



**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.



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



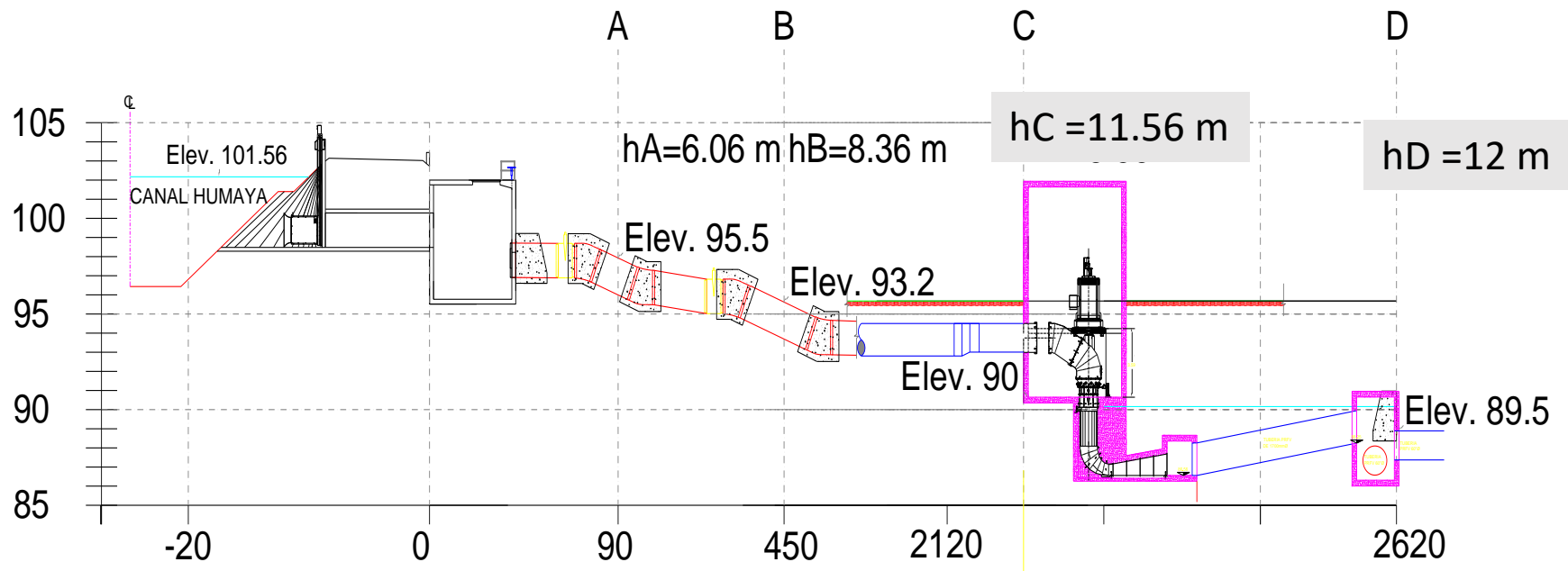
KM 0+000 Compuerta de Gasto Constante tipo
SLIPMETER con control manual y automatización



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

$$Q_c = \frac{27.778 * S * RR_{dd} * IR_c}{Nh * Nd * Ea * Ec}$$

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

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



**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 $kg_f \text{ m/s}$.

γ = 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

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

η_t = Eficiencia de la turbina en %

η_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.

