



**IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**  
 Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.

# CONSTRUCCION DE UNA CENTRAL MINIELECTRICA PARA LA VENTA Y/O AUTOCONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN EL MODULO DE RIEGO IV-1 "CULIACANCITO" A.C

*Mario Alberto Montiel Gutiérrez*  
*Luis Fernando Velázquez Serrano*  
*Alfonso Osuna Duarte*

**Octubre de 2018**



**AGUASCALIENTES**  
GOBIERNO DEL ESTADO  
**Contigo al 100**

**SEDRAE**  
SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL Y AGROEMPRESARIAL

**SEMARNAT**

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

**CONAGUA**

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

**SAGARPA**

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACIÓN



**IMTA**  
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES**



**AMERD**

ASOCIACIÓN MEXICANA DE EMPRESAS DE RIEGO Y DRENAJE A.C.



ASOCIACIÓN DE USUARIOS JUNTA DE AGUAS DEL INSTITUTO DE RIEGO IV-1 A.C.



**SM GEODIM**  
MODELOS DE INFORMACIÓN DE LA TIERRA



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## REFORMA ENERGETICA Y LEY DE TRANSICIÓN ENERGETICA

- REFORMA ENERGETICA (2012)
- LEY DE ENERGIA ELECTRICA (2014)
- LEY DE TRANSICIÓN ENERGETICA (2015)
- ARTICULO 80 DE LAN EN MATERIA DE GEE DE PEQUEÑA ESCALA (2015)

México promueve la generación de electricidad a partir de energías limpias, señaladas en la Ley de Transición Energética (LTE), con una meta a cumplir de un 25% para el 2018, del 30% para el 2021 y 35% para el 2024. Un escenario de oportunidad para incrementar la hidroelectricidad consiste en la construcción de proyectos en pequeñas centrales hidroeléctricas abastecidas por el gasto de los canales de riego, lo que contribuirá a lograr, mejorar y alcanzar las metas establecidas en energías renovables del sector eléctrico.



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## REFORMA ENERGETICA Y LEY DE TRANSICIÓN ENERGETICA

### **CRITERIO DE INTERPRETACION DE LOS ARTICULOS 80 DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES Y 120 DE SU REGLAMENTO EN MATERIA DE GENERACION DE ENERGIA HIDROELECTRICA EN PEQUEÑA PRODUCCION O ESCALA**

**PRIMERO.-** El presente criterio de interpretación es de aplicación obligatoria para las unidades administrativas internas de la Comisión Nacional del Agua, y tiene por objeto homologar el criterio a seguir en la aplicación del artículo 80 de la Ley de Aguas Nacionales, en vinculación con el artículo 120 de su Reglamento.

**SEGUNDO.-** No se requerirá de concesión para el aprovechamiento de aguas nacionales para la generación de energía hidroeléctrica en pequeña producción o escala, cuando la capacidad de generación no exceda de 30 Megavatios y no se desvíen las aguas, ni se afecte su cantidad y calidad.

**TERCERO.-** Queda sin efectos cualquier instrumento administrativo que limite el aprovechamiento de aguas nacionales en la generación de energía hidroeléctrica en pequeña producción o escala, cuando la capacidad de generación no exceda de 30 Megavatios.

**CUARTO.-** En el supuesto de que la capacidad de generación de energía hidroeléctrica exceda de 30 Megavatios, o estando dentro de dichos parámetros se desvíen las aguas o se afecte su cantidad y calidad, el particular deberá solicitar la concesión correspondiente, la cual se otorgará o negará en los términos previstos por la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, incluyendo las limitaciones que para tal efecto señalen las disposiciones normativas que establecen vedas, reservas y zonas reglamentadas, y demás instrumentos administrativos aplicables.

**QUINTO.-** En todo caso, la construcción de las obras de infraestructura que se requieran para la generación de energía hidroeléctrica en pequeña producción o escala, a que se refiere el presente criterio, requerirá de permiso otorgado por los Titulares de la Subdirección General Técnica, Organismo de Cuenca o Direcciones Locales atendiendo a la materia de su competencia.

