

# GENERACION DE ENERGIA ELECTRI- CA EN LA PRESA DE SOLIS, GTO.

POR LOS INGS. AURELIO BENASSINI Y ANDRES GARCIA QUINTERO  
JEFE DEL DPTO. DE ESTUDIOS Y JEFE DE LA SECCION DE HIDROLOGIA DEL DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS, RES-  
PECTIVAMENTE, DE LA COMISION NACIONAL DE IRRIGACION

## S I N O P S I S

La presa de Solís está situada sobre el Río Lerma, 6 kilómetros aguas arriba de la población de Acámbaro, Gto., persiguiendo con su construcción los siguientes objetivos: 1). Regularización del régimen de sobrantes del Río Lerma a la altura de la boquilla de Solís para complementar el riego de 111,000 hectáreas netas. 2). Control de avenidas normales hasta un gasto de 200 m<sup>3</sup>/s. 3). Generación de energía eléctrica como producto secundario utilizando las extracciones que se harán a la presa para fines de riego, así como también los posibles derrames.

Para llenar las condiciones antes citadas se ha propuesto para esta presa una capacidad de 650 millones de metros cúbicos, de los cuales 50 serán destinados al depósito de azolves, 375 a complementar el riego y generación de energía y 225 para controlar avenidas.

En este artículo se describen los estudios en que se basó la determinación de la capacidad instalada más conveniente para la citada planta hidroeléctrica, la cual resulta de 7,000 kilowatts, con cuya potencia es posible generar 38 millones de KWH medios anuales de energía secundaria, con un gasto máximo admisible en las turbinas de 67 m<sup>3</sup>/s. para la carga mínima de 14.2 m. En la citada planta

también se puede generar energía firme mientras se desarrolla totalmente el proyecto de riego de las Unidades 5<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup> situadas en la región del Bajo Río Lerma. Tomando en cuenta lo anterior, se hizo un estudio adicional, suponiendo que en los primeros años del funcionamiento de la presa Solís no se regarán las Unidades antes citadas. Dicho estudio indicó la posibilidad de generar 3,500 KW firmes. Se podrá disponer permanentemente de la anterior energía firme si en la presa de derivación de Corrales, cuya construcción es necesaria para el riego de la 5<sup>a</sup> Unidad, se deja una capacidad adicional que tenga por objeto cambiar el régimen hidroeléctrico que proviene de la presa de Solís por el adecuado a las necesidades de riego de las unidades ya mencionadas, a fin de no perder agua para fines de riego.

## FUNCIONAMIENTO DE LA PRESA DE SOLIS

### *Generalidades*

La presa de Solís, que construye la Comisión Nacional de Irrigación en el Río Lerma, se encuentra localizada a 6 kilómetros aguas arriba de la población de Acámbaro, Gto., y mediante su operación en combinación con la presa de Tepuxtepec, se podrán aprovechar en forma más

completa los recursos hidráulicos del Alto Río Lerma. Los objetivos que se alcanzarán con la presa de Solís, son los siguientes:

1º Regularizar el régimen semihidroeléctrico de extracciones y derrames de la presa de Tepuxtepec, modificándolo para satisfacer en mejor forma las demandas de riego del Alto Lerma y sus futuras ampliaciones.

2º Regularizar el régimen del Río Lerma, que se genera entre la presa de Tepuxtepec y la presa de Solís, aprovechándolo junto con el régimen modificado de Tepuxtepec para completar el riego de . . . 111,000 hectáreas netas, localizadas en el Alto y Bajo Lerma.

3º Controlar avenidas normales hasta un gasto de 200 m<sup>3</sup>/s., con lo que será posible proteger contra inundaciones las poblaciones y zonas agrícolas situadas abajo de la presa de Solís.

4º Aprovechar los derrames y extracciones de la presa de Solís para generar energía eléctrica secundaria.

Para satisfacer los anteriores objetivos se fijaron las capacidades siguientes:

Para depósito de azolves..	50 millones
Para riego y generación de energía. . . . .	375 millones
Para control de avenidas..	225 millones
	<hr/>
Capacidad total....	650 millones de m <sup>3</sup> .

*Razones fundamentales que se tienen para proponer la construcción de la presa de Solís para fines múltiples*

Las razones que han servido de base para planear la construcción y operación de la presa de Solís para riego, desarrollo de energía secundaria y control de avenidas, son las siguientes:

1ª El único vaso con que se cuenta actualmente para regularizar el Río Lerma, es la presa de Tepuxtepec, que fué cons-

truida para generar energía eléctrica y también para mejorar e incrementar el riego en el Alto Río Lerma.

Para satisfacer las dos funciones de esta presa, diferentes en cuanto a demandas mensuales de agua, se fijó una distribución de extracciones intermedia que satisface más o menos las dos demandas, quedando así estipulado en un contrato firmado en el año de 1933 por la Comisión Nacional de Irrigación y por la compañía concesionaria o sea la Compañía de Luz y Fuerza del Suroeste de México, S. A.

