, Chihuahua, México, 16-18 de agosto de 2000

**ÍNDICES PARA EL DISEÑO Y LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE RIEGO (CASO DE ESTUDIO: MÓDULO DE RIEGO DE JARAL, GTO.)**

**J.M. Angeles Hernández<sup>1</sup>, E. Peña Peña<sup>1</sup>, J.C. Herrera Ponce<sup>1</sup>**

**Resumen**

En la elaboración de proyectos de tecnificación del riego parcelario existe una amplia diversidad de criterios o índices de diseño y de evaluación dentro de cada una de las fases de elaboración técnica del proyecto. Dentro de la fase de diseño agronómico se pueden considerar los siguientes índices: a) la flexibilidad del sistema de riego, b) el gasto modular a utilizar, c) la superficie que domina cada hidrante, y d) la eficiencia de aplicación parcelaria. La metodología en este trabajo consistió en retomar la información básica de un proyecto de tecnificación, utilizando entubamiento de baja presión, en una superficie de 281 ha del Módulo de Riego de Jaral, Gto., se calcularon y se evaluaron los índices de flexibilidad, y el de gasto modular. Con esta información se realizó el diseño hidráulico de la red y se obtuvo su cotización. Finalmente se compararon los costos por hectárea para diferentes grados de flexibilidad y de gastos modulares.

1. Los resultados y conclusiones a que se llegan mencionan que el hecho de que los sistemas de riego entubados de baja presión se diseñen con cierto grado de flexibilidad (en este caso del 25 %) en el servicio de riego genera un incremento en el costo del sistema de riego. Sin embargo, cuando se manejan gastos modulares pequeños (en este caso de 30 l/s) el incremento en costo para este caso resultó solamente de un 5.6 %. Por otro lado, el diseñar sistemas de riego entubados con gastos modulares, por ejemplo, como en el caso de estudio de 30 l/s, no implica que con un gasto modular mayor (40 l/s) se tenga una más alta flexibilidad en el servicio de riego, pero, si resulta un incremento muy significativo en el costo del sistema de riego, de alrededor de un 20 %.

---

<sup>1</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532. Col. Progreso, Jiutepec, Morelos. 62550.  
jangeles@tlaloc.imta.mx

## Introducción

En la elaboración de proyectos de tecnificación del riego parcelario existe una amplia diversidad de criterios o índices de diseño y de evaluación dentro de cada una de las fases del diseño del proyecto. Dentro de la fase de diseño agronómico se pueden considerar los siguientes índices: a) Flexibilidad del sistema de riego b) el gasto modular a utilizar, c) la superficie que domina cada hidrante, y d) la eficiencia de aplicación parcelaria.

### *a) Flexibilidad del sistema de riego*

En el diseño de la red de distribución es indispensable considerar el método que se utiliza para programar la entrega del agua a los usuarios con la finalidad de establecer condiciones de proyecto.

En un servicio de riego por tandeo riguroso, los usuarios riegan en un orden fijado previamente, utilizando el gasto modular en el intervalo crítico de riego, permaneciendo el gasto constante y el tiempo proporcional a la superficie de cada parcela. En el servicio de riego por tandeo controlado, los usuarios riegan en un orden con cierto grado de flexibilidad, esto significa que un usuario puede volver a regar antes de transcurrir el intervalo crítico de riego. En cambio en el servicio de riego a la demanda libre probabilística, los usuarios pueden regar cuando quieran, con un gasto prefijado y por el tiempo determinado, aceptando que cuando se sobrepase la capacidad de la red, debe esperar a que se libere el servicio de riego. El tiempo de espera depende del grado de flexibilidad empleado en el diseño.

Villamil (1999) menciona que tomando como referencia el intervalo de riego crítico es posible definir una relación que defina desde el punto de vista agronómico a la flexibilidad en el servicio de riego; dicha expresión es la siguiente:

$$Flexibilidad = \left(1 - \frac{Tr}{Ic}\right) \times 100$$

En donde:

Tr Es el tiempo en que se aplica la lámina de riego a toda la superficie (días) con la capacidad total del sistema

Ic Es el intervalo crítico de riego (días)

La expresión anterior nos dice que una red con servicio de riego flexible tiene capacidad de regar su superficie dominada en un tiempo menor al intervalo crítico, y conforme el servicio es más flexible, el tiempo de riego es menor y la diferencia entre este y el intervalo crítico se incrementa.

