

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN Y RESULTADOS

3.1 Introducción

En este capítulo se hace referencia a los datos utilizados para aplicar el modelo de simulación del funcionamiento de vaso de las tres presas analizadas; se muestran los resultados obtenidos al simular 23 políticas de operación seleccionadas, con el registro histórico de 28 años, tomando en cuenta las autocorrelaciones entre los volúmenes de ingreso de una quincena a otra (con DELVOL) y sin tomarlas en cuenta (sin DELVOL); posteriormente se presentan los resultados en los estadísticos de diez series sintéticas de 100 años de registro que fueron generadas; se proporcionan los resultados de simular dichas series con la política óptima y por último se da una conclusión general de los resultados obtenidos tras la simulación funcionamiento de vaso.

3.2 Datos de entrada al modelo de simulación de funcionamiento conjunto

Para el modelo de simulación se requieren los datos de los volúmenes de ingresos quincenales por cuenca propia a las tres presas (Tablas A1.9 y A1.10 del anexo 1), las curvas elevaciones-capacidades-áreas, en este caso en forma tabular y con respecto al NAMINO (Tabla 3.3 y 3.4) así como la lámina de evaporación neta (Tabla A1.12 del anexo 1), el volumen máximo de extracción mensual, por turbinas, la política de operación, en este caso dada como un archivo de texto. En la Figura 3.1 se presenta un fragmento de este archivo, además de la curva guía de cada una de las presas, dado en volumen (Tabla 3.1 y 3.2). Toda esta información se agrupa en un archivo de datos cuyo formato se explicó en el apartado 2.8.1 del capítulo 2.

Tabla 3.1 Curva guía de La Yesca, El Cajón y Aguamilpa. $\Delta V=200$ millones de m^3

Quincena			La Yesca		El Cajón		Aguamilpa	
			Estados	Volumen mill de m^3	Estados	Volumen mill de m^3	Estados	Volumen mill de m^3
1	Q	Enero	7	1400	6	1200	13	2600
2	Q	Enero	7	1400	6	1200	13	2500
1	Q	Febrero	6	1200	5	1000	13	2500
2	Q	Febrero	6	1200	5	1000	12	2400
1	Q	Marzo	6	1100	5	900	12	2400
2	Q	Marzo	5	1000	4	800	12	2300
1	Q	Abril	6	1100	5	900	11	2200
2	Q	Abril	5	1000	4	800	11	2200
1	Q	Mayo	5	1000	4	800	11	2100
2	Q	Mayo	5	1000	4	800	10	1900
1	Q	Junio	5	900	4	700	8	1600
2	Q	Junio	5	1000	4	800	6	1200
1	Q	Julio	6	1200	5	1000	7	1300
2	Q	Julio	7	1300	6	1100	13	2600
1	Q	Ago	7	1400	6	1200	13	2600
2	Q	Ago	7	1400	7	1300	13	2600
1	Q	Sep	7	1400	7	1300	16	3100
2	Q	Sep	7	1400	7	1300	17	3400
1	Q	Oct	7	1400	6	1200	16	3100
2	Q	Oct	7	1400	6	1200	15	3000
1	Q	Nov	7	1400	6	1200	15	3000
2	Q	Nov	7	1400	6	1200	15	2900
1	Q	Dic	7	1400	6	1200	14	2800
2	Q	Dic	7	1400	6	1200	14	2700

Tabla 3.2 Curva guía de La Yesca, El Cajón y Aguamilpa. $\Delta V=150$ millones de m^3

Quincena			La Yesca		El Cajón		Aguamilpa	
			Estados	Volumen mill de m^3	Estados	Volumen mill de m^3	Estados	Volumen mill de m^3
1	Q	Enero	9	1350	8	1200	17	2550
2	Q	Enero	9	1350	8	1200	17	2550
1	Q	Febrero	8	1200	7	1050	16	2400
2	Q	Febrero	8	1200	7	1050	16	2400
1	Q	Marzo	7	1050	6	900	16	2400
2	Q	Marzo	7	1050	6	900	15	2250
1	Q	Abril	7	1050	6	900	15	2250
2	Q	Abril	7	1050	6	900	14	2100
1	Q	Mayo	6	900	5	750	14	2100
2	Q	Mayo	6	900	5	750	13	1950
1	Q	Junio	6	900	5	750	11	1650
2	Q	Junio	6	900	5	750	8	1200
1	Q	Julio	8	1200	7	1050	8	1200
2	Q	Julio	8	1200	7	1050	18	2700
1	Q	Ago	9	1350	8	1200	18	2700
2	Q	Ago	9	1350	8	1200	18	2700
1	Q	Sep	9	1350	9	1350	21	3150
2	Q	Sep	9	1350	9	1350	22	3300
1	Q	Oct	9	1350	8	1200	20	3000
2	Q	Oct	9	1350	8	1200	20	3000
1	Q	Nov	9	1350	8	1200	20	3000
2	Q	Nov	9	1350	8	1200	20	3000
1	Q	Dic	9	1350	8	1200	19	2850
2	Q	Dic	9	1350	8	1200	18	2700

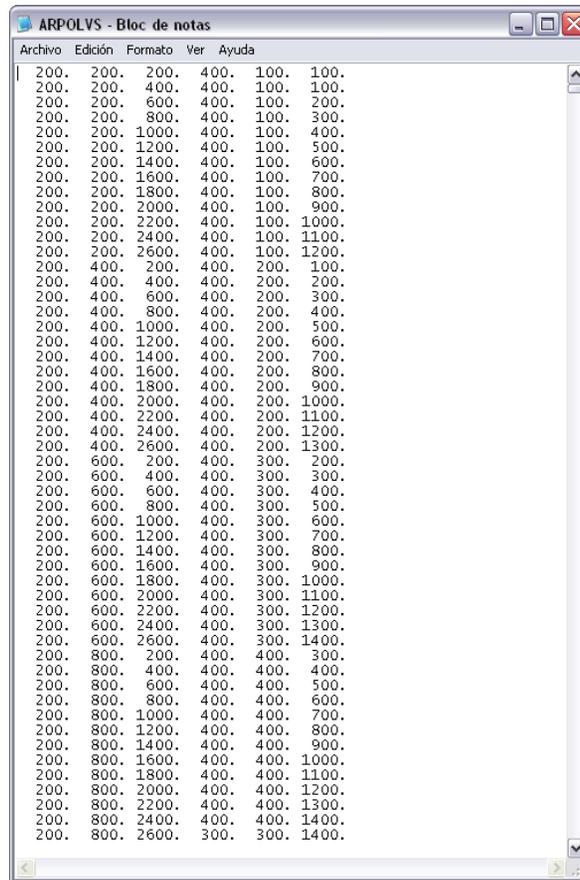


Figura 3.1 Fragmento de archivo ARPOLVS. Política de operación 1

Tabla 3.3 Curva elevaciones capacidades- áreas. Presas La Yesca, El Cajón y Aguamilpa

La Yesca			El Cajón								
ELEVACION	ÁREAS	CAPACIDAD									
msnm	km ²	Mm ³									
518	22.84	0.000	346	20.87	0.000	364	27.35	448.656	382	34.6	1002.203
520	23.41	39.246	347	21.15	18.426	365	27.74	475.439	383	35.03	1039.195
525	24.80	143.899	348	21.44	36.852	366	28.12	502.221	384	35.47	1076.187
530	26.25	254.718	349	21.73	55.279	367	28.5	529.003	385	35.9	1113.179
535	27.70	371.850	350	22.02	73.705	368	28.88	555.785	386	36.34	1150.170
540	29.16	495.294	351	22.4	100.487	369	29.26	582.568	387	36.77	1187.162
545	30.61	625.051	352	22.78	127.269	370	29.64	609.350	388	37.21	1224.154
550	32.06	761.120	353	23.16	154.052	371	30.02	636.132	389	37.65	1261.146
555	33.96	904.464	354	23.54	180.834	372	30.4	662.914	390	38.08	1298.137
560	35.86	1056.047	355	23.92	207.616	373	30.79	689.697	391	38.52	1335.129
565	37.93	1216.245	356	24.3	234.398	374	31.17	716.479	392	38.95	1372.121
570	40.00	1385.435	357	24.68	261.181	375	31.55	743.261	393	39.39	1409.113
575	42.07	1563.617	358	25.07	287.963	376	31.99	780.253	394	39.82	1446.104
580	44.14	1750.791	359	25.45	314.745	377	32.42	817.245	395	40.26	1483.096
585	46.64	1947.873	360	25.83	341.527	378	32.86	854.236	396	40.69	1520.088
590	49.13	2155.778	361	26.21	368.310	379	33.29	891.228	397	41.13	1557.080
595	51.62	2374.506	362	26.59	395.092	380	33.73	928.220	398	41.56	1594.071
600	54.11	2604.058	363	26.97	421.874	381	34.16	965.212	400	42.43	1668.055