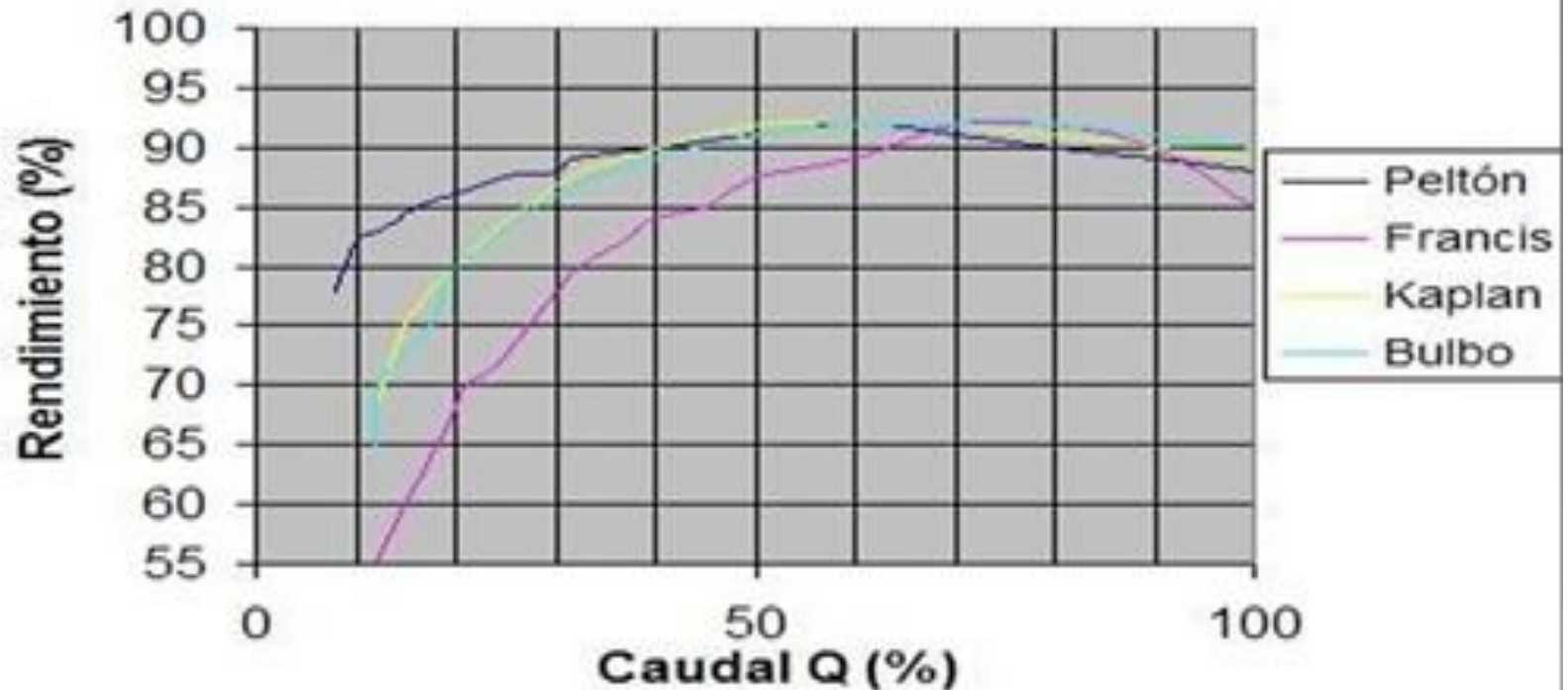


IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.