**SEXTO.-** El permiso de construcción de obra a que se refiere el numeral anterior, se solicitará por el particular a través del trámite “CONAGUA-02-002. Permiso para realizar obras de infraestructura hidráulica”.



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Módulo de Riego IV-1 "Culiacancito". A.C. en Sinaloa.

Estado de Sinaloa  
Distritos de Riego 010



D.R. 010 "Culiacán- Humaya"

Modulo IV-1 "Culiacancito"





**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Punto de Control km 37+320 del CPH





# IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE

Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



COMPUERTA AUTOMATIZADA  
KM 37+320



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Punto de Control del Módulo IV-1 Km 37+320



**COMPUERTA AUTOMATIZADA**  
**KM 37+320**



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Canal Lateral km 37+320 del CPH





**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Canal Lateral km 37+320 del CPH



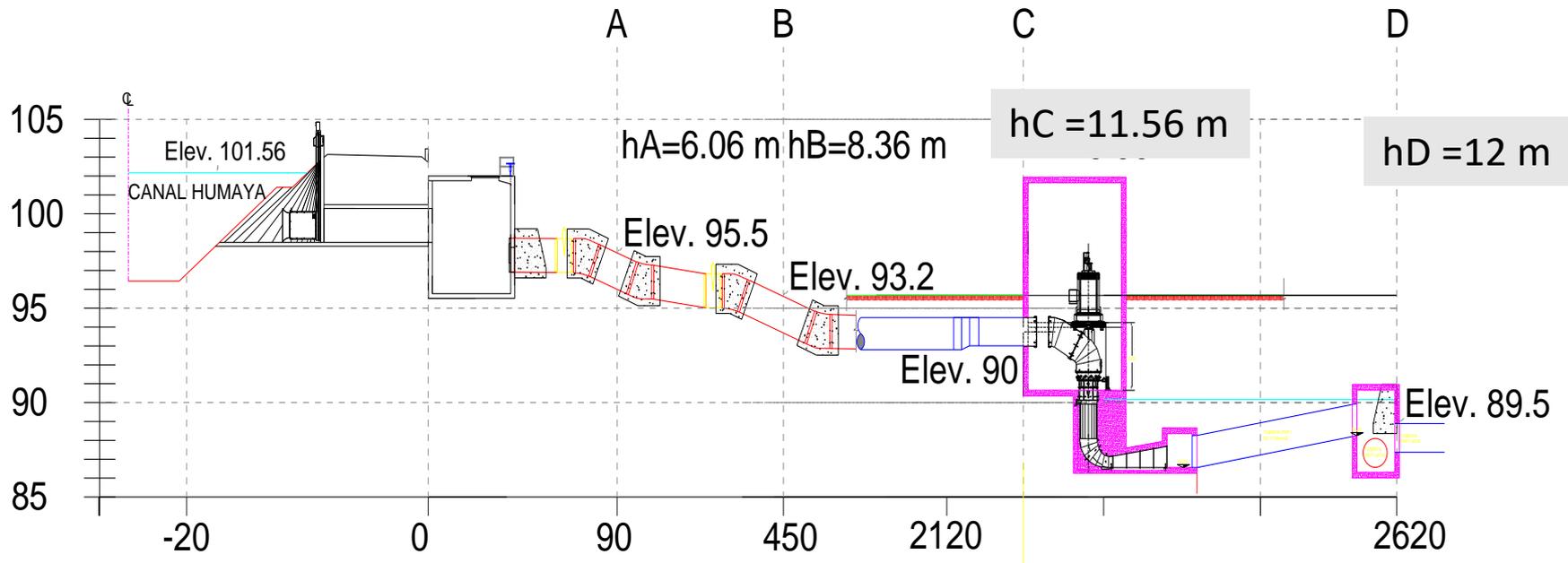
KM 0+000 Compuerta de Gasto Constante tipo  
SLIPMETER con control manual y automatización



Km 0+780



## Carga Bruta (H) Disponible por Alternativa Analizada





**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Canal Lateral km 37+320 del CPH



Km 0+090 Opción A



Km 0+450 Opción B



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Canal Lateral km 37+320 del CPH