En el contrato citado, actualmente en vigor, el régimen de extracciones (llamado 1:3), es el siguiente: del 1º de junio al día último de septiembre el gasto medio de las extracciones es de 6.28 m<sup>3</sup>/s. y del 1º de octubre al día último de mayo 18.84 m<sup>3</sup>/s.

Las anteriores condiciones de extracción no siguen precisamente la demanda de agua necesaria para el riego de 46,000 Has., actualmente en explotación en la región del Alto Lerma, habiendo desperdicio de agua y también deficiencias, por lo que al construirse la presa de Solís será posible regularizar las extracciones de Tepuxtepec, mejorando e incrementando la superficie actual de riego.

2ª La parte de la cuenca comprendida entre la presa de Tepuxtepec y Solís, tiene un área de captación de 2,320 Km<sup>2</sup>., la cual aporta un volumen medio anual de 410 millones de m<sup>3</sup>. (período 1928-1939) o sea el 39% de la aportación total del Río Lerma hasta Acámbaro.

Lo anterior indica la conveniencia de regularizar la aportación mencionada en el vaso de Solís, si se quiere aprovecharla para ampliar la superficie de riego tanto del Alto como del Bajo Río Lerma.

3ª En la subcuenca, comprendida entre Tepuxtepec y Solís, se producen grandes avenidas originadas principalmente por los ríos Tlalpujahuá, Tigre o Coronero, Arroyo de Tarandacuao y otros, cuyos gastos máximos o la combinación de

ellos cuando exceden de 200 m<sup>3</sup>/s., ponen en peligro de inundaciones a la población de Acámbaro, así como también a la región agrícola de Jaral del Progreso y La Zanja. Además, aunque la presa de Tepuxtepec tiene una capacidad de 370 millones de m<sup>3</sup>, resulta insuficiente para controlar en forma efectiva las avenidas, pues los derrames en esta presa son frecuentes, llegando a alcanzar gastos medios, en 24 horas, hasta de 281 m<sup>3</sup>/s. Si a lo anterior se agrega la posibilidad que existe de que ocurran grandes avenidas en los ríos y arroyos anteriormente citados, se desprende la necesidad de tener en la presa de Solís una capacidad extra destinada exclusivamente a controlar avenidas, abatiéndolas a gastos que puedan ser conducidos por el cauce del río sin peligro de desbordamientos e inundaciones.

4ª La considerable extensión de tierras susceptibles de riego tanto en el Alto como en el Bajo Lerma, no será posible regarla en su totalidad porque no se cuenta con recursos hidráulicos suficientes y por lo tanto las extracciones que se hagan a la presa de Solís deberán ser exclusivamente para el riego de la mayor superficie posible de tierras.

Si esta presa se operara con un criterio distinto, es decir, si se hicieran extracciones adicionales a las necesarias para riego, como por ejemplo, para generar energía firme y para satisfacer en determinado momento demandas máximas de energía, (peaks), significarían tales volúmenes, aguas desperdiciadas para fines de riego, lo cual no es aconsejable, en virtud de que existen otros sustitutos del agua para generar energía; en cambio no se conocen hasta ahora otros sustitutos de dicho elemento para fines de riego.

Por lo anteriormente expuesto, el desarrollo de energía en la presa de Solís debe considerarse como aprovechamiento secundario, pues para tal fin se utilizarán únicamente las extracciones necesarias

para riego, así como una parte de los posibles derrames en la temporada de avenidas. Sin embargo, dentro de la característica secundaria que tiene el desarrollo de energía en esta presa, será posible generar algo de energía firme mientras el Distrito de Riego se desarrolla completamente, aprovechando para tal fin las extracciones que se hagan a la presa de Solís para riego de las Unidades 5ª y 6ª, que serán las últimas en desarrollarse. Además, esta energía firme que se produzca bajo las condiciones antes descritas, es posible seguir produciéndola, aun después del desarrollo de las Unidades citadas, siempre y cuando se construya en el futuro la presa de Corrales con una capacidad suficiente para transformar el régimen de extracciones necesarias para producir energía firme proveniente de Solís, en otro régimen capaz de satisfacer las demandas de riego de las Unidades antes mencionadas.

La energía generable en la presa de Solís en la forma que se propone, presenta características que la hacen atractiva para ser utilizada en el desarrollo de zonas agrícolas mediante bombeo, por ejemplo en el Plan de San Juan del Río y en los Valles de Jaral del Progreso y Celaya, pudiendo en tales condiciones aumentar su superficie regada si se cuenta con energía barata, ya que las variaciones que presenta la demanda de riego siguen en forma aproximada las correspondientes a la producción de energía secundaria. Otra forma de aprovechar con éxito esta energía secundaria será mediante la interconexión con otro sistema de plantas que sea capaz de complementar la energía secundaria.

