



DIAGNÓSTICO DE LA LOGÍSTICA DEL ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA EL SECTOR TERMOELÉCTRICO EN COLOMBIA

INFORME FINAL ANEXOS

PREPARADO POR:

- SINERGÍA Ltda. Consultores en Servicios Públicos y Recursos Energéticos
- Applied Mathematics Research - Consulting Group

Bogotá, Enero de 2014

TABLA DE CONTENIDO

<u>1</u>	<u>ANEXO 1: LOCALIZACIÓN DE LAS TERMOELÉCTRICAS.....</u>	<u>7</u>
<u>2</u>	<u>ANEXO 2: TIEMPOS Y DISTANCIAS ENTRE PLANTAS DE ABASTO Y TERMOELÉCTRICAS</u>	<u>8</u>
<u>3</u>	<u>ANEXO 3: INFORMACIÓN SOLICITADA A LOS AGENTES</u>	<u>10</u>
		<u>10</u>
<u>4</u>	<u>ANEXO 4: MÓDULOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....</u>	<u>11</u>
<u>5</u>	<u>ANEXO 5: RESULTADOS DETALLADOS.....</u>	<u>12</u>
5.1	ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE ESCASEZ HIDROLÓGICA DETERMINÍSTICOS: EH3 CASO 1 Y EH3 CASO 2 15	
5.2	ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE ESCASEZ HIDROLÓGICA ESTOCÁSTICOS: EH4 CASO 1.....	23
5.3	ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE ESCASEZ HIDROLÓGICA ESTOCÁSTICOS: EH4 CASO 2.....	31
5.4	ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE ESCASEZ HIDROLÓGICA ESTOCÁSTICOS: EH4 CASO 3.....	39
5.5	ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE ESCASEZ HIDROLÓGICA ESTOCÁSTICOS: EH4 CASO 4.....	47
5.6	ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE ESCASEZ HIDROLÓGICA ESTOCÁSTICOS: EH4 CASO 5.....	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Matriz de distancia en km entre termoeléctricas y plantas de abasto (incluye puertos)	8
Tabla 2-2. Matriz de tiempos en horas entre termoeléctricas y plantas de abasto (incluye puertos)	9

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación de las plantas termoeléctricas y la principal infraestructura de transporte de combustibles líquidos en Colombia.....	7
Figura 4-1. Modelo completo programado e implementado con los módulos de construcción del software Arena 14	11
Figura 5-1. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.	16
Figura 5-2. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoeléctricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.	17
Figura 5-3. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.	18
Figura 5-4. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.	19
Figura 5-5. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.	19
Figura 5-6. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoelectricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.	20
Figura 5-7. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.	21
Figura 5-8. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.	22
Figura 5-9. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1. Horizonte de 12 meses.	24
Figura 5-10. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1.....	25
Figura 5-11. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1.....	26
Figura 5-12. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 1.	27
Figura 5-13. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH3 Caso 1.....	27
Figura 5-14. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1.....	28
Figura 5-15. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1.....	29
Figura 5-16. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 1.....	30
Figura 5-17. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 2.	32
Figura 5-18. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 2.	33
Figura 5-19. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 2.	34
Figura 5-20. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 2.....	35

Figura 5-21. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 2.	35
Figura 5-22. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 2.	36
Figura 5-23. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 2.	37
Figura 5-24. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 2.	38
Figura 5-25. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.	40
Figura 5-26. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.	41
Figura 5-27. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.	42
Figura 5-28. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 3.	43
Figura 5-29. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 3.	43
Figura 5-30. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.	44
Figura 5-31. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.	45
Figura 5-32. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 3.	46
Figura 5-33. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.	48
Figura 5-34. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.	49
Figura 5-35. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.	50
Figura 5-36. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 4.	51
Figura 5-37. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 4.	51
Figura 5-38. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.	52
Figura 5-39. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.	53
Figura 5-40. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 4.	54
Figura 5-41. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 5.	56
Figura 5-42. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 5.	57
Figura 5-43. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 5.	58
Figura 5-44. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 5.	59

Figura 5-45. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 5..... 59

Figura 5-46. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 5. 60

Figura 5-47. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 5. 61

Figura 5-48. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 5. 62

1 ANEXO 1: LOCALIZACIÓN DE LAS TERMOELÉCTRICAS

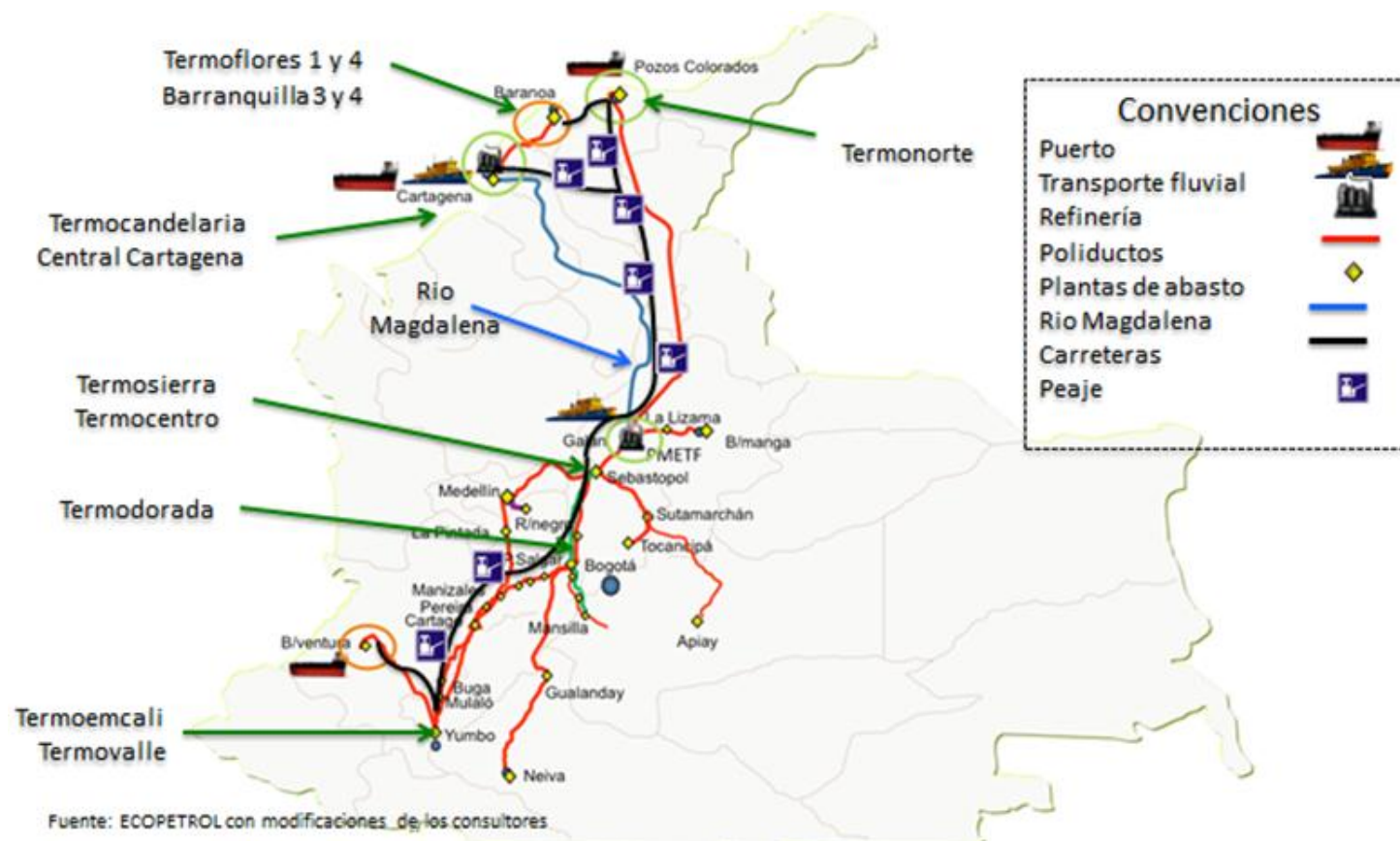


Figura 1-1. Ubicación de las plantas termoeléctricas y la principal infraestructura de transporte de combustibles líquidos en Colombia

2 ANEXO 2: TIEMPOS Y DISTANCIAS ENTRE PLANTAS DE ABASTO Y TERMOELÉCTRICAS

Plantas de abasto	Termoemcali	Termovalle	Termodorada	Termocentro	Termosierra	Central Cartagena	Termocandelaria	Barranquilla 3 y 4	Termoflores 1 y 4	TEBSA	Termonorte
Yumbo	7.7	14.8	413.0	574.0	515.0	1,047.0	1,045.0	1,102.0	1,107.0	1,102.0	1,198.0
Buga	56.6	54.8	360.0	522.0	463.0	995.0	993.0	1,050.0	1,055.0	1,050.0	1,146.0
Buenaventura	151.0	136.0	474.0	636.0	576.0	1,109.0	1,107.0	1,164.0	1,169.0	1,164.0	1,259.0
Pto Buenaventura	151.0	136.0	474.0	636.0	576.0	1,109.0	1,107.0	1,164.0	1,169.0	1,164.0	1,259.0
Cartago	168.0	166.0	247.0	408.0	349.0	881.0	879.0	936.0	941.0	936.0	1,032.0
Pereira	197.0	195.0	217.0	379.0	319.0	852.0	850.0	906.0	912.0	906.0	1,002.0
Manizales	258.0	256.0	155.0	316.0	257.0	847.0	845.0	976.0	979.0	976.0	940.0
Gualanday	287.0	285.0	189.0	350.0	291.0	1,084.0	1,082.0	1,010.0	1,013.0	1,010.0	974.0
La pintada	334.0	333.0	283.0	269.0	325.0	715.0	713.0	770.0	775.0	770.0	872.0
Neiva	344.0	335.0	354.0	515.0	456.0	1,249.0	1,247.0	1,175.0	1,178.0	1,175.0	1,139.0
Mariquita	353.0	352.0	60.1	221.0	162.0	955.0	953.0	881.0	884.0	881.0	845.0
La Dorada	413.0	411.0	2.0	163.0	103.0	896.0	895.0	822.0	825.0	822.0	786.0
Medellin	416.0	414.0	244.0	189.0	244.0	635.0	633.0	690.0	695.0	690.0	792.0
Pte Aranda	447.0	445.0	193.0	354.0	295.0	1,049.0	1,047.0	975.0	978.0	975.0	939.0
Mansilla	472.0	470.0	144.0	310.0	250.0	1,043.0	1,041.0	969.0	972.0	969.0	933.0
Sebastopol	575.0	573.0	163.0	11.0	68.0	766.0	764.0	692.0	695.0	692.0	656.0
Barrancabermeja	669.0	668.0	257.0	127.0	159.0	677.0	675.0	603.0	605.0	603.0	567.0
Chimita (Bucaramanga)	749.0	747.0	337.0	206.0	238.0	653.0	651.0	579.0	581.0	579.0	543.0
Cartagena	1,048.0	1,047.0	896.0	766.0	798.0	2.0	15.5	140.0	133.0	140.0	237.0
Pto Cartagena	1,048.0	1,047.0	896.0	766.0	798.0	2.0	15.5	140.0	133.0	140.0	237.0
Barranquilla	1,106.0	1,104.0	843.0	712.0	744.0	115.0	119.0	27.0	1.3	27.0	123.0
Pto Barranquilla	1,106.0	1,104.0	843.0	712.0	744.0	115.0	119.0	27.0	19.2	27.0	123.0
Pto Pozos Colorados	1,184.0	1,182.0	772.0	641.0	673.0	221.0	228.0	88.5	91.1	88.5	10.8
Girardota	437.0	435.0	239.0	166.0	240.0	614.0	612.0	669.0	674.0	612.0	756.0
Lizama	638.0	629.0	313.0	182.0	214.0	871.0	869.0	798.0	801.0	798.0	757.0
Mulalo	9.7	17.6	407.0	568.0	509.0	1,041.0	1,039.0	1,096.0	1,101.0	1,096.0	1,192.0

Tabla 2-1. Matriz de distancia en km entre termoeléctricas y plantas de abasto (incluye puertos)

Termoelectrica	Termoemcali	Termovalle	Termodorada	Termocentro	Termosierra	Central Cartagena	Termocandelaria	Barranquilla 3 y 4	Termoflores 1 y 4	TEBSA	Termonorte
Yumbo	0.19	0.37	10.33	14.35	12.88	26.18	26.13	27.55	27.68	27.55	29.95
Buga	1.42	1.37	9.00	13.05	11.58	24.88	24.83	26.25	26.38	26.25	28.65
Buenaventura	3.78	3.40	11.85	15.90	14.40	27.73	27.68	29.10	29.23	29.10	31.48
Pto Buenaventura	3.78	3.40	11.85	15.90	14.40	27.73	27.68	29.10	29.23	29.10	31.48
Cartago	4.20	4.15	6.18	10.20	8.73	22.03	21.98	23.40	23.53	23.40	25.80
Pereira	4.93	4.88	5.43	9.48	7.98	21.30	21.25	22.65	22.80	22.65	25.05
Manizales	6.45	6.40	3.88	7.90	6.43	21.18	21.13	24.40	24.48	24.40	23.50
Gualanday	7.18	7.13	4.73	8.75	7.28	27.10	27.05	25.25	25.33	25.25	24.35
La pintada	8.35	8.33	7.08	6.73	8.13	17.88	17.83	19.25	19.38	19.25	21.80
Neiva	8.60	8.38	8.85	12.88	11.40	31.23	31.18	29.38	29.45	29.38	28.48
Mariquita	8.83	8.80	1.50	5.53	4.05	23.88	23.83	22.03	22.10	22.03	21.13
La Dorada*	10.33	10.28	0.05	4.08	2.58	22.40	22.38	20.55	20.63	20.55	19.65
Medellin	10.40	10.35	6.10	4.73	6.10	15.88	15.83	17.25	17.38	17.25	19.80
Pte Aranda	11.18	11.13	4.83	8.85	7.38	26.23	26.18	24.38	24.45	24.38	23.48
Mansilla	11.80	11.75	3.60	7.75	6.25	26.08	26.03	24.23	24.30	24.23	23.33
Sebastopol	14.38	14.33	4.08	0.28	1.70	19.15	19.10	17.30	17.38	17.30	16.40
Barrancabermeja	16.73	16.70	6.43	3.18	3.98	16.93	16.88	15.08	15.13	15.08	14.18
Chimita (Bucaramanga)	18.73	18.68	8.43	5.15	5.95	16.33	16.28	14.48	14.53	14.48	13.58
Cartagena	26.20	26.18	22.40	19.15	19.95	0.05	0.39	3.50	3.33	3.50	5.93
Pto Cartagena	26.20	26.18	22.40	19.15	19.95	0.05	0.39	3.50	3.33	3.50	5.93
Barranquilla	27.65	27.60	21.08	17.80	18.60	2.88	2.98	0.68	0.03	0.68	3.08
Pto Barranquilla	27.65	27.60	21.08	17.80	18.60	2.88	2.98	0.68	0.48	0.68	3.08
Pto Pozos Colorados	29.60	29.55	19.30	16.03	16.83	5.53	5.70	2.21	2.28	2.21	0.27
Girardota	10.93	10.88	5.98	4.15	6.00	15.35	15.30	16.73	16.85	15.30	18.90
Lizama	15.95	15.73	7.83	4.55	5.35	21.78	21.73	19.95	20.03	19.95	18.93
Mulalo	0.24	0.44	10.18	14.20	12.73	26.03	25.98	27.40	27.53	27.40	29.80

Tabla 2-2. Matriz de tiempos en horas entre termoeléctricas y plantas de abasto (incluye puertos)

3 ANEXO 3: INFORMACIÓN SOLICITADA A LOS AGENTES

Agente	Termoeléctrica	Documento de logística	ENFICC más reciente reportada a la CREG indicando la proporción que respaldan con líquidos	OEFs (obligación de energía firme respaldada con líquidos)	CEN (Capacidad Efectiva Neta)	CTEN (Consumo Térmico Específico Neto)	Poder calorífico del combustible utilizado (dato más reciente, que puede provenir de prueba)	Características técnicas de los tanques de almacenamiento de la planta (1. Capacidad de almacenamiento (B); 2. numero de carro tanques que pueden descargar combustible simultáneamente; 3. tiempo promedio para el descargue de un carro tanque y 4. inventario de combustible permanente en tanques (B))	Contratos de combustibles con el distribuidor mayorista	Contrato de transporte por carro tanque (si aplica)	Indisponibilidad (IHF)	Localización
Termoemcali	Termoemcali	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Termovalle	Termovalle	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Termodorada	Termodorada	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
ISAGEN	Termocentro	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
EPM	Termosierra	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Celsia	Flores 1	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Celsia	Flores 4	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Emgesa	Central Cartagena	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Termocandelaria	Termocandelaria	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Gecelca	Barranquilla 3	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Gecelca	Barranquilla 4	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado
Termonorte	Termonorte	No aplica	Entregado	Entregado	Entregado	Entregado	No entregado	Entregado	No aplica	No aplica	Entregado	Entregado

4 ANEXO 4: MÓDULOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN

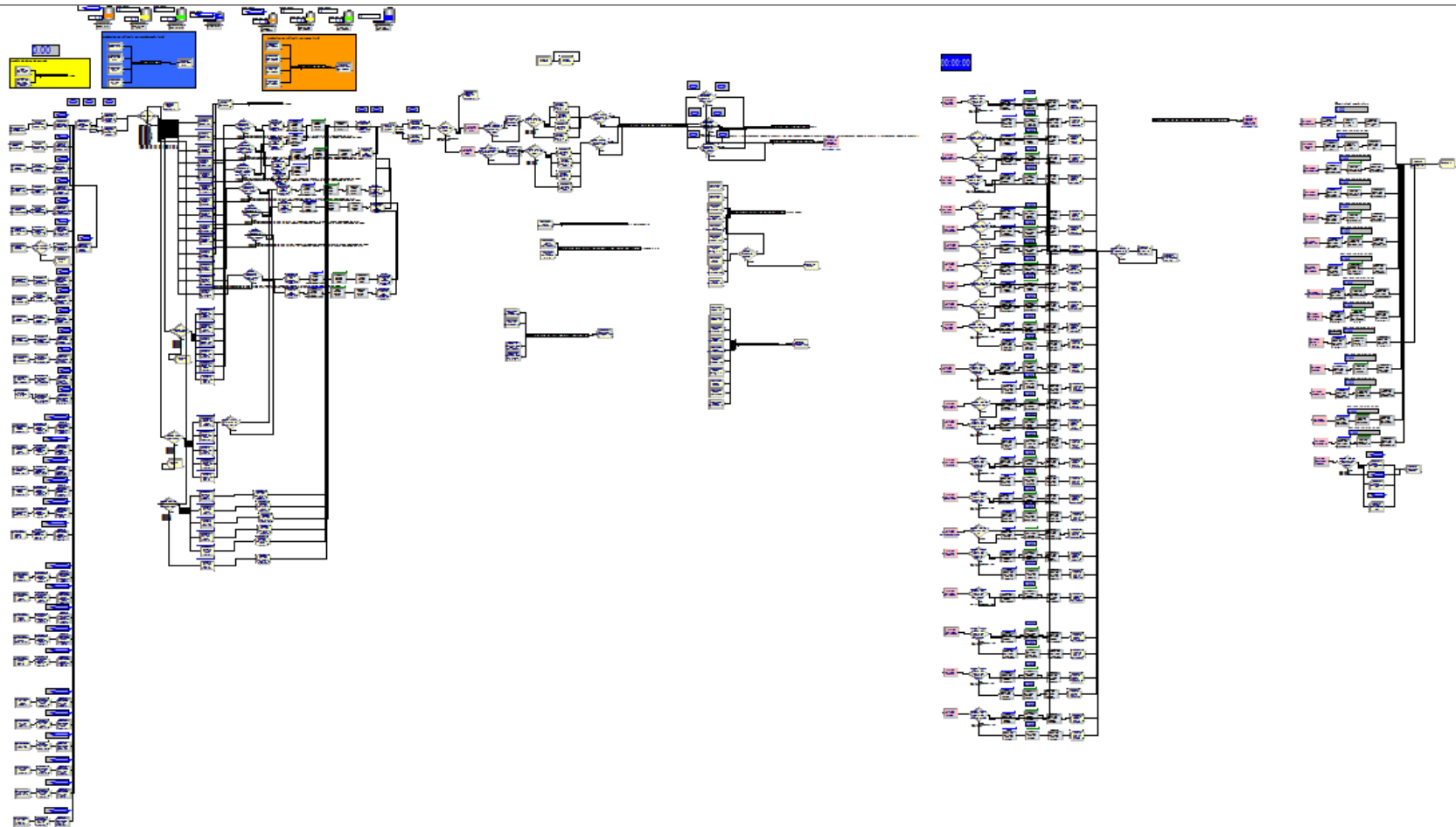


Figura 4-1. Modelo completo programado e implementado con los módulos de construcción del software Arena 14

5 ANEXO 5: RESULTADOS DETALLADOS

A través del modelo de simulación desarrollado y descrito en este informe, se analizó tanto el “hardware” como el “software” de la logística de combustibles líquidos utilizada para abastecer tanto la demanda no termoeléctrica como la de las plantas termoeléctricas. En esta anexo se presentan los resultados detallados arrojados por el modelo, concentrando la atención en la importación, el transporte por poliductos y carrotanques, el almacenamiento mayorista y el almacenamiento y consumo de combustibles en las termoeléctricas. En especial se observan los resultados medidos a través de las siguientes variables:

- *Termoeléctricas:*
 - Evolución nivel en los tanques de las termoeléctricas
 - Volúmenes de combustible ingresado a los tanques de las termoeléctricas
 - Volúmenes de combustible retirado de los tanques de las termoeléctricas
- *Plantas de abasto:*
 - Evolución nivel agregado en los tanques de las plantas de abasto
 - Volúmenes de combustible agregado ingresado a los tanques de las plantas de abasto
 - Volúmenes de combustible agregado retirado de los tanques de las plantas de abasto
- *Transporte:*
 - Utilización de carro tanques
- *Puertos asociados a termoeléctricas:*
 - Evolución nivel en los tanques de los puertos asociados a termoeléctricas
 - Volúmenes de combustible ingresado (importado) a los tanques de los puertos asociados a termoeléctricas
 - Utilización de los puertos

Este análisis toma como base la información descrita y analizada en los capítulos correspondientes.

En la siguiente tabla se presentan los escenarios y casos corridos y establece la notación.

ESCENARIO	NOTACIÓN	CASO	CONSUMO DE LIQUIDOS EN TERMOELÉCTRICAS	PRERIODO	INICIO	DESCRIPCIÓN
Calibración del modelo (escenario actual)	EA1	1: Sin demanda termoeléctrica	No	12 meses	Noviembre 2012	- Caso para calibrar. Variables de calibración: principalmente inventarios iniciales de mayoristas. Calcular inventarios de mayoristas (excepción EXXON-MOBIL) de tal manera que no se produzca racionamiento de líquidos. - Solo importaciones para demanda regular - Salida: Sistema equilibrado en oferta demanda. Cero racionamientos. - No requiere simulación con el SDDP
Escasez hidrológica	EH3	1: Niño 1991-92	Correspondientes a la salida del SDDP enviado por XM	60 meses	Noviembre 2013	- Inventarios iniciales en mayoristas tomados del EA1, Caso1, para noviembre de 2013 - Respetar reglas de contratos. Solo se abastece desde el mayorista respectivo (no se permite cualquier mayorista). - Se permiten importaciones - Verificar si los consumos superan lo contratado. Si es así, limitarlos al contrato y la diferencia registrarla como volumen adicional requerido, no soportado en contrato. - Cuando se terminen contratos suponer que se renueva en las mismas condiciones e informarlo
Escasez hidrológica	EH3	2: Niño 1997-98	Correspondientes a la salida del SDDP enviado por XM	60 meses	Noviembre 2013	- Inventarios iniciales en mayoristas tomados del EA1, Caso1, para noviembre de 2013 - Respetar reglas de contratos. Solo se abastece desde el mayorista respectivo (no se permite cualquier mayorista). - Se permiten importaciones - Verificar si los consumos superan lo contratado. Si es así, limitarlos al contrato y la diferencia registrarla como volumen adicional requerido, no soportado en contrato. - Cuando se terminen contratos suponer que se renueva en las mismas condiciones e informarlo
Escasez hidrológica	EH4	1: Caso del 95% PNSS Serie 41	Correspondientes a la salida del SDDP enviado por XM	12 meses	Noviembre 2013	- Inventarios iniciales en mayoristas tomados del EA1, Caso1, para noviembre de 2013 - Respetar reglas de contratos. Solo se abastece desde el mayorista respectivo (no se permite cualquier mayorista). - Se permiten importaciones - Verificar si los consumos superan lo contratado. Si es así, limitarlos al contrato y la diferencia registrarla como volumen adicional requerido, no soportado en contrato. - Cuando se terminen contratos suponer que se renueva en las mismas condiciones e informarlo
Escasez hidrológica	EH4	2: Caso del 95% PNSS Serie 193	Correspondientes a la salida del SDDP enviado por XM	24 meses	Noviembre 2013	Inventarios iniciales en mayoristas tomados del EA1, Caso1, para noviembre de 2013

						• Respetar reglas de contratos. Solo se abastece desde el mayorista respectivo (no se permite cualquier mayorista). • Se permiten importaciones • Verificar si los consumos superan lo contratado. Si es así, limitarlos al contrato y la diferencia registrarla como volumen adicional requerido, no soportado en contrato. • Cuando se terminen contratos suponer que se renueva en las mismas condiciones e informarlo
Escasez hidrológica	EH4	3: Caso del 95% PNSS Serie 96	Correspondientes a la salida del SDDP enviado por XM	36 meses	Noviembre 2013	• Inventarios iniciales en mayoristas tomados del EA1, Caso1, para noviembre de 2013 • Respetar reglas de contratos. Solo se abastece desde el mayorista respectivo (no se permite cualquier mayorista). • Se permiten importaciones • Verificar si los consumos superan lo contratado. Si es así, limitarlos al contrato y la diferencia registrarla como volumen adicional requerido, no soportado en contrato. • Cuando se terminen contratos suponer que se renueva en las mismas condiciones e informarlo
Escasez hidrológica	EH4	4: Caso del 95% PNSS Serie 38	Correspondientes a la salida del SDDP enviado por XM	48 meses	Noviembre 2013	• Inventarios iniciales en mayoristas tomados del EA1, Caso1, para noviembre de 2013 • Respetar reglas de contratos. Solo se abastece desde el mayorista respectivo (no se permite cualquier mayorista). • Se permiten importaciones • Verificar si los consumos superan lo contratado. Si es así, limitarlos al contrato y la diferencia registrarla como volumen adicional requerido, no soportado en contrato. • Cuando se terminen contratos suponer que se renueva en las mismas condiciones e informarlo
Escasez hidrológica	EH5	5: Caso del 95% PNSS Serie 187	Correspondientes a la salida del SDDP enviado por XM	60 meses	Noviembre 2013	• Inventarios iniciales en mayoristas tomados del EA1, Caso1, para noviembre de 2013 • Respetar reglas de contratos. Solo se abastece desde el mayorista respectivo (no se permite cualquier mayorista). • Se permiten importaciones • Verificar si los consumos superan lo contratado. Si es así, limitarlos al contrato y la diferencia registrarla como volumen adicional requerido, no soportado en contrato. • Cuando se terminen contratos suponer que se renueva en las mismas condiciones e informarlo

5.1 Análisis de los Escenarios de Escasez Hidrológica Determinísticos: EH3 Caso 1 y EH3 Caso 2

Dada la similitud de los Escenarios EH3 Caso 1 y EH3 Caso 2, aunque sus corridas son independientes, los resultados se presentan de forma conjunta. Es preciso aclarar que estos dos escenarios corresponden al despacho térmico que sería causado por la ocurrencia en 2014-2015 de las series hidrológicas históricas correspondientes a los fenómenos de El Niño 91-92 y El Niño 97-98, respectivamente. Adicionalmente, los despachos térmicos resultantes de los dos casos provienen de sendas corridas del modelo SDDP de XM con mes inicial noviembre de 2013. Estas corridas del SDDP se realizaron con la misma información del SIN utilizada por el CND en sus proceso de planeamiento de la operación. Por esta razón las corridas de los Casos 1 y 2 del modelo de la logística desarrollado por los consultores, se realizaron para un horizonte de 5 años a partir de noviembre de 2013.

Como se mencionó, es necesario recordar que para el análisis de los escenarios mencionados anteriormente, no se consideraron las plantas de TEBSA, Merilectrica, Proeléctrica y Termonorte, debido a que las tres primeras no están dotadas de facilidades para operar con combustible líquido y sus propietarios no prevén actualmente las inversiones correspondientes, y la última no tiene definida su logística debido a que no es todavía su obligación.

Dada la gran cantidad de información, los resultados se presentan de manera gráfica como se muestra a continuación. Para todas las gráficas el eje x representa el eje de tiempo, el cual esta expresado en días (la resolución del modelo es diaria) para el horizonte de 60 meses (5 años). Adicionalmente, todas las graficas incluyen el caso base descrito por la serie de color rojo, el cual corresponde a los resultados producidos por el modelo sin demanda termoeléctrica (i.e. solo consumos de combustibles no termoeléctricos). Así mismo, la serie de color azul, presenta los resultados del escenario EH3 Caso1 y por último la serie de color negro muestra los resultados del escenario EH3 Caso 2.