Km 2+125 Opción C



Km 2+620 opción D



IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Diseño agronómico del canal entubado

$$Q_c = \frac{27.778 * S * RR_{dd} * IR_c}{N_h * N_d * E_a * E_c}$$

$$Q = \frac{27.778 * 5,660 \text{ ha} * 0.487 \text{ cm} * 15 \text{ días}}{15 \text{ días} * 24 \text{ horas} * 0.65 * 0.80} = 6,135 \text{ l/s}$$

$$\text{CUR} = 1.1 \text{ l/s/ha}$$



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Estimación de las demandas mensuales

Meses y año de operación del canal	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Distribución mensual de la demanda (%)	6.54	20.05	16.86	56.66	89.33	100.00	95.28	40.29	7.82
Qm = Caudal promedio mensual (l/s)	400	1,227	1,032	3,468	5,467	6,120	5,831	2,466	479
Velocidad (m/s) (recomendable de 1 a 3 m/s)	0.16	0.48	0.41	1.37	2.16	2.41	2.3	0.97	0.19
% Sobre el flujo de Diseño	0.07	0.2	0.17	0.57	0.89	1	0.95	0.4	0.08



IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Diseño Hidráulico del Sistema

$$H_n = H_b - (H_v + H_f + \sum_1^n H_l)$$

$$H_n = H_b - H_{vi} \left( 1 + f \frac{L}{D} + K_r + K_c + K_{cm} + K_e + K_s \right)$$

Donde:

$H_b$  es la carga hidráulica bruta

$H_n$  es la carga hidráulica neta

$H_f$  es la pérdida de carga por fricción

$H_l$  es la pérdida de carga localizadas en el recorrido. Con un valor máximo "n".

$f$  es el coeficiente de fricción debido a la rugosidad de la tubería PRFV

$L$  es la longitud de la tubería

$D$  es el diámetro interior de la tubería

$H_{vi} = \frac{v_i^2}{2g}$  es la carga de velocidad en el punto  $i$  considerado.

$K_r$  es el coeficiente de pérdidas de carga por rejilla.

$K_c$  es el coeficiente de pérdidas de carga por codos.

$K_{cm}$  es el coeficiente de pérdidas de carga por compuerta.

$K_e$  y  $K_s$  son coeficientes de pérdidas de carga por entrada y salida.



IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Diseño Híbrido de Riego e Hidroenergía (kW)

$$P_{media} = \eta \gamma Q_m H_n \left( \frac{9.81}{1000} \right)$$

Donde:

$P_{media}$  = Potencia media en kW con base en el factor de conversión (9.81/1000) de  $kg_f \text{ m/s}$ .

$\gamma$  = Peso volumétrico del agua en  $kg_f / m^3$

$Q_m$  = Gasto medio mensual turbinado en  $m^3/s$

$H_n$  = Carga neta más frecuente en m

$\eta$  = Eficiencia del conjunto turbogenerador:  $\eta = \eta_t \times \eta_g$  en (%)

$\eta_t$  = Eficiencia de la turbina en %

$\eta_g$  = Eficiencia del generador en %.



IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Producción de energía (kWh)

La generación de energía media mensual y/o anual ( $G_{media}$ ) se calcula con base a las horas efectivas generadas en el intervalo de tiempo con operación efectiva del gasto medio.

$$G_{media} = P_{media} * \text{No horas/año}$$

Donde:  $P_{media}$  esta en kW,  $G_{media}$  en kWh y No horas/año = **8,760 horas** para efectos de generación.

Esto corresponde a los meses de octubre a mayo, lo cual corresponde a la temporada de riegos en el Ciclo Otoño-Invierno.