Se concluye pues, que la generación de energía en la planta de Solís deberá considerarse principalmente como un producto secundario que puede ayudar a pagar la construcción de la presa y de la planta misma, y que será posible además, mediante su operación, el desarrollo de

riego por bombeo de zonas agrícolas que hasta ahora no ha sido posible ampliar por falta de energía barata. También será de valiosa ayuda para la industrialización de las zonas agrícolas del Distrito de Riego del Río Lerma.

### *Estudio hidroeléctrico*

En el caso especial de este estudio, la capacidad instalada más conveniente estará fijada por la generación de energía secundaria y no por la energía firme que pueda generarse, en virtud de que la capacidad instalada para desarrollar esta última es menor que la necesaria para generar energía secundaria.

En tales condiciones para fijar dicha capacidad instalada se dividió el estudio hidroeléctrico en cuatro partes:

a). Estudio hidroeléctrico para determinar la cantidad máxima de energía que puede producirse en la presa de Solís, sin límite en la capacidad instalada.

b). Estudio hidroeléctrico para determinar la cantidad de energía secundaria que es posible generar con diferentes capacidades instaladas, previamente fijadas.

c). Estudio económico para definir la capacidad instalada más convenientemente.

d). Estudio hidroeléctrico adicional para definir la generación máxima posible de energía firme, suponiendo que en los primeros años la región del Bajo Lerma no se riega, o bien que se construya posteriormente la presa de Corrales.

Como en las tres primeras partes del estudio hidroeléctrico deberá tenerse en cuenta el funcionamiento de la presa de Solís, para fines exclusivos de riego, por las razones ya expresadas, se utilizó el estudio hidrológico correspondiente para conocer tanto las entradas como las extracciones y derrames probables así como también las cargas de agua correspondientes.

Para fijar la elevación de las turbinas de manera de estar a salvo de inundacio-

nes durante las avenidas normales, se utilizó la curva de gastos del Río Lerma en el sitio de la estación hidrométrica de Solís. Dicha curva fué deducida con algunos aforos de gastos pequeños en la Residencia de la presa en construcción, y dió a conocer que al pasar el gasto máximo a que se desea controlar las avenidas normales, es decir, 200 m<sup>3</sup>/s. por el sitio de la presa, se tendrá el nivel del agua en la elevación 1,853.40.

En las avenidas máximas del año 1940, que fueron completamente registradas, se obtuvieron datos valiosos para construir una curva de gastos para mayores tirantes, en la cual pudo notarse que existen diferencias, pero son de poca importancia y no ameritan rehacer totalmente el estudio hidroeléctrico que debe considerarse preliminar.

a). *Estudio hidroeléctrico para conocer la cantidad máxima de energía secundaria que será posible generar.*—En vista de las grandes variaciones de los gastos de salida y cargas disponibles, se tiene una generación de energía muy variable, como puede verse en las tablas siguientes, en donde se presentan tabulados los datos relativos que sirvieron para determinar la cantidad de energía generada. Se describen en seguida los datos que forman dicha tabla:

*Columnas 1 y 2.*—Para anotar los años y meses del período en estudio.

*Columna 3.*—Almacenamientos medios mensuales; tomados de los registros de cálculos del funcionamiento del vaso para fines de riego.

*Columna 4.*—Elevaciones medias mensuales del agua en el vaso.

*Columna 5.*—Cargas medias mensuales. Se obtuvieron restando a las elevaciones medias mensuales la cota 1,853.40.

*Columna 6.*—Energía total que es posible producir con los elementos de las Columnas 5 y 6, suponiendo una planta sin límite en la capacidad instalada. Para calcular esta generación se supuso una

## PLANTA HIDROELECTRICA EN LA PRESA DE SOLIS

Energía secundaria que se puede generar con las extracciones y derrames en la Presa de Solís, para complementar el riego de 111 449 ha. netas, en el Alto y Bajo Lerma