Los resultados indican globalmente que ante los escenarios de escasez hidrológica determinísticos EH3 Caso 1 y Caso 2, la demanda termoeléctrica de combustibles (FO#2, JETA1 y FO#6) puede ser atendida satisfactoriamente con la logística actual y la proyectada. Es importante resaltar que aunque los resultados muestran que la logística permite abastecer la demanda termoeléctrica, esta es frágil y requiere de una coordinación minuciosa y oportuna entre todos los agentes que participan. Adicionalmente, las nominaciones de combustibles deben ser hechas por los agentes generadores a los distribuidores mayoristas con por lo menos 30 días de anticipación.

Al analizar la Figura 5-1, se observa que los niveles de combustible en los tanques en las plantas termoeléctricas nunca llegan a un nivel crítico que ponga en riesgo la generación de electricidad o que cause racionamiento para estas (recuérdese que la atención de la demanda no termoeléctrica está asegurada en razón de que es atendida con prioridad sobre la demanda termoeléctrica). Adicionalmente, las Figuras 5-2 y 5-3 ilustran los volúmenes ingresados a través de carro tanques (y ducto dedicado en el caso de Termoflores 1 y 4) y los volúmenes retirados para ser consumidos por las unidades de generación en termoeléctricas.

En especial, estos resultados revelan que los volúmenes de combustible nominados, ingresan a cada termoeléctrica a tiempo y son iguales a los volúmenes consumidos de tal manera que mantiene el balance entre suministro y consumo de combustible para las termoeléctricas.

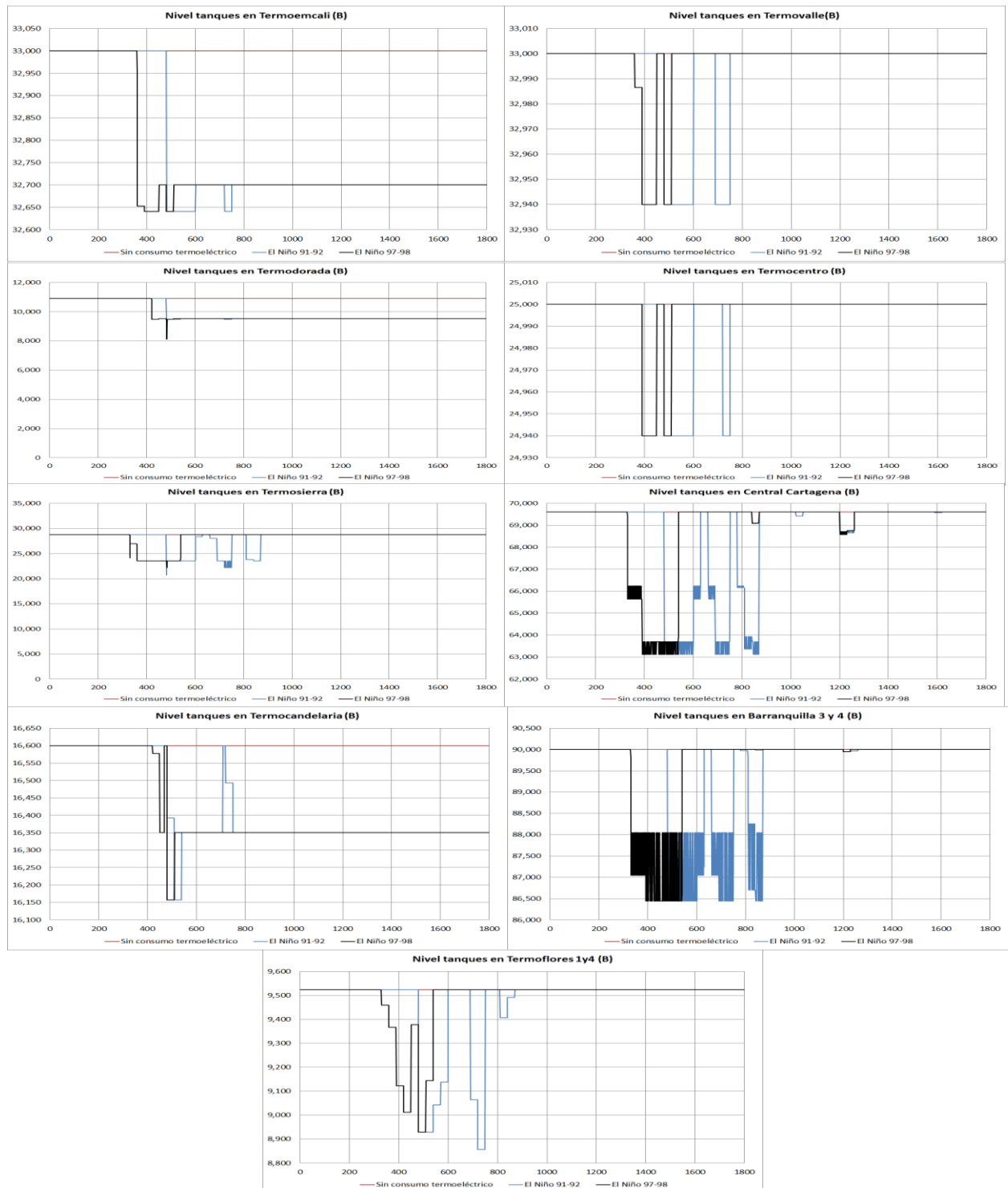


Figura 5-1. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.

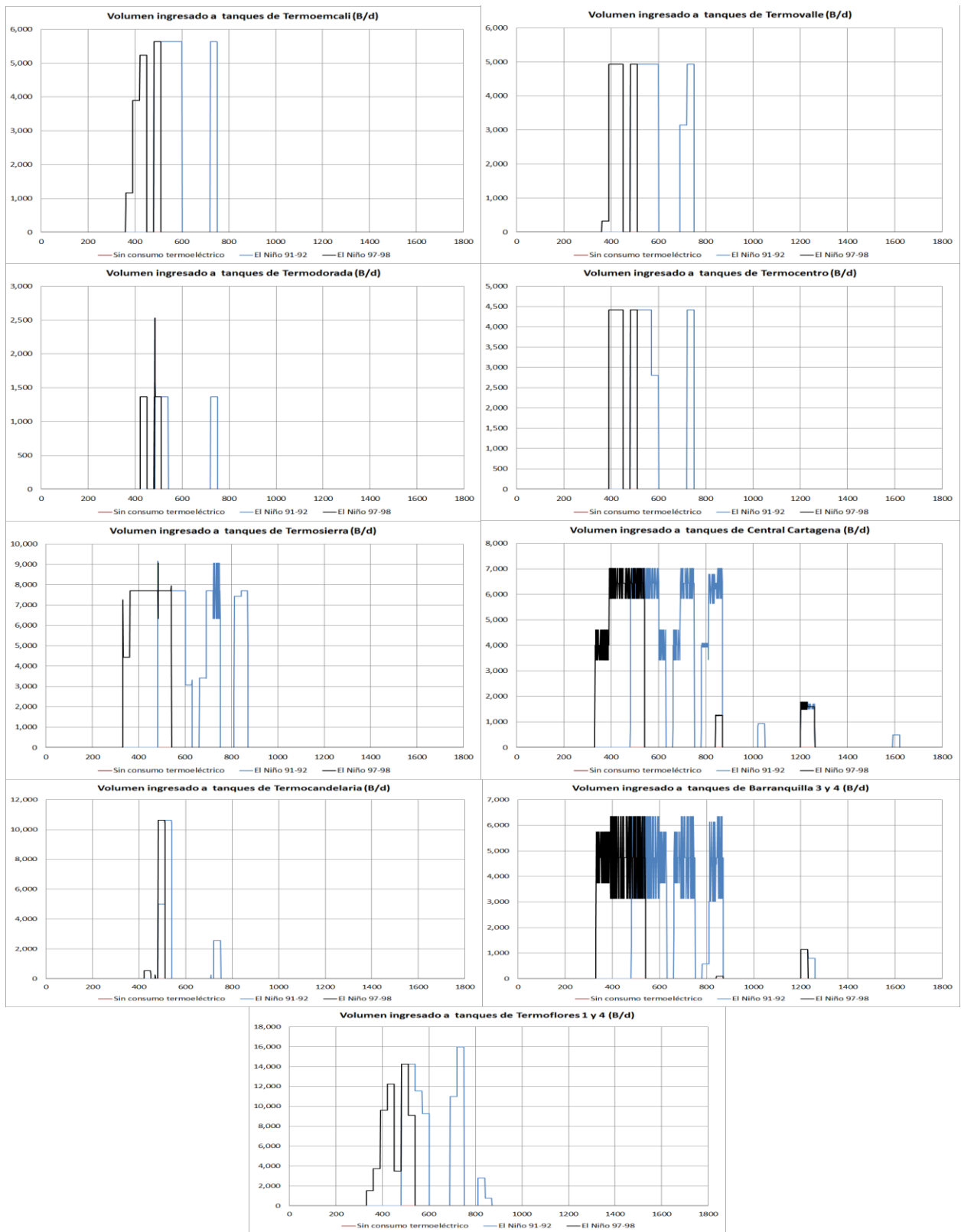


Figura 5-2. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoelectricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.

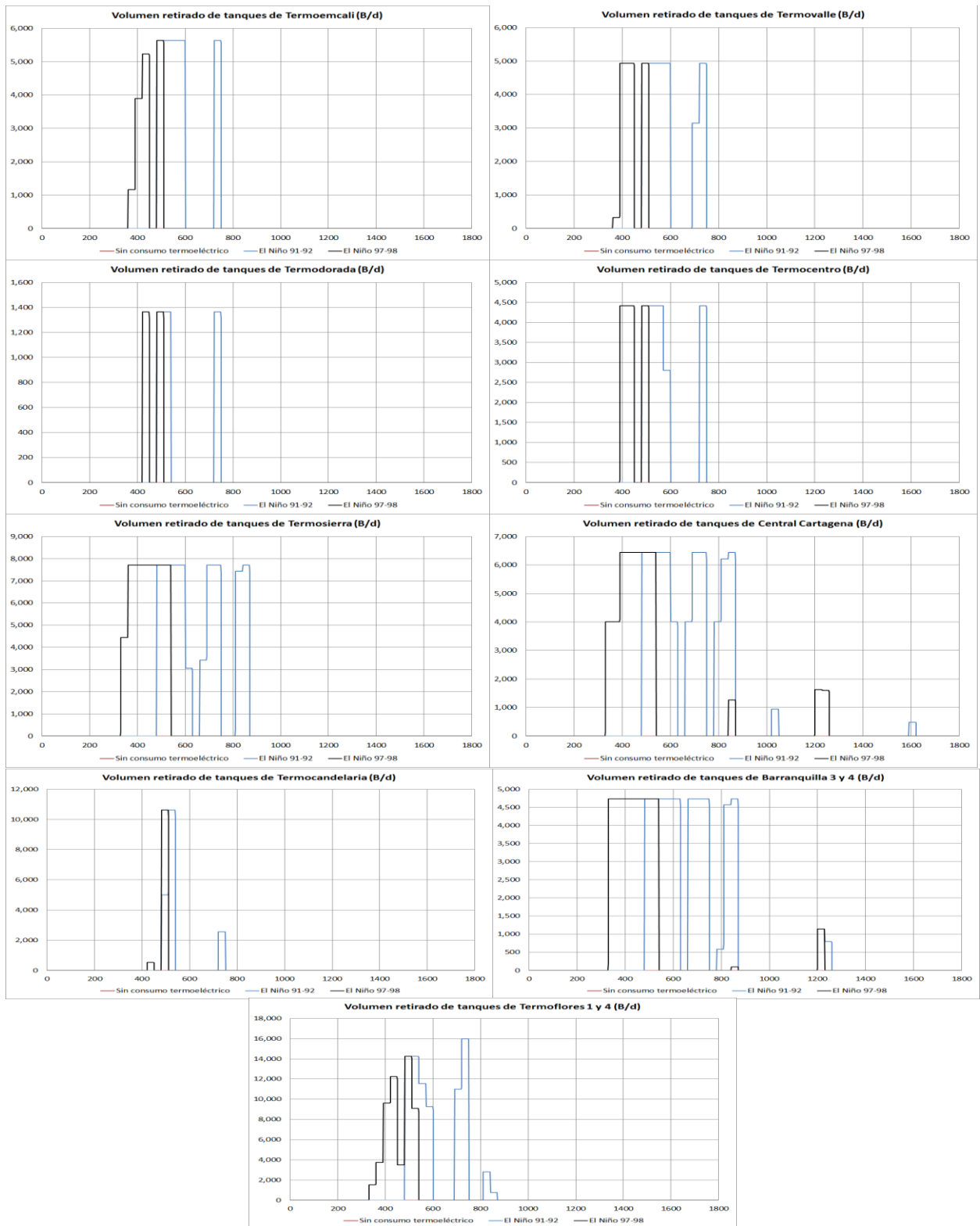


Figura 5-3. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoelectricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.

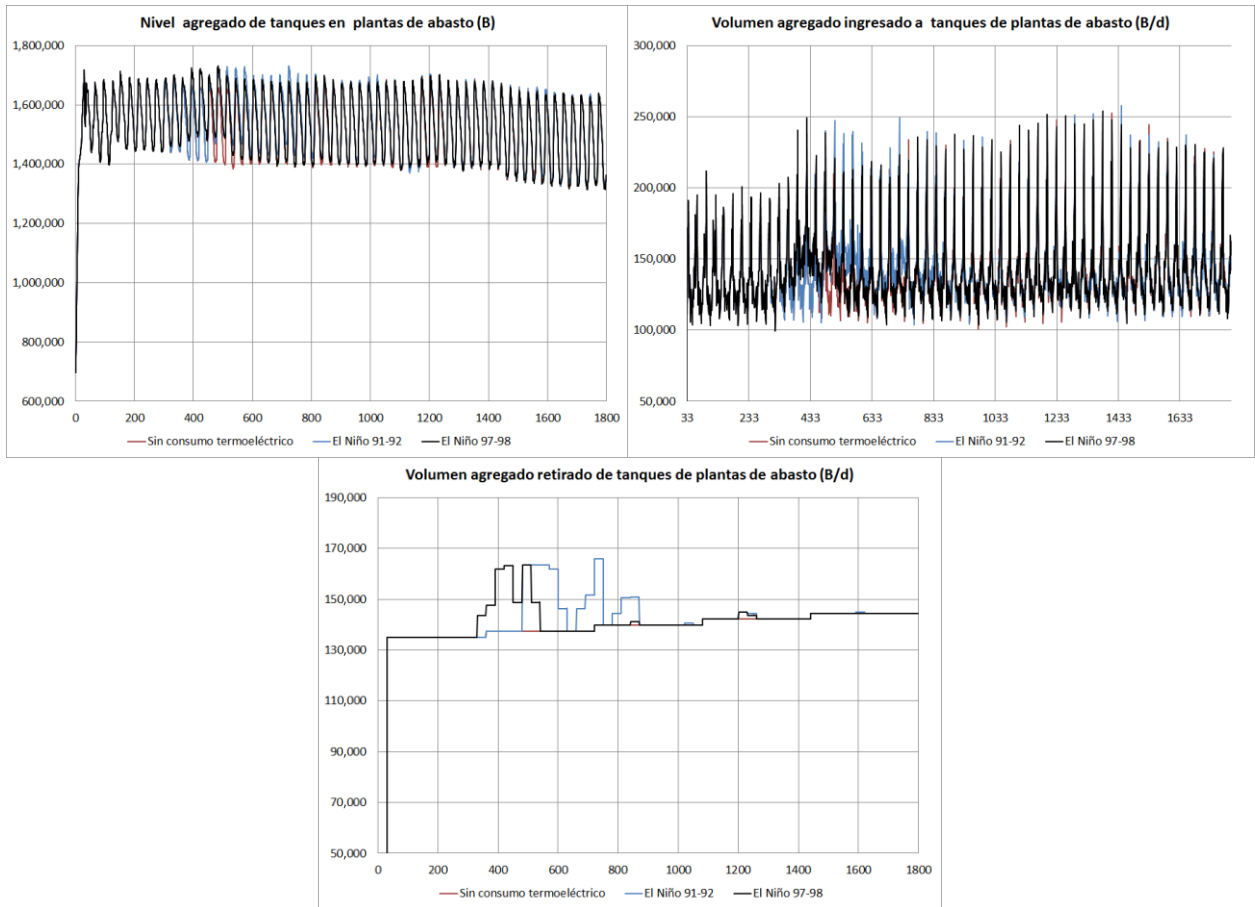


Figura 5-4. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.

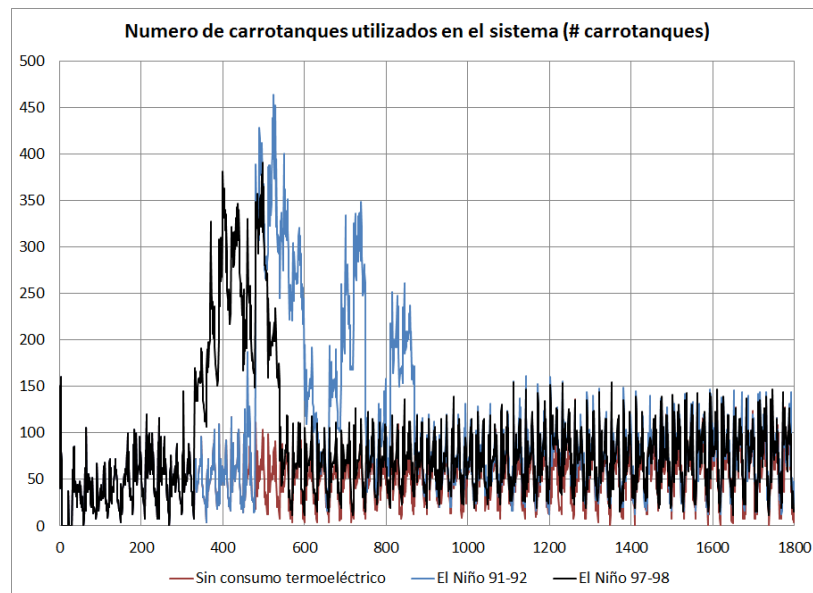


Figura 5-5. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.

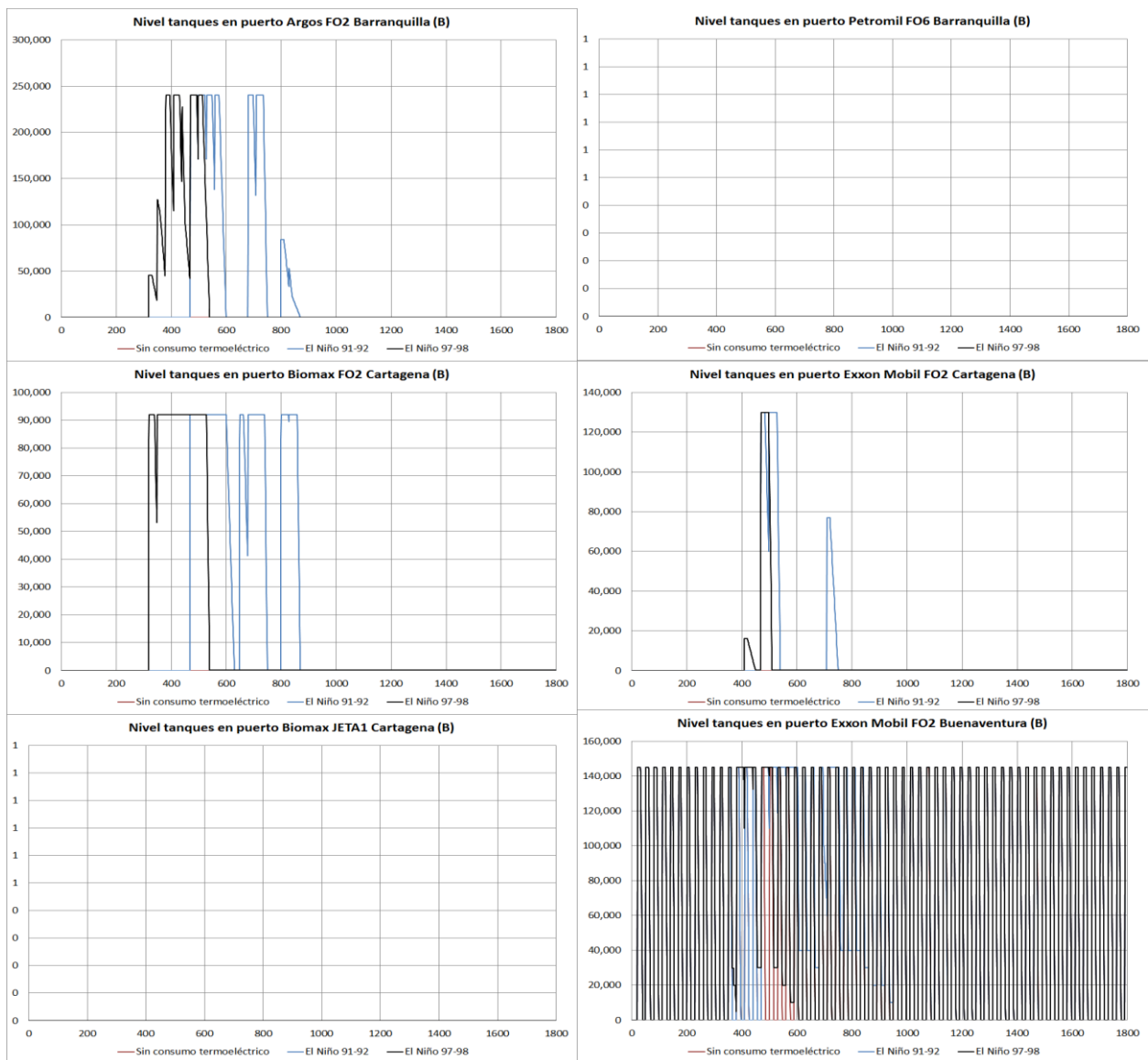


Figura 5-6. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoelectricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.

Los resultados muestran movimientos de inventario de combustible agregado en las plantas de abasto, los cuales fluctúan entre 1.400.000 y 1.700.000 barriles especialmente para los casos en donde hay despacho térmico. Asimismo, en los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2 se observa una mayor dinámica en los volúmenes ingresados y retirados de las plantas de abasto. Estos resultados se incluyen en la Figura 5-4.

Por otra parte, los resultados indican que ante despachos termoeléctricos importantes como los asociados al escenario EH3, la ocupación o utilización de carro tanques aumentaría considerablemente, pasando de 50 carro tanques en promedio a un máximo cercano a los 470 para los periodos en donde se despachan fuertemente las termoelectricas. Adicionalmente, se puede observar que el escenario EH3 Caso 1 es más exigente en cuanto al uso de carro tanques que el escenario EH3 Caso 2.

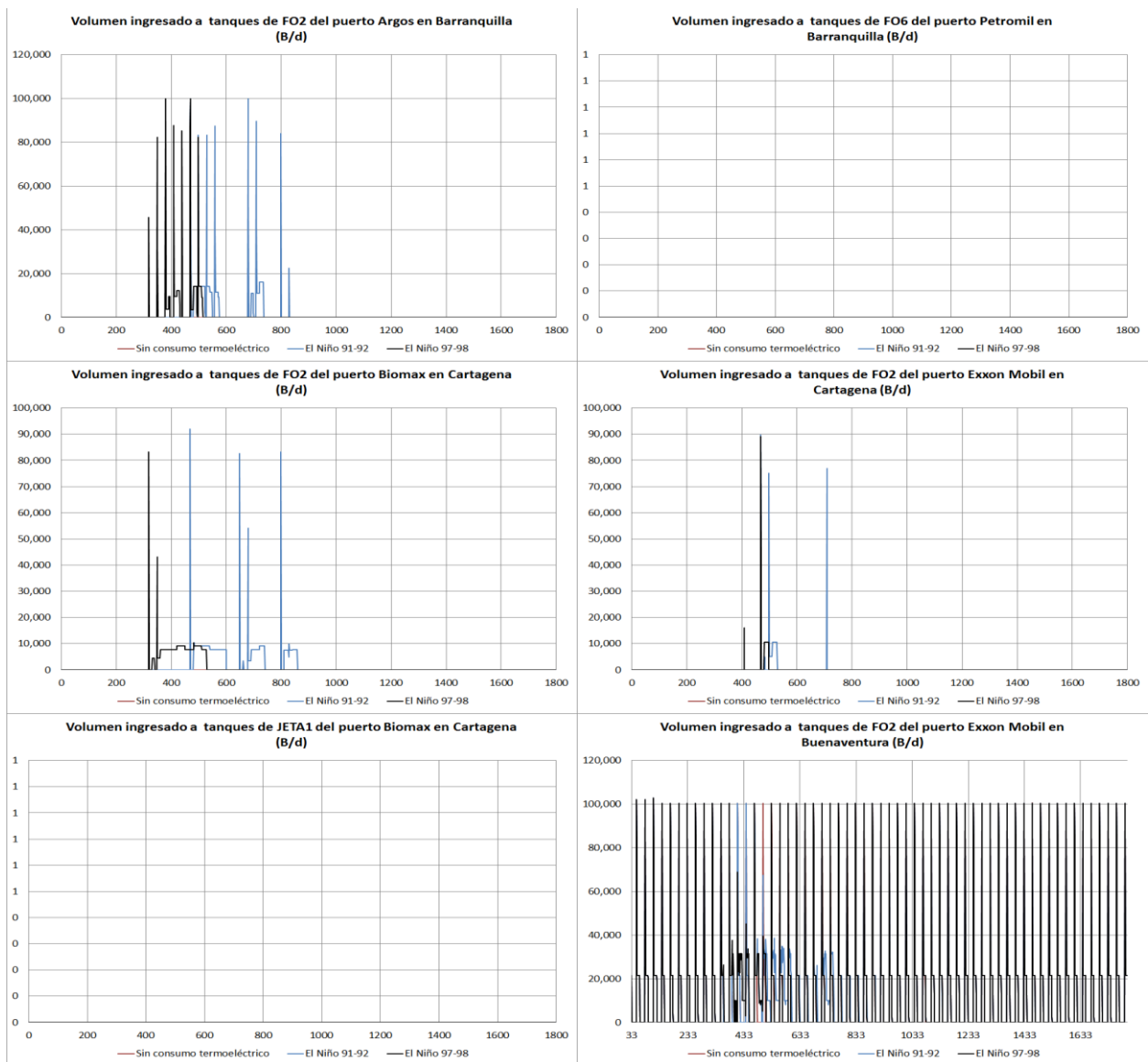


Figura 5-7. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.

Es importante anotar que los ingresos o importaciones de combustible en los puertos asociados a las termoeléctricas exhiben características discretas como se observa en la Figura 5-7. Esto es debido a que la importación de combustible se hace a través de buques de aproximadamente 100.000 barriles de capacidad. Asimismo, es de destacar que las importaciones de combustibles a través de estos puertos se activan ante los despachos termoeléctricos (a excepción de las importaciones de FO#2 en Buenaventura por ser un puerto compartido para la importación de combustible con destino no termoeléctrico por parte de ECOPETROL y en caso de activarse la logística para termoeléctricas sería usado también por Exxon Mobil) y difieren entre los escenarios simulados, especialmente en la frecuencia y fecha de inicio de la importación. Se puede observar que en el escenario EH3 Caso 1 los mayores ingresos de combustible importado se dan en el puerto de FO#2 utilizado

por Biomax en Cartagena. Análogamente, el mayor ingreso de combustible importado para el escenario EH3 Caso 2 se da a través del puerto de FO#2 de Argos.