Tabla 3.4 Continuación

Aguamilpa								
ELEVACION	ÁREAS	CAPACIDAD	ELEVACION	ÁREAS	CAPACIDAD	ELEVACION	ÁREAS	CAPACIDAD
msnm	km ²	Mm ³	msnm	km ²	Mm ³	msnm	km ²	Mm ³
190	70.42	0	208	92.56	1433.58	226	118.44	3311.034
191	71.54	69.737	209	94	1525.106	227	120.05	3429.797
192	72.67	140.58	210	95.43	1618.012	228	121.58	3550.116
193	73.8	212.53	211	96.87	1712.32	229	123.28	3672.01
194	72.94	285.58	212	98.31	1808.07	230	124.98	3795.5
195	76.05	359.73	213	99.75	1905.28	231	126.69	3920.599
196	77.17	434.99	214	101.19	2003.987	232	128.39	4047.306
197	78.3	511.45	215	102.62	2104.21	233	130.09	4175.634
198	79.43	589.088	216	104.06	2205.99	234	131.79	4305.597
199	80.55	667.948	217	105.5	2309.36	235	133.49	4437.207
200	81.68	748.04	218	106.94	2414.34			
201	82.8	829.38	219	108.38	2520.99			
202	83.93	911.94	220	109.81	2629.31			
203	85.37	995.72	221	111.25	2739.256			
204	86.81	1080.75	222	112.69	2850.71			
205	88.24	1167.015	223	114.13	2963.648			
206	89.83	1254.55	224	115.57	3078.023			
207	91.12	1343.4	225	117	3193.803			

3.3 Resultados de la simulación de políticas de operación con el registro histórico

Para el $\Delta V=200$ millones de m³, se determinaron las políticas 1 a 11, con las curvas guías de la Tabla 2.6 del capítulo 2, los coeficientes de penalización que se utilizaron son los enlistados en este capítulo.

Para el $\Delta V=150$ millones de m³, se determinaron las políticas 12 a la 19, con las curvas guías de la Tabla 2.6 del capítulo 2, considerando coeficientes de penalización similares a los de las políticas 4 a 11.

Finalmente se simularon las políticas 20, 21, 22 y 23 que son como las políticas 4, 5, 12 y 13 pero haciendo que la curva guía de Aguamilpa no sobrepasara el NAMO (respecto a la curva guía de las políticas 4, 5, 12 y 13).

El resumen de las simulaciones con las 23 políticas de operación se presenta en la Tabla 3.5. En la Tabla 3.6 se presenta el conteo de años con derrame, déficit, así como los años y quincenas donde se rebasó a la curva guía de las 23 políticas.

En la Tabla 3.7 y 3.8 se muestra el resumen de las simulaciones y conteo de años con derrame, déficit y años en donde se rebasó la curva guía pero considerando los coeficientes DELVOL en cero para las tres presas (es decir sin tomar en cuenta la autocorrelación en los volúmenes de ingreso y usando la política óptima sin el DELVOL).

Tabla 3.5 Resumen de la simulación conjunta del registro histórico. Sistema hidroeléctrico del río Santiago, Nayarit. Periodo: 1981-2008. Con DELVOL

Políticas con ΔV=200 millones de m3													
Política	Energía generada			Energía total	Derrame			Déficit			Almacenamiento mínimo		
	GWh/quincena			GWh/quincena	(10 ⁶ m ³)			(10 ⁶ m ³)			(10 ⁶ m ³)		
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	Suma	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa
1	84.51	88.61	161.51	334.63	2817.3	1518.5	1431.08	40993.48	802.63	106.88	0	0	0
2	84.49	88.25	161.46	334.2	3535.01	2021.57	1535.66	11089.89	728.1	380.42	0	0	0
3	85.15	87.99	161.08	334.22	4245.4	2049.41	1952.88	2999.84	405.38	109.5	0	0	0
4	86.61	84.88	159.22	330.71	5501.83	2199.89	4274.46	0	249.72	0	66.99	0	284.91
5	86.62	86.79	158.92	332.33	5501.64	2376.85	5239.51	0	0	0	66.99	173.56	440.02
6	86.63	85.83	159.06	331.52	5497.65	2200.08	4938.62	0	43.59	0	66.99	0	439.98
7	86.02	85.7	158.87	330.59	5136.69	2315.97	4172.46	190.42	50.28	0	0	0	246.15
8	86.09	84.78	158.76	329.63	5035.79	2192.12	2810.1	190.66	588.76	53.68	0	0	0
9	83.77	86.07	159.02	328.86	3938.64	2040.01	2789.36	15444.15	1371.45	250.54	0	0	0
10	83.91	87.58	160.24	331.73	2368.25	1212.07	2258.84	47003.4	1845.18	482.18	0	0	0
11	83.9	87.46	160.2	331.56	2368.25	1261.96	2259.61	47103.18	1841.76	482.95	0	0	0
Políticas con ΔV=150 millones de m3													
Política	Energía generada			Energía total	Derrame			Déficit			Almacenamiento mínimo		
	GWh/quincena			GWh/quincena	(10 ⁶ m ³)			(10 ⁶ m ³)			(10 ⁶ m ³)		
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	Suma	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa
12	86.2	86.98	159.1	332.28	5168.04	2501.11	5971.66	44.07	0	0	0	304.49	506.62
13	86.24	87.09	158.73	332.06	5174.67	2693	6082.85	43.91	0	0	0	411.66	444.58
14	86.26	86.92	159.21	332.39	5088.26	2366.11	5672.04	44.07	0	0	0	302.21	489.09
15	86	87.35	159.14	332.49	4746.39	2289.72	5469.05	130.91	0	0	0	328.93	432.37
16	85.91	87.22	159.63	332.76	4803.23	2160.69	5468.99	133.44	0	0	0	301.14	501.76
17	85.16	88.31	159.63	333.1	4359	2221.25	5386.88	1719.4	0	0	0	320.69	500.38
18	84.18	88.96	159.73	332.87	3408.17	2234.02	5262.4	15019.36	0	0	0	118.2	431.91
19	84.14	88.63	159.72	332.49	3304.58	2247.7	5237.58	18068.63	0	0	0	117.84	493.18
Limitando la curva guía con el NAMO													
Política	Energía generada			Energía total	Derrame			Déficit			Almacenamiento mínimo		
	GWh/quincena			GWh/quincena	(10 ⁶ m ³)			(10 ⁶ m ³)			(10 ⁶ m ³)		
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	Suma	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa
20 (4)	86.61	84.88	159.22	330.71	5501.83	2199.89	4274.46	0	249.72	0	66.99	0	284.91
21 (12)	86.2	86.98	159.1	332.28	5168.04	2501.11	5971.66	44.07	0	0	0	304.49	506.62
22 (5)	86.62	86.79	158.92	332.33	5501.64	2376.85	5239.51	0	0	0	66.99	173.56	440.02
23 (13)	86.24	87.09	158.73	332.06	5174.67	2693	6082.85	43.91	0	0	0	411.66	444.58

Tabla 3.6 Resumen de frecuencia de ocurrencias de derrames, déficit y años en donde se superó la curva guía. Sistema de presas del río Santiago, Nayarit. Periodo: 1981-2008. Con DELVOL

Políticas con ΔV=200 millones de m3													
Política	Años con derrame			Años con déficit			Años en donde se superó curva guía			Quincenas en donde se superó curva guía			
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	
1	3	4	4	28	6	2	4	11	2	12	35	3	
2	4	5	4	28	4	4	4	12	2	13	43	4	
3	4	3	4	20	4	2	5	12	2	15	43	4	
4	6	3	5	0	4	0	7	8	4	25	23	8	
5	6	3	5	0	0	0	7	13	6	25	37	10	
6	6	3	5	0	1	0	7	11	6	25	31	11	
7	4	3	5	3	1	0	6	7	4	23	28	7	
8	4	3	5	3	5	3	6	5	2	23	23	5	
9	4	4	4	25	8	2	4	7	2	16	23	5	
10	3	4	4	28	9	5	4	7	3	11	24	5	
11	3	4	4	28	9	5	4	7	3	11	21	5	
Políticas con ΔV=150 millones de m3													
Política	Años con derrame			Años con déficit			Años en donde se superó curva guía			Quincenas en donde se superó curva guía			
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	
12	5	3	6	1	0	0	6	11	12	20	31	21	
13	5	3	6	1	0	0	6	11	13	20	35	21	
14	5	6	6	1	0	0	6	12	17	20	35	26	
15	5	3	6	2	0	0	6	11	5	20	41	10	
16	5	3	6	2	0	0	6	11	15	20	29	23	
17	4	4	6	13	0	0	5	11	7	17	35	11	
18	4	5	6	26	0	0	4	11	5	16	40	10	
19	4	5	6	26	0	0	4	12	5	16	38	10	
Limitando la curva guía con el NAMO													
Política	Años con derrame			Años con déficit			Años en donde se superó curva guía			Quincenas en donde se superó curva guía			
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	
20	6	3	5	0	4	0	7	8	4	25	23	8	
21	5	3	6	1	0	0	6	11	12	20	31	21	
22	6	3	5	0	0	0	7	13	6	25	37	10	
23	5	3	6	1	0	0	6	11	13	20	35	21	

Tabla 3.7 Resumen de la simulación conjunta del registro histórico. Sistema hidroeléctrico del río Santiago, Nayarit. Periodo: 1981-2008. Sin DELVOL