Año	Mes	Almacenamiento medio mensual en la P. Solís miles de m <sup>3</sup>	Elevación correspondiente al Alm: medio m:	Carga media mensual m:	Extracción mensual más derrames miles de m <sup>3</sup>	KWH Generados en cada mes miles de KWH
1	2	3	4	5	6	7
1928	N	425 000	83.1	29.7	61 963	7 360
	D	424 782	83.1	29.7	55 385	3 361
					(4)-53.4 (a)	
1929	E	414 961	82.9	29.5	69 197	4 171
	F	391 797	82.3	28.9	78 039	5 608
	M	344 547	81.1	27.7	110 770	6 269
	A	269 489	78.7	25.3	130 967	6 770
	M	191 660	75.8	22.4	117 914	5 396
	J	143 532	73.7	20.3	46 043	1 910
	J	174 837	75.2	21.8	29 525	1 315
	A	289 836	79.4	26.0	30 859	1 639
	S	425 000	83.1	29.7	94 765	5 750
	O	425 000	83.1	29.7	58 277	3 536
	N	425 000	83.1	29.7	54 770	3 323
	D	424 345	83.1	29.7	58 388	3 543
						879 514
1930	E	411 851	82.8	29.4	74 253	4 460
	F	378 141	82.0	28.6	89 227	5 214
	M	321 585	80.4	27.0	116 579	6 431
	A	244 643	77.8	24.4	129 421	6 452
	M	165 599	74.7	21.3	121 851	5 303
	J	126 077	72.8	19.4	53 763	2 131
	J	171 182	75.0	21.6	29 525	1 303
	A	236 447	77.5	24.1	32 915	1 621
	S	253 029	78.1	24.7	25 956	1 310
	O	286 559	79.3	25.9	31 425	1 663
	N	328 104	80.6	27.2	48 404	2 690
	D	329 731	80.7	27.3	60 123	3 353
						813 442
1931	E	314 680	80.2	26.8	72 825	3 988
	F	289 895	79.4	26.0	76 801	4 080
	M	237 183	77.5	24.1	120 282	5 923
	A	149 365	74.0	20.6	143 830	6 054
	M	74 111	69.7	16.3	101 362	3 376
	J	50 000	67.6	14.2	42 353	1 229
	J	97 141	71.2	17.8	14 645	533
	A	425 000	83.1	29.7	381 330	23 139
	S	425 000	83.1	29.7	361 713	21 949
	O	425 000	83.1	29.7	120 486	7 311
	N	423 798	83.1	29.7	59 508	3 611
	D	414 674	82.9	29.5	68 598	4 135
						1 563 413
1932	E	392 703	82.4	29.0	85 922	5 091
	F	351 979	81.3	27.9	100 157	5 709
	M	293 556	79.5	26.1	122 155	6 514
	A	213 623	76.7	23.3	141 142	6 719
	M	127 617	72.9	19.5	131 883	5 254
	J	71 870	69.5	16.1	53 763	1 768
	J	58 295	68.4	15.0	29 525	905
	A	60 808	68.6	15.2	45 684	1 419
	S	92 362	70.9	17.5	12 087	432
	O	151 873	74.1	20.7	31 052	1 313

(a) Cota aproximada de salida de la obra de toma = 53.4 M

Año	Mes	Almacenamiento medio mensual en la P. Solís Miles de m <sup>3</sup>	Elevación correspondiente al Almac. medio m.	Carga media mensual m.	Extracción mensual más derrames Miles de m <sup>3</sup>	KWH generados en cada mes Miles de KWH
1	2	3	4	5	6	7
	N	177 675	75.3	(4)-53.4 (a) 21.9	59 982	2 684
	D	161 282	74.5	21.1	83 266	3 590
					896 618	41 398
1933	E	134 390	73.3	19.9	79 414	3 229
	F	100 294	71.4	18.0	90 143	3 315
	M	64 053	68.9	15.5	77 974	2 469
	A	50 000	67.6	14.2	47 137	1 368
	M	50 000	67.6	14.2	45 923	1 332
	J	50 000	67.6	14.2	10 172	295
	J	51 059	67.7	14.3	27 887	815
	A	74 161	69.7	16.3	45 684	1 521
	S	183 168	75.5	22.1	35 428	1 600
	O	303 816	79.8	26.4	32 323	1 743
	N	337 781	80.9	27.5	52 155	2 930
	D	329 198	80.7	27.3	64 371	3 590
					608 511	20 207
1934	E	311 844	80.1	26.7	69 808	3 808
	F	281 493	79.1	25.7	85 792	4 505
	M	224 273	77.1	23.7	118 812	5 773
	A	140 845	73.6	20.2	139 358	5 751
	M	71 375	69.5	16.1	125 923	4 142
	J	50 000	67.6	14.2	49 816	1 445
	J	59 374	68.5	15.1	29 525	911
	A	120 386	72.5	19.1	32 771	1 279
	S	262 287	78.4	25.0	28 850	1 474
	O	425 000	83.1	29.7	100 659	6 108
	N	424 463	83.1	29.7	55 096	3 343
	D	416 581	82.9	29.5	62 796	3 785
					899 206	42 304
1935	E	399 780	82.5	29.1	69 570	4 136
	F	368 343	81.7	28.3	83 878	4 850
	M	316 604	80.3	26.9	110 323	6 063
	A	242 061	77.7	24.3	130 598	6 484
	M	159 895	74.5	21.1	124 324	5 360
	J	157 985	74.4	21.0	32 914	1 412
	J	425 000	83.1	29.7	181 684	11 025
	A	425 000	83.1	29.7	569 371	34 550
	S	425 000	83.1	29.7	423 311	25 687
	O	425 000	83.1	29.7	200 011	12 137
	N	425 000	83.1	29.7	59 982	3 640
	D	418 663	83.0	29.6	70 237	4 248
					2 056 203	119 592
1936	E	402 817	82.6	29.2	72 997	4 355
	F	374 165	81.9	28.5	91 307	5 317
	M	321 987	80.4	27.0	116 925	6 450
	A	246 003	77.9	24.5	136 780	6 847
	M	167 958	74.9	21.5	127 756	5 612
	J	116 415	72.3	18.9	51 012	1 970
	J	126 155	72.8	19.4	24 297	963
	A	183 767	75.5	22.1	42 389	1 914
	S	297 770	79.7	26.3	11 684	628
	O	425 000	83.1	29.7	163 279	9 908
	N	425 000	83.1	29.7	77 900	4 727
	D	415 450	82.9	29.5	72 157	4 349
					988 483	53 039
1937	E	388 836	82.3	28.9	75 224	4 442
	F	348 450	81.2	27.8	90 976	5 167