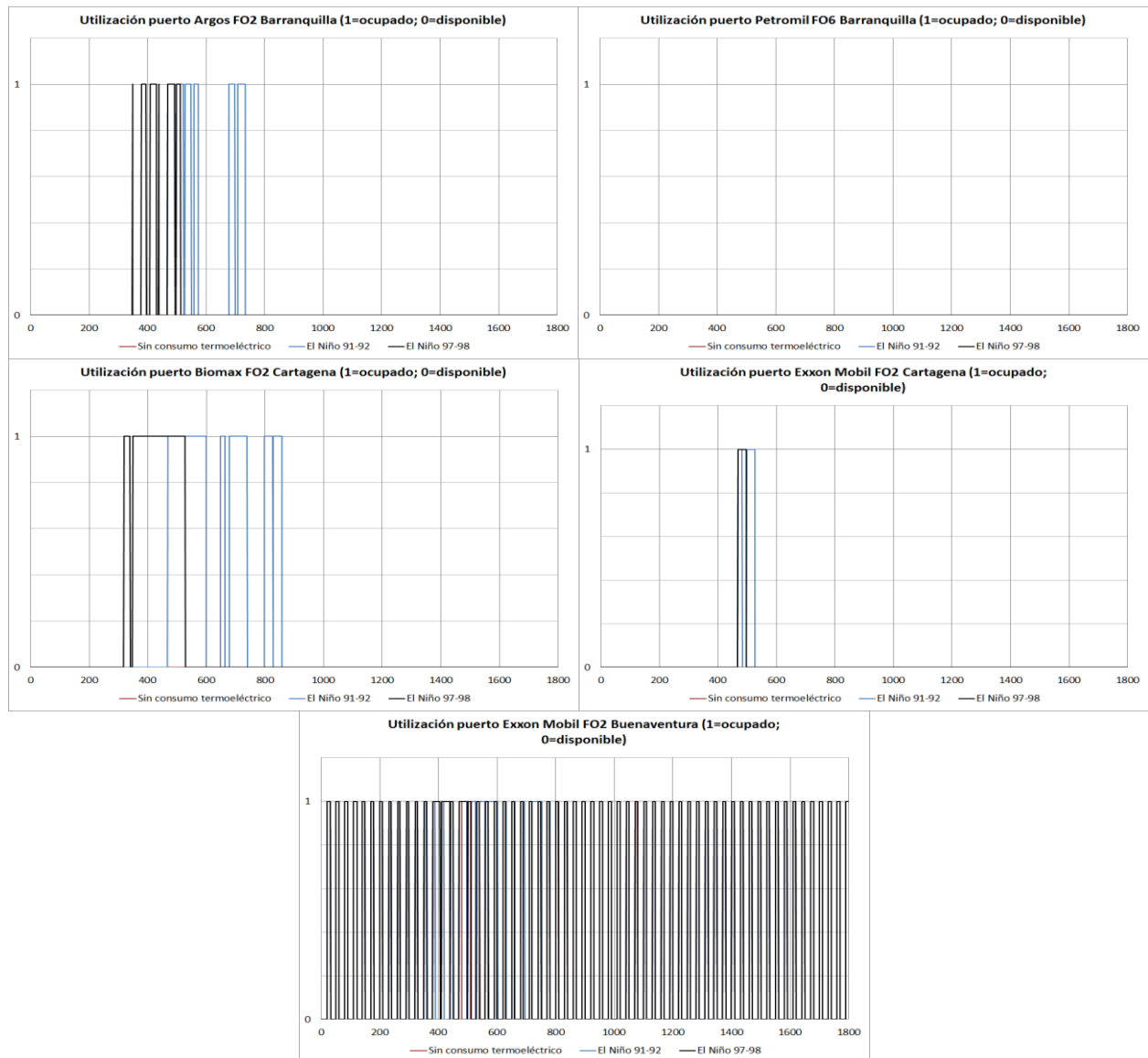


Figura 5-8. Utilización de los puertos asociados a termeléctricas en todo el sistema para los escenarios EH3 Caso 1 y Caso 2.

Por ultimo, los resultados presentados en la Figura 5-8 muestran una utilización continua del puerto de Buenaventura para el escenario EH3 Caso 1 y Caso 2; la cual nunca llega a ser del 100% para los 5 años del horizonte de simulación (solo por periodos cortos no mayor de 15 días) y por lo tanto indica que es posible importar aún mas combustible por este punto, de ser necesario. Los puertos de FO#2 de Argos en Barranquilla y de FO#2 contratado por Biomax en Cartagena también presentan una alta utilización en los periodos de despacho termoelectrico. Especialmente, en el escenario EH3 Caso 2, la utilización del puerto de Biomax en Cartagena llega al 100% por un periodo prolongado (de aproximadamente 120 días). Este resultado sugiere que la capacidad actual de este puerto seria suficiente para

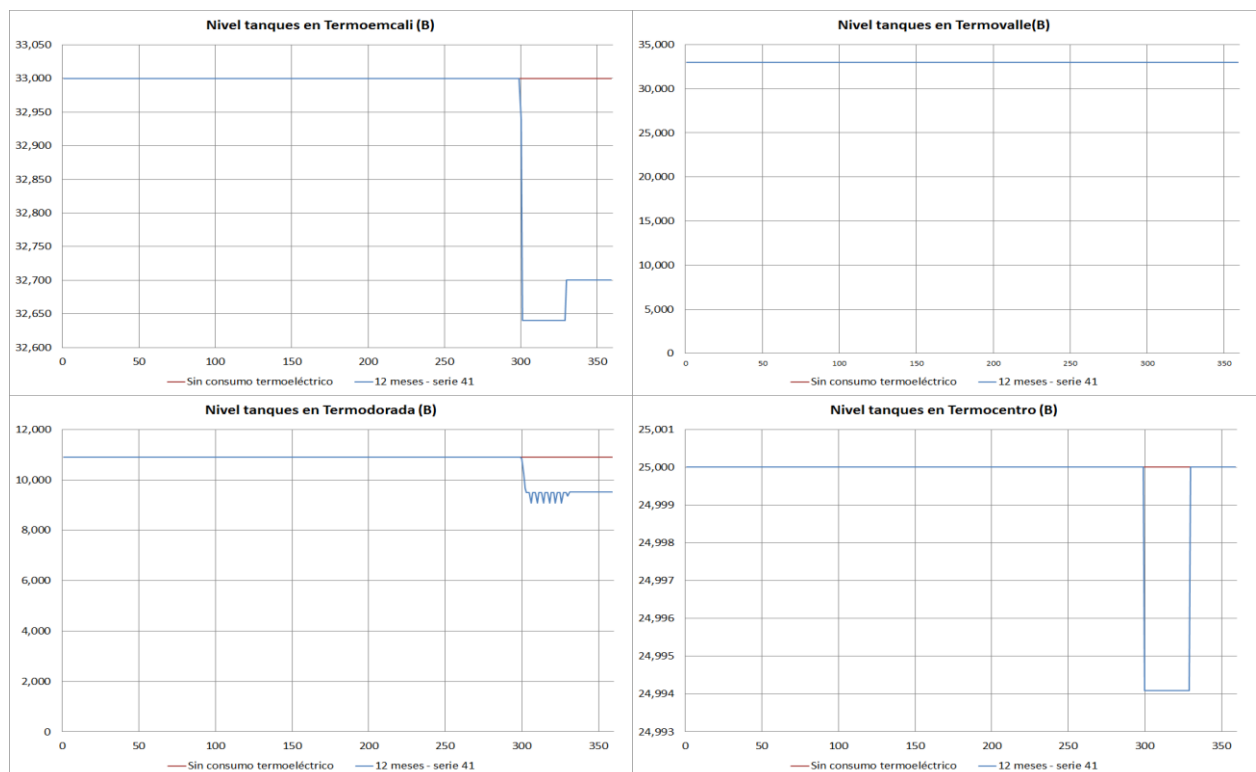
abastecer a las termoeléctricas con contratos con Biomax, sin embargo sería necesario realizar adecuaciones adicionales del puerto utilizado por Biomax en Cartagena si se desea hacer importaciones adicionales de combustibles.

5.2 Análisis de los Escenarios de Escasez Hidrológica estocásticos: EH4 Caso 1

El escenario EH4 Caso 1 corresponde al despacho térmico que sería causado por la ocurrencia de la serie hidrológica con PNSS del 95% (serie 41) para un periodo de 12 meses contados a partir de Noviembre de 2013. Los despachos térmicos resultantes de la serie 41, provienen de la corrida de 200 series sintéticas del SDDP de XM con mes inicial noviembre de 2013.

De igual manera que en el análisis de los escenarios determinísticos, el escenario EH4 Caso 1 tampoco considerará las plantas de TEBSA, Merilétrica, Proeléctrica y Termonorte.

A continuación se presentan las graficas de los resultados arrojados por las corridas del modelo desarrollado para este estudio. Todas las gráficas incluyen el caso base descrito por la serie de color rojo, el cual corresponde a los resultados producidos por el modelo sin demanda termoeléctrica y la serie de color azul, presenta los resultados del escenario EH4 Caso1.



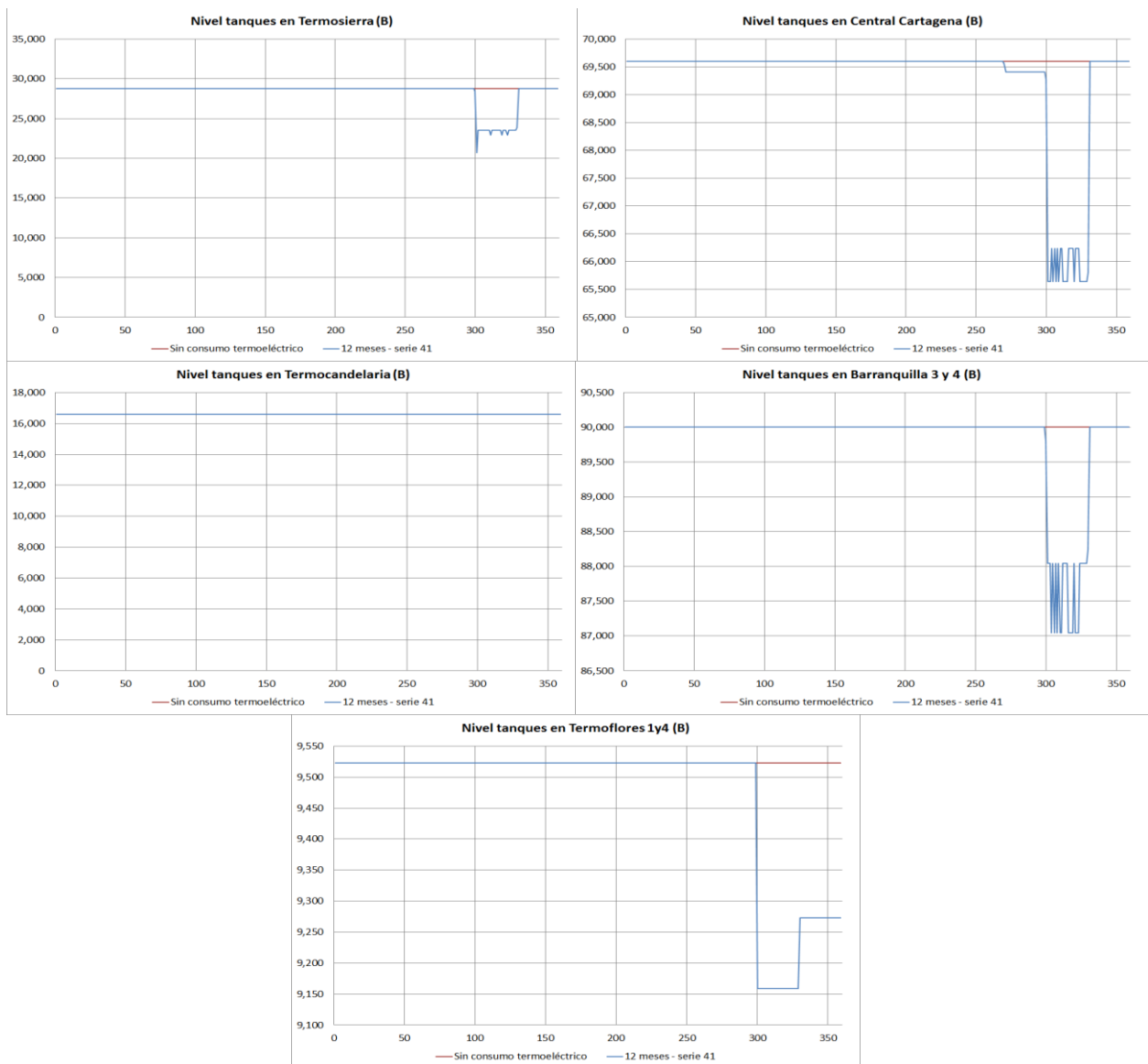


Figura 5-9. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1. Horizonte de 12 meses.

Los resultados sugieren que ante el escenario de escasez hidrológica estocástico EH4 Caso 1, la demanda termoeléctrica de combustibles podría ser atendida satisfactoriamente con la logística existente y proyectada para el periodo comprendido entre noviembre de 2013 y noviembre de 2014. Es importante resaltar que aunque los resultados muestran que la logística permite abastecer la demanda termoeléctrica, esta es frágil y requiere de una coordinación oportuna entre todos los agentes que participan.

La Figura 5-9 indica que los niveles de combustible en los tanques en las plantas termoeléctricas son altos, con pequeñas variaciones pero siempre cercanos a su nivel inicial por lo que se garantiza un inventario permanente de combustible que permite los despachos de las termoeléctricas. Asimismo, los resultados de las Figuras 5-10 y 5-11 revelan que los volúmenes de combustible nominados, ingresan a cada termoeléctrica a tiempo y son iguales

a los volúmenes consumidos, manteniendo el balance entre el suministro y consumo de combustible para las termoeléctricas.

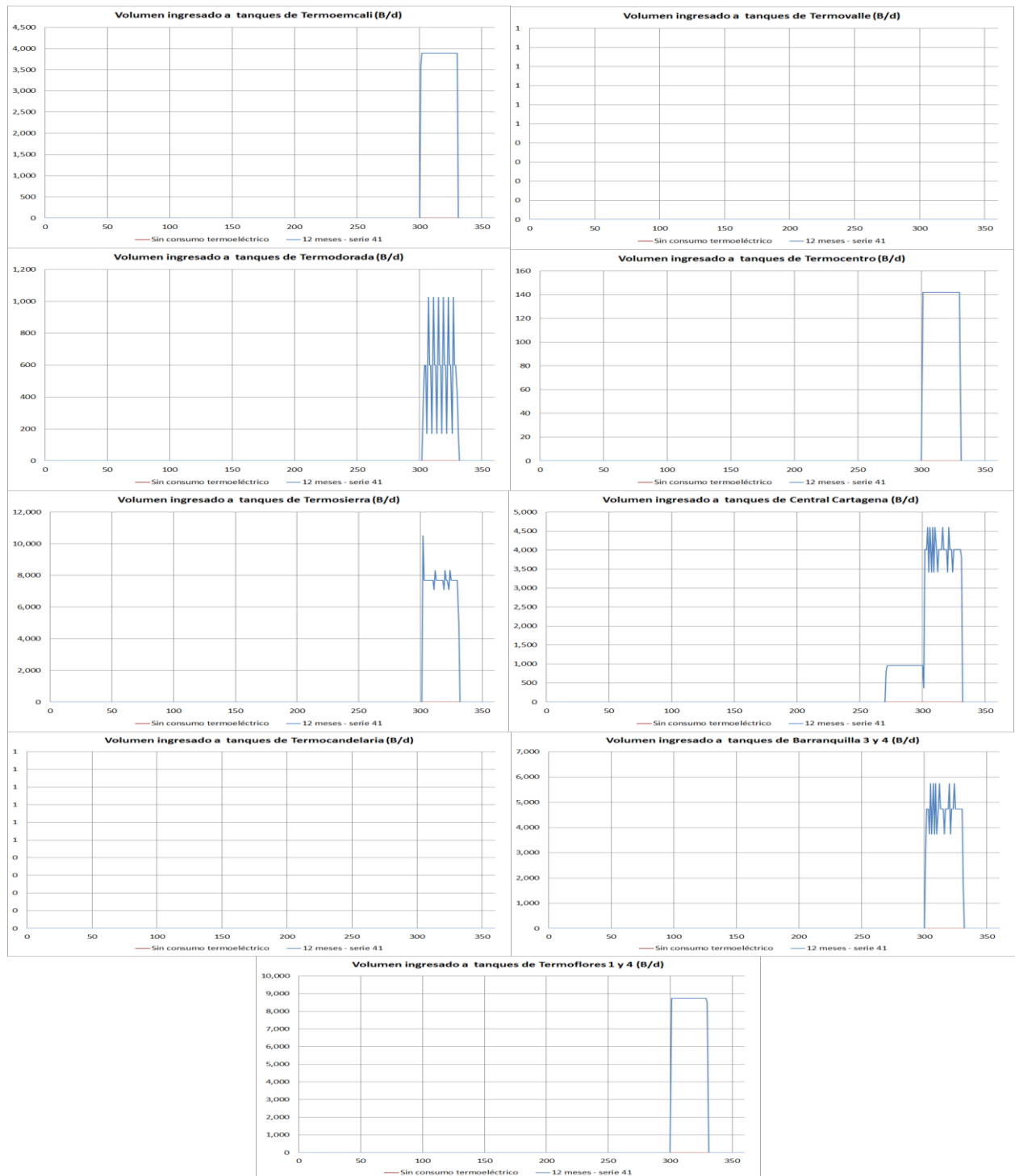


Figura 5-10. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1.



Figura 5-11. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoelectricas para el escenario EH4 Caso 1.

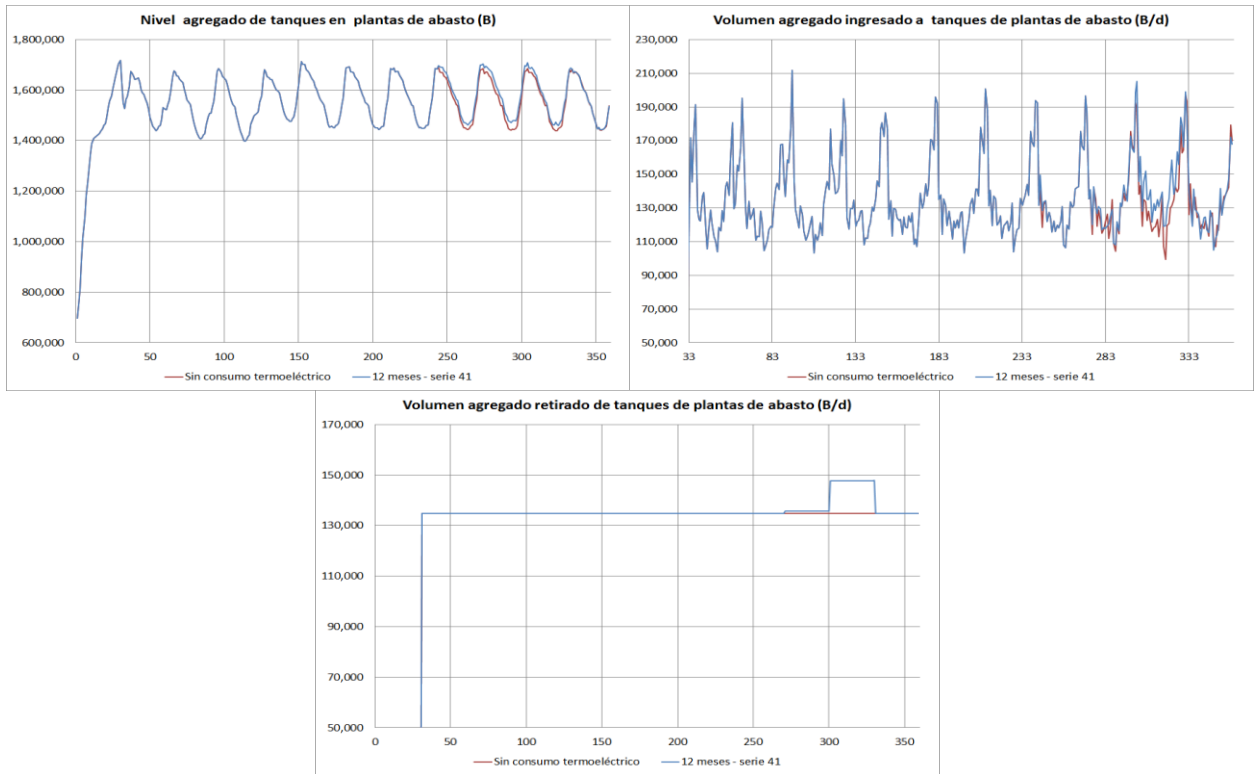


Figura 5-12. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 1.

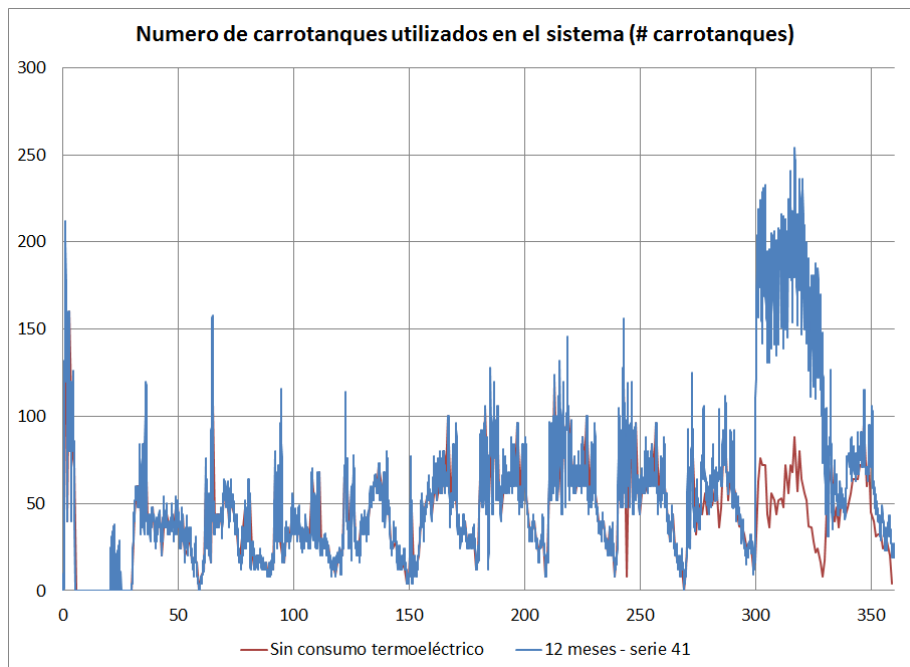


Figura 5-13. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH3 Caso 1.

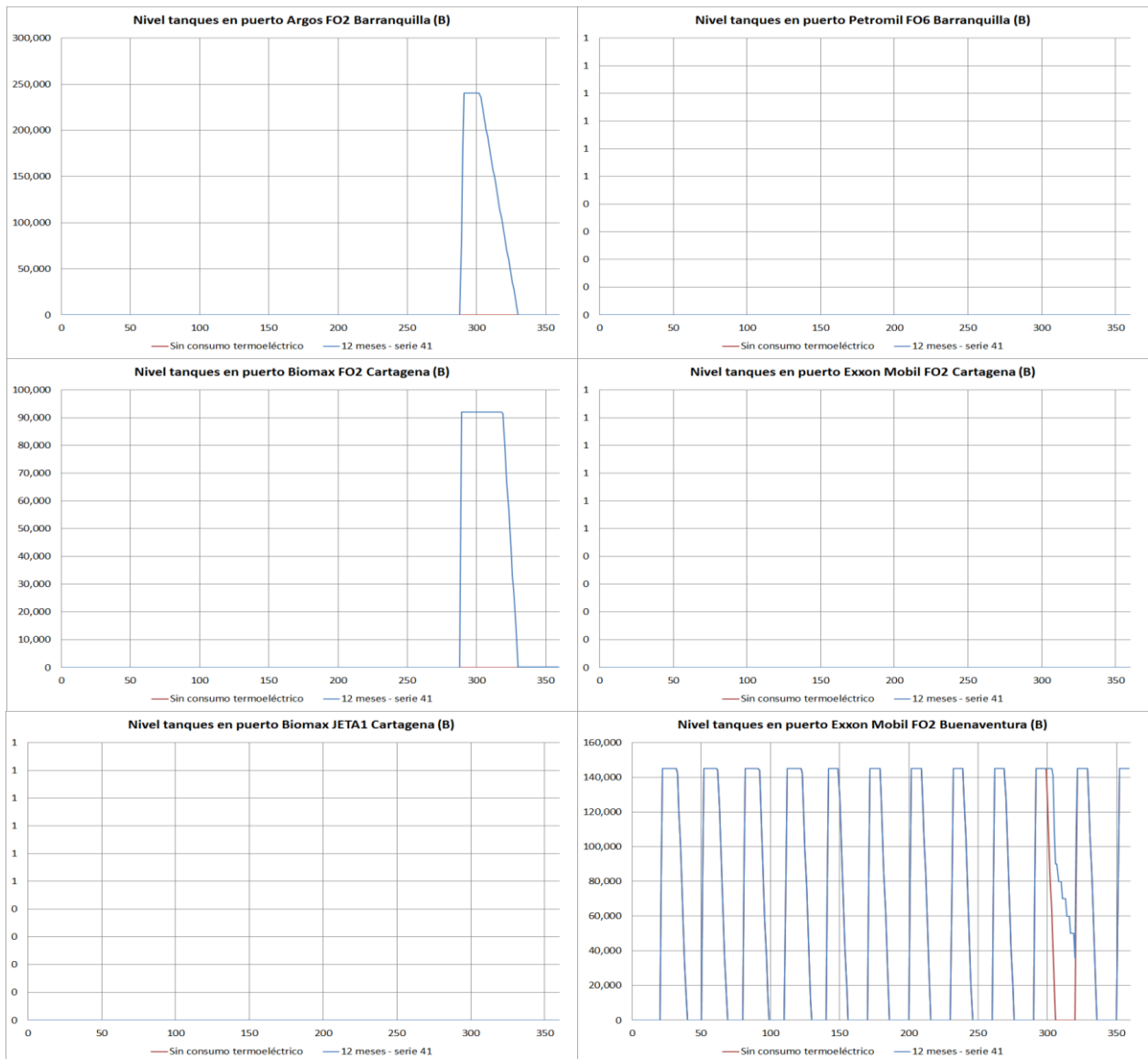


Figura 5-14. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1.

Los resultados de la Figura 5-11, muestran movimientos de inventario de combustible agregado en las plantas de abasto muy similares entre el caso sin consumo termoeléctrico y el escenario EH4 Caso1. Asimismo, se observa una mayor dinámica en los volúmenes ingresados y retirados de las plantas de abasto cerca al día 283, el cual es cercano al periodo de despacho térmico más fuerte para el escenario EH4 Caso 1.

Es importante resaltar que comparado con los escenarios determinísticos EH3 Caso 1 y EH3 Caso 2, el escenario estocástico EH4 Caso 1 no es tan exigente para la logística, pues plantas como Termovalle y Termocandelaria no son despachadas en el horizonte de 12 meses de simulación. Lo que se traduce en menor exigencia de utilización de recursos como carro tanques, la cual llega a un máximo aproximado de 245 para este escenario en comparación a los 490 utilizados por el sistema de abastecimiento para los escenarios determinísticos.

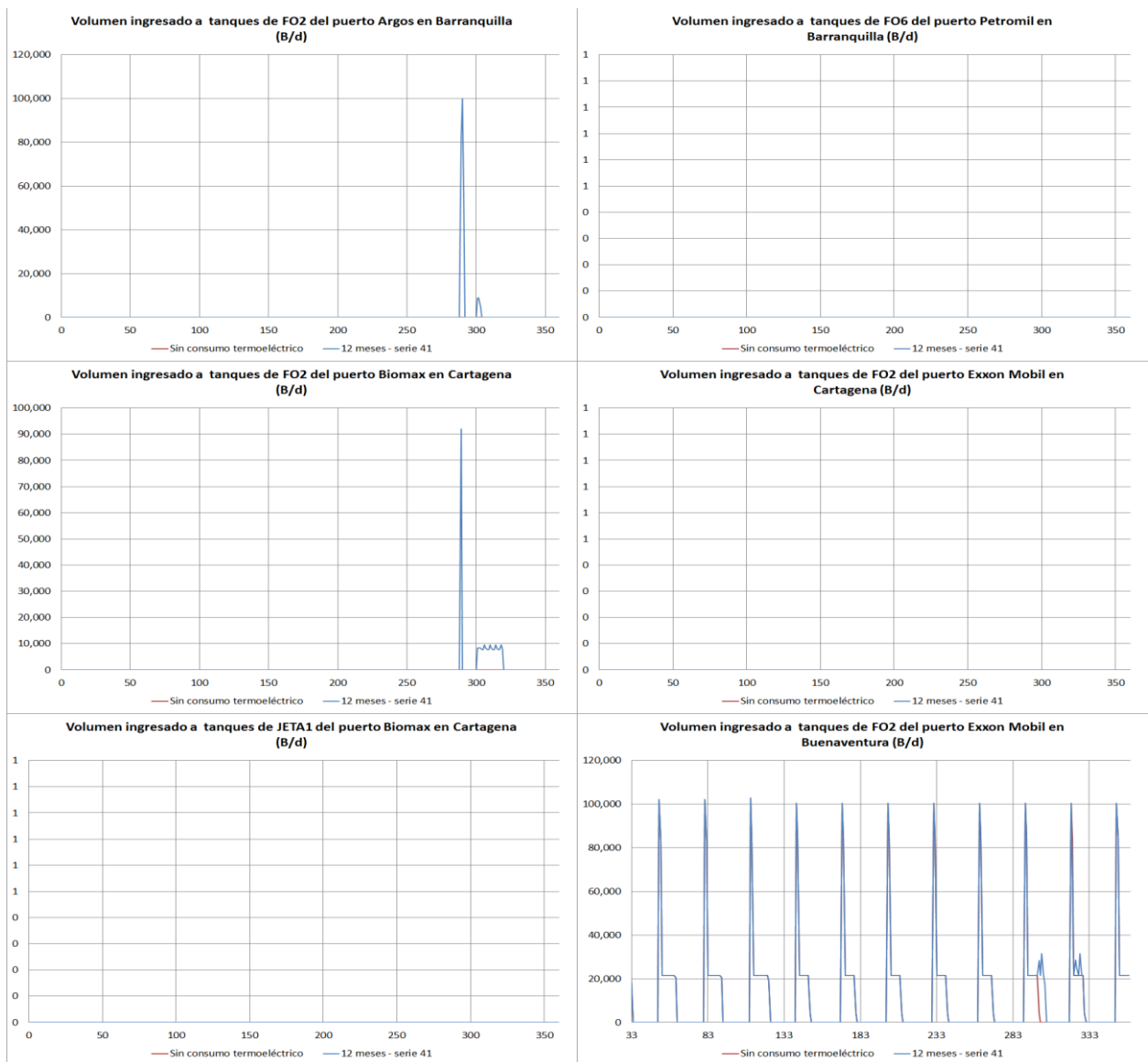


Figura 5-15. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 1.