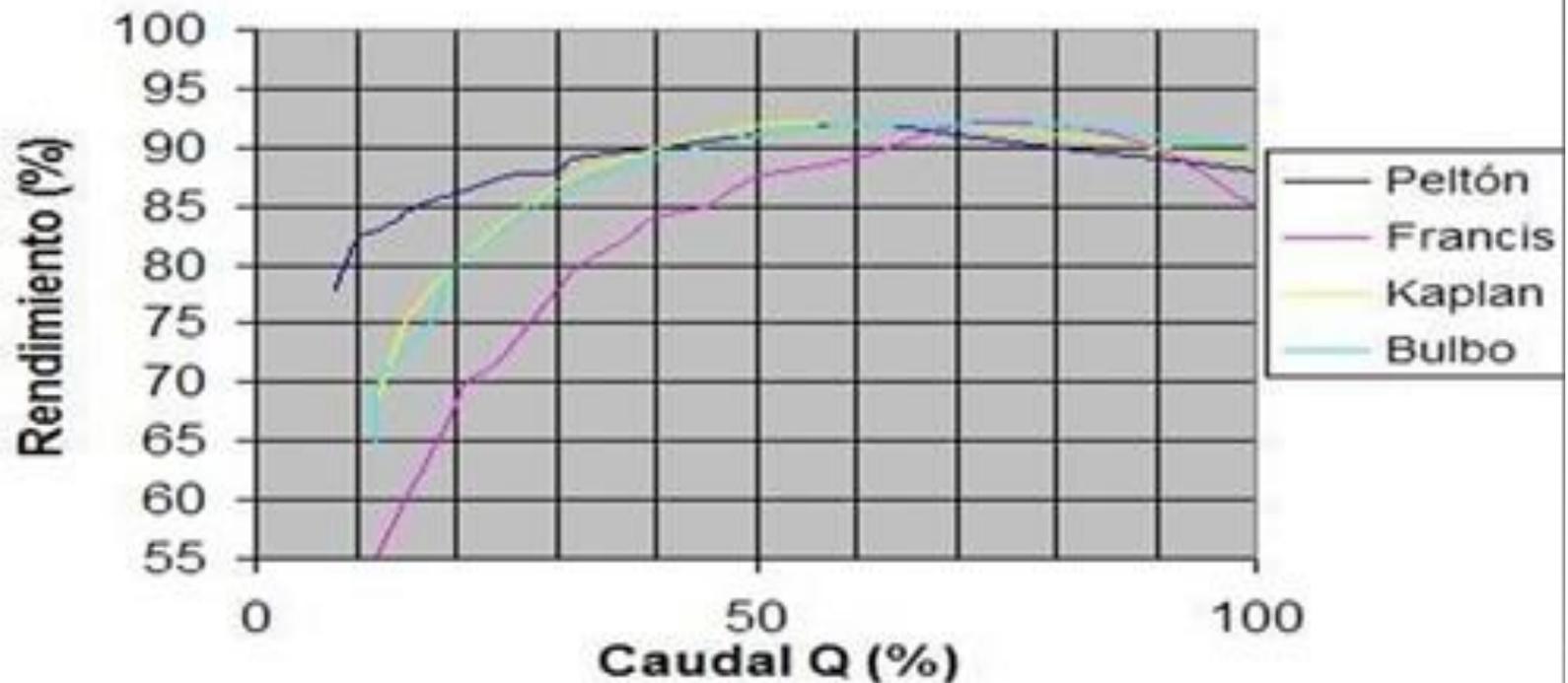


IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.