Año	Mes	Almacenamiento medio mensual en la P. Solís Miles de m <sup>3</sup>	Elevación correspondiente al Almac. medio m	Carga media mensual m.	Extracción mensual más derrames Miles de m <sup>3</sup>	KWH generados en cada mes Miles de KWH
1	2	3	4	5	6	7
				(4)-53.4 (a)		
	M	289 925	79.4	26.0	110 761	5 884
	A	212 614	76.6	23.2	134 520	6 376
	M	133 344	73.2	19.8	123 991	5 016
	J	98 194	71.3	17.9	47 869	1 751
	J	277 931	79.0	25.6	42 206	2 208
	A	425 000	83.1	29.7	173 184	10 509
	S	425 000	83.1	29.7	552 449	33 523
	O	425 000	83.1	29.7	125 498	7 615
	N	425 000	83.1	29.7	63 119	3 830
	D	425 000	83.1	29.7	68 815	4 176
					1 608 612	90 497
1938	E	421 552	83.0	29.6	61 529	3 721
	F	399 169	82.5	29.1	83 996	4 994
	M	357 026	81.4	28.0	103 650	5 930
	A	293 063	79.5	26.1	121 422	6 475
	M	222 019	77.0	23.6	118 712	5 724
	J	181 954	75.4	22.0	44 684	2 008
	J	256 864	78.2	24.8	9 965	505
	A	420 505	83.0	29.6	87 059	5 265
	S	425 000	83.1	29.7	9 288	6 025
	O	425 000	83.1	29.7	52 471	3 184
	N	425 000	83.1	29.7	47 218	2 865
	D	413 621	82.9	29.5	74 938	4 517
					904 932	51 213
1939	E	385 847	82.2	28.8	70 328	4 138
	F	349 873	81.3	27.9	84 811	4 834
	M	295 823	79.6	26.2	113 681	6 085
	A	220 269	76.9	23.5	128 209	6 156
	M	139 862	73.5	20.1	114 394	4 698

Volumen total en el período 1929-1938 11 218 934

Promedio mensual 93 491

$$KWH = 0.75 \times n \times 9.807 \times \frac{3600 \times n}{v} h$$

n = No. horas del mes.

v = Volumen mensual en m<sup>3</sup>.

h = Carga en metros; 0.75 = eficiencia media total.

$$KWH = C \times V \times h$$

$$C = \frac{9.807 \times 0.75}{3600} = .002043125$$

$$KWH = 0.002043125 \times V \times h$$

eficiencia total media de 0.75. La nota-  
ción utilizada es la siguiente:

n = número de horas en el mes.

V = Volumen mensual de agua extraí-  
da o derramada en metros cúbicos.

h = carga media mensual en metros.

El número de kilográmetros por se-  
gundo mensuales, es:

$$\frac{V \times h \times 100}{360 \times n}$$

Por lo tanto, el número de kilowatts  
horas mensuales, tomando en cuenta la  
eficiencia, estará dado por

$$0.75 \times n \left( \frac{V \times h \times 1000 \times 0.009807}{3600 \times n} \right) = 0.002043125 Vh$$

Con esta última fórmula se calculó  
la energía total que es capaz de producir-

se en la presa para cada volumen men-  
sual extraído y para cada carga disponi-

ble en el vaso, suponiendo que se tuviera una planta hidroeléctrica con capacidad instalada sin límite.

b). *Estudio hidroeléctrico para determinar la cantidad de energía secundaria que es posible generar con diferentes capacidades instaladas.*—Para desarrollar el estudio se fijaron previamente diferentes factores de variación a fin de tomar en consideración los cambios horarios que tendrán los gastos de extracción y las cargas, pues el estudio hidrológico correspondiente se hizo tomando gastos medios mensuales y cargas medias mensuales.

Cada capacidad instalada es capaz de producir en condiciones ideales una cantidad máxima de energía firme, igual al el número de horas del mes y por el fac-

producto de la capacidad instalada por tor de variación aceptado de antemano.

Las cifras así obtenidas se comparan mes a mes con la cantidad de energía secundaria que puede producirse en Solís con una planta hidroeléctrica de capacidad instalada ilimitada, determinándose en tal forma los KWH mensuales que pueden producirse para cada una de las instalaciones estudiadas y para cada uno de los factores de variación escogidos, durante el período total de estudio. Con dicho procedimiento se pudo determinar la producción media anual de KWH.