Los ingresos o importaciones de combustible en los puertos asociados a las termoeléctricas exhiben características discretas como se observa en la Figura 5-15. Esto es debido a que la importación de combustible se hace a través de buques de aproximadamente 100.000 barriles de capacidad. Adicionalmente, las importaciones de combustibles a través de estos puertos se activan ante los despachos termoeléctricos (a excepción de las importaciones de FO#2 en Buenaventura por ser un puerto compartido para la importación de combustible con destino no termoeléctrico por parte de Ecopetrol y en caso de activarse la logística para termoeléctricas sería usado también por Exxon Mobil). Las importaciones de combustible para el escenario EH4 Caso 1 son bajas y localizadas pues los despachos térmicos son bajos. Debido a que Termocandelaria y Termovalle no son despachadas las importaciones de FO#2 son de cero en el puerto de Exxon Mobil en Cartagena y bajas en el caso del puerto de

Buenaventura (comparando los volúmenes de combustible importado para los casos sin consumo termoeléctrico y el escenario EH4 Caso 1)

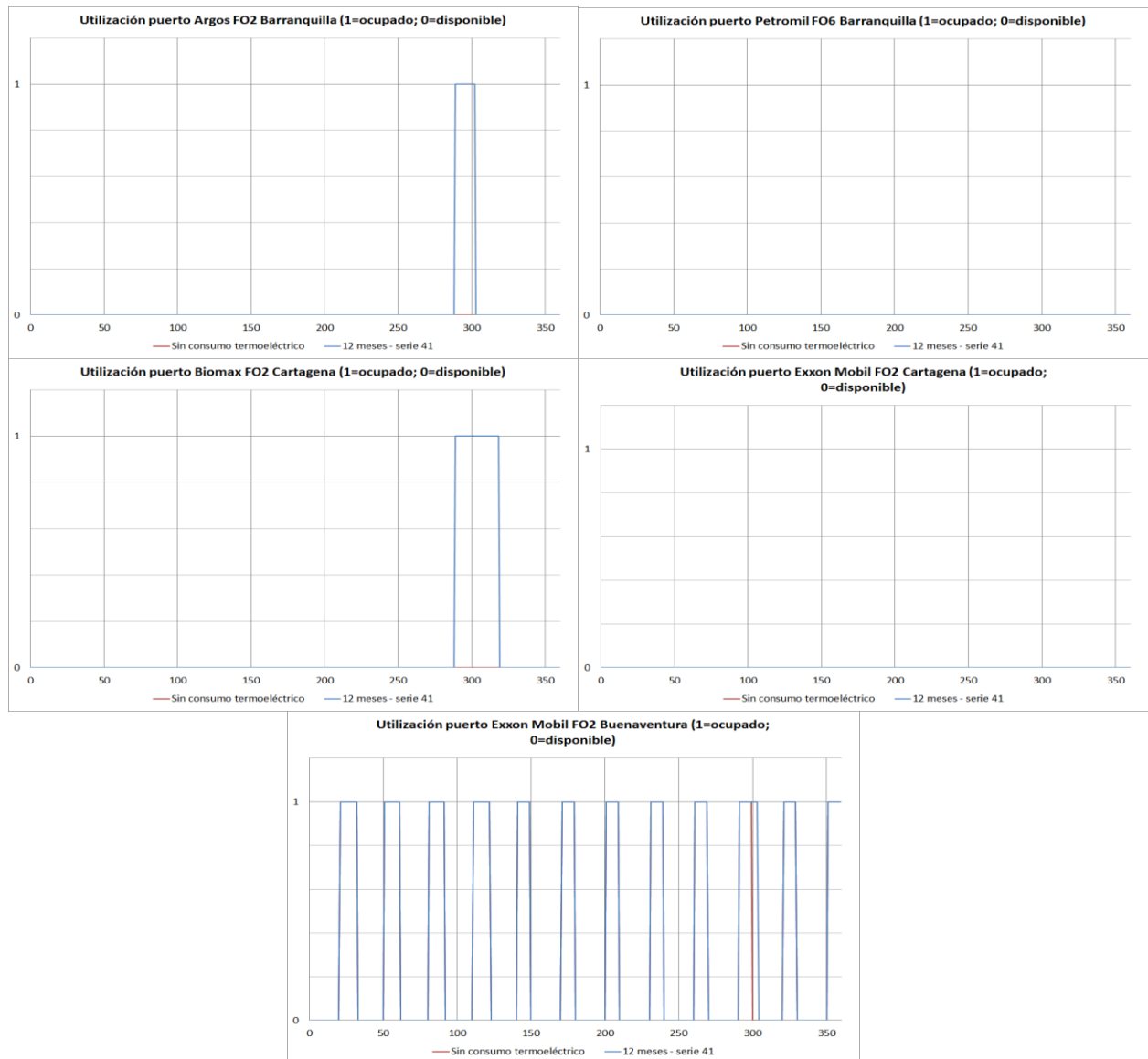


Figura 5-16. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 1.

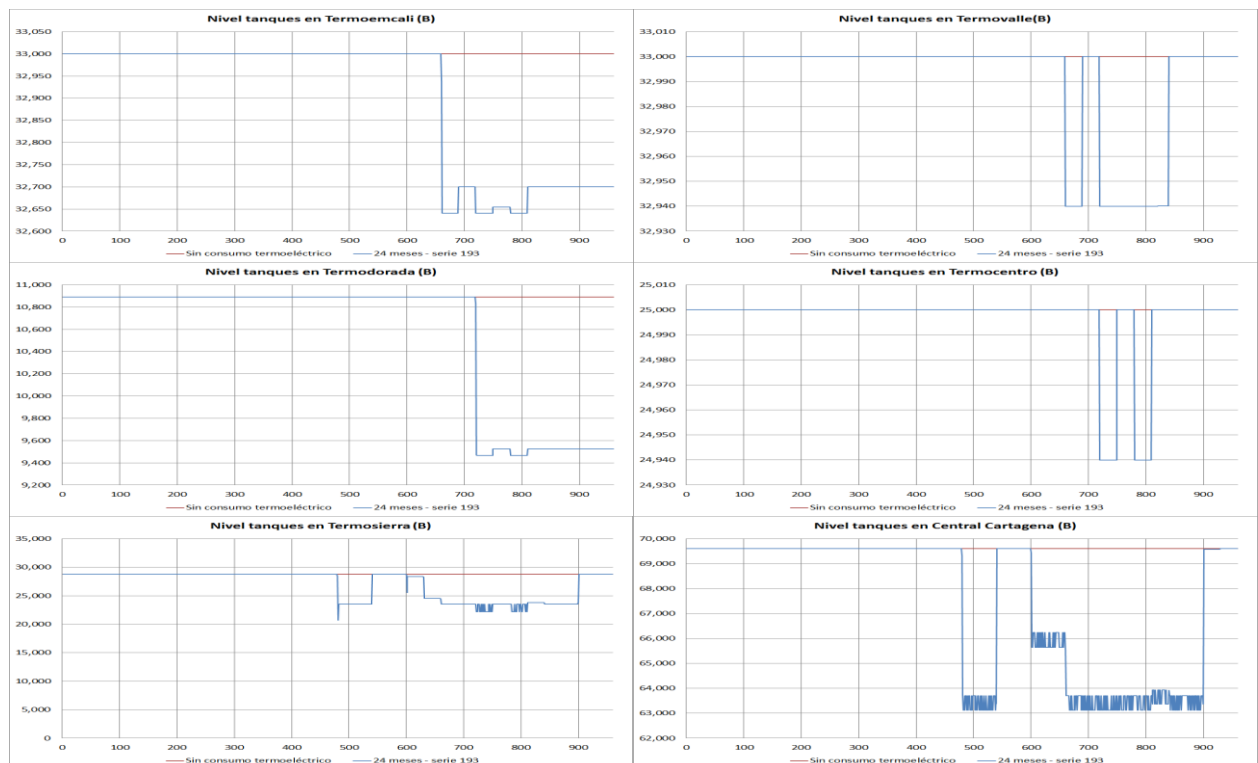
Finalmente, los resultados observados en la Figura 5-16 indican que el puerto de Buenaventura tiene una utilización media la cual no varía de manera significativa para el escenario EH4 Caso 1, pues no llega a ser del 100% para los 12 meses del horizonte de simulación (solo por periodos cortos no mayores de 15 días). Los puertos de FO#2 de Argos en Barranquilla y FO#2 de Biomax en Cartagena exhiben una alta utilización en el periodo de despacho termoeléctrico. Especialmente, en el escenario EH4 Caso 1, la utilización del puerto de Biomax en Cartagena llega al 100% por un periodo prolongado (aproximadamente 30 días). Debido a que Termocandelaria no es despachada en el Escenario EH4 Caso 1, la utilización del puerto de Exxon Mobil en Cartagena es nula.

5.3 Análisis de los Escenarios de Escasez Hidrológica estocásticos: EH4 Caso 2

El escenario EH4 Caso 2 corresponde al despacho térmico que sería causado por la ocurrencia de la serie hidrológica con PNSS del 95% (serie 193) para un periodo de 24 meses contados a partir de Noviembre de 2013. Los despachos térmicos resultantes de la serie 193, provienen de la corrida de 200 series sintéticas del SDDP de XM para Noviembre de 2013. Debido a que la serie generaba despachos térmicos para un periodo mayor a 24 meses y no se quería interrumpir, las simulaciones del escenario EH4 Caso 2 del modelo desarrollado por los consultores se hacen para un horizonte de 32 meses a partir de noviembre de 2013. Mes después del cual no se generan despachos de las termoeléctricas consumiendo combustibles líquidos.

De igual manera que en el análisis del escenario EH4 Caso 1, el escenario EH4 Caso 2 tampoco considerara las plantas de TEBSA y Termonorte.

A continuación se presentan las graficas de los resultados arrojados por el modelo desarrollado para este estudio. Para todas las graficas, el eje x representa el eje de tiempo, el cual esta expresado en días (la resolución del modelo es diaria) para el horizonte de 32 meses. Adicionalmente, todas las graficas incluyen el caso base descrito por la serie de color “rojo”, el cual corresponde a los resultados producidos por el modelo sin demanda termoeléctrica (i.e. solo consumos de combustibles no termoeléctricos). Así mismo, la serie de color “azul”, presenta los resultados del escenario EH4 Caso 2.



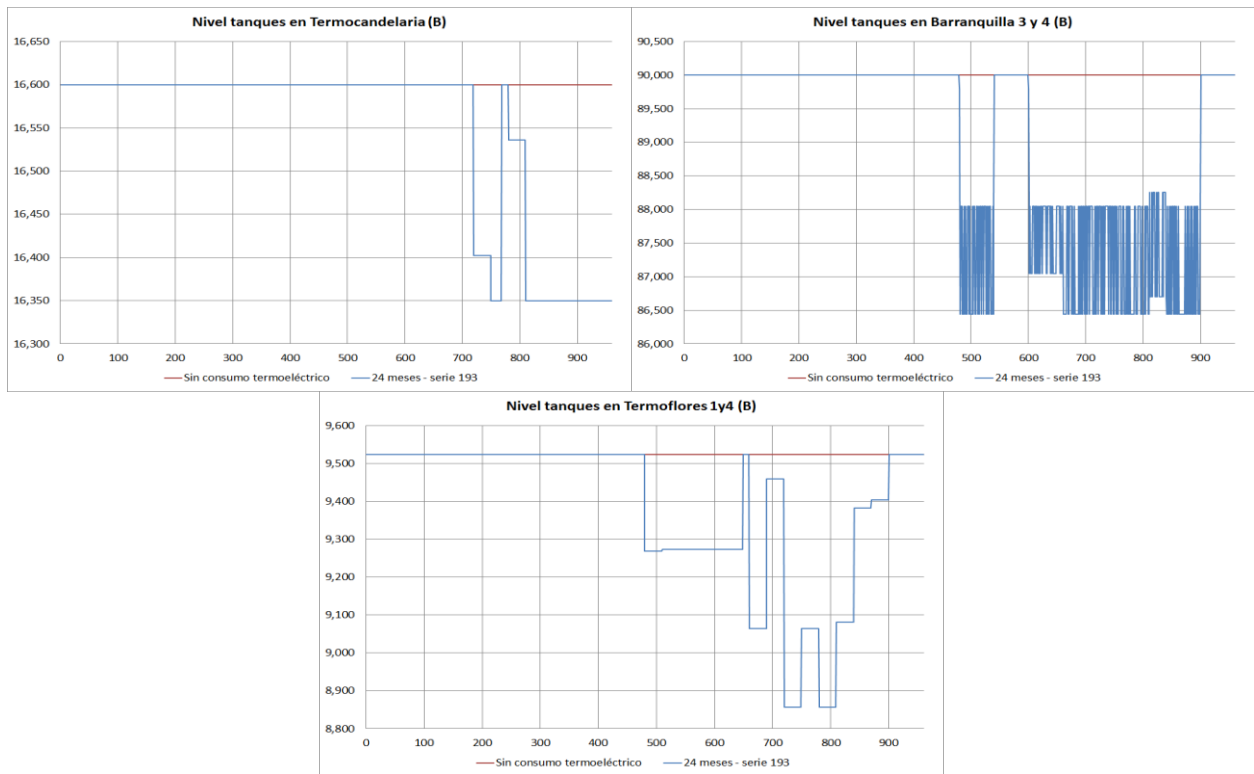


Figura 5-17. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 2.

Los resultados sugieren que ante el escenario de escasez hidrológica estocástico EH4 Caso 2, la demanda termoeléctrica de combustibles podría ser atendida satisfactoriamente con la logística existente y proyectada para horizonte de simulación (al igual que en el escenario EH4 Caso 1). Al igual que en los escenarios anteriormente analizados, es importante señalar que aunque los resultados muestran que la logística permite abastecer la demanda termoeléctrica, esta es frágil y requiere de una coordinación oportuna entre todos los agentes que participan.

La Figura 5-18 muestra que los niveles de combustible en los tanques en las plantas termoeléctricas son altos, con pequeñas variaciones (la mas alta se presenta en el tanque de Termosierra que pasa de 30000 barriles a cerca de 22000 Barriles en el día 480) pero siempre cercanos a su nivel inicial por lo que se garantiza un inventario permanente de combustible que permite los despachos de las termoeléctricas. Asimismo, los resultados de las Figuras 5-18 y 5-19 indican que los volúmenes de combustible nominados, ingresan a cada termoeléctrica a tiempo y son iguales a los volúmenes consumidos, manteniendo el balance entre el suministro y consumo de combustible para las termoeléctricas.

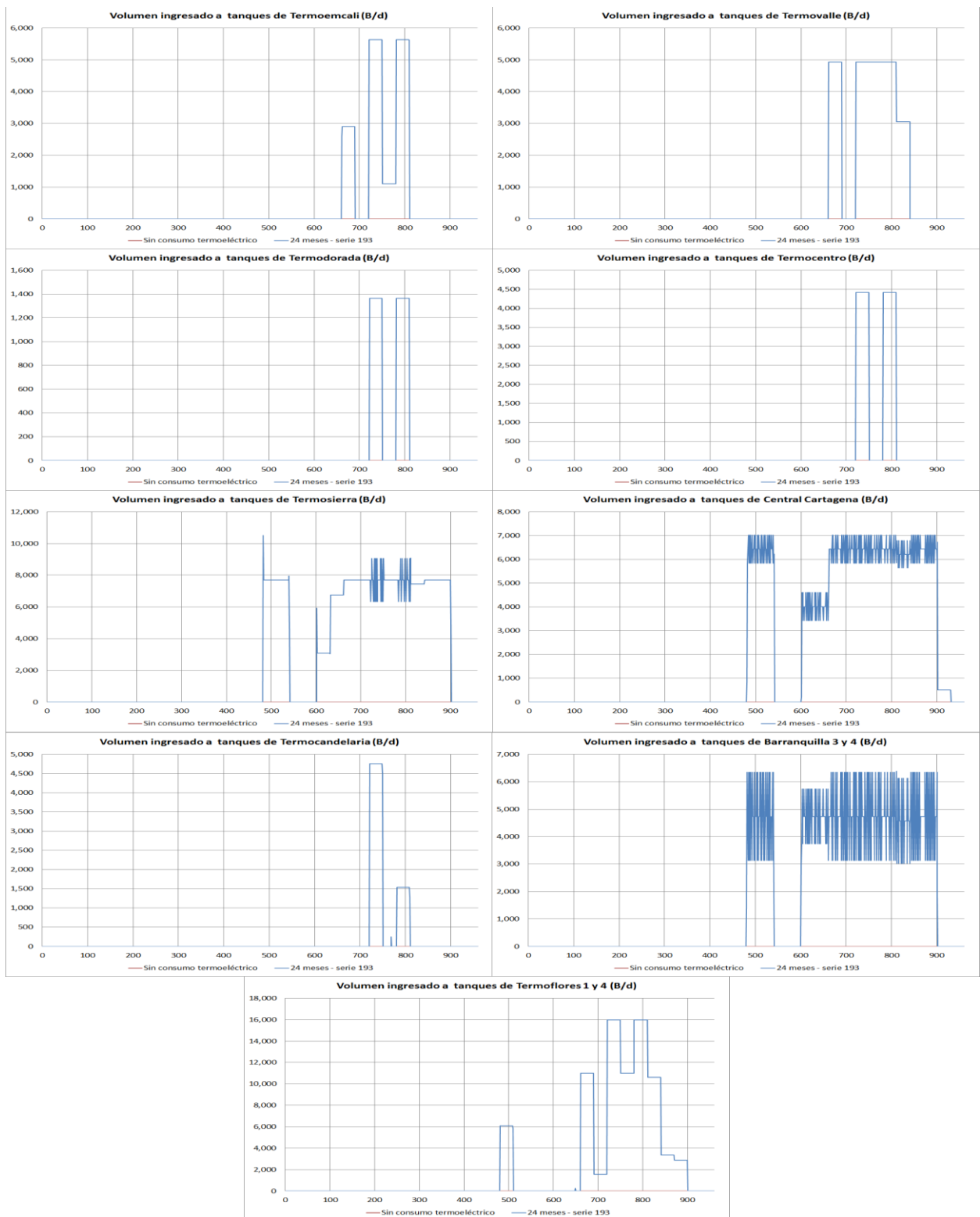


Figura 5-18. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 2.



Figura 5-19. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoelectricas para el escenario EH4 Caso 2.

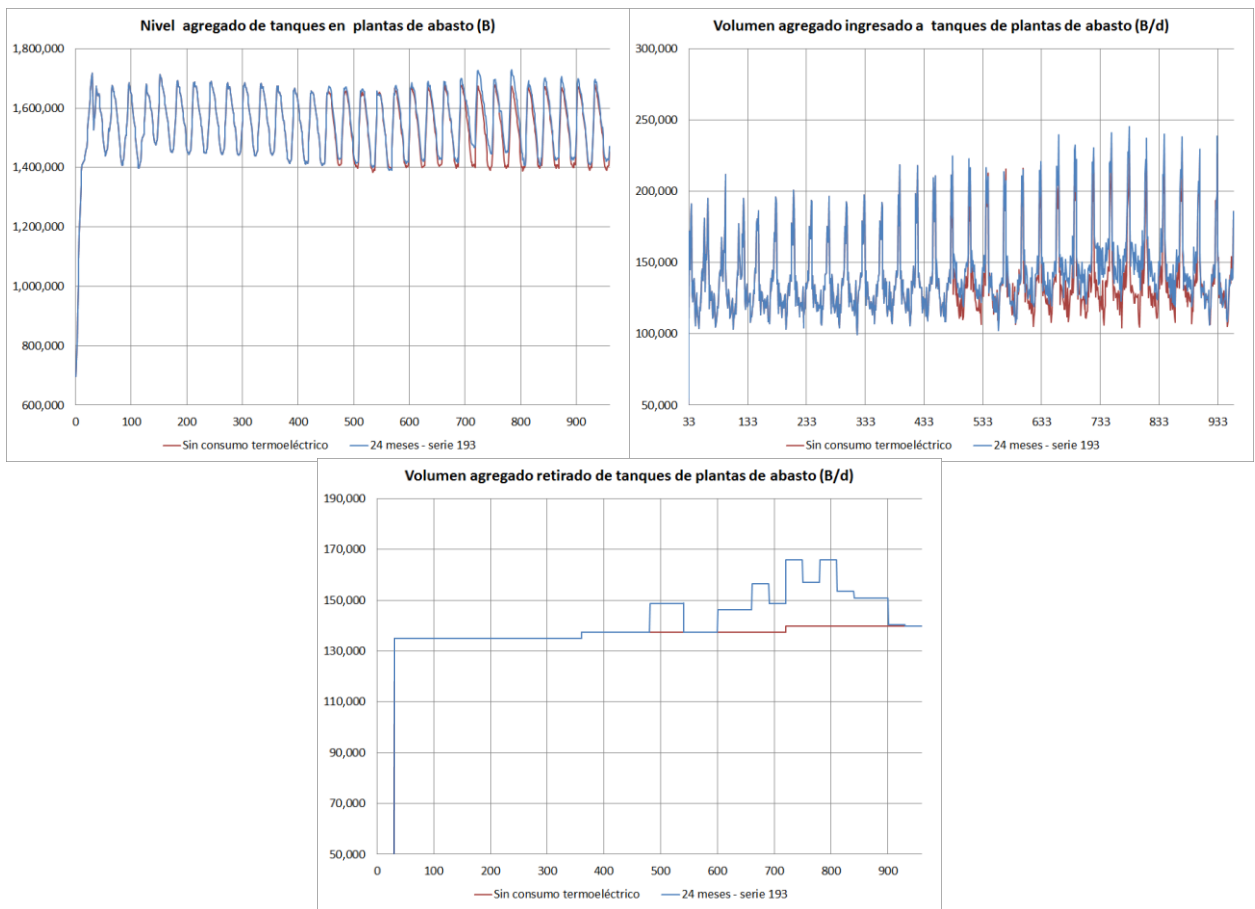


Figura 5-20. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 2.

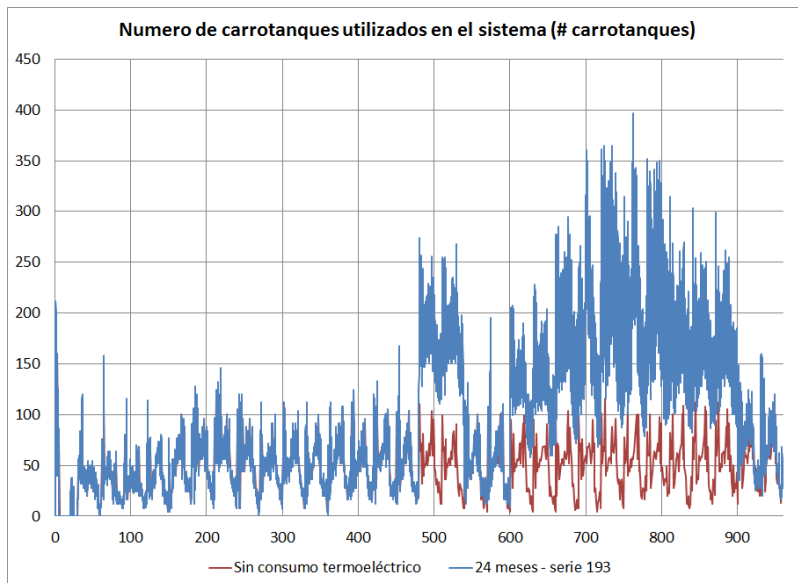


Figura 5-21. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 2.

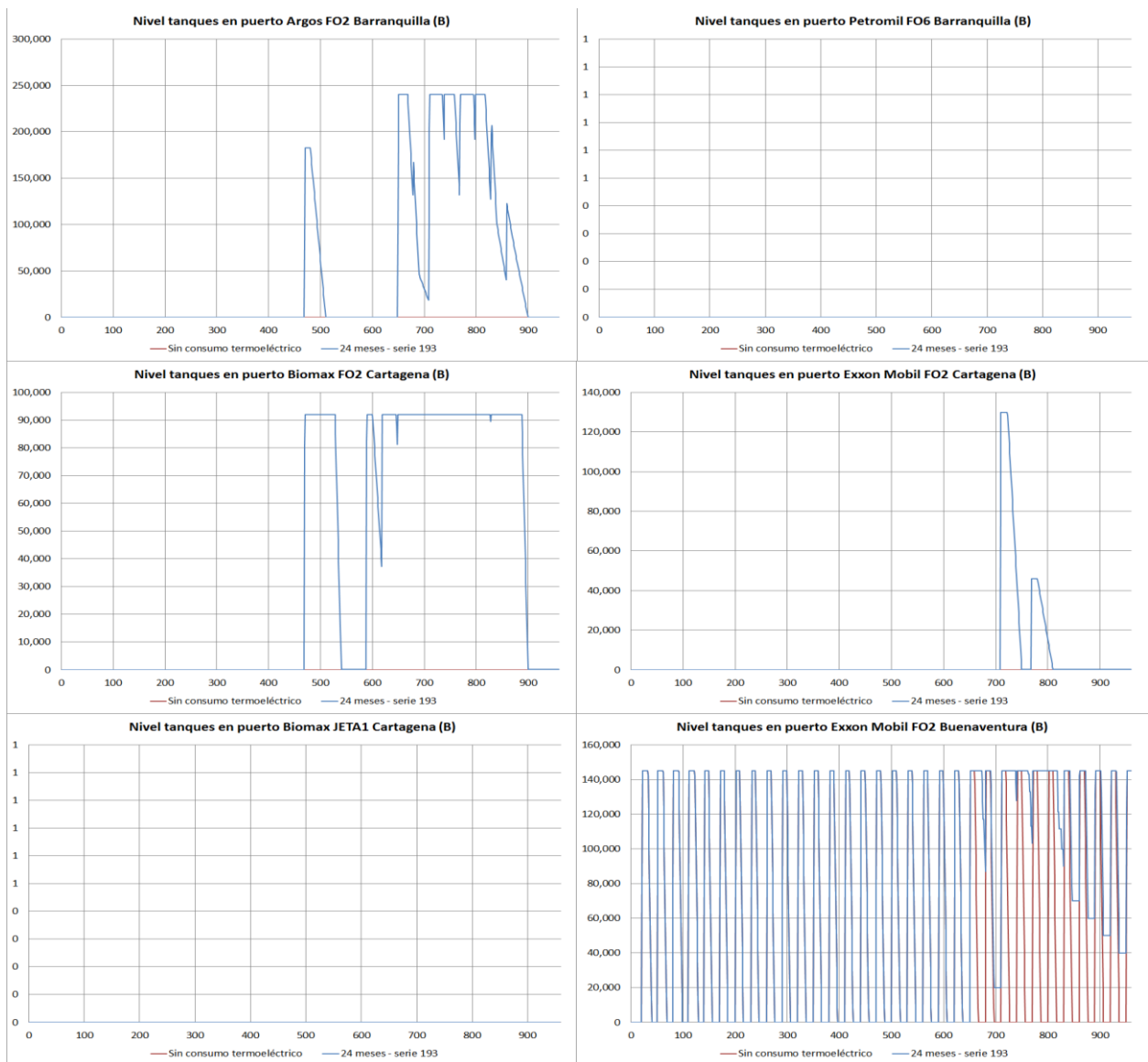


Figura 5-22. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoelectricas para el escenario EH4 Caso 2.

Los resultados de la Figura 5-20, muestran movimientos de inventario de combustible agregado en las plantas de abasto que incrementan de manera importante desde el día 700 hasta el día 800 para el escenario EH4 Caso 2. También, se observa una mayor dinámica en los volúmenes ingresados y retirados de las plantas de abasto cerca al día 283, el cual es cercano al periodo de despacho térmico mas fuerte para el escenario EH4 Caso 2.

Es importante resaltar que comparado con el escenario estocástico EH4 Caso 1, el escenario estocástico EH4 Caso 2 es más exigente para la logística, pues todas las plantas termoelectricas son despachadas simultáneamente durante algún periodo en el horizonte de simulación. Lo que se traduce en mayor exigencia de utilización de recursos como carro tanques, la cual llega a un máximo aproximado de 386 para este escenario en comparación a los 245 utilizados por el sistema de abastecimiento para el Escenario estocástico EH4 Caso 1.