### *b) Gasto modular*

El tamaño del gasto modular en cada toma de riego (hidrante) repercute directamente y de manera sensible en el costo del sistema de riego. A mayor gasto modular mayor será el costo del sistema de riego. Se recomienda que con el gasto modular seleccionado se pueda regar en un período de uno a dos días la superficie promedio de las parcelas del proyecto.

### *c) Superficie que domina cada hidrante*

Este concepto está relacionado con la superficie promedio de cada parcela, con el gasto modular utilizado, y con la relación social entre usuarios. En general se recomienda ubicar un hidrante por cada 3 o 4 ha, y /o un hidrante al menos por parcela cuando existen problemas sociales entre usuarios.

#### *d) Eficiencia de aplicación*

En el diseño de sistemas de riego parcelario por gravedad, normalmente se utilizan valores de eficiencias de riego que varían desde un 65 % hasta un 80 %; el valor seleccionado depende del grado de tecnificación existente en el área de riego.

Para aplicar estos índices de diseño y de evaluación, se trabajó en un proyecto de tecnificación del riego, que la Comisión Nacional del Agua encomendó al IMTA para su realización en el presente año. Este proyecto se realizó en una superficie del Módulo de Riego de Jaral, Guanajuato.

## **Materiales y métodos**

Se tomó la información básica del proyecto de tecnificación de una superficie de 281 ha del Módulo de riego de Jaral, Gto. Se calcularon y se evaluaron en su caso el índice de flexibilidad, y el de gasto modular. Con esta información se realizó el diseño hidráulico de la red y se obtuvo su cotización. Finalmente se compararon los costos por hectárea para diferentes grados de flexibilidad y gastos modulares.

#### *Localización*

El proyecto de la zona de riego se localiza geográficamente en el paralelo 20.38° de latitud norte; y el meridiano 101.03° de longitud este, a una altura promedio sobre el nivel del mar de 1,730 metros. La zona del proyecto se localiza en el municipio de Jaral, en el Estado de Guanajuato.

#### *Fuente de abastecimiento*

La zona de riego es abastecida con agua del brazo derecho del Río Lerma, y con este proyecto se pretende bombear el agua a través de un cárcamo de bombeo.

#### *Superficie y cultivos*

La superficie total considerada en este proyecto es de 281 ha. Compuesta por un área de 218 ha en la margen derecha y otra de 63 ha en la margen izquierda correspondiente al brazo derecho del río Lerma. La información de los cultivos considerados en el análisis para determinar las necesidades de riego, se obtuvieron de la Jefatura del Área de Riego y Drenaje del Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Gto. Los cultivos anuales más importantes de la zona de riego son trigo, garbanzo, cebada, chile verde y frijol, en el ciclo de otoño-invierno; y los cultivos de maíz, sorgo, sandía y melón para el ciclo de primavera-verano. Los cultivos perennes de la zona que se cultivan actualmente son: alfalfa, fresa y pastizales. En la tabla 1 se presentan los principales cultivos, las áreas propuestas, y las fechas de siembra.

Tabla 1. Principales cultivos del ciclo otoño invierno y perennes, superficies, y fechas de siembra.

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Fecha de siembra</b>
Trigo	157	52	20 de noviembre
Garbanzo	11	4	01 de noviembre
Cebada	64	23	25 de diciembre
Frijol	9	3	01 de febrero
Chile verde	6	2	01 de enero
Alfalfa	34	13	15 de octubre
<b>Total</b>	<b>281</b>	<b>100</b>	

*Requerimiento de riego y capacidad del sistema*

Para calcular el requerimiento de riego de los cultivos y la capacidad del sistema de riego, se utilizó el programa de cómputo CROPWAT de la FAO. El programa aplica la fórmula de Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de un cultivo referencia, y el método del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para obtener la precipitación pluvial efectiva. En las tablas 2 y 3 se presentan los resultados.