Políticas con ΔV=200 millones de m3													
Política	Energía generada			Energía total	Derrame			Déficit			Almacenamiento mínimo		
	GWh/quincena			GWh/quincena	(10 ⁸ m ³)			(10 ⁸ m ³)			(10 ⁸ m ³)		
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	Suma	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa
1	84.27	88.72	161.65	334.64	3053.75	1420.45	1209.96	45043.8	756.17	261.54	0	0	0
2	84.1	88.38	161.47	333.95	3843.97	1884.93	1482.6	15835.77	663.62	535.49	0	0	0
3	84.59	88.08	160.63	333.3	4621.14	2017.19	2265.05	5996.61	497.4	179.07	0	0	0
4	85.92	85.25	158.55	329.72	5908.94	2196.17	4709.46	440.83	0	0	0	48.82	262.34
5	85.96	86.83	158.32	331.11	5908.93	2477.19	5497.92	341.14	0	0	0	245.65	371.16
6	85.93	85.87	158.49	330.29	5908.98	2251.4	5325.7	341.14	0	0	0	92.63	232.19
7	85.47	85.85	158.23	329.55	5440.44	2327.02	4623.79	1074.88	97.68	0	0	0	218.64
8	85.47	85.26	157.95	328.68	5440.33	2058.6	3375.18	1000.62	239.1	388.53	0	0	0
9	83.36	86.27	158.61	328.24	4291.89	1796.01	2881.39	19144.37	1257.49	740.25	0	0	0
10	83.56	87.67	160.01	331.24	2767.19	1090.91	2310.36	50390.31	1928.79	883.57	0	0	0
11	83.56	87.59	159.9	331.05	2767.19	1090.91	2410.13	50390.44	1825.84	933.08	0	0	0
Políticas con ΔV=150 millones de m3													
Política	Energía generada			Energía total	Derrame			Déficit			Almacenamiento mínimo		
	GWh/quincena			GWh/quincena	(10 ⁸ m ³)			(10 ⁸ m ³)			(10 ⁸ m ³)		
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	Suma	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa
12	85.75	87.12	158.79	331.66	5496.37	2305.42	6147.55	144.32	0	0	0	303.17	430.11
13	85.81	87.26	158.48	331.55	5497.48	2365.49	6296.29	143.58	0	0	0	354.64	429.26
14	85.78	87.13	158.66	331.57	5497.02	2177.33	6146.16	143.91	0	0	0	302.82	430.45
15	85.29	87.41	158.71	331.41	5277.33	2208.23	5781.46	612.3	0	0	0	304.44	415.88
16	85.25	87.42	159.12	331.79	5277.46	2089.9	5777.72	612.78	0	0	0	301.8	416.17
17	84.59	88.35	159.4	332.34	4785.99	2115.21	5552	3027.9	0	0	0	302.18	423.82
18	83.83	89.01	159.47	332.31	3874.87	2102.16	5456.94	17229.38	0	0	0	117.32	424.26
19	83.86	88.76	159.4	332.02	3724.76	2090.25	5448.61	20079.72	0	0	0	116.95	431.48
Limitando la curva guía con el NAMO													
Política	Energía generada			Energía total	Derrame			Déficit			Almacenamiento mínimo		
	GWh/quincena			GWh/quincena	(10 ⁸ m ³)			(10 ⁸ m ³)			(10 ⁸ m ³)		
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	Suma	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa
20	85.92	85.25	158.55	329.72	5908.94	2196.17	4709.46	440.83	0	0	0	48.82	262.34
21	85.75	87.12	158.79	331.66	5496.37	2305.42	6147.55	144.32	0	0	0	303.17	430.11
22	85.96	86.83	158.32	331.11	5908.93	2477.19	5497.92	341.14	0	0	0	245.65	371.16
23	85.81	87.26	158.48	331.55	5497.48	2365.49	6296.29	143.58	0	0	0	354.64	429.26

Tabla 3.8 Resumen de frecuencia de ocurrencias de derrames, déficit y años en donde se superó la curva guía. Sistema de presas del río Santiago, Nayarit. Periodo: 1981-2008. Sin DELVOL

Políticas con ΔV=200 millones de m3													
Política	Años con derrame			Años con déficit			Años en donde se superó curva guía			Quincenas en donde se superó curva guía			
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	
	1	4	2	4	28	6	2	4	4	2	17	21	4
2	4	3	4	27	4	4	5	5	2	18	27	6	
3	4	3	4	21	4	3	5	5	2	20	27	6	
4	6	3	5	4	0	0	7	8	5	28	22	11	
5	6	3	5	2	0	0	7	12	6	28	33	11	
6	6	3	5	2	0	0	7	11	7	28	29	14	
7	5	3	5	9	2	0	6	6	5	22	26	9	
8	5	3	4	9	2	5	6	4	2	23	21	6	
9	4	3	4	25	9	6	4	4	2	18	21	6	
10	3	2	4	28	10	6	4	4	2	14	21	7	
11	2	2	4	28	10	7	4	3	2	14	18	7	
Políticas con ΔV=200 millones de m3													
Política	Años con derrame			Años con déficit			Años en donde se superó curva guía			Quincenas en donde se superó curva guía			
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	
12	5	3	6	3	0	0	6	8	13	24	27	22	
13	5	3	6	3	0	0	6	9	11	24	30	20	
14	5	3	6	3	0	0	6	9	13	24	32	23	
15	5	3	6	7	0	0	5	9	5	22	33	11	
16	5	3	6	7	0	0	5	8	16	22	26	24	
17	4	3	6	15	0	0	5	7	6	20	29	11	
18	4	3	6	26	0	0	4	6	5	18	25	11	
19	4	3	6	26	0	0	4	5	5	18	24	11	
Limitando la curva guía con el NAMO													
Política	Años con derrame			Años con déficit			Años en donde se superó curva guía			Quincenas en donde se superó curva guía			
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	
20	6	3	5	4	0	0	7	8	5	28	22	11	
21	5	3	6	3	0	0	6	8	13	24	27	22	
22	6	3	5	2	0	0	7	7	6	28	28	11	
23	5	3	6	3	0	0	6	9	11	24	30	20	

Notas de las Tablas 3.5 a 3.8:

Política 1

Presas 1 cderr 10 000, cdef 100, ccg 1 000

Presas 2 cderr 10 000, cdef 100, ccg 1 000

Presas 3 cderr 10 000, cdef 100, ccg 1 000

Política 2

Presas 1 cderr 10 000, cdef 1 000, ccg 1 000

Presas 2 cderr 10 000, cdef 100, ccg 1 000

Presas 3 cderr 10 000, cdef 100, ccg 1 000

Política 3, 4, 12, 20, 21

Presas 1 cderr 10 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Presas 2 cderr 10 000, cdef 100, ccg 1 000

Presas 3 cderr 10 000, cdef 100, ccg 1 000

Política 5, 13, 22, 23

Presas 1 cderr 10 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Presas 2 cderr 10 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Presas 3 cderr 10 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Política 6, 14

Presas 1 cderr 10 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Presas 2 cderr 10 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Presas 3 cderr 10 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Política 7, 15

Presas 1 cderr 100 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Presas 2 cderr 100 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Presas 3 cderr 100 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Política 8, 16

Presas 1 cderr 100 000, cdef 10 000, ccg 1 000

Presas 2 cderr 100 000, cdef 100, ccg 1 000

Presas 3 cderr 100 000, cdef 100, ccg 1 000

Política 9, 17

Presas 1 cderr 100 000, cdef 1 000, ccg 1 000

Presas 2 cderr 100 000, cdef 100, ccg 1 000

Presas 3 cderr 100 000, cdef 100, ccg 1 000

Política 10, 18

Presas 1 cderr 100 000, cdef 100, ccg 1 000

Presas 2 cderr 100 000, cdef 100, ccg 1 000

Presas 3 cderr 100 000, cdef 100, ccg 1 000

Política 11, 19

Presas 1 cderr 100 000, cdef 100, ccg 10 000

Presas 2 cderr 100 000, cdef 100, ccg 10 000

Presas 3 cderr 100 000, cdef 100, ccg 10 000

3.4 Selección de la mejor política de operación

Con respecto a las políticas de consideran un $\Delta V=200$ millones de m^3 y tomando en cuenta la autocorrelación entre los volúmenes de ingreso a los embalses de una quincena a otra (con DELVOL) se puede comentar lo siguiente:

La política 1 se descarta por el déficit tan alto para la presa La Yesca (40 993.48 millones de m^3), además del déficit durante los 28 años de registro; aunque esta política es una de las que menos derrames genera; la energía total generada es ligeramente mayor a la de las demás políticas.

La política 2 es muy similar a la 1, destaca el incremento en los derrames en las 3 presas, pero conserva el déficit en La Yesca durante todo el registro histórico; la energía total generada es también una de las mayores (334.2 GWh/quincena), pero sin llegar a ser considerada como política óptima.

La política 3 conserva la misma tendencia de las dos primeras al ser muy grandes los déficits para las tres presas, en menor medida que la política uno y dos. La energía total generada se mantiene constante, esta política es de las que menor derrames tiene comparándola con las primeras once.

La política 4 se comporta mucho mejor que las tres anteriores, en la generación de energía baja con respecto a las tres primeras políticas, pero los déficits bajan considerablemente (La Yesca y Aguamilpa 0 m^3 , El Cajón 249 millones de m^3); los derrames son parecidos a las otras políticas de operación.