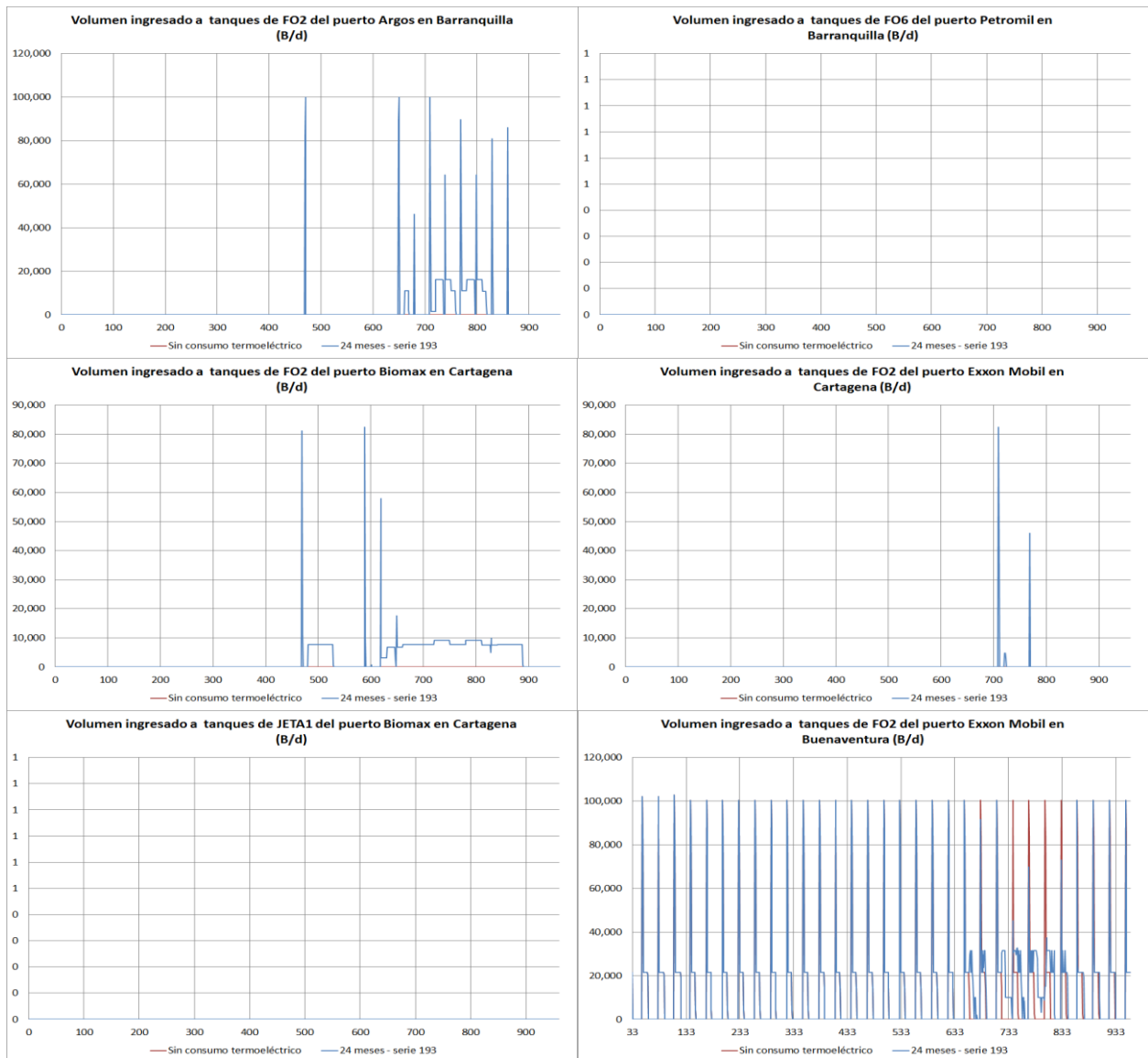


Figura 5-23. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 2.

Al igual que para otros escenarios analizados anteriormente, las importaciones de combustible en los puertos asociados a las termoeléctricas exhiben características discretas como se observa en la Figura 5-23 (buques de 100.000 Barriles). Adicionalmente, las importaciones de combustibles a través de estos puertos se activan ante los despachos termoeléctricos (a excepción de las importaciones de FO#2 en Buenaventura por ser un puerto compartido para la importación de combustible con destino no termoeléctrico por parte de Ecopetrol y en caso de activarse la logística para termoeléctricas sería usado también por Exxon Mobil). Las importaciones de combustible para el escenario EH4 Caso 2 son altas y frecuentes debido a que en algunos periodos se da un despacho simultáneo de todas las plantas termoeléctricas. Los resultados sugieren que las mayor cantidad de combustibles se importaría a través del puerto de Argos en Barranquilla (entre el día 650 a 850), seguido por el puerto asociado a Biomax en Cartagena (entre el día 600 al 900).

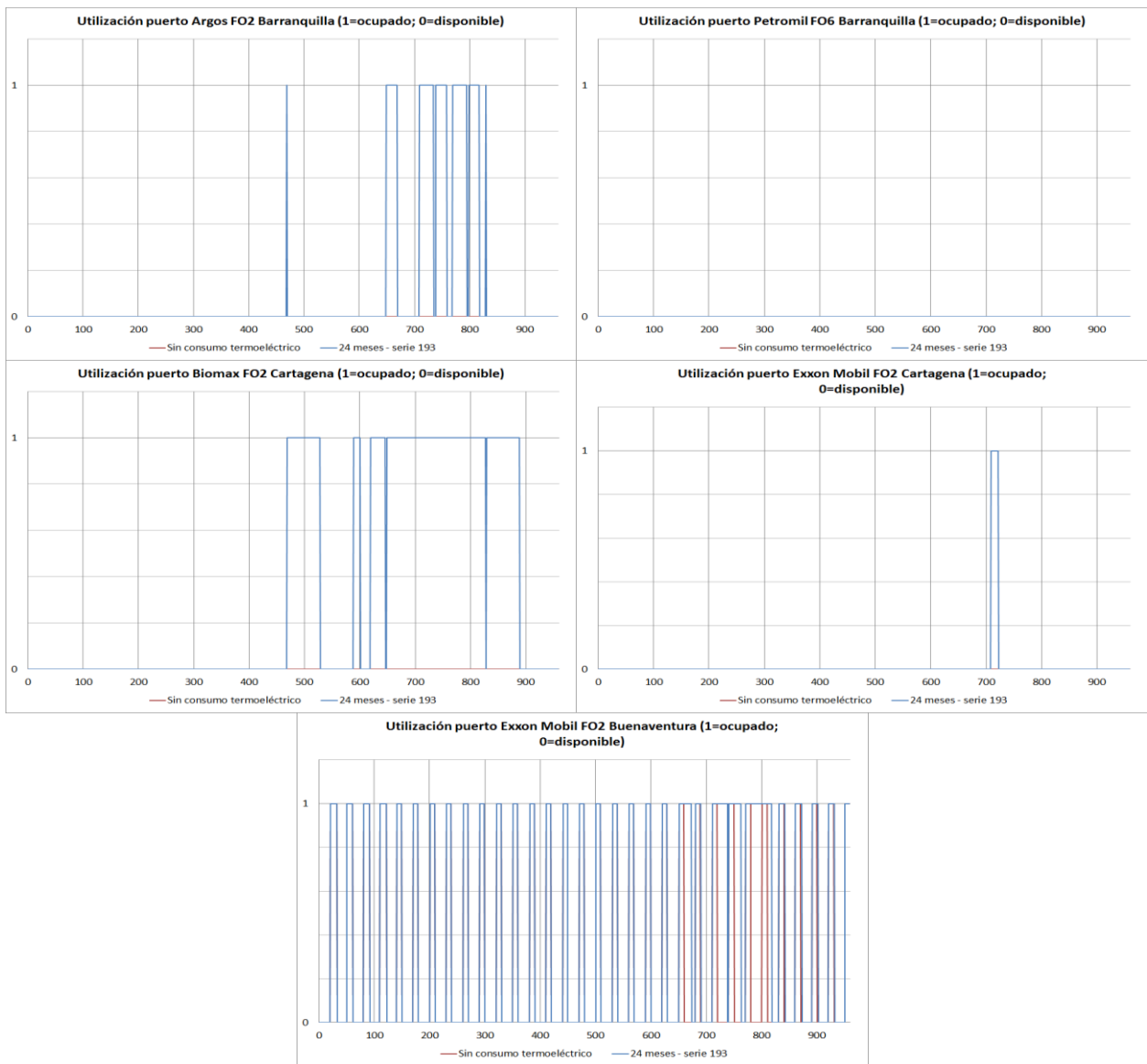


Figura 5-24. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 2.

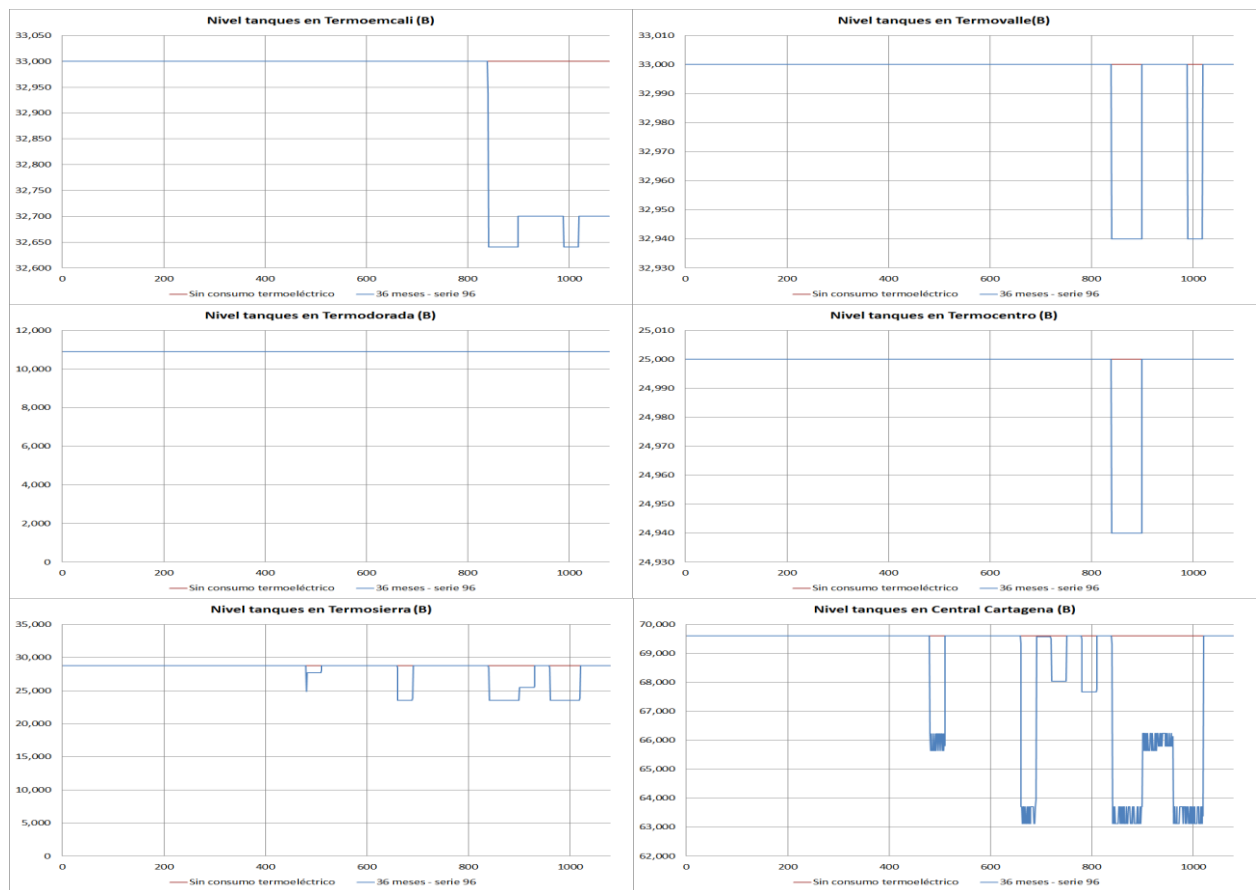
Finalmente, los resultados observados en la Figura 5-24 indican que el puerto de Buenaventura tiene una utilización media, no obstante esta varía de manera significativa para el escenario EH4 Caso 2 en el periodo comprendido entre el día 650 a 900, en el cual llega a ser aproximadamente dos veces la utilización sin consumo termoeléctrico. Los puertos de FO#2 de Argos en Barranquilla y FO#2 de Biomax en Cartagena exhiben una alta utilización en el periodo de despacho termoeléctrico. Especialmente, en el escenario EH4 Caso 2, la utilización del puerto de Biomax en Cartagena llega al 100% por un periodo prolongado (aproximadamente 170 días).

5.4 Análisis de los Escenarios de Escasez Hidrológica estocásticos: EH4 Caso 3

El escenario EH4 Caso 3 corresponde al despacho térmico que sería causado por la ocurrencia de la serie hidrológica con PNSS del 95% (serie 96) para un periodo de 36 meses contados a partir de Noviembre de 2013. Los despachos térmicos resultantes de la serie 96, provienen de la corrida de 200 series sintéticas del SDDP de XM para Noviembre de 2013. Es por esta razón que la simulación del escenario EH4 Caso 3 del modelo desarrollado por los consultores, se hace para un horizonte de 36 meses a partir de noviembre de 2013.

De igual manera que en el análisis del escenario EH4 Caso 1, el escenario EH4 Caso 3 tampoco considerara las plantas de TEBSA y Termonorte.

A continuación se presentan las graficas de los resultados arrojados por el modelo desarrollado para este estudio. Para todas las graficas, el eje x representa el eje de tiempo, el cual esta expresado en días (la resolución del modelo es diaria) para el horizonte de 36 meses. Adicionalmente, todas las graficas incluyen el caso base descrito por la serie de color “rojo”, el cual corresponde a los resultados producidos por el modelo sin demanda termoeléctrica (i.e. solo consumos de combustibles no termoeléctricos). Así mismo, la serie de color “azul”, presenta los resultados del escenario EH4 Caso 3.



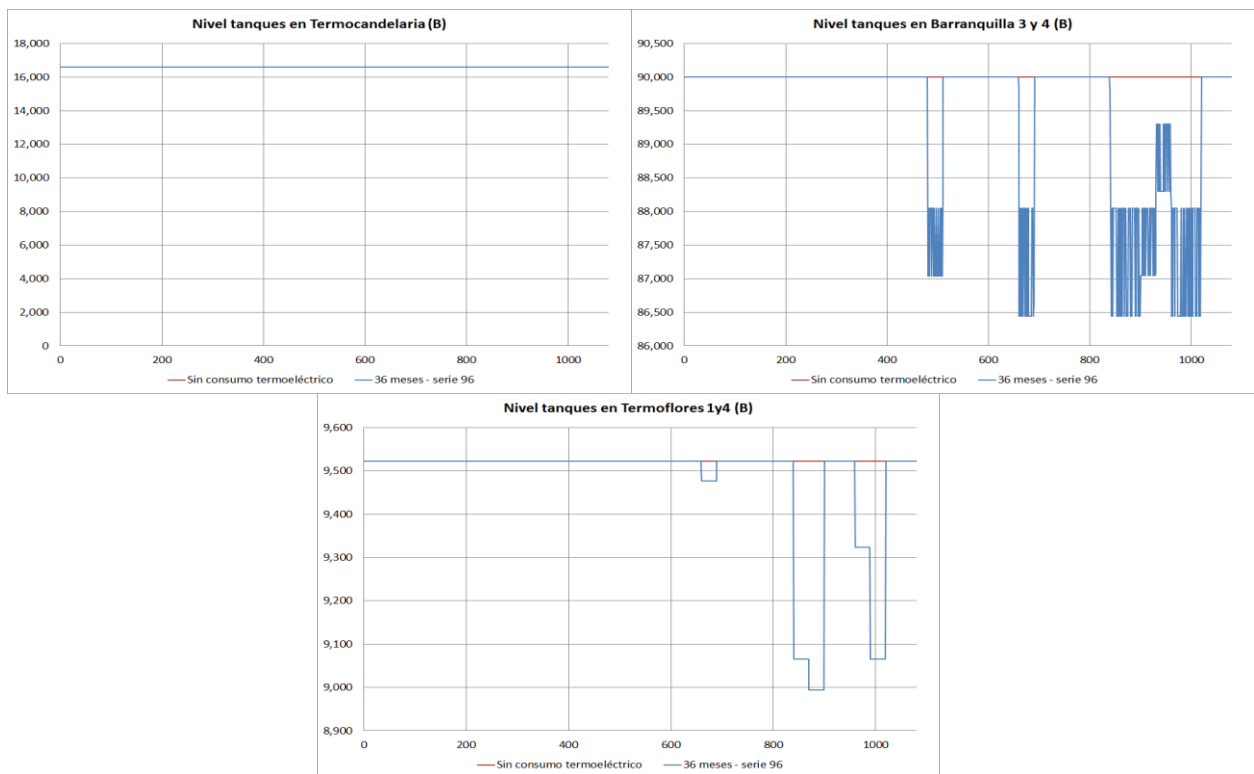


Figura 5-25. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.

Los resultados sugieren que ante el escenario de escasez hidrológica estocástico EH4 Caso 3, la demanda termoelectrica de combustibles podría ser atendida satisfactoriamente con la logística existente y proyectada para horizonte de simulación (al igual que en el escenario EH4 Caso 1 y Caso 2). Al igual que en los escenarios anteriormente analizados, es importante señalar que aunque los resultados muestran que la logística permite abastecer la demanda termoelectrica, esta es frágil y requiere de una coordinación oportuna entre todos los agentes que participan.

La Figura 5-25 muestra que los niveles de combustible en los tanques en las plantas termoeléctricas son altos, con pequeñas variaciones (la mas alta se presenta en el tanque de Central Cartagena que pasa de aproximadamente 69500 barriles a cerca de 63000 Barriles en el día 660) pero siempre cercanos a su nivel inicial por lo que se garantiza un inventario permanente de combustible que permite los despachos de las termoeléctricas. Adicionalmente, los resultados de las Figuras 5-26 y 5-27 indican que los volúmenes de combustible nominados, ingresan a cada termoeléctrica a tiempo y son iguales a los volúmenes consumidos, manteniendo el balance entre el suministro y consumo de combustible para las termoeléctricas.

Es importante resaltar que en este escenario Termodorada y Termocandelaria no salen despachadas, por lo tanto tanto los niveles en tanques de estas dos plantas permanecerán constantes (inventario inicial) y los volúmenes ingresados como los volúmenes retirados de combustibles son de cero.

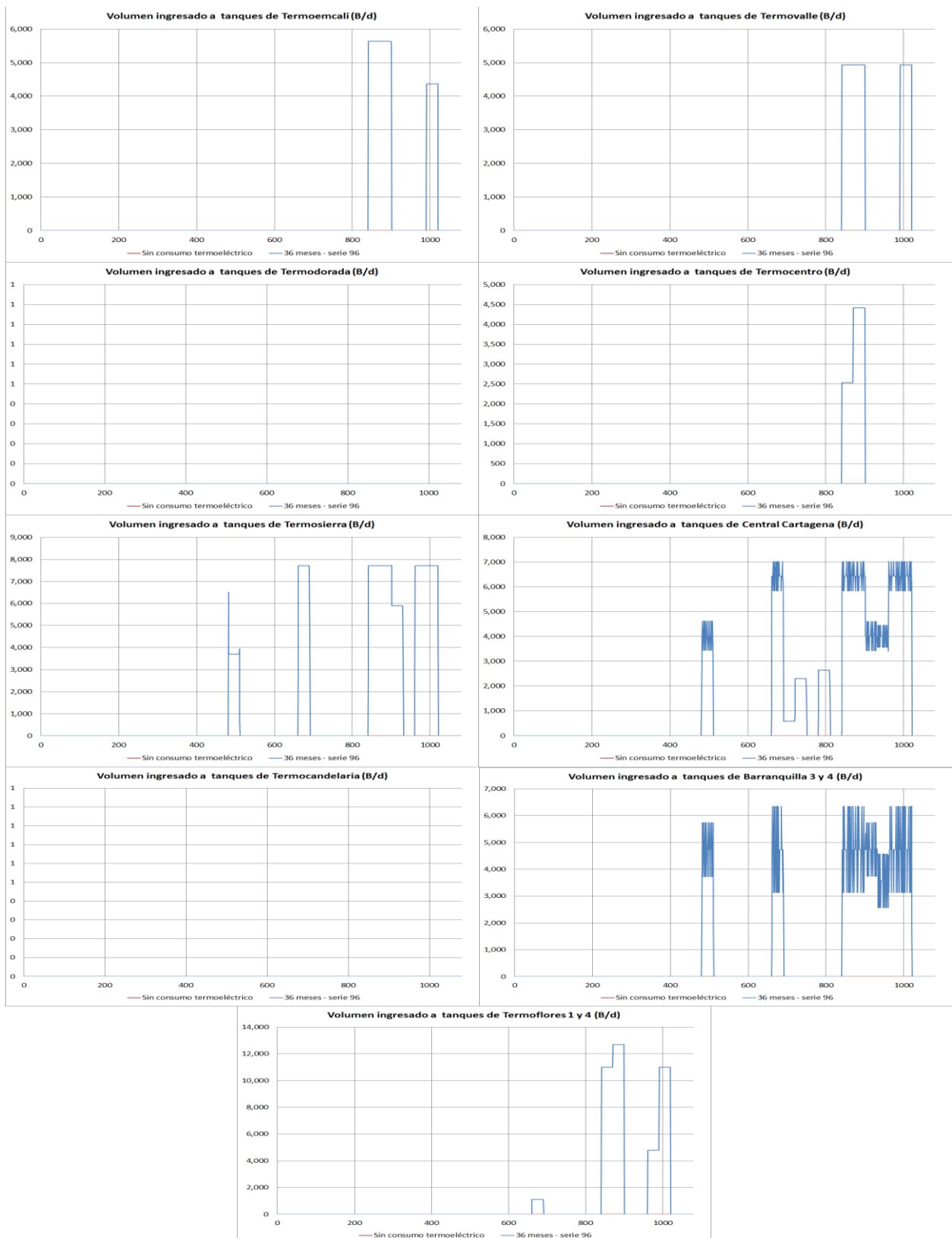


Figura 5-26. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoelectricas para el escenario EH4 Caso 3.

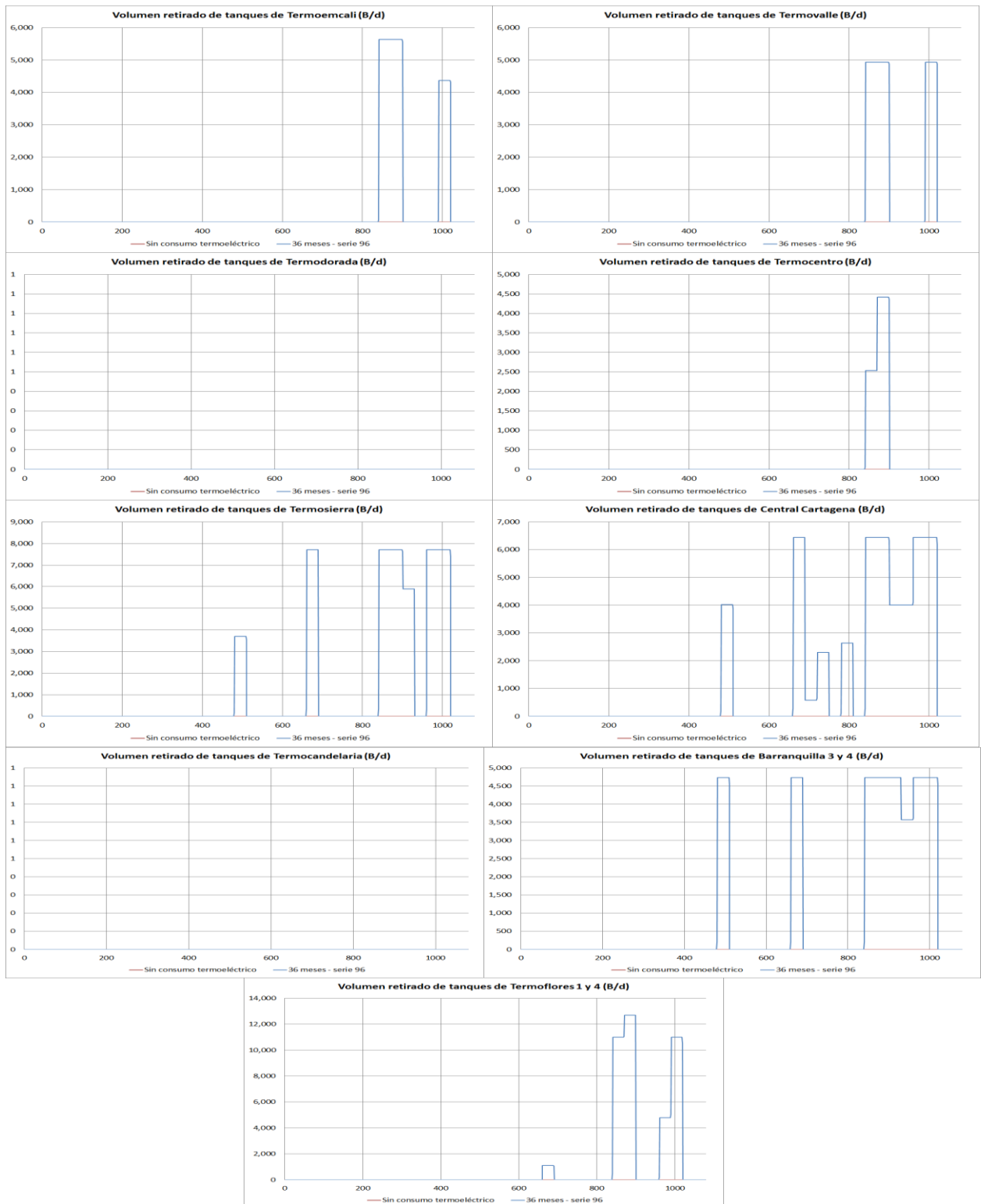


Figura 5-27. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.

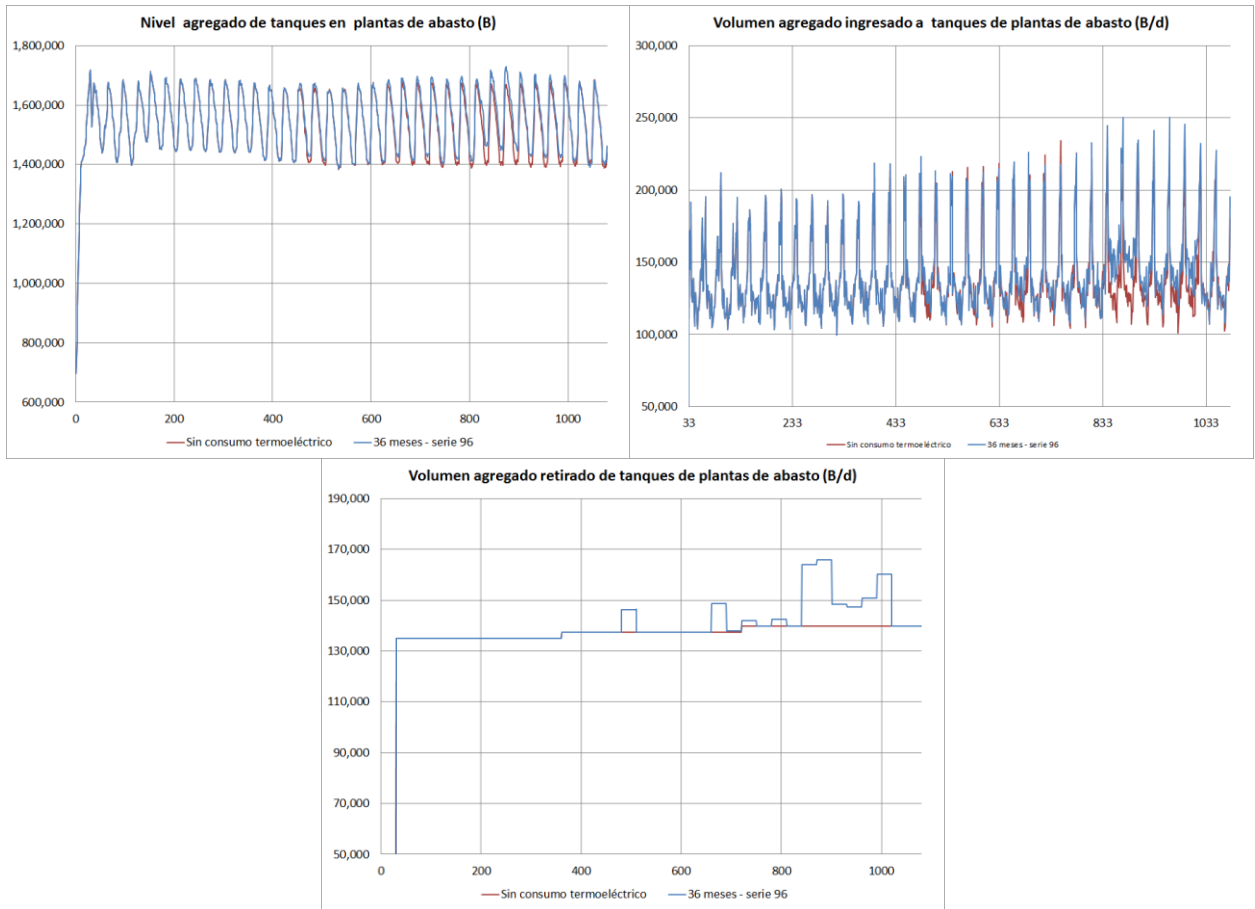


Figura 5-28. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 3.