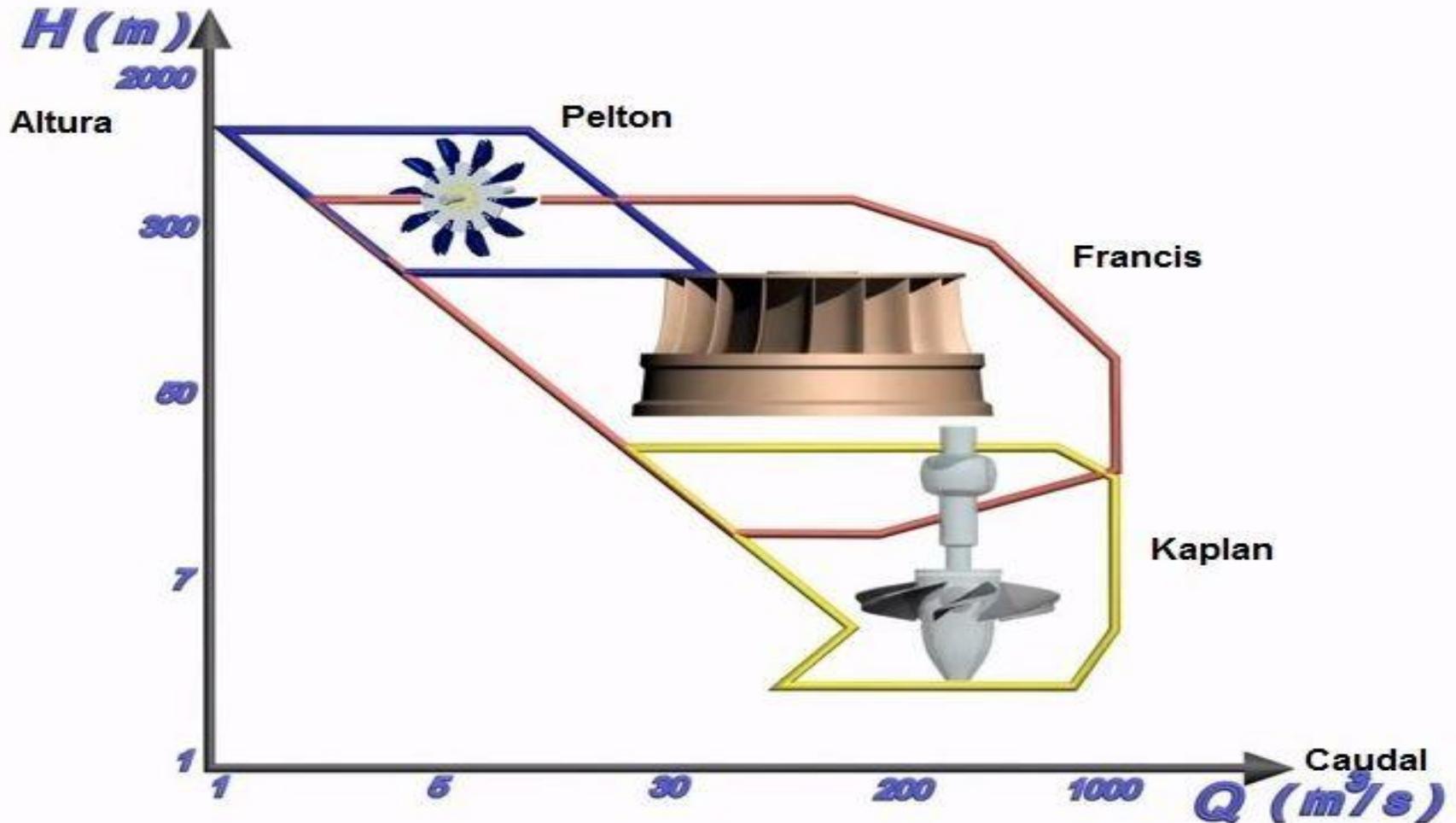


## Eficiencias de las turbinas vs Caudal utilizado

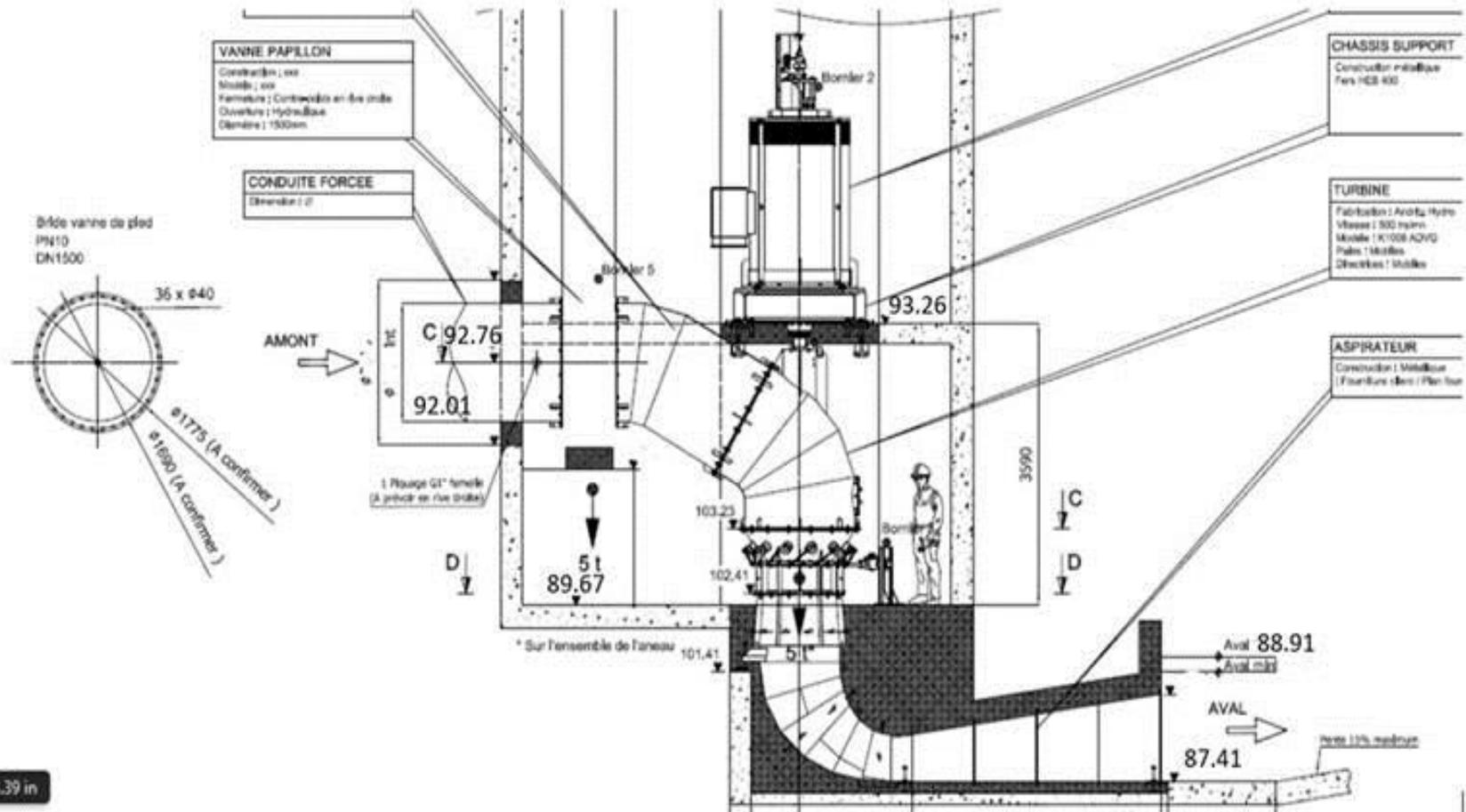
### Curvas rendimiento de las turbinas



# Tipos de turbinas con base a la carga neta y el gasto



# Turbina ANDRITZ para la Central Microelectrica





**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



# Producción de energía mensual para la opción D

Meses y año de operación del canal	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Distribución mensual de la demanda (%)	6.54	20.05	16.86	56.66	89.33	100.00	95.28	40.29	7.82
Qm = Caudal promedio mensual (l/s)	400	1,227	1,032	3,468	5,467	6,120	5,831	2,466	479
Velocidad (m/s) (recomendable de 1 a 3 m/s)	0.16	0.48	0.41	1.37	2.16	2.41	2.3	0.97	0.19
% Sobre el flujo de Diseño	0.07	0.2	0.17	0.57	0.89	1	0.95	0.4	0.08
Eficiencia de Turbina (dec)	0.6	0.76	0.73	0.91	0.93	0.91	0.91	0.88	0.6
Pérdida por fricción en la tubería (m)	0.01	0.11	0.08	0.86	2.14	2.68	2.44	0.44	0.02
La pérdida en la entrada en transición se asume como $K_e = 0.4h_v$	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.12	0.11	0.02	0.00
La pérdida por rejillas de seguridad se tomará como $K_r = 0.2h_v$	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.06	0.05	0.01	0.00
La pérdida en la entrada del tubo se asume como $K_{et} = 0.5h_v$	0.00	0.01	0.00	0.05	0.12	0.15	0.13	0.02	0.00