En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos para cada capacidad instalada y para diferentes factores de variación.

#### GENERACION DE ENERGIA PARA DIFERENTES CAPACIDADES INSTALADAS Y FACTORES DE VARIACION

Capacidad instalada	Factores de variación de carga y gastos					
	100 %		80 %		70 %	
	Pot. media	Energía	Pot. media	Energía	Pot. media	Energía
2 000	2 000	16.4	1 600	13.3	1 400	12.0
3 000	3 000	23.0	2 400	17.8	2 100	16.8
4 000	4 000	29.2	3 200	23.8	2 800	22.6
5 000	5 000	34.3	4 000	29.2	3 500	26.3
6 000	6 000	39.2	4 800	33.7	4 200	29.9
7 000	7 000	42.8	5 600	37.5	4 900	34.4
8 000	8 000	45.3	6 400	40.6	5 600	37.5

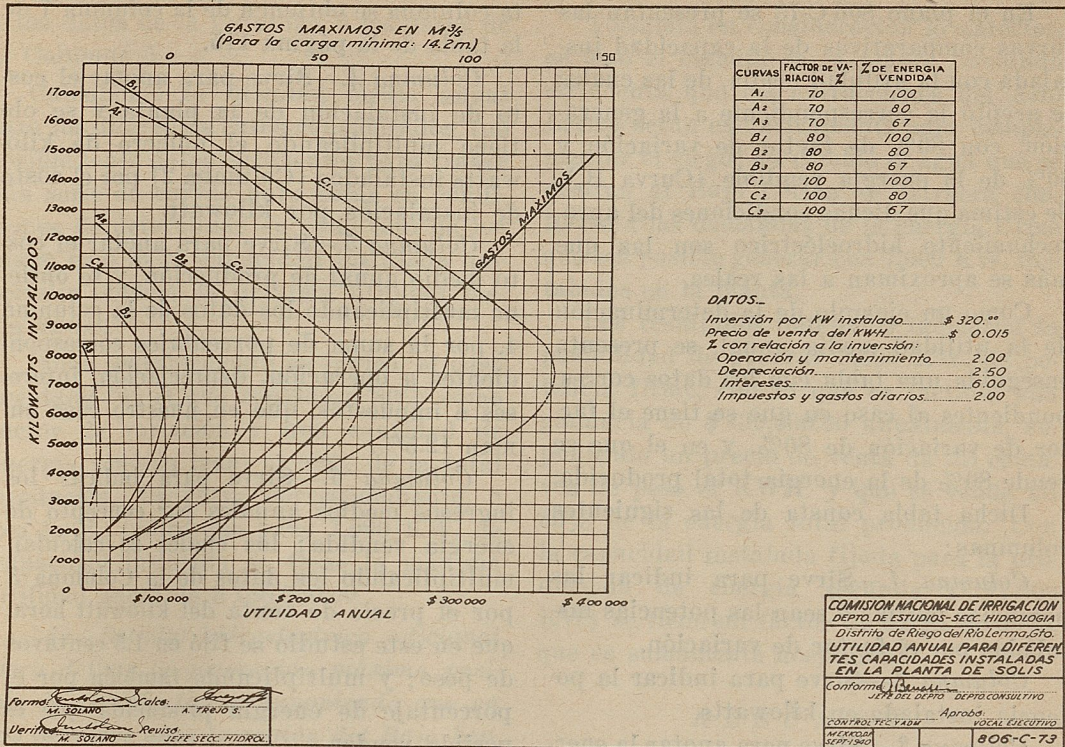
Nota: Energía en millones de KWH. anuales.

c). *Estudio económico para definir la capacidad instalada más conveniente.*—El análisis económico para definir la capacidad instalada más conveniente para la planta hidroeléctrica de Solís, consistió esencialmente en efectuar una serie de comparaciones gráficas de la utilidad media anual que se obtiene para cada una de las capacidades instaladas que se estudiaron. La utilidad media anual se obtuvo restando al producto de la venta de energía el costo de producción. Con los datos obtenidos se formaron gráficas que ligan la utilidad media anual (abscisas) con la capacidad instalada (ordenadas);

dichas gráficas muestran en forma clara cuál es la capacidad instalada más conveniente para obtener la máxima utilidad media anual.

Se detallan en seguida cada una de las partes que forman el estudio económico:

*Costo de instalación.*—Para estimar el costo de instalación de la planta de Solís, sirvieron de base los datos de costos del presupuesto correspondiente a la planta hidroeléctrica de El Palmito. En dicha planta se instalarán 4 unidades de 14,000 caballos cada una, con un costo total de



\$ 15,000,000.00, es decir, \$ 270.00 por caballo ó \$ 360.00 por kilowatt instalado.