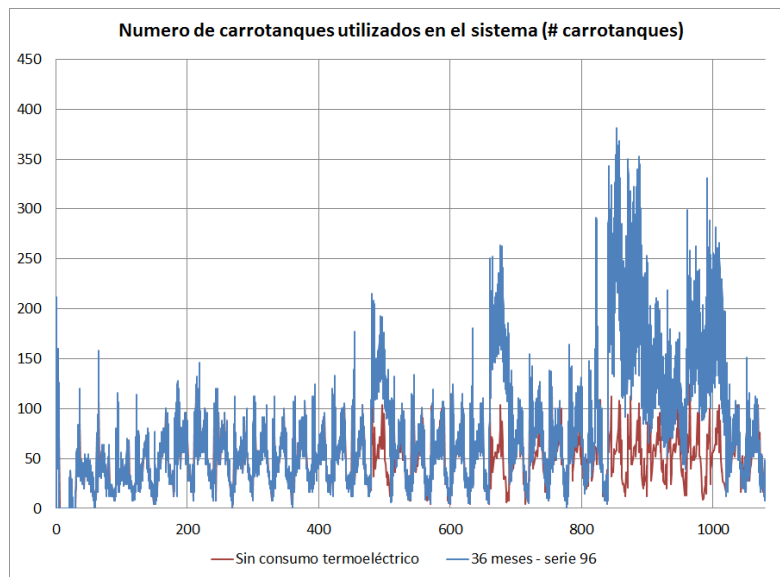


Figura 5-29. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 3.

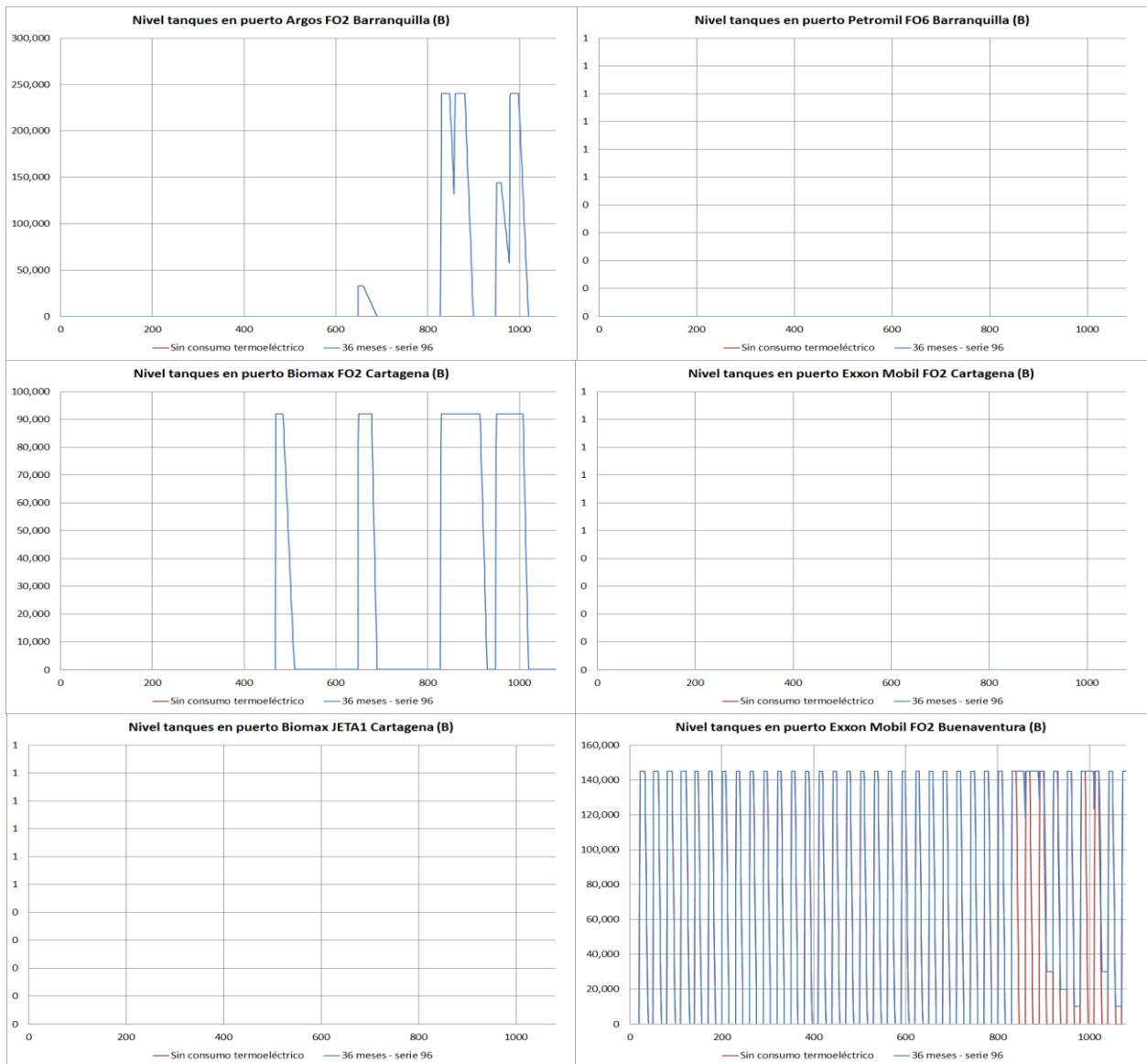


Figura 5-30. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.

Los resultados de la Figura 5-28, muestra movimientos de inventario de combustible agregado en las plantas de abasto que incrementan de manera importante desde el día 800 hasta el día 1000 para el escenario EH4 Caso 3. También, se observa una mayor dinámica en los volúmenes ingresados y retirados de las plantas de abasto cerca al día 800, el cual es cercano al periodo de despacho térmico mas fuerte para el escenario EH4 Caso 3.

Es importante resaltar que comparado con el escenario estocástico EH4 Caso 1 y 2, el escenario estocástico EH4 Caso 3 es más exigente que el EH4 Caso 1 pero menos exigente que el EH4 Caso 2, pues no todas las plantas termoeléctricas son despachadas simultáneamente durante el horizonte de simulación. Lo que se traduce en exigencia de utilización de recursos como carro tanques, la cual llega a un máximo aproximado de 381 para este escenario.

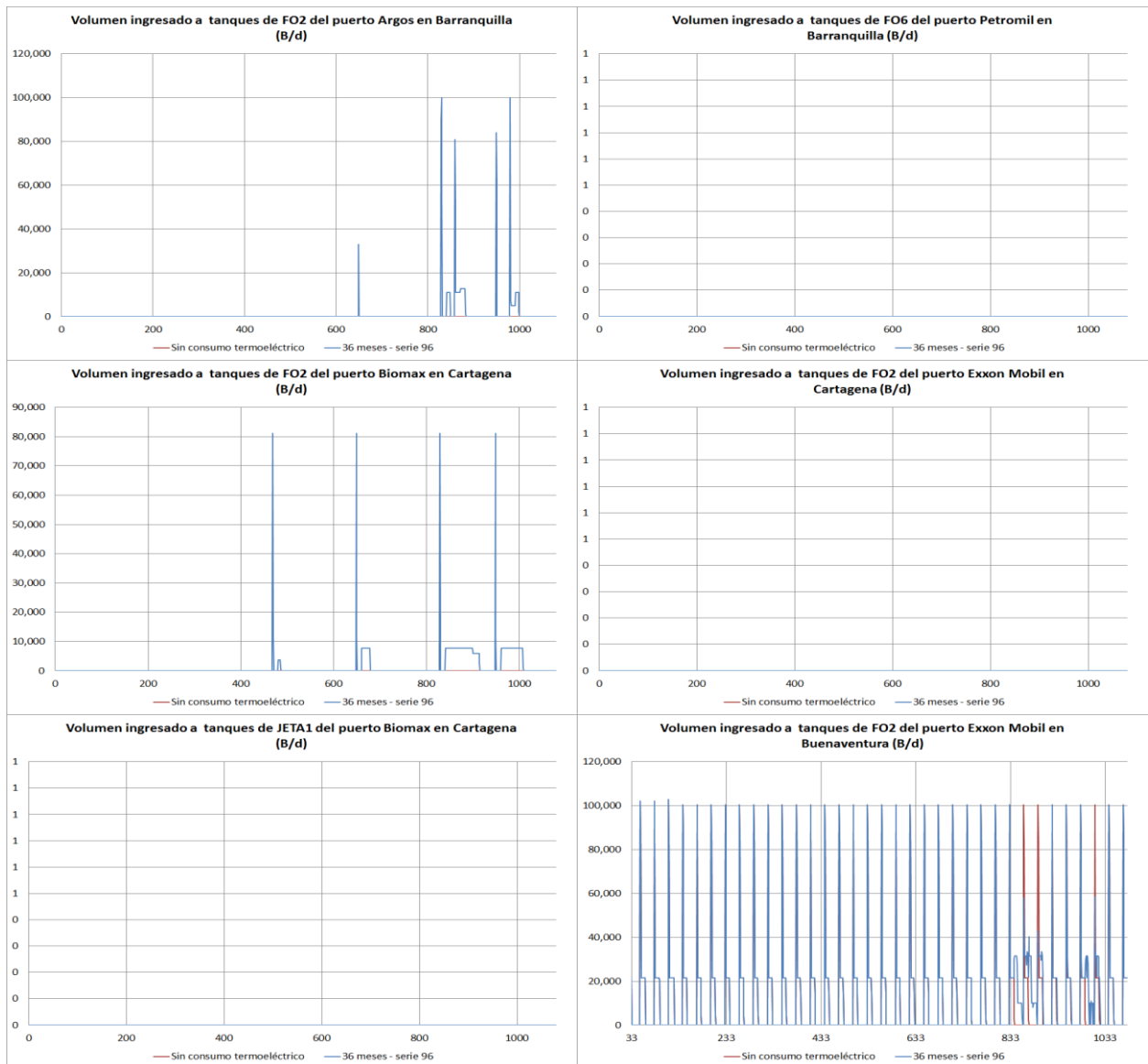


Figura 5-31. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 3.

Al igual que para otros escenarios analizados anteriormente, las importaciones de combustible en los puertos asociados a las termoeléctricas exhiben características discretas como se observa en la Figura 5-31 (buques de 100.000 Barriles). Adicionalmente, las importaciones de combustibles a través de estos puertos se activan ante los despachos termoeléctricos (a excepción de las importaciones de FO#2 en Buenaventura por ser un puerto compartido para la importación de combustible con destino no termoeléctrico por parte de Ecopetrol y en caso de activarse la logística para termoeléctricas sería usado también por Exxon Mobil). Las importaciones de combustible para el escenario EH4 Caso 3 son altas y frecuentes. Los resultados sugieren que las mayor cantidad de combustibles se importaría a través del puerto asociado a Biomax en Cartagena (entre el día 480 al 1000), Seguido por el puerto de Argos en Barranquilla (entre el día 630 a 1000).

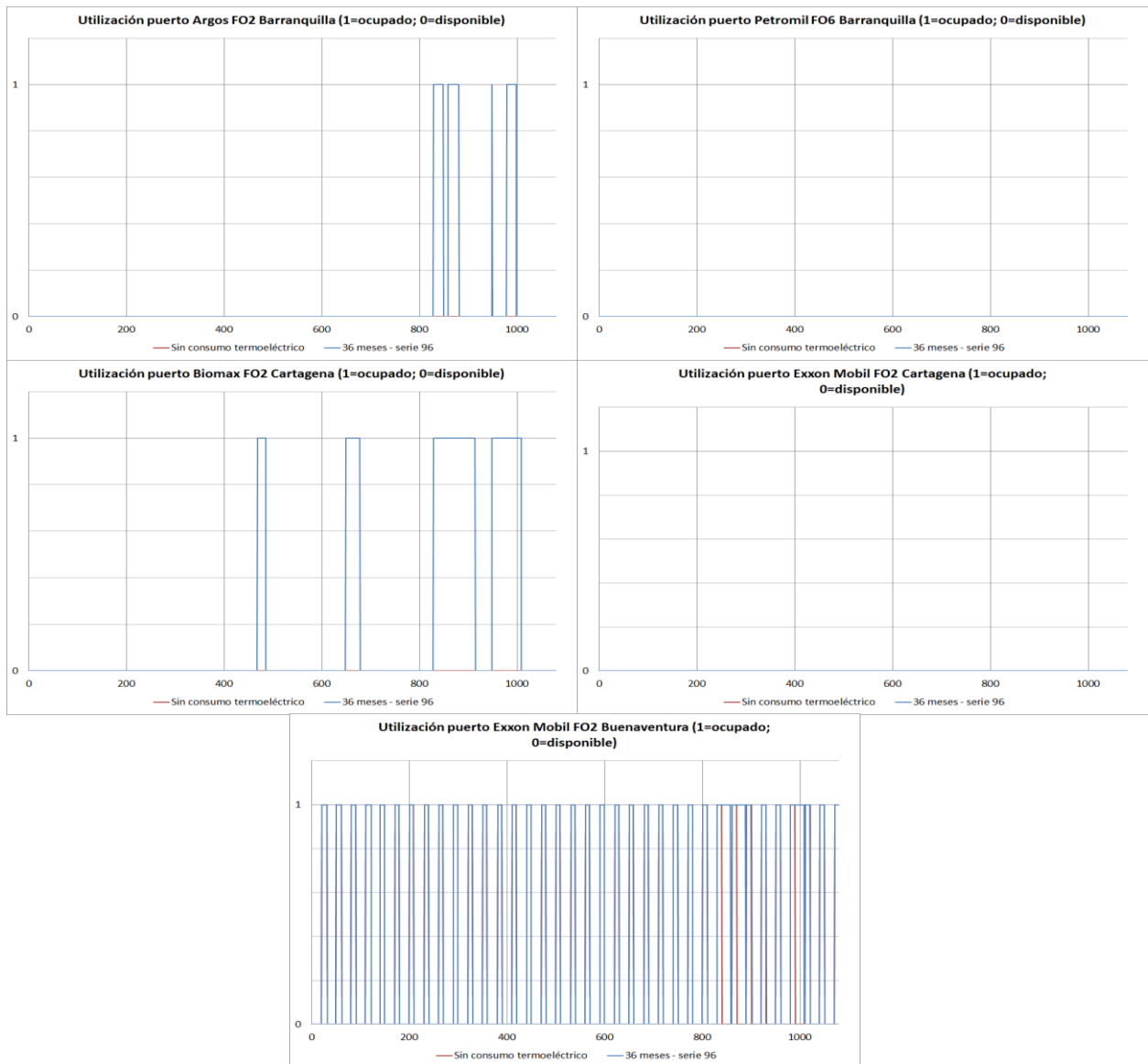


Figura 5-32. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 3.

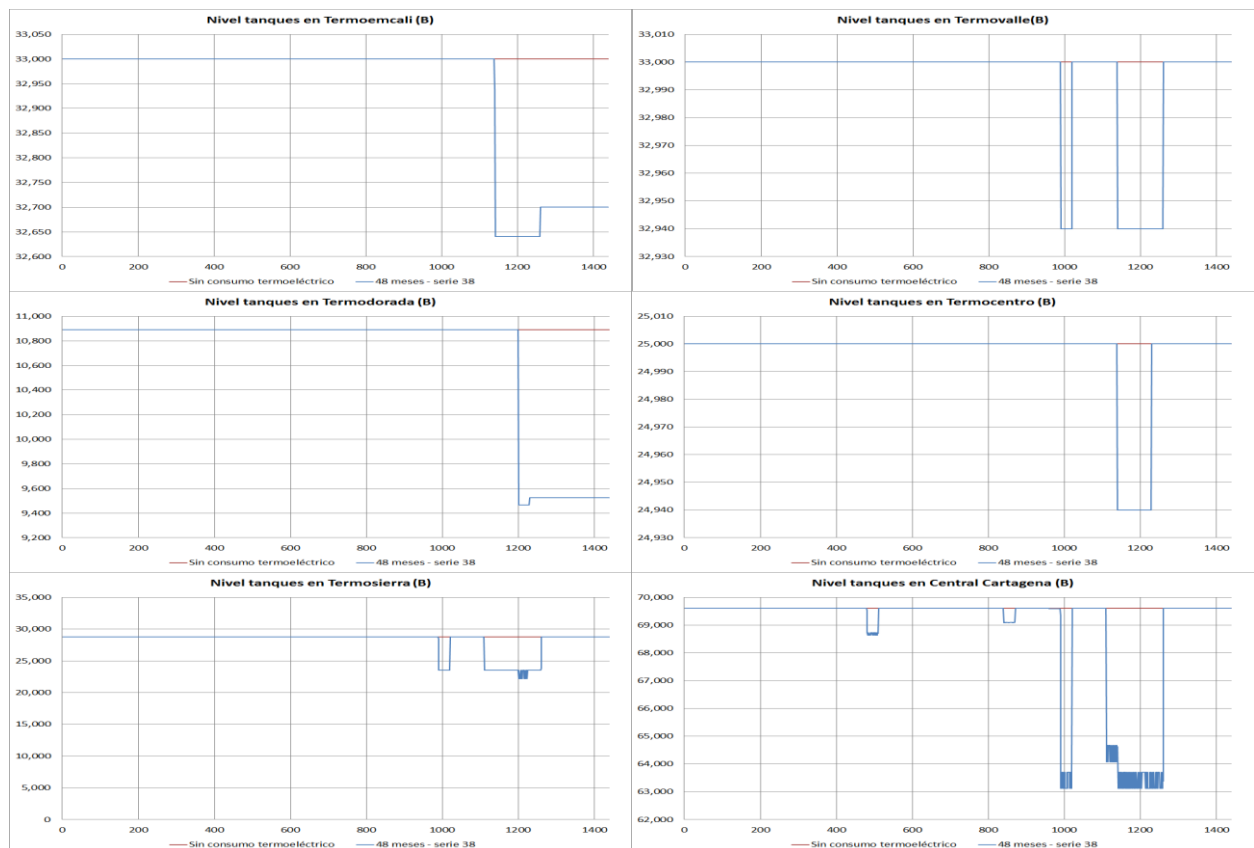
Finalmente, los resultados observados en la Figura 5-32 indican que el puerto de Buenaventura tiene una utilización media, no obstante esta varía de manera significativa para el escenario EH4 Caso 3 en el periodo comprendido entre el día 800 a 1000, en el cual llega a ser aproximadamente dos veces la utilización sin consumo termoeléctrico. Los puertos FO#2 de Biomax en Cartagena y de FO#2 de Argos en Barranquilla exhiben una alta utilización en el periodo de despacho termoeléctrico. Especialmente, en el escenario EH4 Caso 3, la utilización del puerto de Biomax en Cartagena llega al 100% por un periodo prolongado (aproximadamente 100 días). El puerto de FO#2 de Exxon Mobil no es utilizado en este escenario pues Termocandelaria no es despachada y por lo tanto no consume combustible líquido durante el horizonte de simulación.

5.5 Análisis de los Escenarios de Escasez Hidrológica estocásticos: EH4 Caso 4

El escenario EH4 Caso 4 corresponde al despacho térmico que sería causado por la ocurrencia de la serie hidrológica con PNSS del 95% (serie 38) para un periodo de 48 meses contados a partir de Noviembre de 2013. Los despachos térmicos resultantes de la serie 48, provienen de la corrida de 200 series sintéticas del SDDP de XM para Noviembre de 2013. Es por esta razón que la simulación del escenario EH4 Caso 4 del modelo desarrollado por los consultores, se hace para un horizonte de 48 meses a partir de noviembre de 2013.

De igual manea que en el análisis del escenario EH4 Caso 1, el escenario EH4 Caso 4 tampoco considerara las plantas de TEBSA y Termonorte.

A continuación se presentan las graficas de los resultados arrojados por el modelo desarrollado para este estudio. Para todas las graficas, el eje x representa el eje de tiempo, el cual esta expresado en días (la resolución del modelo es diaria) para el horizonte de 48 meses. Adicionalmente, todas las graficas incluyen el caso base descrito por la serie de color “rojo”, el cual corresponde a los resultados producidos por el modelo sin demanda termoeléctrica (i.e. solo consumos de combustibles no termoeléctricos). Así mismo, la serie de color “azul”, presenta los resultados del escenario EH4 Caso 4.



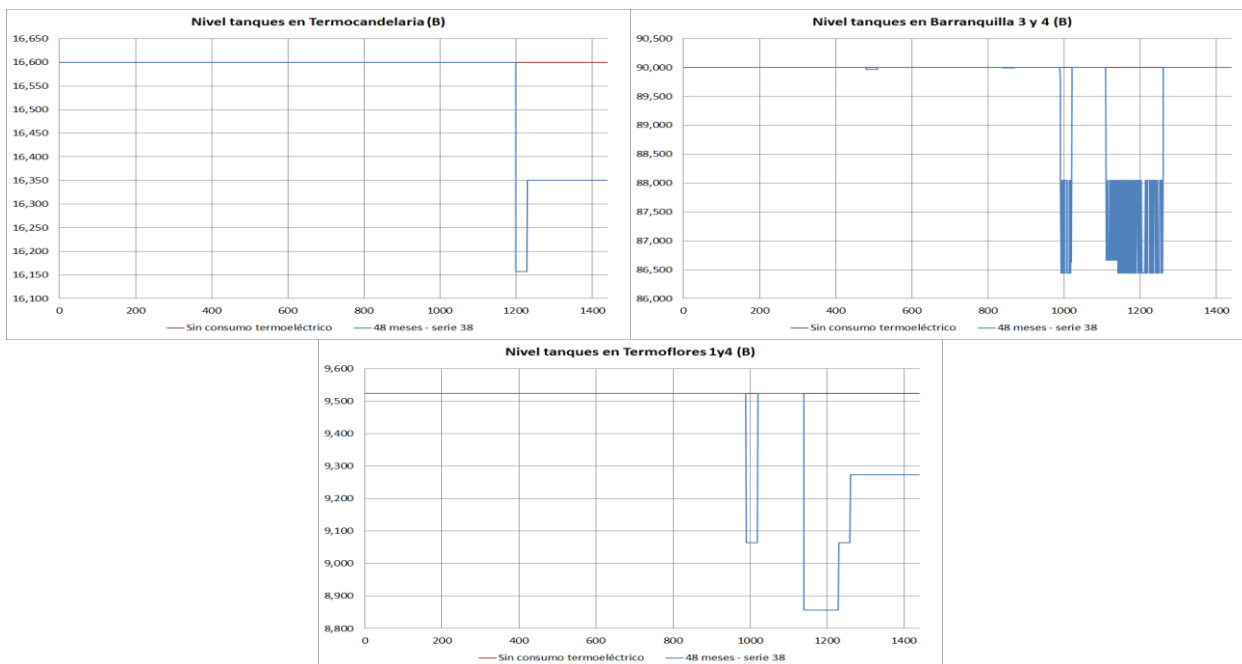


Figura 5-33. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.

Los resultados sugieren que ante el escenario de escasez hidrológica estocástico EH4 Caso 4, la demanda termoeléctrica de combustibles podría ser atendida satisfactoriamente con la logística existente y proyectada para horizonte de simulación (al igual que en el escenario EH4 Caso 1 y Caso 2 y Caso 3). Al igual que en los escenarios anteriormente analizados, es importante señalar que aunque los resultados muestran que la logística permite abastecer la demanda termoeléctrica, esta es frágil y requiere de una coordinación oportuna entre todos los agentes que participan.

La Figura 5-33 muestra que los niveles de combustible en los tanques en las plantas termoeléctricas son altos, con pequeñas variaciones (la mas alta se presenta en el tanque de Termosierra que pasa de aproximadamente 30000 barriles a cerca de 22500 Barrilles en el día 1200) pero siempre cercanos a su nivel inicial por lo que se garantiza un inventario permanente de combustible que permite los despachos de las termoeléctricas. Adicionalmente, los resultados de las Figuras 5-34 y 5-35 indican que los volúmenes de combustible nominados, ingresan a cada termoeléctrica a tiempo y son iguales a los volúmenes consumidos, manteniendo el balance entre el suministro y consumo de combustible para las termoeléctricas.

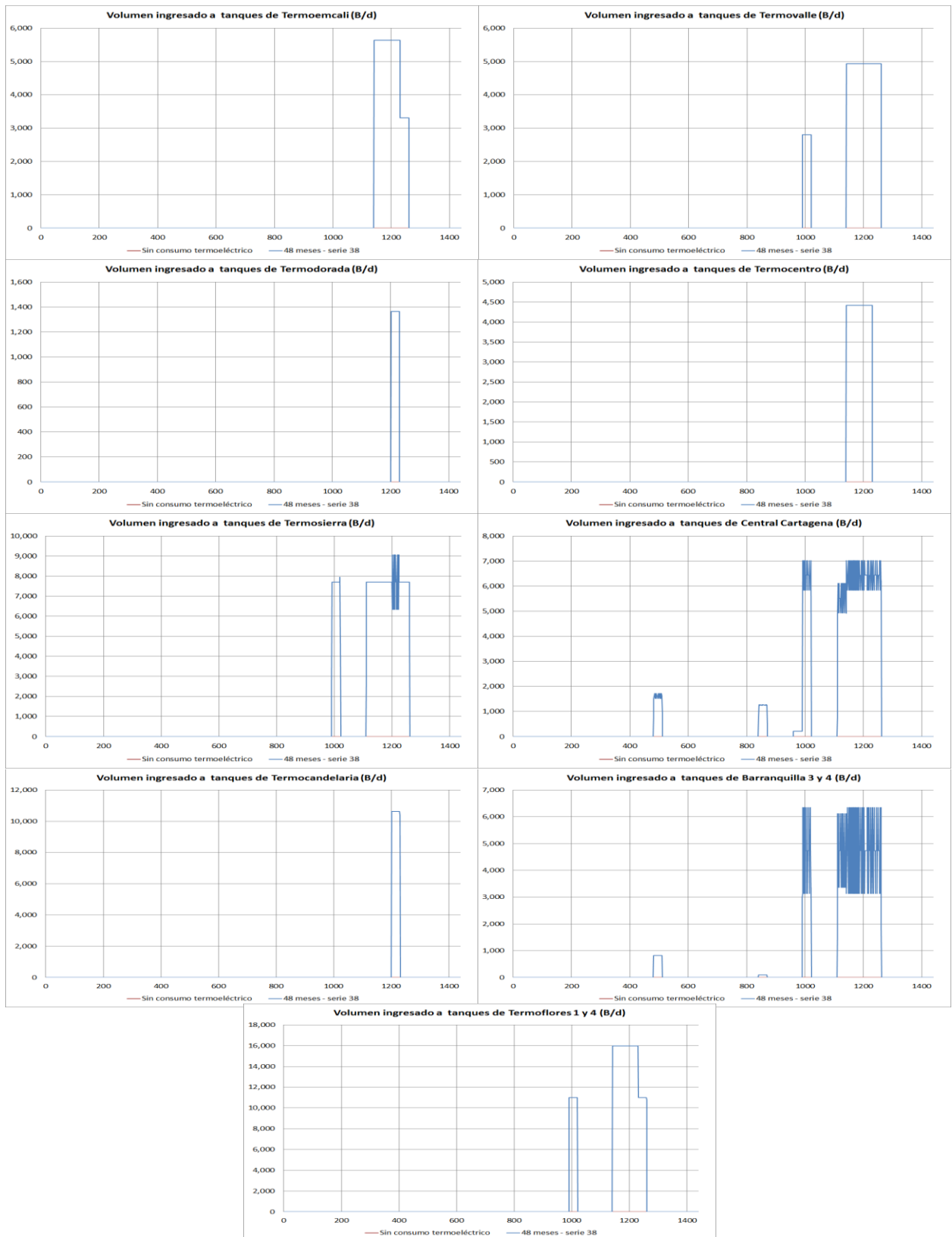


Figura 5-34. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoelectricas para el escenario EH4 Caso 4.