Tabla 2. Requerimiento de riego neto mensual (mm/mes) por cultivo

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Trigo	133.12	156.6	55.12	0	0	0	0	0	0	0	18.08	47.68
Garbanzo	139.28	89.44	23.28	0	0	0	0	0	0	0	37.06	124.7
Cebada	57.04	157.8	156.6	32.32	0	0	0	0	0	0	0	8.24
Frijol	0	64.08	158.8	164.6	22.24	0	0	0	0	0	0	0
Chile verde	95.76	89.6	157.8	98.48	0	0	0	0	0	0	0	0
Alfalfa	39.68	54.32	76.48	136.2	119.2	62.32	50.16	51.28	24.48	14.56	37.44	37.04

Con la superficie de los cultivos que se presentan en la tabla 2, se calcularon los gastos brutos en litros por segundo necesarios por mes y por cultivo, considerando eficiencias de conducción del 98 % y de aplicación parcelaria del 70 %, y considerando diferentes grados de flexibilidad del servicio de riego; mismos que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Gasto mensual bruto (l/s), considerando cultivos del ciclo O-I y alfalfa. Dos casos: para tandeo riguroso y para servicio de riego con cierta flexibilidad.

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Trigo	146.9	172.9	60.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	52.6
Garbanzo	10.8	6.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	9.6
Cebada	25.7	71.0	70.4	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7
Frijol	0.0	4.1	10.0	10.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chile verde	4.0	3.8	6.7	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Alfalfa	9.5	13.0	18.3	32.5	28.5	14.9	12.0	12.3	5.9	3.5	8.9	8.9
<b>Tandeo riguroso</b>	<b>196.9</b>	<b>271.6</b>	<b>168.0</b>	<b>61.7</b>	<b>29.9</b>	<b>14.9</b>	<b>12.0</b>	<b>12.3</b>	<b>5.9</b>	<b>3.5</b>	<b>31.8</b>	<b>74.8</b>
<b>6/7 días de la semana</b>	<b>229.7</b>	<b>316.9</b>	<b>196.1</b>	<b>71.9</b>	<b>34.9</b>	<b>17.4</b>	<b>14.0</b>	<b>14.3</b>	<b>6.8</b>	<b>4.1</b>	<b>37.1</b>	<b>87.3</b>

En el caso del riego con tandeo riguroso, es decir, regando las 24 horas del día y los siete días de la semana se obtiene para el mes de febrero, un gasto de 271.6 l/s. Sin embargo, considerando únicamente seis, de los siete días disponibles de la semana; esto es, dejando un día para las labores de mantenimiento del equipo de bombeo; resulta un gasto mensual máximo para el mes de febrero de 316.9 l/s. Sin embargo, el gasto total requerido por cuestiones del gasto modular de 30 l/s y de la topología de la zona de riego, es de 360 l/s., capacidad que deberá tener la planta de bombeo.

### *Eficiencias y láminas de riego*

El sistema de riego del proyecto, tiene tuberías como obras de conducción y distribución del agua de riego, por lo que, la eficiencia de conducción considerada para el proyecto fue de 98 %. Para riego parcelario por gravedad se consideró una eficiencia de aplicación del 70 %. Con base en la información de las características físicas del suelo obtenemos para el caso del suelo de textura franca, considerando para el caso del riego de germinación, y para una profundidad de mojado de 60 cm; se obtuvo una lámina neta de riego de 9.0 cm.

### *Intervalo de riego crítico*

De la información presentada en la tabla 1, se tiene que el máximo requerimiento de riego para el trigo es de 5.6 mm por día y se presenta en el mes de febrero, y para una lámina de riego neta de 9.0 cm; se tiene que el intervalo de riego crítico es de 16 días. Lo anterior implica que para regar la superficie total de 281 ha con un gasto total de 360 l/s y aplicando una lámina de riego neta de 9 cm, se requiere un tiempo total de operación de la planta de bombeo de 11.9 días.

### *Selección del gasto unitario de riego*

Las longitudes de riego promedio de las parcelas beneficiadas en el proyecto es de 200 metros, la textura del suelo es franca, una lámina neta de riego de 9 cm, y un ancho de surco de 80 cm; resulta un gasto por surco de 1.0 l/s por surco.

### *Ubicación de las tomas (hidrantes)*

Las tomas de riego se ubicaron en los sitios más altos de cada parcela, con el criterio de instalar al menos un hidrante por parcela. Cada hidrante domina anchos de riego máximo de 200 metros, que deberán ser cubiertos mediante varios frentes de riego.