La pérdida en la salida del tubo se tomará como $K_s = 0.5h_v$	0.00	0.01	0.00	0.05	0.12	0.15	0.13	0.02	0.00
La pérdida por codos se tomará como $K_c = 0.2h_v$	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.06	0.05	0.01	0.00
La pérdida en compuerta Slipmeter $K_{cr} =$	0.00	0.00	0.00	0.09	0.11	0.13	0.12	0.02	0.00
La pérdida de fricción total en los ductos de concreto ( $H_f$ )	-	0.03	0.02	0.19	0.46	0.58	0.53	0.09	-
La pérdida de Carga (Ht) total global =	0.01	0.16	0.11	1.31	3.14	3.93	3.57	0.63	0.02
Hh = Carga Neta (m)	11.99	11.84	11.89	10.69	8.86	8.07	8.43	11.37	11.98
<b>Potencia disponible despues de la turbina (Kw)</b>	<b>28.23</b>	<b>108.31</b>	<b>87.82</b>	<b>330.83</b>	<b>441.96</b>	<b>441.13</b>	<b>438.77</b>	<b>241.97</b>	<b>33.76</b>
Potencia disponible despues del generador (Kw)	27.38	105.06	85.19	320.90	428.70	427.90	425.61	234.71	32.74
Potencia disponible despues del transformador (Kw)	27.11	104.01	84.34	317.69	424.42	423.62	421.35	232.36	32.42
Potencia disponible depués de utilizacion por la PLANTA (Kw)	26.57	101.93	82.65	311.34	415.93	415.15	412.92	227.72	31.77
Potencia disponible despues de transporte LT (Kw)	26.03	99.89	81.00	305.11	407.61	406.84	404.67	223.16	31.13
Dias Operando	31.00	30.00	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00
Energía mensual disponible antes de paros de mantenimiento (Kw-hr)	19,369	71,923	60,261	227,003	273,913	302,691	291,359	166,032	22,415