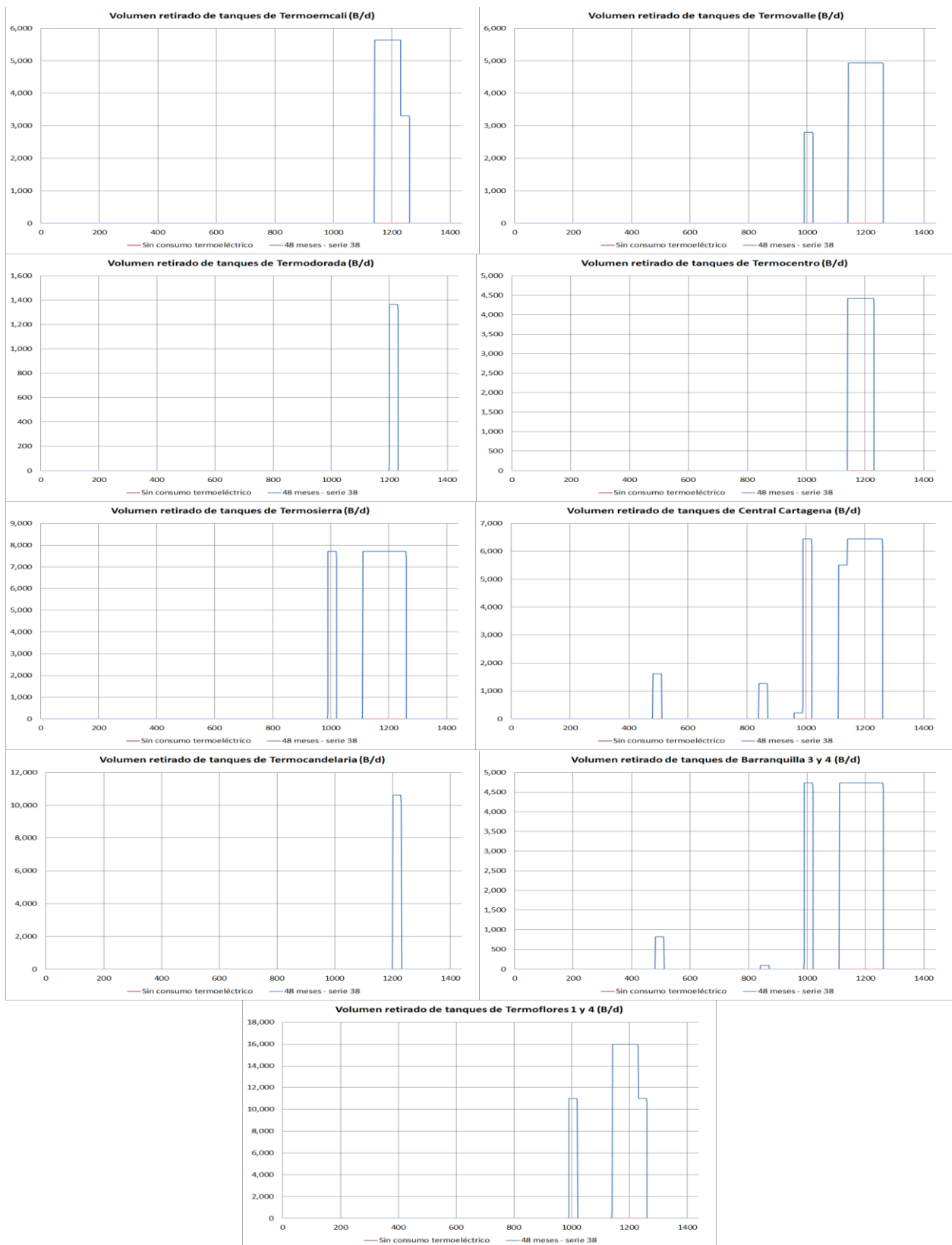


Figura 5-35. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.

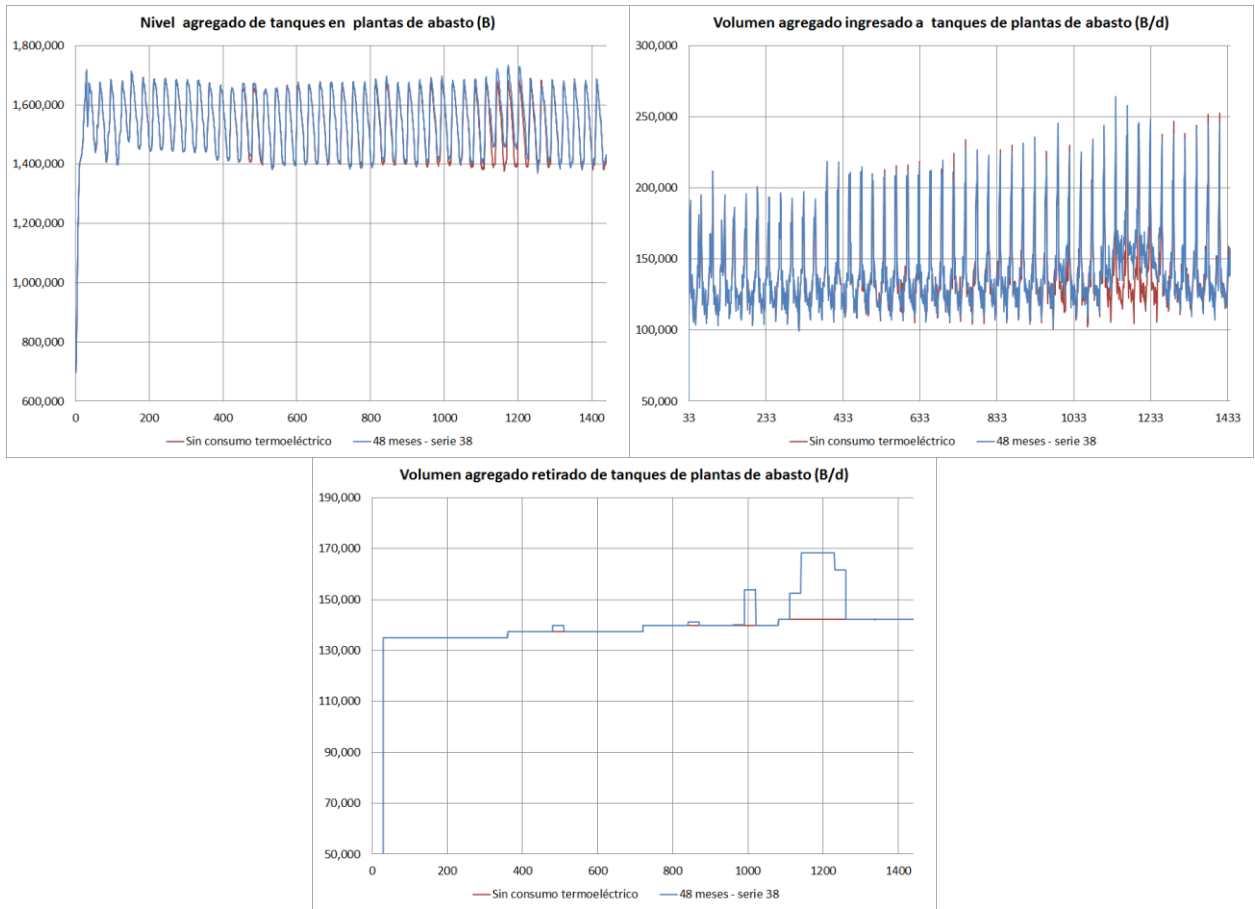


Figura 5-36. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 4.

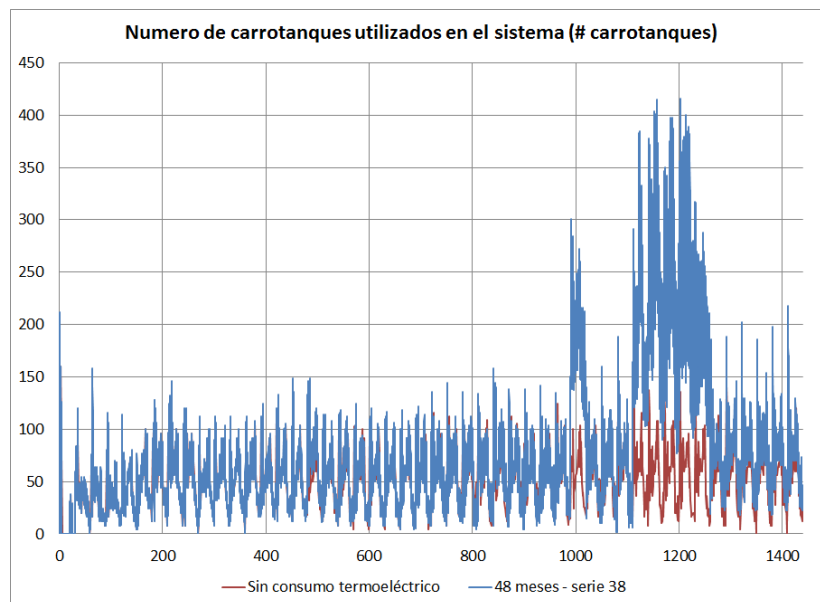


Figura 5-37. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 4.

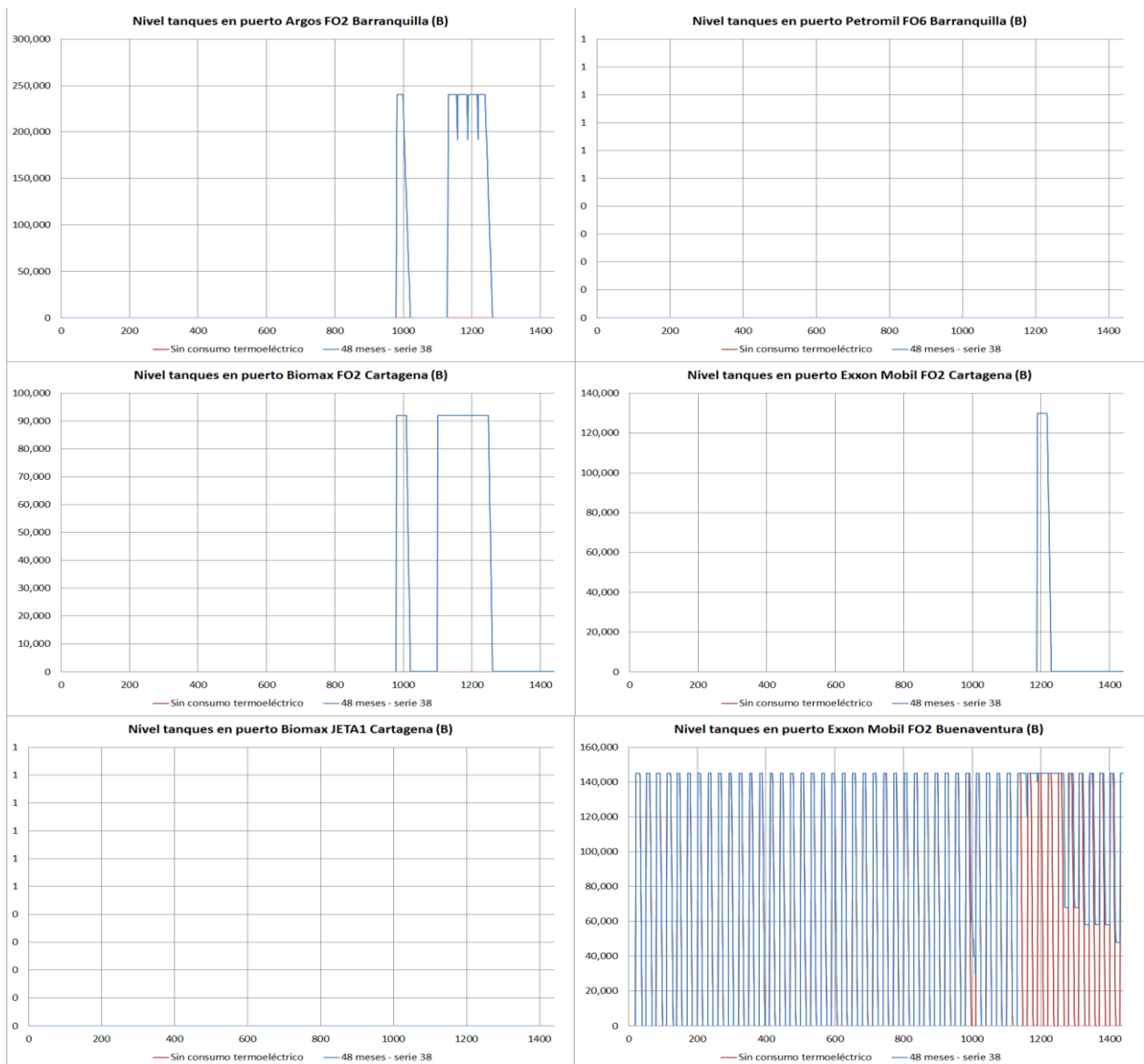


Figura 5-38. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.

Los resultados de la Figura 5-38, muestran movimientos de inventario de combustible agregado en las plantas de abasto que incrementan de manera importante desde el día 1100 hasta el día 1200 para el escenario EH4 Caso 4. También, se observa una mayor dinámica en los volúmenes ingresados y retirados de las plantas de abasto cerca al día 1100, el cual es cercano al periodo de despacho térmico mas fuerte para el escenario EH4 Caso 4.

Es importante resaltar que comparado con el escenario estocástico EH4 Caso 1, 2 y 3 el escenario estocástico EH4 Caso 4 es más exigente que el EH4 Caso 1, EH4 Caso 2 y EH4 Caso 3. Esto se debe a que todas las plantas termoeléctricas son despachadas simultáneamente durante un periodo importante del horizonte de simulación. Lo que se traduce en exigencia de utilización de recursos como carro tanques, la cual llega a un máximo aproximado de 416 para este escenario, el cual es el escenario estocástico simulado con la mayor utilización.

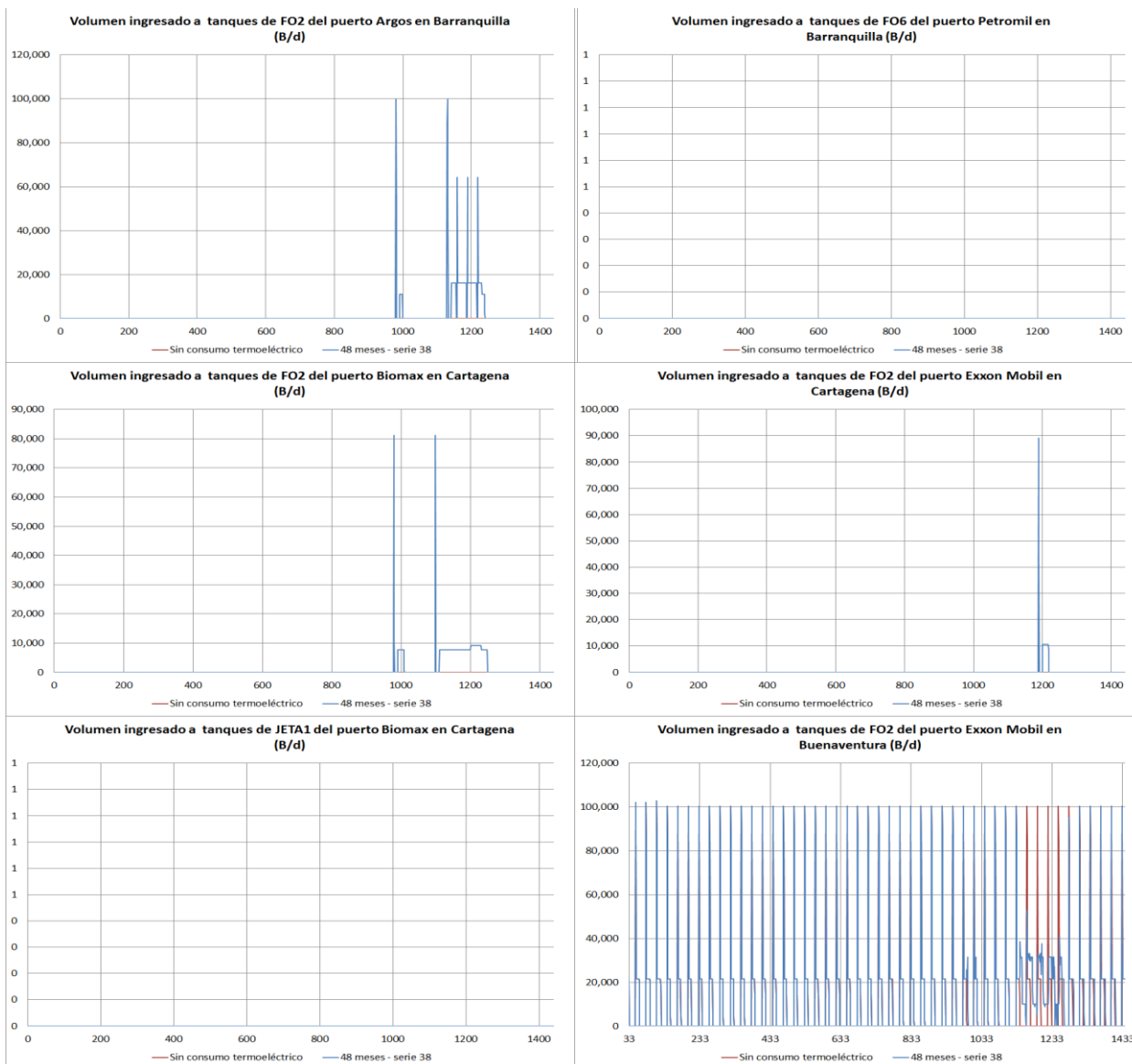


Figura 5-39. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 4.

Al igual que para otros escenarios analizados anteriormente, las importaciones de combustible en los puertos asociados a las termoeléctricas exhiben características discretas como se observa en la Figura 5-39 (buques de 100.000 Barriles). Adicionalmente, las importaciones de combustibles a través de estos puertos se activan ante los despachos termoeléctricos (a excepción de las importaciones de FO#2 en Buenaventura por ser un puerto compartido para la importación de combustible con destino no termoeléctrico por parte de Ecopetrol y en caso de activarse la logística para termoeléctricas sería usado también por Exxon Mobil). Las importaciones de combustible para el escenario EH4 Caso 4 son altas y muy frecuentes. Los resultados sugieren que las mayor cantidad de combustibles se importaría a través del puerto de Argos en Barranquilla (entre el día 1000 a 1200), seguido por el puerto asociado a Biomax en Cartagena (entre el día 1000 a 1200). Por último, y en

menor medida, cerca al día 1200 se presenta una importación de cerca de 90000 barriles en el puerto de Exxon Mobil en Cartagena.

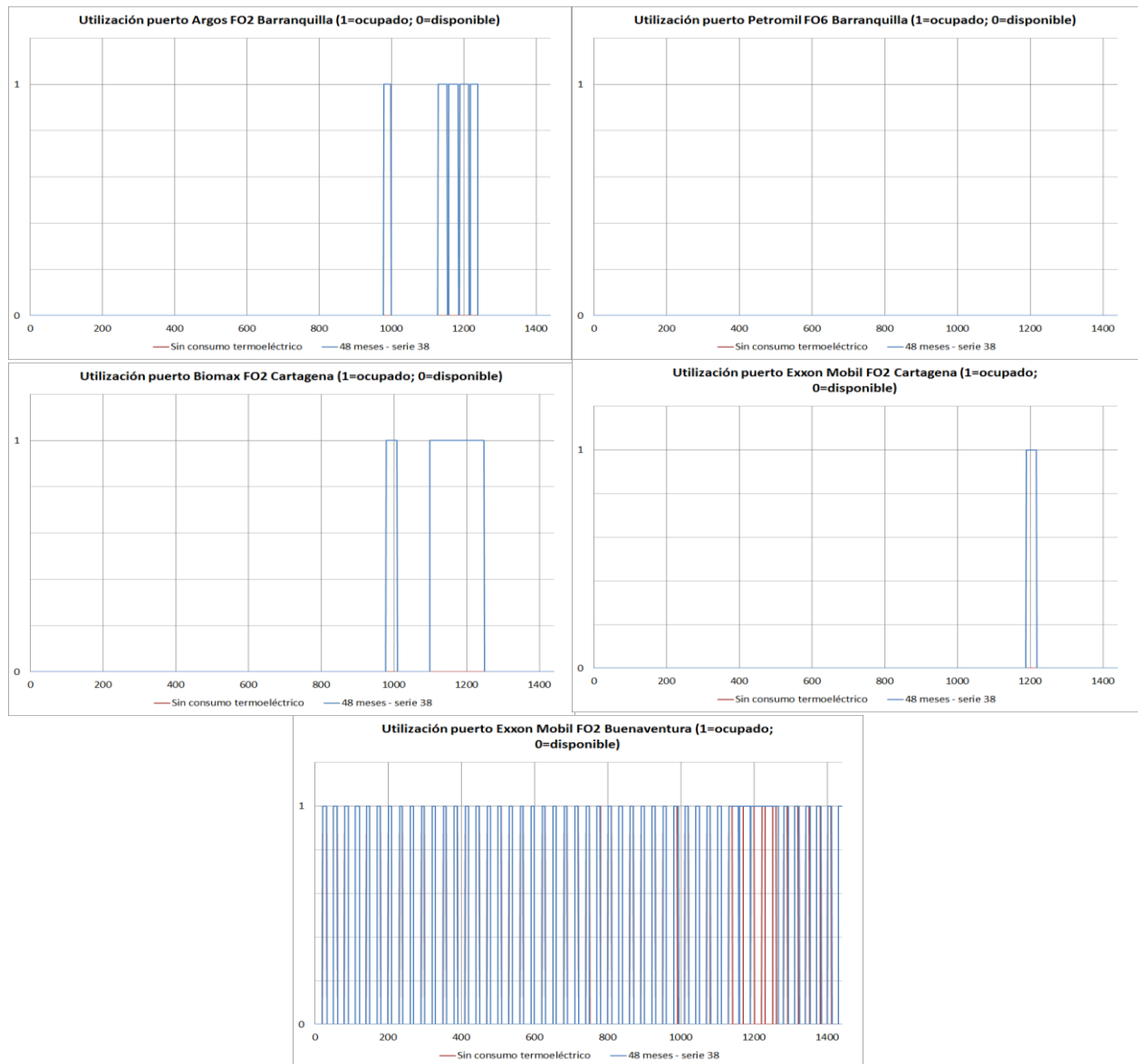


Figura 5-40. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 4.

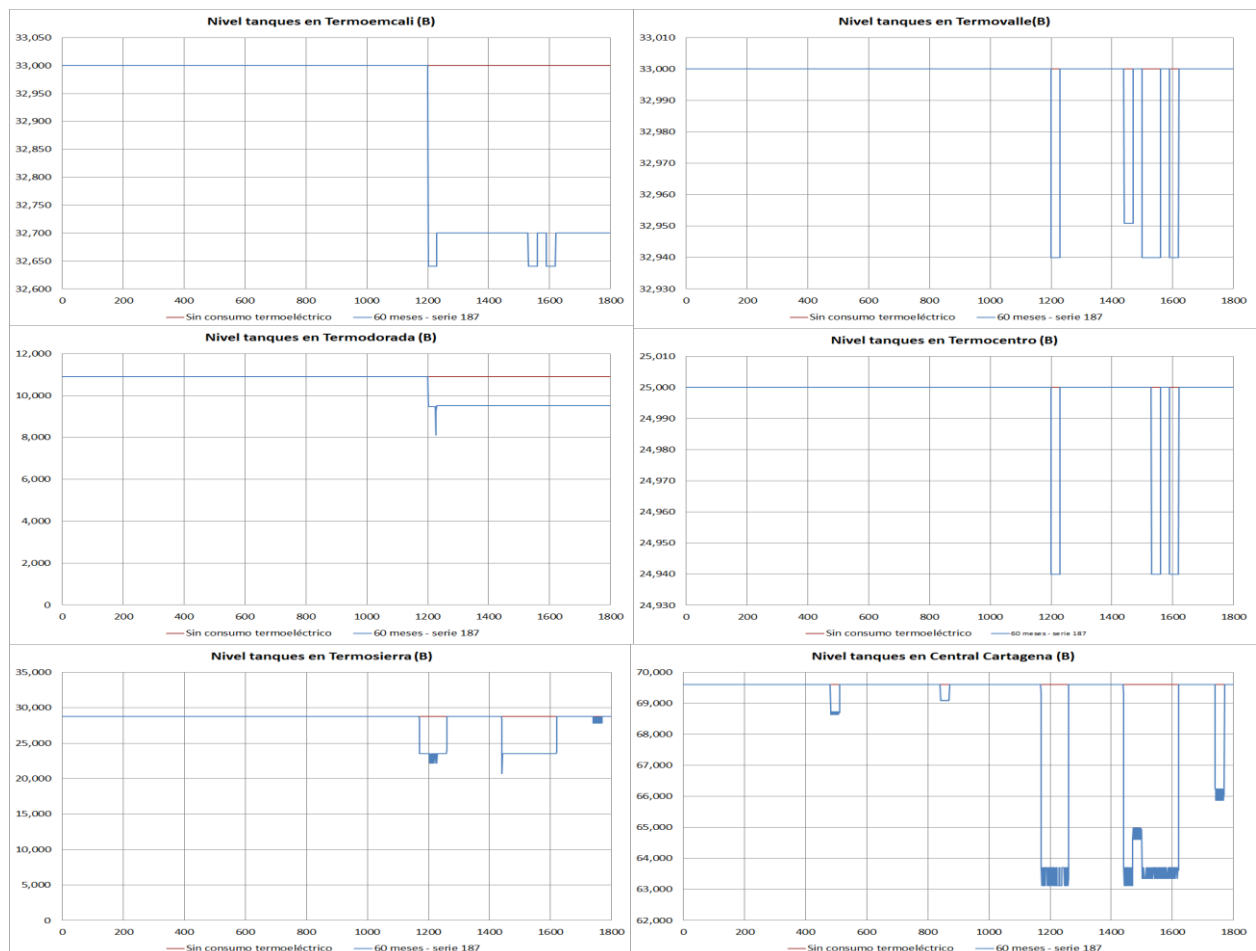
Finalmente, los resultados observados en la Figura 5-40 sugieren que el puerto de Buenaventura tiene una utilización media, no obstante esta varía de manera significativa para el escenario EH4 Caso 4 en el periodo comprendido entre el día 1100 a 1300, en el cual llega a ser aproximadamente dos veces la utilización sin consumo termoeléctrico. Los puertos FO#2 de Biomax en Cartagena y de FO#2 de Argos en Barranquilla exhiben una alta utilización en el periodo de despacho termoeléctrico. Especialmente, en el escenario EH4 Caso 4, la utilización del puerto de Biomax en Cartagena llega al 100% por un periodo prolongado (aproximadamente 130 días).

5.6 Análisis de los Escenarios de Escasez Hidrológica estocásticos: EH4 Caso 5

El escenario EH4 Caso 5 corresponde al despacho térmico que sería causado por la ocurrencia de la serie hidrológica con PNSS del 95% (serie 187) para un periodo de 60 meses contados a partir de Noviembre de 2013. Los despachos térmicos resultantes de la serie 187, provienen de la corrida de 200 series sintéticas del SDDP de XM para Noviembre de 2013. Es por esta razón que la simulación del escenario EH4 Caso 5 del modelo desarrollado por los consultores, se hace para un horizonte de 60 meses a partir de noviembre de 2013.

De igual manera que en el análisis del escenario EH4 Caso 1, el escenario EH4 Caso 5 tampoco considerara las plantas de TEBSA y Termonorte.

A continuación se presentan las graficas de los resultados arrojados por el modelo desarrollado para este estudio. Para todas las graficas, el eje x representa el eje de tiempo, el cual esta expresado en días (la resolución del modelo es diaria) para el horizonte de 60 meses. Adicionalmente, todas las graficas incluyen el caso base descrito por la serie de color “rojo”, el cual corresponde a los resultados producidos por el modelo sin demanda termoeléctrica (i.e. solo consumos de combustibles no termoeléctricos). Así mismo, la serie de color “azul”, presenta los resultados del escenario EH4 Caso 5.



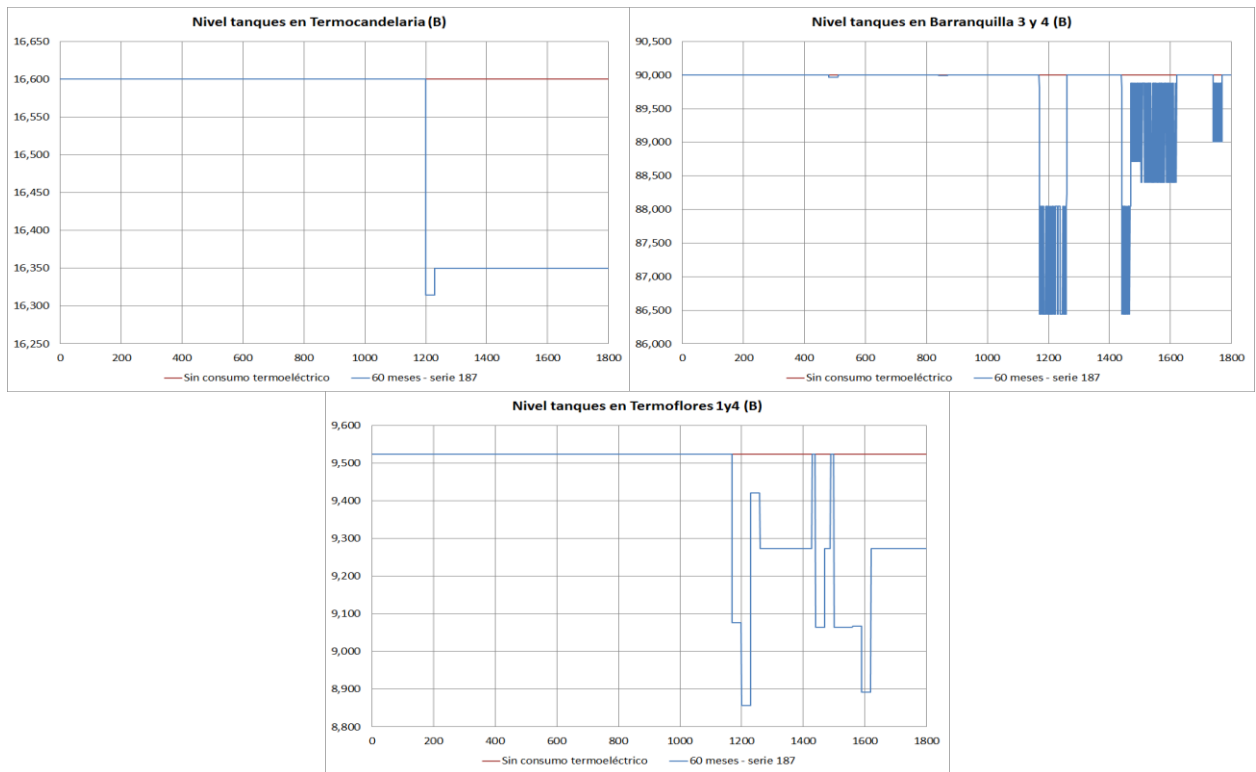


Figura 5-41. Evolución del nivel en los tanques de las termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 5.