### *Presión requerida en el hidrante y diseño hidráulico de la red*

Para regar con tubería de compuertas de baja presión y considerando que cada hidrante tienen un dominio promedio de 200 m por medio de tubería con compuertas de 6 pulgadas y un gasto de 30 l/s, se requiere en cada hidrante (válvula de riego) una carga hidráulica de 2.8 m.

El sistema de riego se dividió en dos subsistemas, uno para regar la superficie de 218 ha y la otra para una superficie de 63 ha.

Las pérdidas de carga hidráulica debido a la fricción se calcularon con la fórmula de Hazen-Williams con coeficiente de fricción  $C = 145$ . Para las pérdidas de fricción locales se estimaron utilizando un 10% de las pérdidas por fricción calculadas en la red de conducción y de distribución.

## **Resultados y discusión**

### *Tubería requerida y piezas especiales*

La longitud total de tubería fue de 19,147 m., de PVC en clase 5 serie métrica, en diámetros que varían desde 20 hasta 6 pulgadas. En la tabla 4 se presenta un resumen de los diámetros y longitudes de tubería. Se consideraron las siguientes piezas: hidrantes: 110; válvulas de aire: 48; válvulas de alivio: 24; válvulas de mariposa: 5; y 3,000 m. de tubería con compuertas.

Tabla 4. Longitud y diámetro de tubería para la red de conducción y de distribución

Diámetro	Cantidad (m)	Clase	Material
500 mm (20")	697	5	PVC
450 mm (18")	1,023	5	PVC
400 mm (16")	1,036	5	PVC
355 mm (14")	703	5	PVC
250 mm (10")	3,303	5	PVC
200 mm (8")	3,391	5	PVC
160 mm (6")	7,347	5	PVC
<b>Subtotal</b>	<b>19,147</b>		

### Planta de bombeo y Operación del sistema de riego

La planta de bombeo proyectada para la zona de riego esta integrado por la obra de toma, el sedimentador, el sistema de prefiltrado, el cárcamo de bombeo, la caseta de bombeo, el equipo de bombeo, el sistema eléctrico y el sistema de control y medición. En la tabla 5 se presenta la carga dinámica total de cada unidad de bombeo, así como la capacidad de los equipos seleccionados. El sistema de riego operará mediante dos sistemas de bombeo independientes: uno con capacidad de 270 l/s y otro de 90 l/s.

Tabla 5. Número de bombas y capacidad para cubrir la demanda de riego del proyecto

Capacidad total de la red (l/s)	Bomba 1 (l/s)	Bomba 2 (l/s)	Bomba 3 (l/s)	Bomba 4 (l/s)	Bomba 5 (l/s)	Carga dinámica total (m)
270	90	60	60	60		25.6
90					90	11.6

### Costos

En la tabla 6 se presentan un resumen de los costos de la tecnificación del sistema de riego.

Tabla 6. Relación de costos por concepto de la tecnificación del riego en una superficie de 281 ha

CONCEPTO	IMPORTE (\$)
EXCAVACIÓN RELLENO Y ATRAQUES	268,714
TUBERÍA PRINCIPAL	3,229,435
TUBERÍA INTERPARCELARIA	1,253,829
ACCESORIOS PRINCIPAL	106,723
ACCESORIOS INTERPARCELARIA	186,725
PARCELARIO (hidrantes, codos, tubería compuertas)	448,038
CÁRCAMO DE BOMBEO	262,920
EQUIPO ELÉCTRICO, ELÉCTROMECAÁNICO E HIDRÁULICO	546,955
<b>GRAN TOTAL (\$)</b>	<b>6,303,339</b>
<b>COSTO UNITARIO (\$/ha)</b>	<b>22,432</b>

Como puede observarse en la tabla anterior, el costo de la tubería de conducción principal incrementa grandemente el costo total del sistema; las principales causas de esto es que la zona de riego tiene una forma alargada y que la zona de riego consiste de pequeñas áreas semicompactas.