Para la planta de Solís se aceptó un costo de instalación de \$ 320.00 por kilowatt.

*Costos anuales de operación.*—Los gastos anuales que tienen que hacerse para producir la energía eléctrica en la Planta de Solís, expresados en porcentajes del capital invertido, son los siguientes:

Costo de operación, reparaciones y mantenimiento.....	2.0%
Depreciación.....	2.5 „
Intereses del capital invertido...	6.0 „
Impuestos, seguros y gastos varios	2.0 „
Total.....	12.5%

*Precio de venta de la energía.*—En general se acepta que la energía secundaria tiene un precio de venta aproximadamente igual a la mitad del precio de la energía firme. Como en la región de Acámbaro la energía firme tiene un costo de 2.5 centavos de peso, se adoptó para los análisis económicos, un precio de venta

de 1.5 centavos de peso por kilowatt hora, ya que la energía secundaria se venderá en bloque, es decir, prácticamente el total de la que se produzca, tal y como se produzca.

*Utilidad media anual.*—Se considera como utilidad media anual la diferencia: Producto de la energía media anual por el precio de venta, menos las erogaciones correspondientes a los cargos o gastos fijos anuales que tengan que hacerse para operar la planta.

*Determinación de la capacidad instalada más conveniente.*—Fijando diferentes valores a la capacidad instalada se determina la cantidad de energía que es posible generar y con ella se calculan las entradas medias anuales de dinero, por concepto de venta de energía. Restando a las anteriores entradas el costo de operación de la planta, se tiene la utilidad media anual para los diferentes factores de variación de 70%, 80% y 100%, así como para los diferentes porcentajes de energía total vendible.

En el plano 806-C-73 se presentan las curvas comparativas de la capacidad instalada con la utilidad media, de las cuales se aceptó la correspondiente a la generación, con 80% de factor de variación y 80% de la energía vendible (Curva B<sub>2</sub>). Se estima que dichas condiciones del aprovechamiento hidroeléctrico son las que más se aproximan a las reales.

Como un ejemplo de la determinación de la utilidad media anual, se presenta enseguida una tabla con los datos correspondientes al caso en que se tiene el factor de variación de 80%, y en el que se vende 80% de la energía total producida.

Dicha tabla consta de las siguientes columnas:

*Columna 1.*—Sirve para indicar las potencias medias o sean las potencias instaladas por el factor de variación.

*Columna 2.*—Sirve para indicar la potencia instalada en kilowatts.

*Columna 3.*—Sirve para anotar la energía anual en kilowatts horas producida por cada potencia media. Los datos de es-

ta columna se obtienen de la columna 7 de la tabla de la página 115.

*Columna 4.*—Sirve para anotar el costo de instalación de la planta y se obtiene multiplicando el número de kilowatts instalados (Columna 2) por el costo de instalación por kilowatt.

*Columna 5.*—Sirve para anotar el costo medio anual de producción, y se obtiene multiplicando los datos de la columna 4, por la suma de porcentajes correspondientes a operación, depreciación, intereses e impuestos, que en nuestro caso suman 12.5%.

*Columna 6.*—Sirve para indicar los ingresos medios anuales por concepto de energía vendida; los cuales se calculan multiplicando los datos de la Columna 3 por el precio de venta del kilowatt hora, que en este estudio se fijó en 1.5 centavos de peso; y multiplicando también por el porcentaje de energía producida que es posible vender.

*Columna 7.*—Sirve para indicar la utilidad media anual y se calcula restando

COMISION NACIONAL DE IRRIGACION  
DEPTO. DE ESTUDIOS. SEC. DE HIDROLOGIA

ESTUDIOS HIDROELECTRICOS

Análisis económico de la Planta de la Presa de Solís, Gto.

% Anuales por concepto de:

Intereses del capital	6.00 %
Depreciación	2.50
Operación y mantenimiento	2.00
Impuestos y gastos varios	2.00

Caso: B<sub>2</sub>. Energía vendida: 80 %  
Calculó: A. G. Q.  
Verificó: M. Solano.

Inversión por KW instalado: \$ 320.00 Precio de venta del KWH: \$ 0.015 Factor de variación: 0.80  
Período de estudio: 1929-38

Potencia de la planta		Energía media anual generada KWH	Costo de instalación de la planta Pesos	Costo medio anual de Producción Pesos	Ingresos anuales por concepto de energía vendida Pesos	Utilidad media anual Pesos
Pot. media KW	Pot. instalada KW					
	(1) × 1.25		(2) × \$ 320	(5) × 0.125	(3) × 0.80 × 0.015	(6) — (6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1 600	2 000	13 350 000	640 000	80 000	160 200	80 200
3 200	4 000	24 400 000	1 280 000	160 000	292 800	132 800
4 800	6 000	23 650 000	1 920 000	240 000	403 800	163 800
5 600	7 000	37 550 000	2 240 000	280 000	450 600	170 600
6 400	8 000	40 650 000	2 560 000	320 000	487 800	167 800
8 000	10 000	45 350 000	3 200 000	400 000	544 200	144 200
9 600	12 000	47 650 000	3 840 000	480 000	571 800	91 800
11 200	14 000	48 750 000	4 480 000	560 000	585 000	25 000

NOTA: Los datos de las columnas (1) y (3) se tomaron de la tabla de la página 115. Con los valores de las columnas (2) y (7) se determinó la curva B<sub>2</sub> del plano 806-C-73.

a los datos de la Columna 6 los datos de la Columna 5.