Los resultados sugieren que ante el escenario de escasez hidrológica estocástico EH4 Caso 5, la demanda termoeléctrica de combustibles podría ser atendida satisfactoriamente con la logística existente y proyectada para horizonte de simulación (al igual que en el escenario EH4 Caso 1 y Caso 2 y Caso 3 y Caso 4). Al igual que en los escenarios anteriormente analizados, es importante señalar que aunque los resultados muestran que la logística permite abastecer la demanda termoeléctrica, esta es frágil y requiere de una coordinación oportuna entre todos los agentes que participan.

La Figura 5-41 muestra que los niveles de combustible en los tanques en las plantas termoeléctricas son altos, con pequeñas variaciones (la mas alta se presenta en el tanque de Termosierra que pasa de aproximadamente 30000 barriles a cerca de 22500 Barrilles en el día 1200) pero siempre cercanos a su nivel inicial por lo que se garantiza un inventario permanente de combustible que permite los despachos de las termoeléctricas. Adicionalmente, los resultados de las Figuras 5-42 y 5-43 indican que los volúmenes de combustible nominados, ingresan a cada termoeléctrica a tiempo y son iguales a los volúmenes consumidos, manteniendo el balance entre el suministro y consumo de combustible para las termoeléctricas.

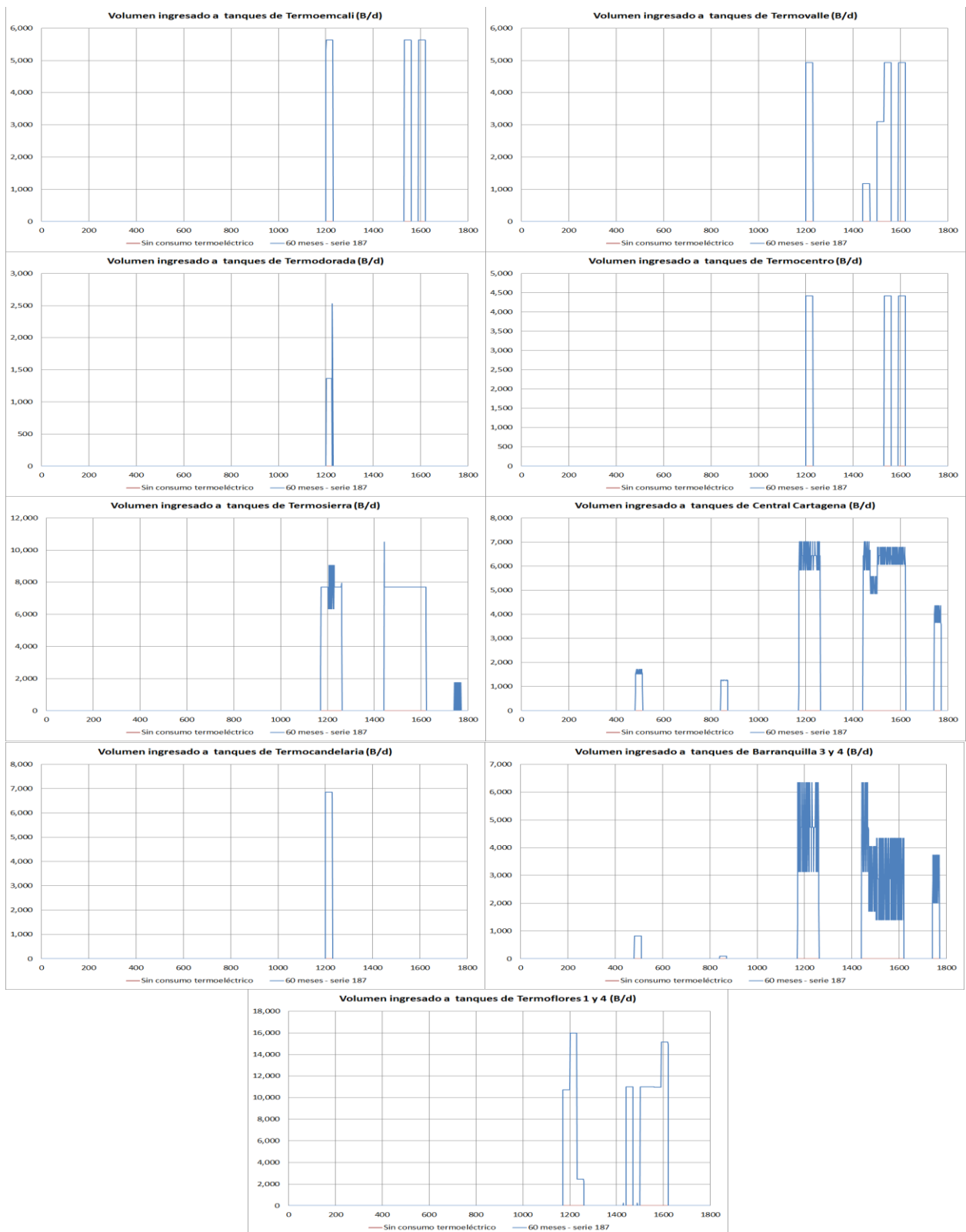


Figura 5-42. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de las plantas termoelectricas para el escenario EH4 Caso 5.

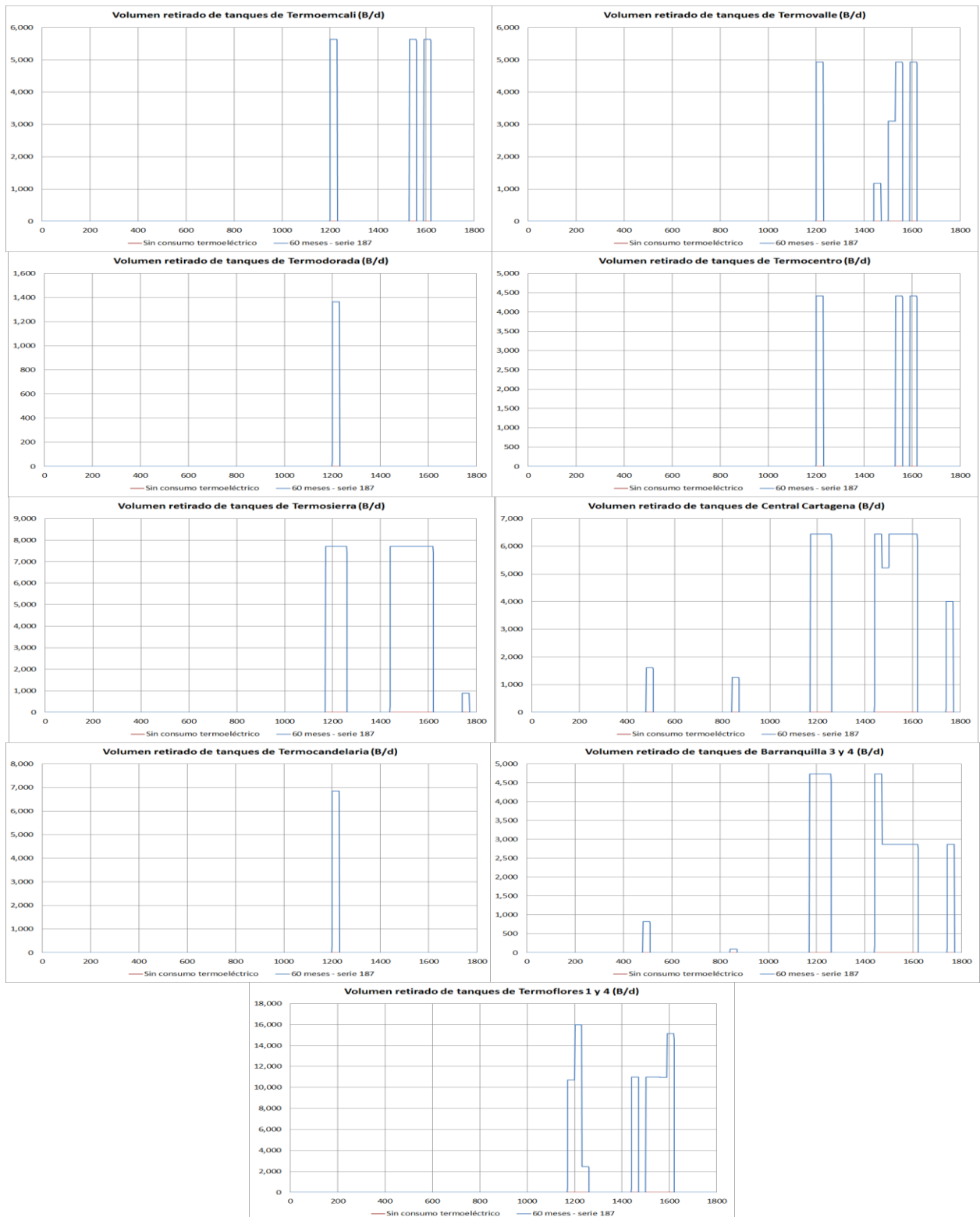


Figura 5-43. Volúmenes de combustible retirado de tanques de las plantas termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 5.

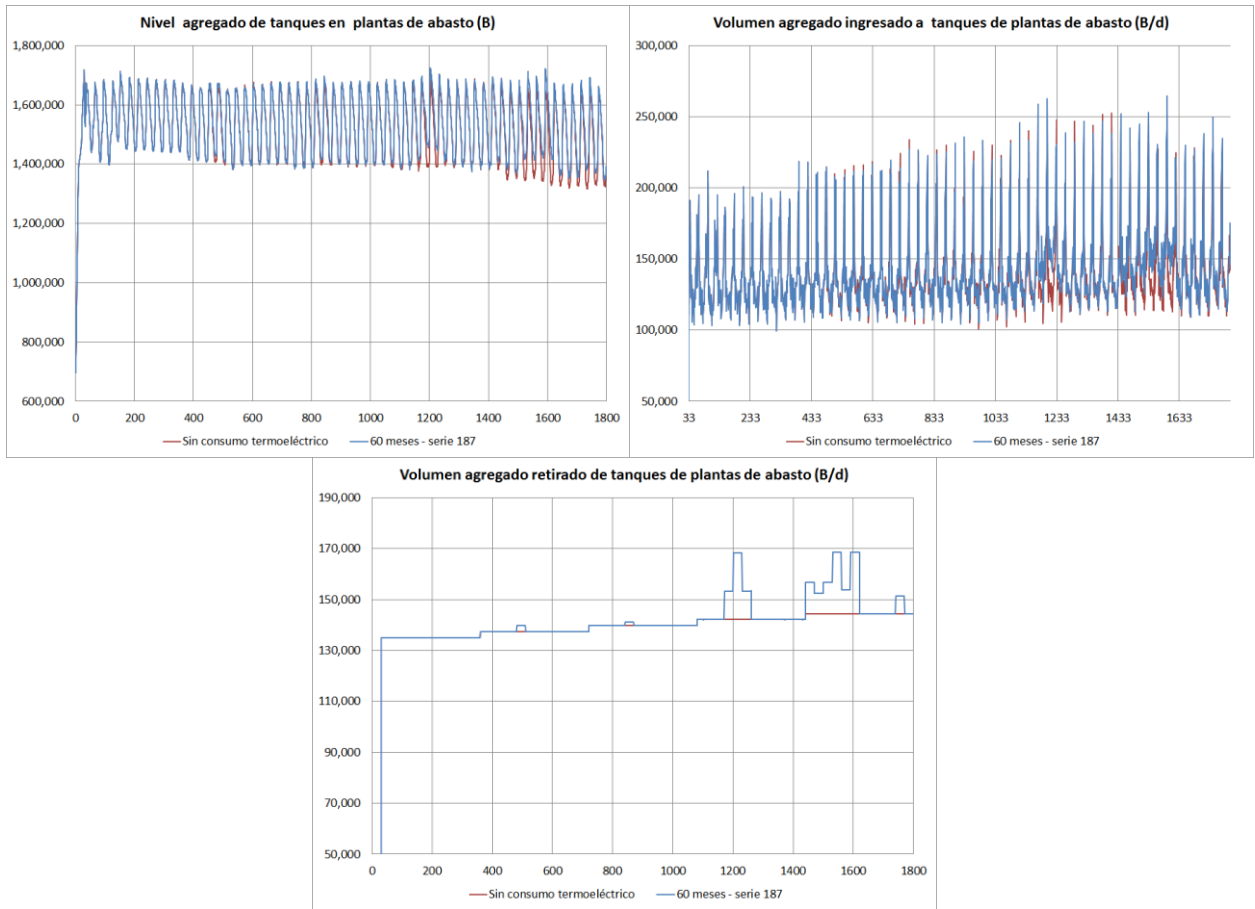


Figura 5-44. Evolución del nivel, volumen ingresado y volumen retirado agregado en las plantas de abasto para el escenario EH4 Caso 5.

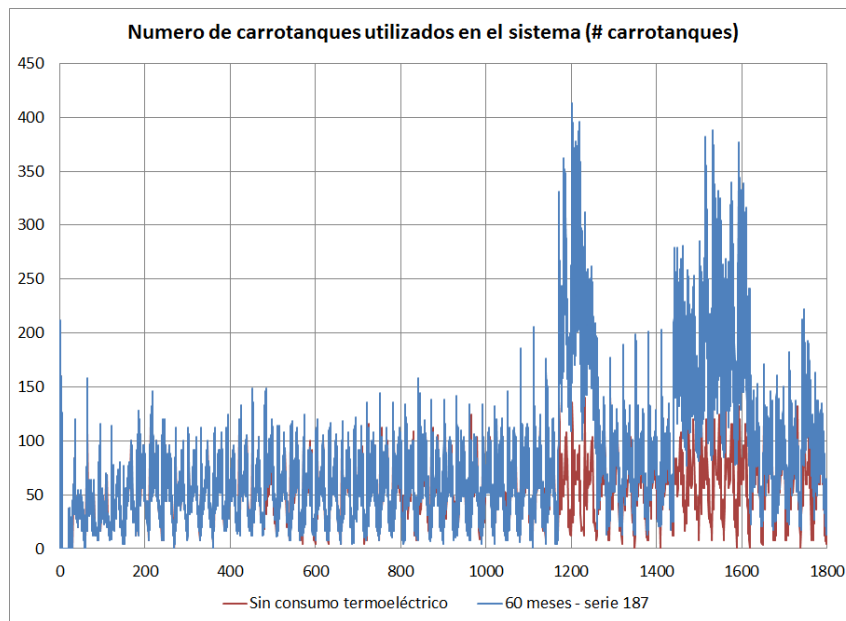


Figura 5-45. Número de carro tanques utilizados en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 5.

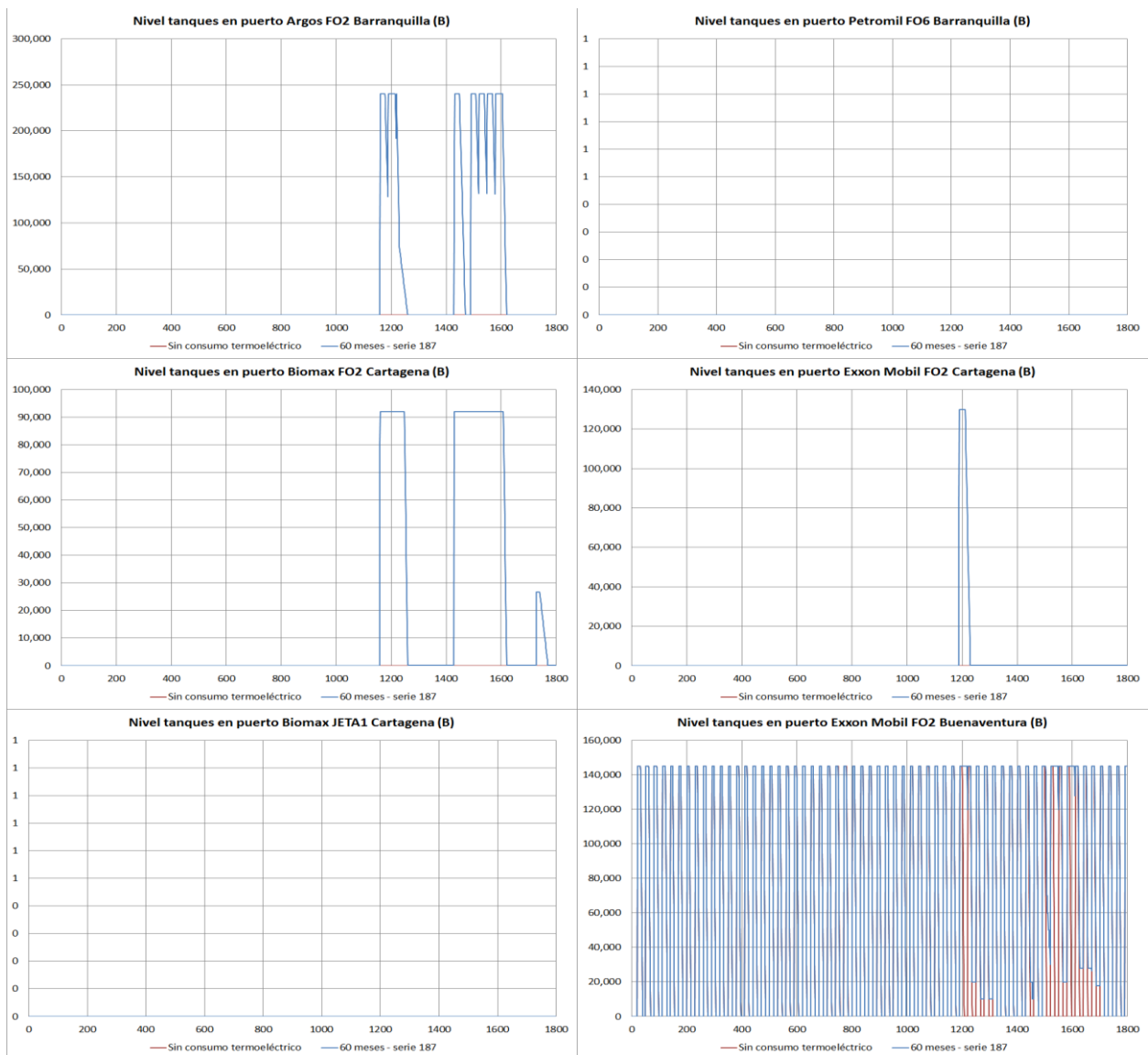


Figura 5-46. Evolución del nivel en los tanques de los puertos de importación asociados a termoelectricas para el escenario EH4 Caso 5.

Los resultados de la Figura 5-44, muestran movimientos de inventario de combustible agregado en las plantas de abasto que incrementan de manera importante desde el día 1200 hasta el día 1800 para el escenario EH4 Caso 5. También, se observa una mayor dinámica en los volúmenes ingresados y retirados de las plantas de abasto cerca a los días 1200 y 1400, los cuales están cerca de los periodos de despacho térmico mas fuerte para el escenario EH4 Caso 5.

Es importante señalar que comparado con el escenario estocástico EH4 Caso 1, 2, 3 y 4 el escenario estocástico EH4 Caso 4 es más exigente que el EH4 Caso 1, EH4 Caso 2 y EH4 Caso 3 y por muy poco menos exigente que el EH4 Caso 4. Esto se debe a que todas las plantas termoelectricas son despachadas simultáneamente durante un periodo importante del

horizonte de simulación. Lo que se traduce en exigencia de utilización de recursos como carro tanques, la cual llega a un máximo aproximado de 413 para este escenario.

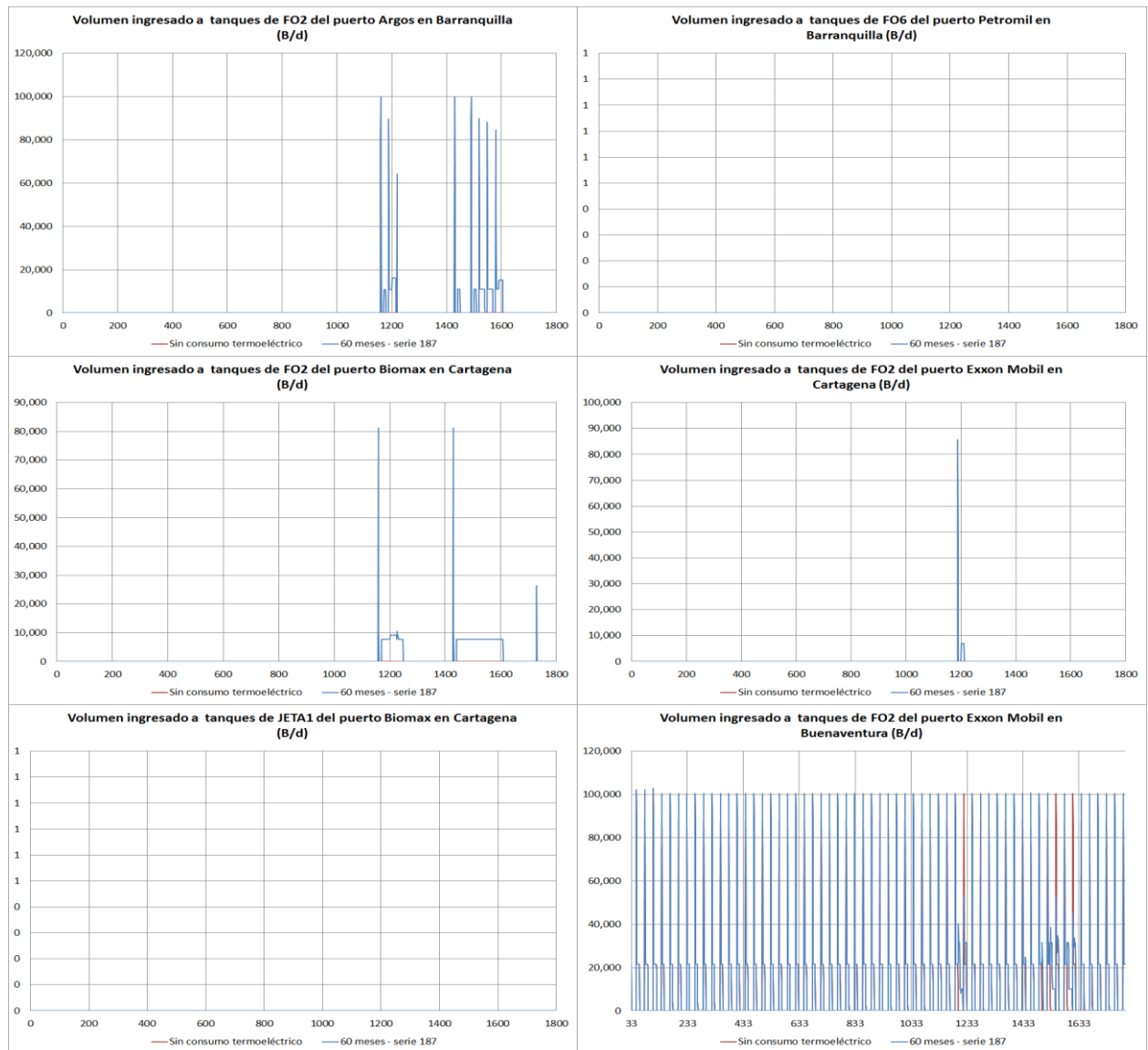


Figura 5-47. Volúmenes de combustible ingresado a tanques de los puertos asociados a termoeléctricas para el escenario EH4 Caso 5.

Al igual que para otros escenarios analizados anteriormente, las importaciones de combustible en los puertos asociados a las termoeléctricas exhiben características discretas como se observa en la Figura 5-47 (buques de 100.000 Barriles). Adicionalmente, las importaciones de combustibles a través de estos puertos se activan ante los despachos termoeléctricos (a excepción de las importaciones de FO#2 en Buenaventura por ser un puerto compartido para la importación de combustible con destino no termoeléctrico por parte de Ecopetrol y en caso de activarse la logística para termoeléctricas sería usado también por Exxon Mobil). Las importaciones de combustible para el escenario EH4 Caso 5 son altas y muy frecuentes (similar al escenario EH4 Caso 4). Los resultados sugieren que la

mayor cantidad de combustibles se importaría a través del puerto de Argos en Barranquilla (entre el día 1100 al 1600), seguido por el puerto asociado a Biomax en Cartagena (entre el día 1100 a 1700). Por último, y en menor medida, cerca al día 1200 se presenta una importación de cerca de 90000 barriles en el puerto de Exxon Mobil en Cartagena.

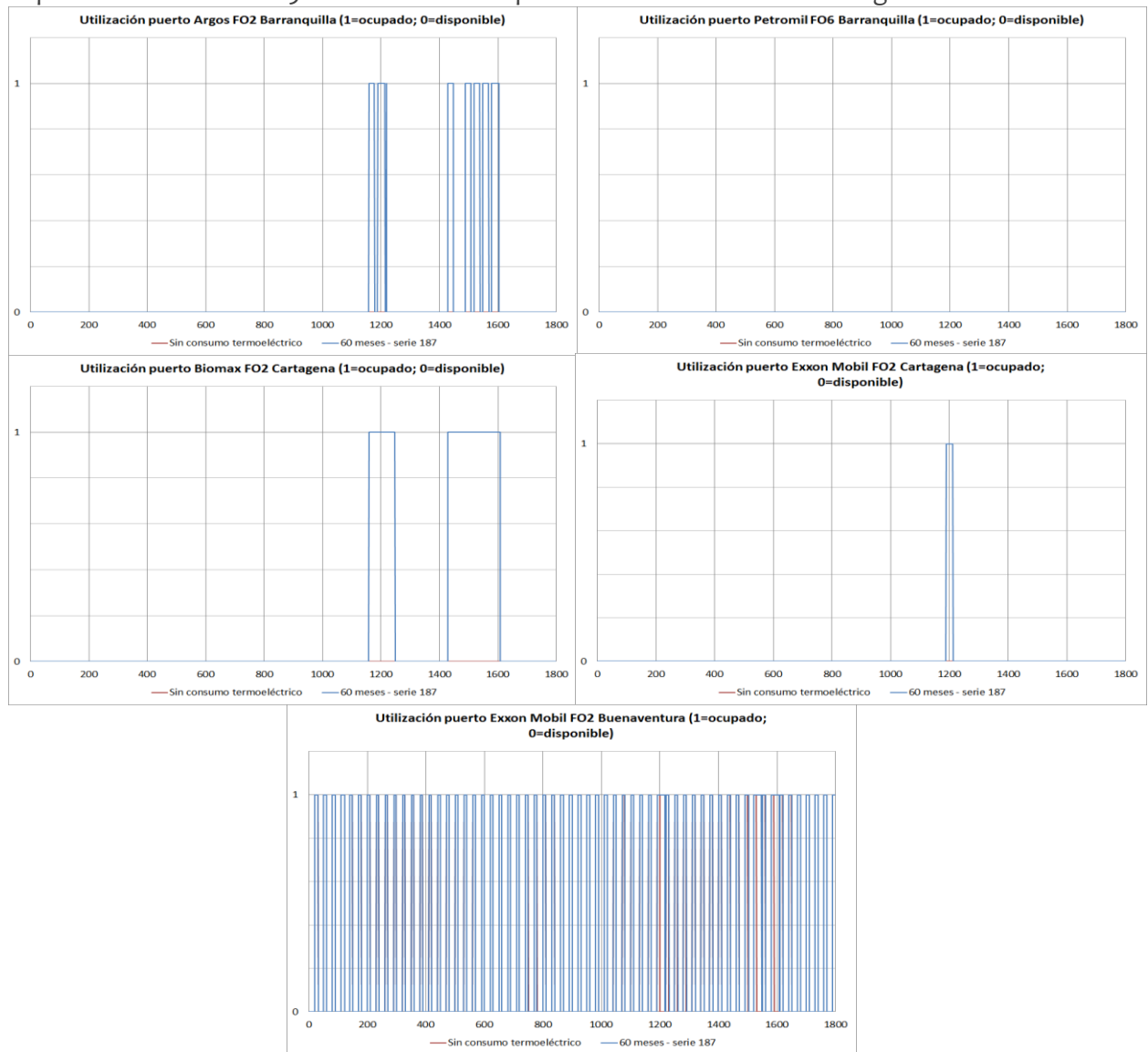


Figura 5-48. Utilización de los puertos asociados a termoeléctricas en todo el sistema para el escenario EH4 Caso 5.

Finalmente, los resultados observados en la Figura 5-48 indican que el puerto de Buenaventura tiene una utilización media, no obstante esta varía de manera significativa para el escenario EH4 Caso 5 para dos periodos, que coinciden con los periodos de despacho termoelectrico fuerte. Los puertos FO#2 de Biomax en Cartagena y de FO#2 de Argos en Barranquilla exhiben una alta utilización en el periodo de despacho termoelectrico. Especialmente, en el escenario EH4 Caso 5, la utilización del puerto de Biomax en Cartagena llega al 100% por un periodo prolongado (aproximadamente 170 días).