La política 5 es una de las mejores políticas, comparándola con las otras veintidos en cuestión de déficits, debido a que no tiene déficit en toda la simulación, la energía total generada es un poco mayor a la reportada por la política 4 (sube de 330.71 a 332.33 GWh/quincena); esta política presenta el mayor derrame comparándola con las demás políticas, pero se busca tener el menor déficit en el sistema; de las políticas con $\Delta V=200$ millones de m^3 .

La política 6 es similar a la 5 en la generación total de energía, pero está por debajo de la política 5; los derrames son menores a la política 5, pero debido al derrame que se presenta en El Cajón (43.59 millones de m^3) se tiene que descartar.

La política 7 tiene menos derrames, la energía total generada se mantiene en el orden de las dos políticas anteriores, pero el déficit se dispara en dos de las tres presas del sistema (190.42 millones de m^3 en La Yesca y 50.28 millones de m^3 en El Cajón).

La política 8, 9, 10 y 11 tienen muy alto déficit en las tres presas, de hecho las políticas 9, 10 y 11 son las que es mayor el déficit de las políticas con $\Delta V=200$ millones de m^3 ; los

derrames no son excesivos comparándolos con las primeras políticas, pero como se describe, el déficit es muy alto.

La política 12 es una de las mejores políticas, ya que el déficit que presenta La Yesca es de los más bajos de toda la simulación (44.07 millones de m³), la energía total generada no es la más alta, pero mantiene un nivel alto; esta política es similar a la 4, por lo que sigue siendo una buena política y logra aumentar la energía total en 1.57 GWh/quincena.

La política 13 es muy similar a la política 12, la generación total de energía es apenas menor (0.22 GWh/quincena), pero los derrames son mayores, por lo que se tiene que descartar esta política.

La política 14 genera mayor energía comparada con las dos políticas anteriores, reporta menos derrames que la política 12 (514.4 millones de m³ menos) y presenta el mismo déficit para La Yesca, pero no es la mejor opción debido al pobre almacenamiento mínimo que presenta.

La política 15, 16 y 17 son muy similares entre si, se caracterizan por tener derrames altos y déficit también muy alto (130.9, 133.44 y 1719.4 millones de m³ para La Yesca, El Cajón y Aguamilpa, respectivamente), por consiguiente se descartan.

La política 18 y 19 son las dos políticas con $\Delta V=150$ millones de m³ con el mayor déficit (15019.36 y 18068.63 millones de m³ para La Yesca y El Cajón), debido a esto, no se consideran como políticas óptimas.

La política 20 es similar a la política 4, se conservan los coeficientes de derrame, déficit y curva guía, pero se limita al NAMO; presenta en El Cajón déficit de 249.72 millones de m³, es bastante elevado, por lo que se descarta la política.

La política 21 es similar a la política 12, también está limitada al NAMO; no se presentaron variaciones con respecto a la política 12, pero para fines prácticos es mejor operar el sistema sin rebasar el NAMO, por lo que la política 21 es la mejor política con un $\Delta V=150$ millones de m³. Esta política es la que reporta los mejores resultados de la simulación. En el Anexo 2 de este trabajo se muestra los registros completos y resultados de la simulación.

Para la política 22 ($\Delta V=200$ millones de m³), los valores reportados de energía total generada, derrame, déficit y almacenamiento mínimo son idénticos a la política 5, pero de igual forma que la política 21 es mejor opción al operar sin rebasar al NAMO que la política 12, la política 22 es la política óptima.

La política 23, similar a la política 13 pero limitada al NAMO, no reporta cambios comparándola con la política 13, presenta derrame y déficit muy similares a la política 12, pero se descarta ya que reporta menos energía total generada (0.22 GWh/quincena).

Los resultados de la Tabla 3.7 (sin DELVOL), reportan en general una disminución en la energía generada, aumentos en los derrames totales así como en el déficit en el sistema; lo que muestra el beneficio de tomar en cuenta las autocorrelaciones entre los volúmenes de ingreso a las presas de una quincena a otra, con el fin de modificar la política de extracción al añadirle o restarle un volumen DELVOL dependiendo de cómo fue el ingreso en una quincena anterior con respecto al ingreso promedio histórico en dicha quincena.

3.5 Resultados de la generación de registros sintéticos

Al efectuar el proceso de generación de registros sintéticos descrito en el capítulo anterior, se generaron 10 series sintéticas de 100 años de registro; el volumen total suma se ajustó con una función tipo Doble Gumbel con $p=0.82$. En las Tablas 3.9 y 3.10 se muestran los estadísticos sintéticos promedio de las 10 series sintéticas para las presas La Yesca y Aguamilpa.

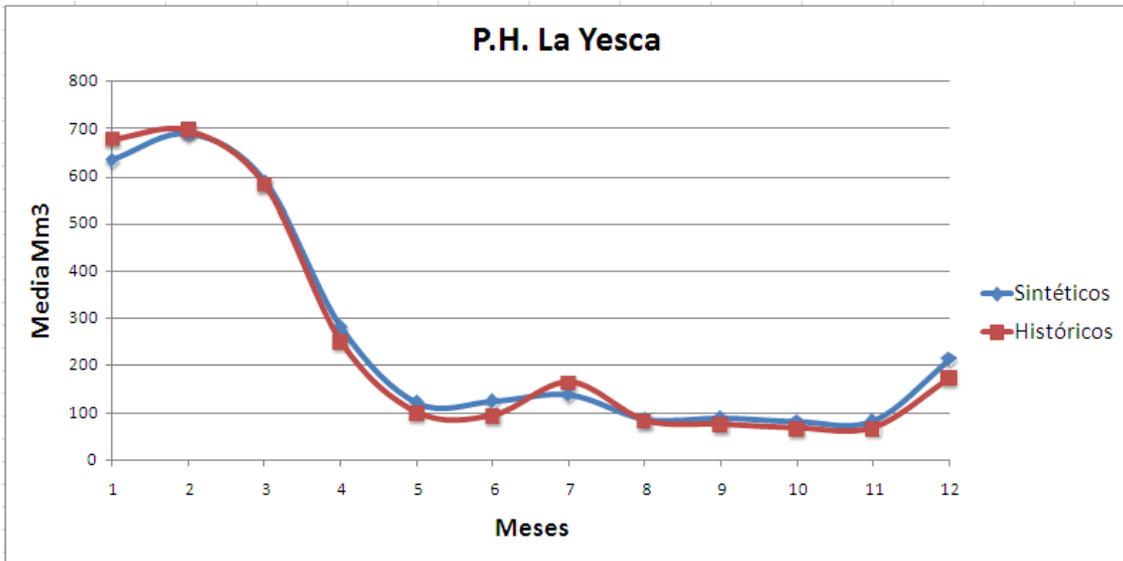
Tabla 3.9 Estadísticos sintéticos promedio de las 10 series sintéticas y estadísticos históricos. Presa La Yesca

SINTÉTICOS	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	TOTAL
media	634.23648	688.46963	589.23346	282.64802	122.44006	126.09362	139.6	87.749148	90.524115	83.132235	85.018495	214.93215	3144.0774
desvest	520.77941	549.00452	472.71957	281.37102	97.882012	172.90129	183.94424	78.256348	79.688726	79.450117	76.843187	192.92228	1979.4137
coef asim	2.1521259	2.2928405	3.1068402	2.9471485	2.4723056	4.5182009	3.9117626	2.4873105	2.5346178	2.7360083	2.6326513	2.4210042	2.5657842
coef varia	0.8201156	0.7955982	0.7986262	0.9933617	0.7947295	1.3542923	1.3078413	0.8949344	0.8729874	0.9489851	0.8972374	0.8970608	0.6278359
ri+1,ri	0.4650823	0.5985794	0.5959089	0.6837748	0.6421225	0.1784276	0.7605918	0.735151	0.8825463	0.9576149	0.6143875	-0.0356088	
rx	0.6357837	0.8390406	0.6853941	0.4876667	0.4876709	0.0649903	0.6851835	0.6397557	0.4277934	0.2873172	0.0950369	0.7593309	
HISTÓRICOS	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	TOTAL
media	678.15139	696.35316	581.83684	251.22759	101.52557	95.565181	165.89004	84.367464	76.335484	68.469148	69.982843	175.1815	3044.8862
desvest	816.05534	538.50959	393.75426	176.08278	36.78061	82.10695	427.57132	107.94055	41.47942	40.550332	37.016256	86.163698	1690.4566
coef asim	4.2053447	2.1108714	2.0532887	0.9681971	0.6277889	4.0510473	5.1457098	4.4651303	1.3376562	0.7931535	0.6869618	1.2778665	2.7319974
coef varia	1.2033528	0.7733283	0.6767434	0.7008895	0.3622793	0.8591722	2.5774382	1.2794097	0.5433832	0.5922424	0.5289333	0.4918539	0.5551789
ri+1,ri	0.1739152	0.3987865	0.5537719	0.4694468	0.3927684	-0.0108569	0.9685201	0.4792878	0.7598239	0.8548747	-0.2337622	0.0046741	
rx	0.5587628	0.8685627	0.6318341	0.5764761	-0.258292	-0.1921549	0.9506086	0.9105307	0.4986547	0.2742083	-0.1686122	0.7113096	