Energía mensual acumulada en el ciclo agrícola (Kw-hr)	19,369	91,292	151,553	378,556	652,469	955,160	1,246,519	1,412,551	<b>1,434,966</b>

UNA POTENCIA PROMEDIO DE 283 kW, 1.434 GWH DURANTE 8 MESES DE OPERACIÓN



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Resultados de las 4 opciones de análisis

Opción	Costo proyecto	Ahorros Anual de Agua por Entubamiento			Beneficios en ahorros e ingresos a los Usuarios por año agrícola					Años Recuperación 100% Inversión
		Filtración y Fugas	Operación y Evaporación	Ahorro Total Anual	Cuota de Riego	Utilidad por nuevas superficies	Conservación y mano de obra	Venta de Energía Eléctrica	Total Anual	
	[USD]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[USD/año]	[USD/año]	[USD/año]	[USD/año]	[USD/año]	[años]
A	\$ 711,938	70.5	5.3	75.8	\$ 798	\$ 5,101	\$ 473.68	\$ 24,187.32	\$ 30,559.38	23.30
B	\$ 1,284,338	352.5	26.4	379.0	\$ 3,989	\$ 25,501	\$ 2,368.42	\$ 33,584.32	\$ 65,442.61	19.63
C	\$ 2,987,885	2,980.7	275.8	3,256.5	\$ 34,279	\$ 247,402	\$ 11,184.21	\$ 42,345.26	\$ 335,210.72	8.91
D	\$ 3,370,600	3,352.8	351.3	3,704.1	\$ 38,990	\$ 277,521	\$ 13,789.47	\$ 43,728.05	\$ 374,028.94	9.01

Las opciones C y D son similares en cuanto a los años de recuperación de la inversión



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Resultados de las 4 opciones de Hidrogeneración