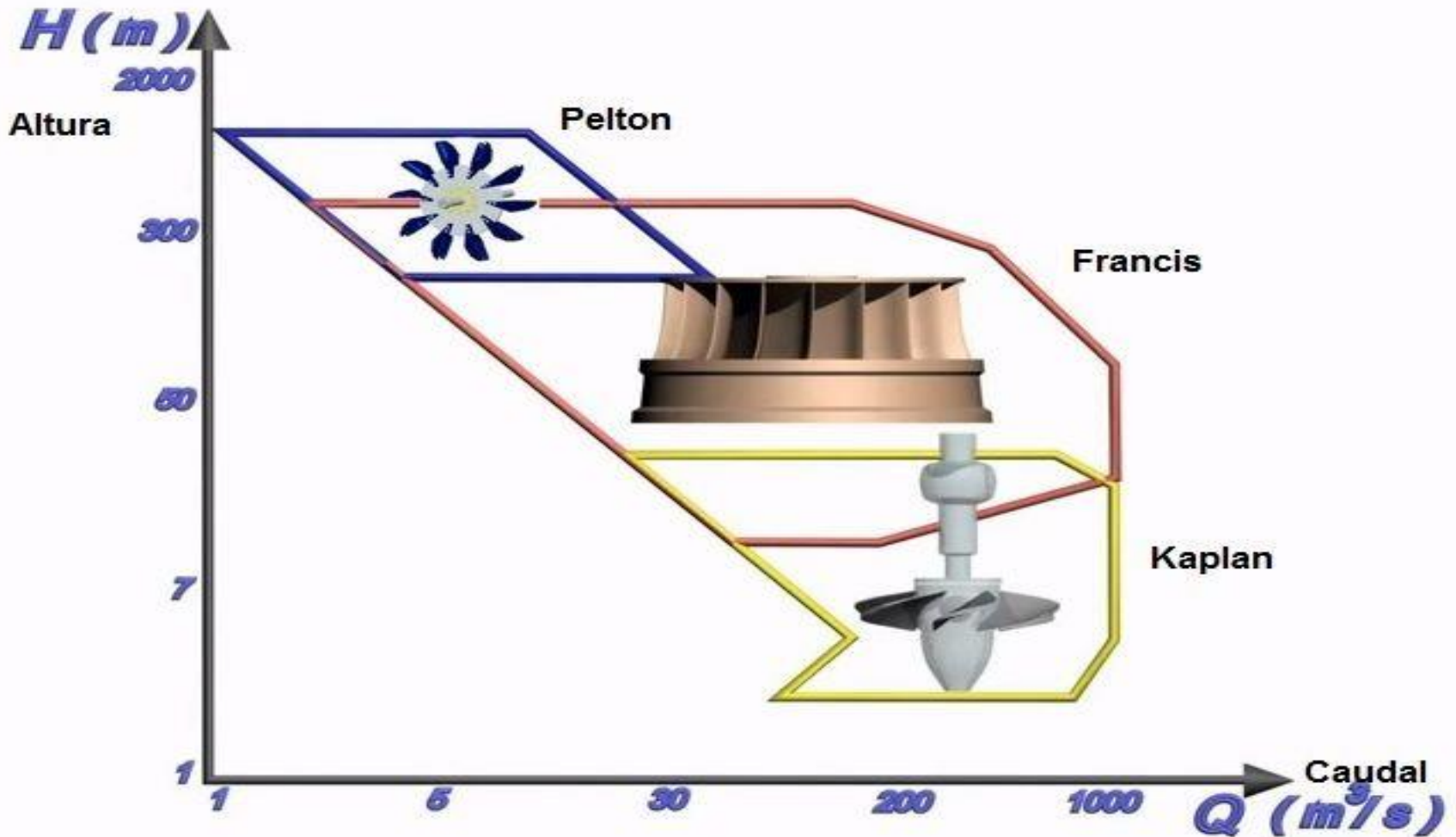


Eficiencias de las turbinas vs Caudal utilizado

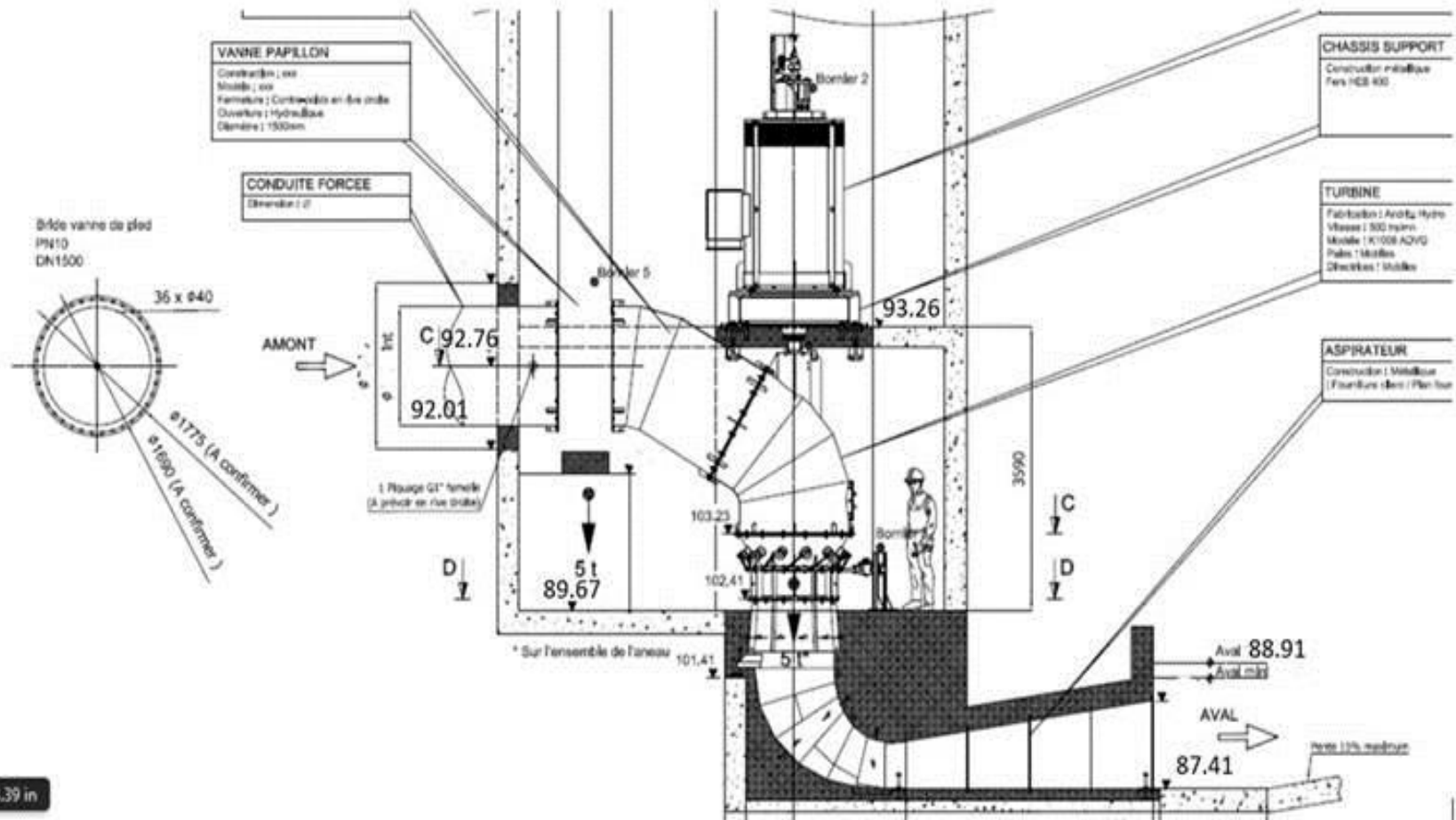
Curvas rendimiento de las turbinas



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 (Hf)	-	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
Potencia disponible despues de la turbina (Kw)	28.23	108.31	87.82	330.83	441.96	441.13	438.77	241.97	33.76