Tabla 3.10 Estadísticos sintéticos promedio de las 10 series sintéticas y estadísticos históricos. Presa Aguamilpa

SINTÉTICOS	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	TOTAL
media	625.7465	839.92928	663.34842	234.57318	57.266696	37.565776	117.53487	40.881556	22.383448	11.239279	30.225856	126.84472	2807.5396
desvest	498.24391	631.26456	560.69279	261.09066	61.238076	58.253594	229.36804	49.891754	27.390609	14.228812	64.540152	129.66257	1763.5729
coef asim	2.5552641	2.507264	2.6503086	2.8823654	2.6873451	3.8202181	3.2712487	2.3847807	2.1466942	3.3805064	4.6390255	2.780964	2.6041775
coef varia	0.7918306	0.7499551	0.838664	1.1070711	1.0646338	1.521877	1.9677339	1.2216324	1.2266534	1.2686807	2.1437723	1.0222819	0.6267146
ri+1,ri	0.6225261	0.5482908	0.4415122	0.3213547	0.5865198	0.2393663	0.6992844	0.5596144	0.4654952	0.3396655	0.3269299	0.0216959	
HISTÓRICOS	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	TOTAL
media	660.96107	833.10553	662.65145	224.37999	46.185003	30.614284	163.32786	45.634615	19.809107	10.532056	23.185882	114.90597	2835.2928
desvest	584.30976	555.20511	515.338	225.09509	28.346674	35.755546	460.31893	77.649376	23.607623	12.330774	36.710261	90.768858	1569.7125
coef asim	2.5641611	1.9298835	2.4934165	2.7499683	0.6370701	3.2990877	4.4433879	3.6235257	1.8821383	3.0397305	3.3110789	1.30995	1.2902434
coef varia	0.8840305	0.6664283	0.7776909	1.003187	0.6137636	1.1679367	2.8183736	1.7015456	1.191756	1.1707851	1.5833023	0.7899403	0.5536333
ri+1,ri	0.4046911	0.3354181	0.3365936	0.2427658	0.4708975	0.3896018	0.9374932	0.743116	0.4916416	0.2575616	0.2464188	-0.0012773	

En las Figuras 3.2 a 3.12 se muestra la comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de los estadísticos de las 10 series sintéticas para las presas La Yesca y Aguamilpa.



Fig

Figura 3.2 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de las medias de 10 series sintéticas. Presa La Yesca

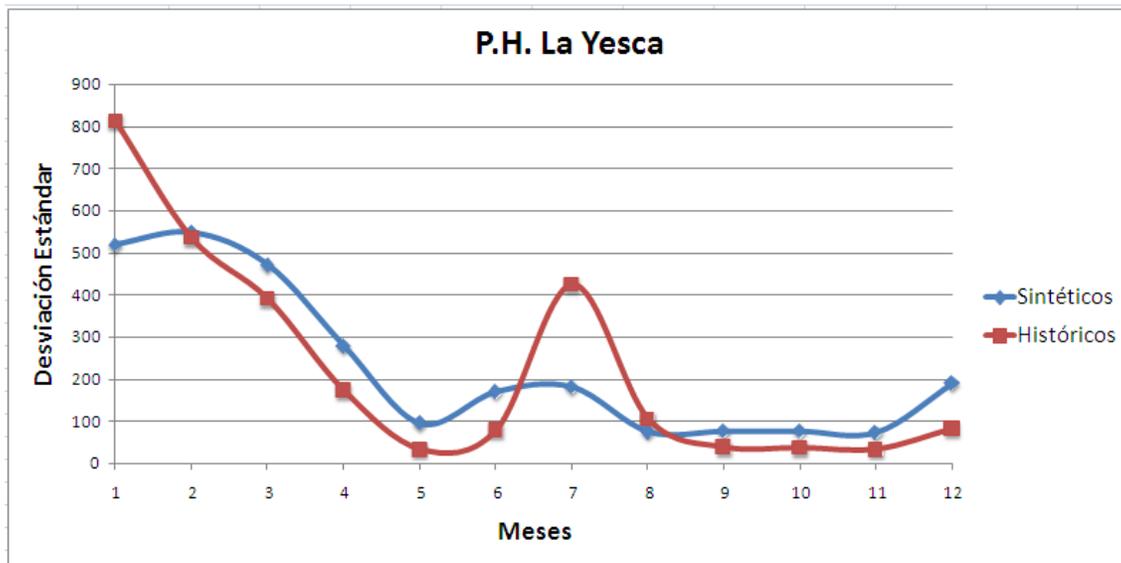


Figura 3.3 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de las desviaciones estándar de 10 series sintéticas. Presa La Yesca

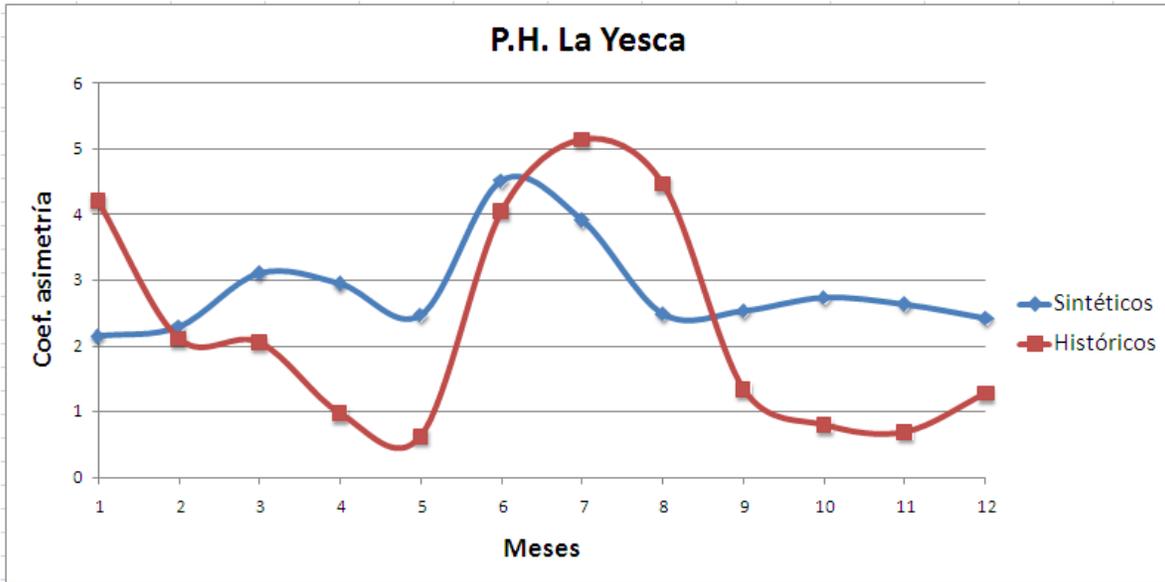


Figura 3.4 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de los coeficientes de asimetría de 10 series sintéticas. Presa La Yesca

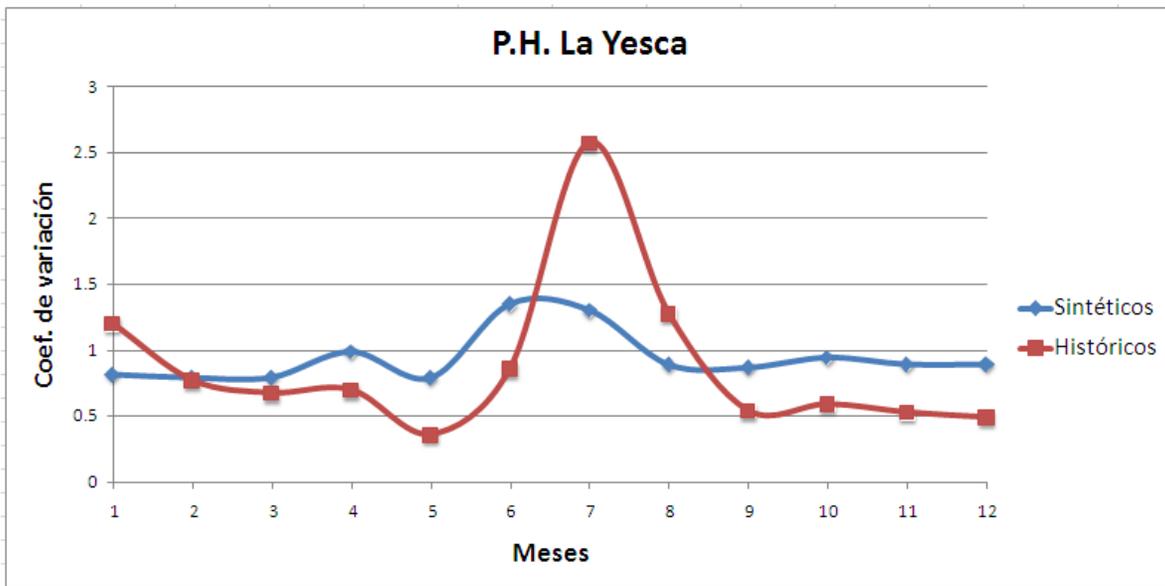


Figura 3.5 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de los coeficientes de variación de 10 series sintéticas. Presa La Yesca