Calculando la utilidad media anual para los diferentes casos considerados, fué posible tener datos suficientes para trazar una serie de curvas para estar en condiciones de determinar en cada uno de los casos, cuál es la capacidad instalada que permite obtener la máxima utilidad media anual.

Como anteriormente se indicó, el caso aceptado fué el que considera 80% como factor de variación y una cantidad de energía vendida igual al 80% de la total producida. La curva correspondiente, o sea la B<sub>2</sub>, indica que para 7,000 KW. de capacidad instalada se tiene la máxima utilidad anual de \$ 180,000.00.

d). *Estudio hidroeléctrico adicional para definir la generación máxima posible de energía firme, suponiendo que en los primeros años la región del Bajo Lerma no se riega, o bien que se construya posteriormente la presa de Corrales.*—La superficie total regable en el Alto y Bajo Lerma requiere para su completo desarrollo un período de varios años, en el cual puede aprovecharse el agua de riego en generación de energía firme.

La zona del Alto Lerma por su cercanía a la presa de Solís y las facilidades existentes, será la que se desarrolle primero, y para el estudio hidroeléctrico complementario se considera que la zona del Bajo Lerma será la que posponga su desarrollo, por lo que el agua que finalmente se dedique a complementar el riego en dicha zona será la que se utilice en generar energía firme en la presa en estudio. Por otra parte, si en el futuro se ve la necesidad de construir la presa de Corrales, se podrá dejar una capacidad adicional para regularizar el régimen de extracciones de la presa de Solís, destinado a riego de las Unidades 5<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup>, el cual se utilizará para generar energía firme, a fin de modificarlo al régimen correspondiente a las demandas de riego de esas unidades.

Tomando en consideración lo anterior, se hizo el estudio de la planta, tomando en cuenta que las extracciones del Alto Lerma serán exclusivamente para complementar el riego; en cambio el agua que se destina al Bajo Lerma se extraerá conforme a las demandas de la energía firme que sea posible generar con 7,000 KW. instalados en la planta.

Los resultados obtenidos indicaron la posibilidad de generar 3,500 KW. de potencia firme, con lo que es factible una ganancia de \$ 430,000.00 anualmente, suponiendo un precio de venta de 2.5 centavos de peso el KWH. y que se vende un 80% de la energía total producida. Con la capacidad instalada fijada para la producción de energía secundaria (7,000 KW) se tiene un factor de carga de 50%, que es sumamente aceptable.

## R E S U M E N

Después de analizar las posibilidades de generación de energía con las extracciones y derrames de la presa de Solís, destinadas primordialmente al riego de 111,000 h. netas, se llega a las siguientes conclusiones:

1<sup>a</sup> Las fuertes extracciones y derrames de la presa de Solís, funcionando para complementar el riego del Alto y Bajo Lerma, alcanzan un volumen medio mensual de 93 millones de metros cúbicos, o sea un gasto medio de 36 m<sup>3</sup>/s., el cual puede utilizarse para generación de energía hidroeléctrica.

2<sup>a</sup> No es recomendable generar energía firme en gran escala o construir una planta hidroeléctrica de capacidad suficiente para satisfacer demandas máximas de energía. Un régimen de extracciones al vaso diferente del necesario para complementar el riego, ya sea para generar energía firme en gran escala o para satisfacer demandas máximas de energía, significa desperdicio de agua en el aprovechamiento de riego y se traduce en una reducción de la superficie regable proyec-

tada. La generación de energía firme podrá desarrollarse únicamente empleando para tal fin las aguas destinadas al riego de la 5ª y 6ª unidades, y regularizando tales extracciones a la demanda de riego de esas unidades, mediante la construcción de la presa de Corrales. De acuerdo con la conclusión anterior, la energía que es posible generar en la presa de Solís, deberá ser de carácter secundario.

3ª Según el estudio desarrollado en este informe la capacidad instalada más

conveniente es de 7,000 KW, con la cual se pueden generar 38 millones de KW medios anuales; los gastos admisibles en las turbinas de acuerdo con las cargas máximas y mínimas son:

Carga máxima de 29.7 metros; gasto máximo, 32 m<sup>3</sup>/s.

Carga máxima de 14.2 metros; gasto máximo, 67 m<sup>3</sup>/s.

La potencia media firme que puede producir esta planta, es de 3,500 KW, con un factor de carga de 50%.