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	1,434,966

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 ³]	[mm ³]	[mm ³]	[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.



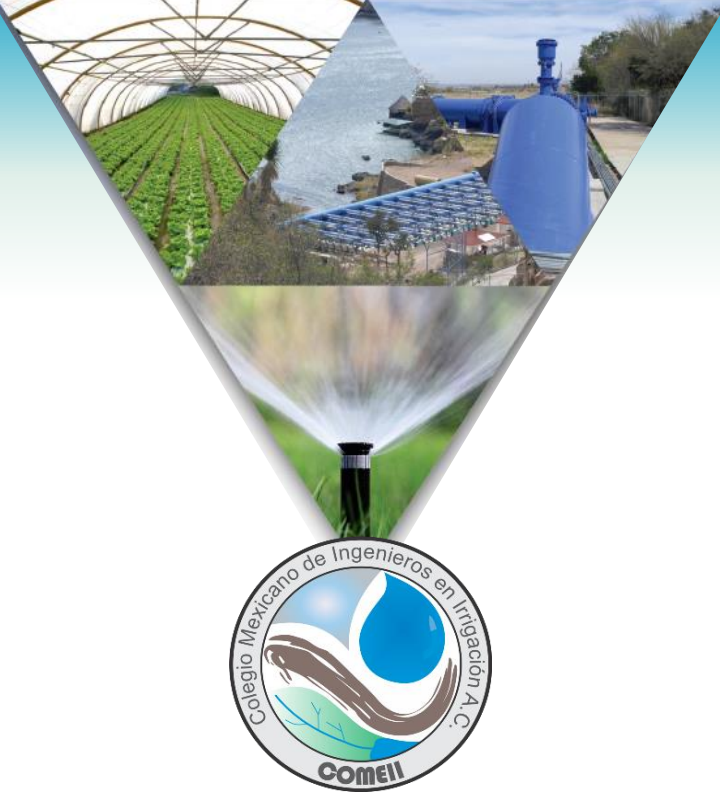
Conclusiones

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