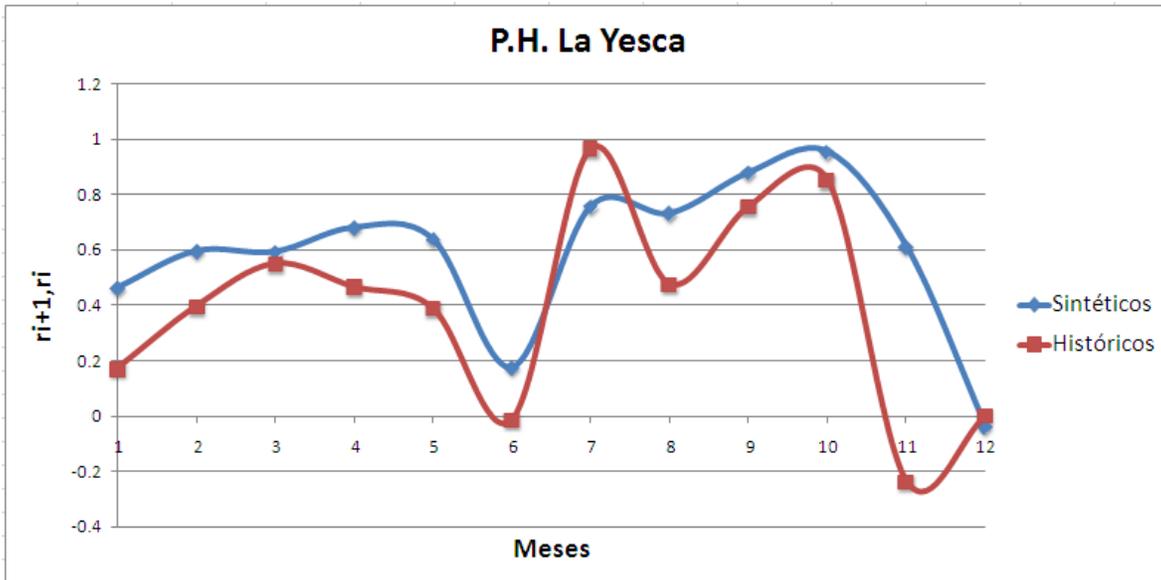


Figura 3.6 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de los coeficientes de autocorrelación de 10 series sintéticas. Presa La Yesca

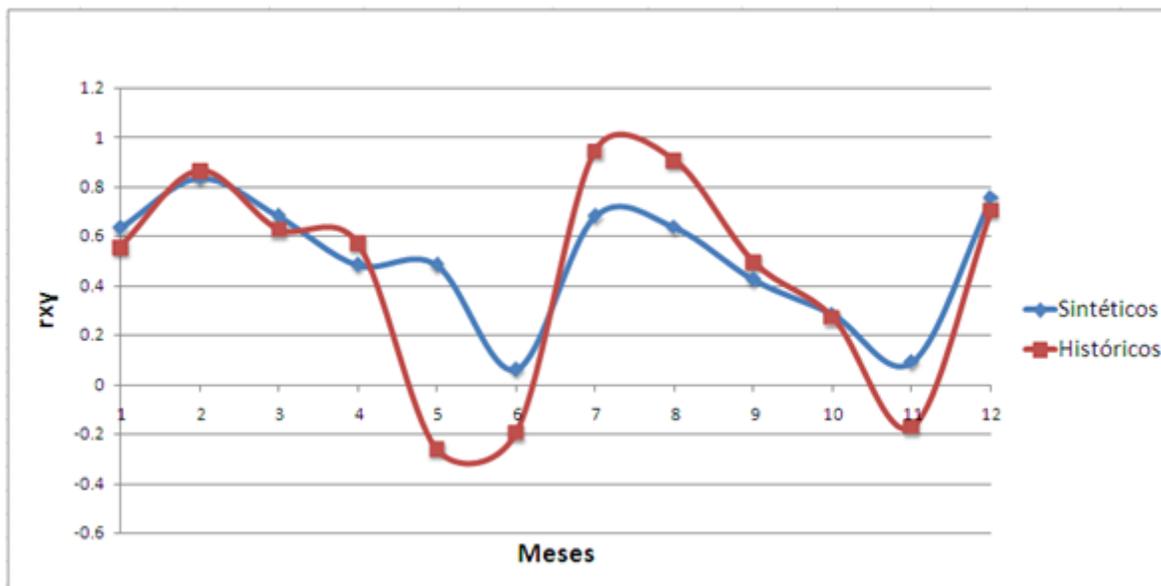


Figura 3.7 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de los coeficientes de correlación cruzada de 10 series sintéticas

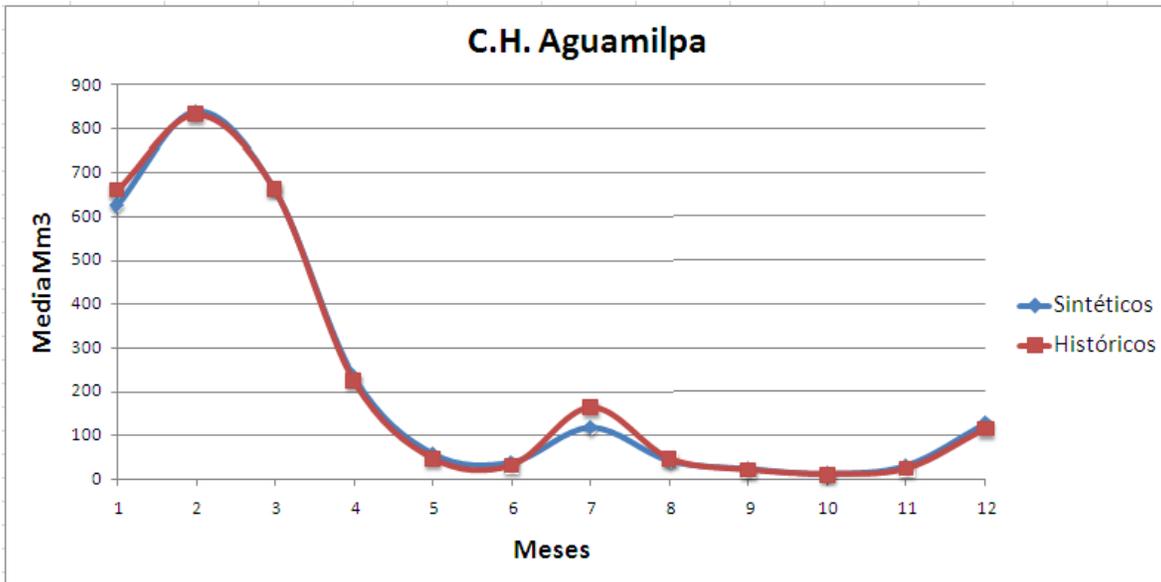


Figura 3.8 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de las medias de 10 series sintéticas. Presa Aguamilpa

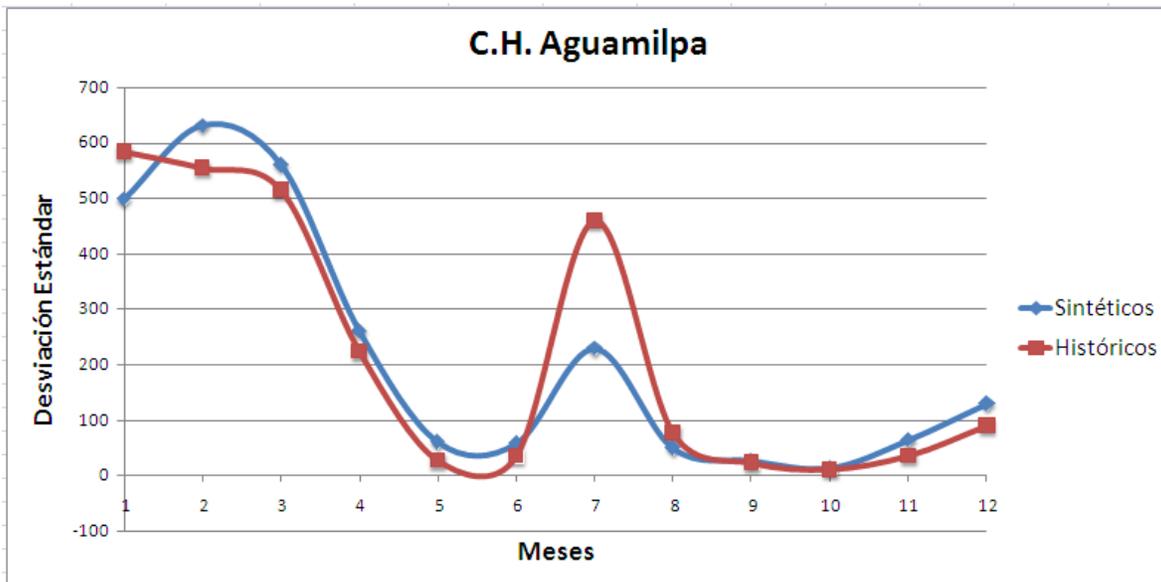


Figura 3.9 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de las Desviación estándar de 10 series sintéticas. Presa Aguamilpa