## Índices de evaluación

Se analizaron los índices de flexibilidad en el servicio de riego y el índice del gasto modular; los cuales se mencionan a continuación:

### a) Flexibilidad del sistema de riego

De la tabla 2 se tomó la capacidad del sistema de riego para tandeo riguroso y para una cierta flexibilidad, y en la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 7. Análisis del índice de flexibilidad en el servicio del riego. Gasto modular de 30 l/s

Concepto	Capacidad mínima (l/s)	Capacidad ajustada (l/s)	Porcentaje de flexibilidad (%)	Costo total del sistema (\$)	Costo por hectárea (\$)
Tandeo riguroso	271.6	270	1.2	5'947,111	21,164
Con flexibilidad	316.9	360	25	6'281,148	22,353

Como se puede ver en la tabla anterior, el utilizar una capacidad total en el sistema de 360 l/s, permite tener una flexibilidad del 25 %, lo cual quiere decir que el usuario podrá disponer del servicio de riego bajo el concepto de demanda libre, en una ocasión de cada cuatro veces que lo requiera. El incremento en el costo de la flexibilidad utilizada es con respecto al tandeo riguroso poco significativo; más aún si se consideran las ventajas que se obtienen con el incremento en la oportunidad en el servicio del riego. Este incremento del costo es poco significativo debido principalmente a que el gasto modular es pequeño; es decir, que el costo diferencial se incrementa en la tubería de la red principal (y en la planta de bombeo en este caso), que es en donde se requiere una mayor capacidad del sistema

### b) Gasto modular

Utilizando el gasto total de 360 l/s, se hicieron varios análisis del gasto modular; los resultados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Análisis del índice del gasto modular. Flexibilidad del sistema de riego y costos.

Gasto modular (l/s)	Capacidad total (l/s)	Porcentaje de flexibilidad (%)	Costo total del sistema (\$)	Costo por hectárea (\$)
30	360	25	6'281,148	22,353
40	360	25	7'501,521	26,696
60	420	36.5	8'510,096	30,285

Los comentarios del punto anterior (flexibilidad del sistema de riego) se reflejan cuando analizamos diferentes gastos modulares. En la tabla 8 se observa que para una misma flexibilidad (25 %) los costos se incrementan de manera significativa. Siendo estos de \$22,353/ha para un gasto modular de 30 l/s y de \$ 26,696/ha utilizando un gasto modular de 40 l/s.; representando un incremento del 19.4 %. Este incremento se acentúa mas cuando el gasto modular para este proyecto es de 60 l/s, en donde el incremento del costo con base al gasto modular de 30 l/s es del 35.5 %; el cual es altamente significativo en el costo de cualquier sistema de riego.

Por lo anterior, se considera que en la tecnificación de los sistemas de riego entubados es muy importante definir cuidadosamente el tamaño del gasto modular, ya que repercute de manera muy significativa en el costo del entubamiento del sistema de riego. En el presente proyecto se analizaron dos alternativas: la primera con un gasto de 30 l/s y el otro con 40 l/s. La principal ventaja de utilizar un gasto de 40 l/s es que el tiempo de riego por parcela (no para todo el sistema de riego) es menor con respecto al gasto de 30 l/s. Sin embargo, el costo económico en cuanto a la adquisición de la tubería y de las piezas es mayor; ya que todos los tramos finales de tubería de la red, así como la tubería con compuertas, tienen que ser de un diámetro mayor. Es importante que una vez que se haya definido el

tamaño del gasto modular, los usuarios estén debidamente informados de las ventajas y desventajas del gasto seleccionado.

## Conclusiones

2. El que los sistemas de riego entubados de baja presión, dispongan de cierto grado de flexibilidad (25 %) en el servicio de riego implica un incremento en el costo del sistema de riego. Sin embargo, cuando se manejan gastos modulares pequeños (por ejemplo, en este caso 30 l/s) el incremento en costo para este caso resultó de tan sólo un 5.6 %.
3. El diseñar sistemas de riego entubados con gastos modulares, por ejemplo, como en el caso de estudio de 30 l/s, no implica que con un gasto modular mayor (40 l/s) se tenga una más alta flexibilidad en el servicio de riego, pero, si resulta un incremento muy significativo en el costo del sistema de riego, de alrededor de un 20 %.

## Referencias

1. IMTA. Proyecto ejecutivo de baja presión Km 13+400 brazo derecho, *Río Lerma, Módulo Jaral del Progreso, DR 011, Alto Río Lerma, Gto. Julio, 2000.*

1. Villamil P. J. Tesis Profesional. Análisis de las características de diseño de redes de conducción de agua para riego. 1999. Universidad Autónoma Chapingo. Junio. 2000. Chapingo, México.