Opción	Ubicación Central	Longitud de Tubería	Elevación	Carga Bruta Promedio	Carga Neta Promedio	Potencia Promedio	Energía Anual	Costo Tubería	Costo Minicentral	Costo proyecto	Costo/km	Costo/Kwh	Costo/Kwh
	[km]	[m]	[m]	[m]	[m]	[Kw]	[Gwh]	[USD]	[USD]	[USD]	[USD/km]	[USD/kWh]	[USD/kW]
A	0+090	90	95.5	6.06	5.28	151	0.77	\$ 144,296	\$ 567,642	\$ 711,938	\$ 1,603,288	\$ 0.74	\$ 3,759.22
B	0+450	450	93.2	8.36	7.31	210	1.07	\$ 487,648	\$ 796,690	\$ 1,284,338	\$ 1,083,662	\$ 0.74	\$ 3,793.76
C	2+125	2125	90	11.56	9.82	273	1.389	\$ 1,992,022	\$ 995,863	\$ 2,987,885	\$ 937,422	\$ 0.72	\$ 3,647.85
D	2+618	2618	89.56	12	10.16	282	1.437	\$ 2,374,737	\$ 995,863	\$ 3,370,600	\$ 907,081	\$ 0.69	\$ 3,531.43

Las opciones A y B son con longitud de tubería menor pero producen menor energía que las opciones C y D. Los costos obtenidos son similares a los revisados en otros Proyectos de Hidrogeneración.



IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



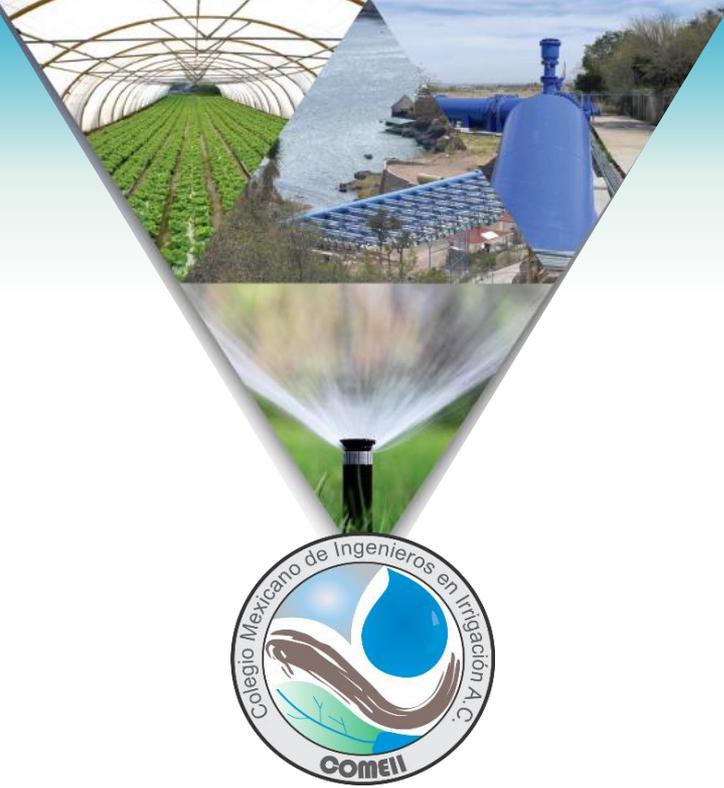
## Conclusiones

Los usuarios seleccionaron la opción D ya que interconectaron su red de riego con otras tuberías ya instaladas aguas abajo.

En el caso de las obras asociadas de riego y generación de energía, la demanda de riego tiene prioridad en cuanto al diseño al no haber reservorio de regulación.

Para el caso de los canales con entubamiento, el costo de la tubería puede ser hasta de un 85% del costo del proyecto, como es este caso, lo cual hace incosteable el proyecto, considerando sólo la venta de energía, por lo que es necesario justificar los proyectos con los beneficios inherentes de la modernización hidroagrícola.

La ejecución de éste tipo de proyectos en casos similares permitirá abrir el mercado eléctrico para venta o autoconsumo de los Módulos de Riego, mejorando así la productividad económica del agua concesionada originalmente para riego agrícola.



# Gracias

MARIO A. MONTIEL GUTIÉRREZ  
TECNÓLOGO DEL AGUA EN EL INSTITUTO MEXICANO DE  
TECNOLOGÍA DEL AGUA  
MMONTIEL@TLALOC.IMTA.MX