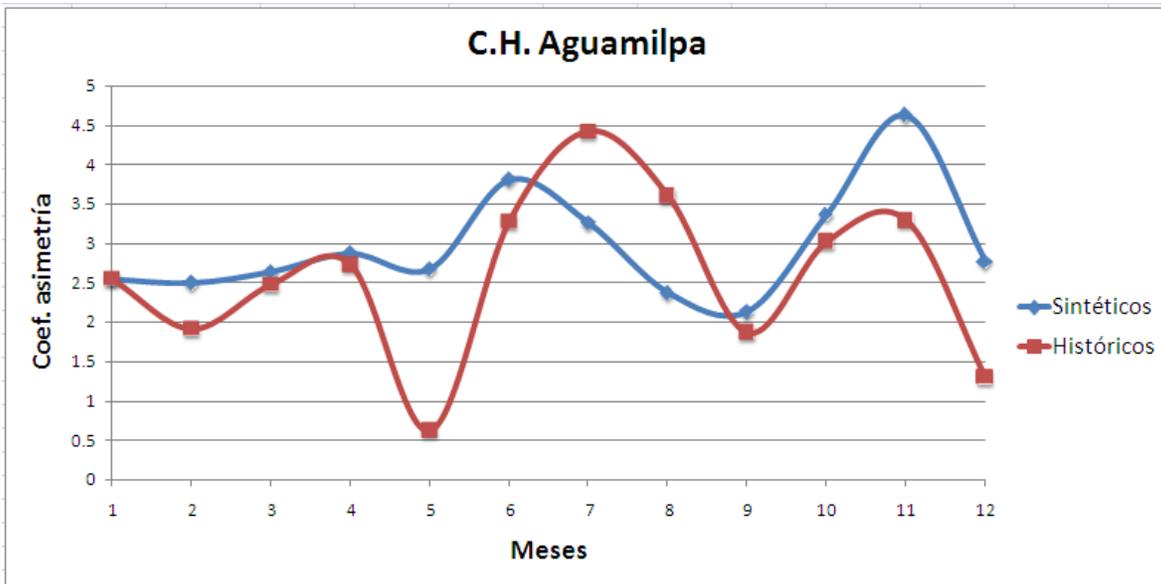


Figura 3.10 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de los coeficientes de asimetría de 10 series sintéticas. Presa Aguamilpa

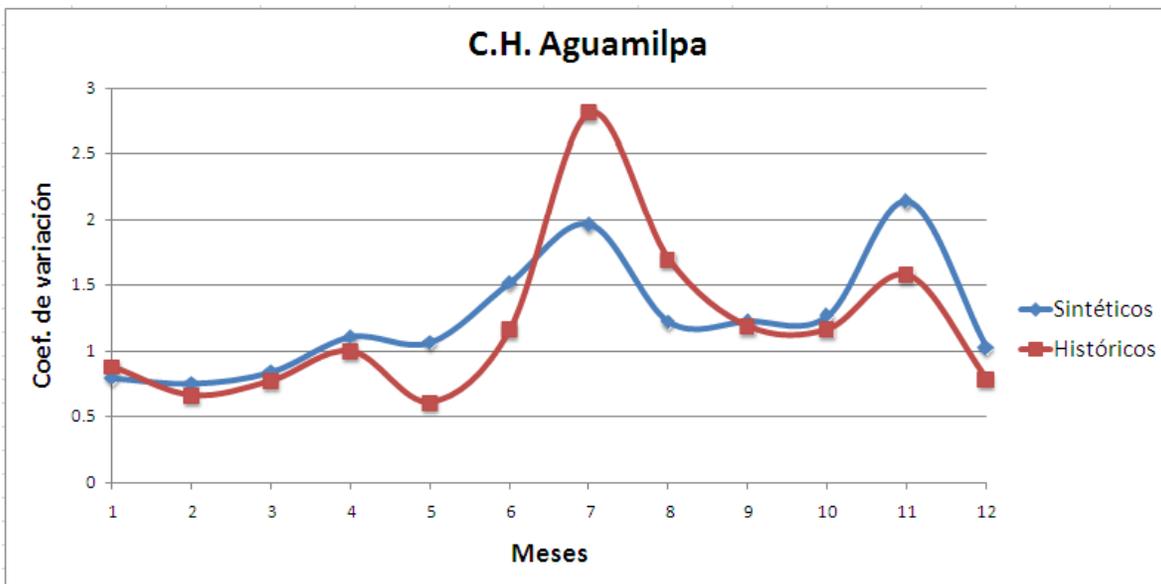


Figura 3.11 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de los coeficientes de variación de 10 series sintéticas. Presa Aguamilpa

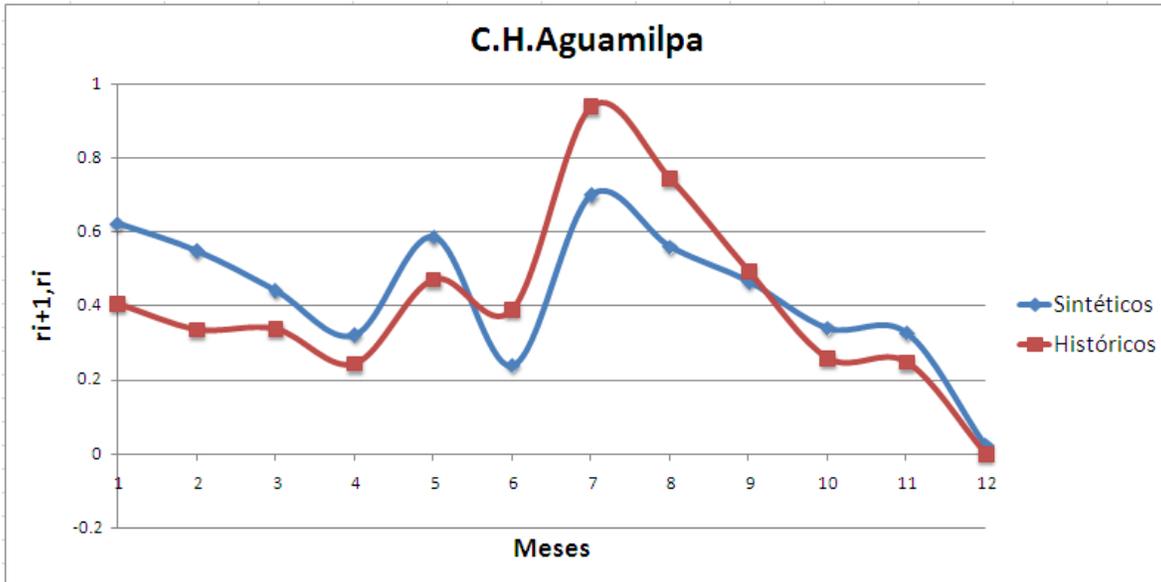


Figura 3.12 Comparación entre el valor histórico y el promedio mensual de los coeficientes de autocorrelación de 10 series sintéticas. Presa Aguamilpa

Las Figuras 3.2 a 3.12 muestran que en promedio, los estadísticos media, desviación estándar mensuales logran reproducir satisfactoriamente en la mayoría de los meses; quedando un poco por debajo de los históricos en los meses de julio a septiembre, salvo el dato correspondiente al mes de enero en el que se presentó una gran avenida histórica. Los coeficientes de asimetría promedio tienen un comportamiento similar al histórico y los coeficientes de autocorrelación y correlación cruzada promedios también tienen una variación similar al registro histórico, en ambas presas. Logró reproducir el patrón de variación en las asimetrías así como en el coeficiente de autocorrelación.

En la Figura 3.13 se tiene la comparación de 1000 valores del volumen total suma del resultado de las 10 series sintéticas usando el método de Svanidze modificado comparado con el registro histórico y su curva de ajuste.

En un caso se tomaron los 1000 datos del VTS y se les calculó el Tr con n=1000; en otro caso se calculó el Tr para cada 100 valores (n=100) de las 10 series.

La Figura 3.13 permite ver la semejanza en la forma de las distribuciones histórica y sintética y la curva de ajuste del registro histórico.

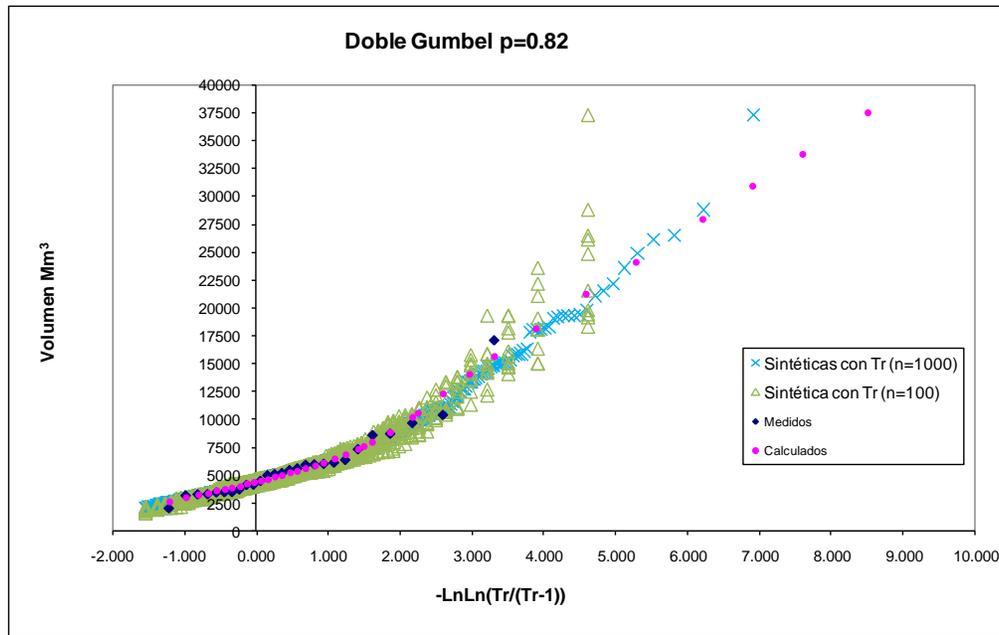


Figura 3.13 Comparación de 1000 valores del volumen total suma sintético con respecto a los datos históricos y curva de ajuste

En las figuras anteriores se puede observar que el método Svanidze modificado aplicado a los escurrimientos por cuenca propia de las presas La Yesca y Aguamilpa, Nay., logró reproducir el patrón de comportamiento de los estadísticos media, desviación estándar. incluyendo aquellos meses con baja autocorrelación, lo anterior se logró gracias al empleo del concepto de año hidrológico y también se conservaron las correlaciones cruzadas.

3.6 Simulación de políticas de operación con los registros sintéticos

3.6.1 Introducción

En este subtema se presentan los resultados de la simulación del funcionamiento conjunto de las presas La Yesca, El Cajón y Aguamilpa, utilizando las 10 series sintéticas de 100 años cada una y la política de operación 21 (similar a la 12, con el $\Delta V=150$ millones de m^3), seleccionada para el análisis del posible funcionamiento del sistema en el largo plazo.

3.6.2 Resultados de la simulación

Se efectuó la simulación del funcionamiento de vaso con cada serie sintética generada; en la Tabla 3.11 se presenta el resumen de la simulación, para cada serie y los valores promedio de la energía total generada quincenal, derrames, déficit y almacenamiento mínimo; en la Tabla 3.12 se presenta la frecuencia de años con derrames, déficit y los años y quincenas donde se rebasó la curva guía, así como el valor promedio de derrames y de déficit que podrían ocurrir en 100 años, además del promedio por año tanto para los datos sintéticos como el histórico. Estos resultados corresponden a la política 21 ($\Delta V=150$ millones de m^3).

Tabla 3.11 Resumen de la simulación del funcionamiento de vaso conjunto usando la política de operación 21 y 10 series sintéticas de 100 años cada una. Río Santiago, Nayarit

Política 21	Política 21 $\Delta V=150$ millones de m^3												
	Energía generada GWh/quincena			Energía total GWh/quincena	Derrame ($10^6 m^3$)			Déficit ($10^6 m^3$)			Almacenamiento mínimo ($10^6 m^3$)		
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	Suma	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa
SERIE 1	83.96	82.44	149.17	315.57	3895.61	1022.69	22162.36	209.36	0	0	0	275.59	467.51
SERIE 2	87.21	86.51	157.58	331.3	14015.62	7822.48	25878.13	312.12	0	0	0	294.58	459.96
SERIE 3	87.55	86.61	153.15	327.31	15197.02	10833.51	28363.4	2002.59	0	0	0	146.31	451.94
SERIE 4	87.07	86.32	154.01	327.4	9668.16	4440.92	13097.01	1295.25	0	0	0	178.96	463.75
SERIE 5	85.27	84.47	153.73	323.47	7996.66	2961.34	16299.77	645.85	0	0	0	299.59	393.36
SERIE 6	84.84	84.49	152.56	321.89	12638.24	5799.83	22025.93	1056.74	0	0	0	224.73	489.04
SERIE 7	91.84	90.54	161.33	343.71	14942.88	10657.17	37217.47	640.03	0	0	0	271.6	498.73
SERIE 8	88.58	88.08	155.77	332.43	13727.4	6879.88	35662.5	478.53	0	0	0	16.2	455.95
SERIE 9	83.04	82.05	148.9	313.99	11531.92	7708.82	19023.29	593.1	0	0	0	263.28	390.93
SERIE 10	89.71	88.28	162.22	340.21	9909.02	5349.3	22752.86	227.46	0	0	0	295.44	498.43
PROMEDIO	86.91	85.98	154.84	327.73	11352.25	6347.59	24148.27	746.10	0.00	0.00	0.00	226.63	456.96
PROMEDIO SINT/100años					113.52	63.48	241.48	7.46	0.00	0.00	0.00	2.27	4.57
HISTÓRICO 28años	86.20	86.98	159.10	332.28	5168.04	2501.11	5971.66	44.07	0.00	0.00	0.00	304.49	506.62
HISTÓRICO/28años					184.57	89.33	213.27	1.57	0.00	0.00	0.00	10.87	18.09

Tabla 3.12 Frecuencia de ocurrencias de derrames, déficit y años en donde se superó la curva guía. Política 21. Sistema de 3 presas del río Santiago, Nayarit

Política 21	Política 21 $\Delta V=150$ millones de m^3											
	Años con derrame			Años con déficit			Años en donde se superó curva guía			Quincenas en donde se superó curva guía		
	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa	La Yesca	El Cajón	Aguamilpa
SERIE 1	10	2	9	7	0	0	16	36	44	44	86	54
SERIE 2	12	6	13	4	0	0	17	36	60	48	90	74
SERIE 3	8	7	12	19	0	0	18	38	47	63	129	59
SERIE 4	10	6	7	12	0	0	13	36	51	38	101	57
SERIE 5	5	6	13	6	0	0	13	35	54	49	82	65
SERIE 6	11	7	12	11	0	0	19	28	46	66	86	56
SERIE 7	11	7	10	7	0	0	16	46	57	63	120	70
SERIE 8	13	7	19	19	0	0	23	37	51	79	98	63
SERIE 9	7	3	8	6	0	0	14	35	51	36	80	59
SERIE 10	9	7	15	3	0	0	23	36	49	64	107	62
PROMEDIO	9.6	5.8	11.8	9.4	0	0	17.2	36.3	51	55	97.9	61.9

Los resultados de la Tabla 3.11 indican que podrían generarse 327.73 GWh/quincena y la energía generada anual histórica en 28 años fue de 332.28 GWh/quincena, lo que representa una disminución de 1.36% respecto a la energía generada al simular el registro histórico. El derrame anual promedio en las tres presas sería de 418.48 millones de m^3 (113.52 en La Yesca, 63.47 en El Cajón y 241.48 en Aguamilpa) y si el promedio anual histórico en 28 años fue de 487.171 millones de m^3 , se tendría una disminución de 14% con respecto al registro histórico. El déficit anual promedio en 100 años sería de 7.46 millones de m^3 (sólo en La Yesca de 7.46 millones de m^3) y el déficit anual histórico en 28 años es de 1.57 millones de m^3 , es decir, aumentaría en 78.95% comparado con el

registro histórico. El almacenamiento mínimo anual promedio en 100 años sería de 6.83 millones de m³ y el almacenamiento mínimo anual histórico en 28 años fue de 28.96 millones de m³, se tendría una disminución comparado con el registro histórico de 23.58%.

En cuanto a la frecuencia con la que ocurrirían las situaciones de derrame o de déficit, en la Tabla 3.12 se observa que los derrames en cada presa se presentan con una frecuencia de alrededor de 10 cada 100 años (es decir, con un periodo de retorno aproximado a 10 años). Respecto al déficit, la frecuencia es similar en La Yesca, por lo que el periodo de retorno también sería de 10 años.

En cuanto al rebase de la curva guía durante la simulación con la política 21, se encontró que para el caso de la presa La Yesca, en las diez series sintéticas, en promedio la curva guía fue rebasada cerca de 17 años en las diez series de 100 años. En la presa El Cajón, la curva guía fue rebasada en promedio 36 años en las diez series sintéticas. Por último en la presa Aguamilpa, también en todas las series se rebasó la curva guía con un promedio de 51 años en las diez series de 100 años. El total de quincenas promedio en que se rebasó la curva guía en 100 años fue de: 55 en la presa La Yesca, 98 en la presa El Cajón y 62 en la presa Aguamilpa.

3.7 Conclusiones

Al simular el registro histórico con las 23 políticas óptimas propuestas, la conclusión obtenida es que la política 21, que es similar a la política 12 en cuanto a los coeficientes de penalización, pero ésta está limitada al NAMO, es la que da los mejores resultados, en lo que se refiere a energía generada, derrames y déficit; lo anterior quedó confirmado cuando se simuló la operación del sistema con los registros sintéticos. Además esta política reproduce con más detalle al funcionamiento de vaso al considerar dividida la capacidad útil de las presas en más estados ($\Delta V=150$ millones de m³). En el anexo 3 de este trabajo, se muestran los resultados de la simulación de registros sintéticos con la política 21, los 10 primeros años de la serie sintética 1.