

# **ESTUDIO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN ASOCIADAS AL PROYECTO EJECUTIVO DEL TREN INTERURBANO MÉXICO-TOLUCA**

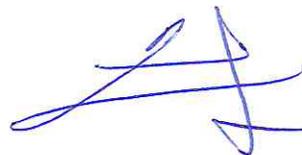
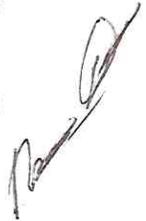
**INFORME FINAL**

**Ramón Domínguez Mora \***  
**Eliseo Carrizosa Elizondo \*\***  
**Andrés Olaf Santana Soto \*\*\***  
**Javier Osnaya Romero \*\***  
**Maritza Liliana Arganis Juárez \***  
**Rosalva Mendoza Ramirez \*\***

**Elaborado para:  
Dirección General de obras para el  
Transporte del Gobierno de la Ciudad de México**

**PROYECTO 9328**

**ENERO 2020**



- \* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM
- \*\* Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM
- \*\*\* Asesor externo del Instituto de Ingeniería, UNAM

## ÍNDICE

1.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 El sistema interconectado de las presas del poniente de la CDMX. ....	3
1.3 Ubicación de las cuencas de estudio.....	10
1.4 Curvas elevación volumen de los vasos de las presas. ....	17
2.- CÁLCULO DE TORMENTAS DE DISEÑO EN LA CUENCA DEL RÍO TACUBAYA. ....	21
2.1 Metodología aplicada para la obtención del hietograma de diseño: .....	26
2.1.1 Precipitación máxima anual diaria asociada a diferentes periodos de retorno.....	27
2.1.2 Precipitación con duración de 1 hora.....	28
2.1.3 Precipitación con duraciones menores de 1 hora. ....	30
2.1.4 Aplicación de factor de reducción por área ( <i>FRA</i> ). ....	34
3.- CÁLCULO DE LAS AVENIDAS DE DISEÑO POR CUENCA PROPIA DE LAS PRESAS TOTOLAPA, TACUBAYA Y RUIZ CORTINES. ....	37
3.1 Calibración del modelo MPE. ....	38
3.2 Obtención de avenidas de entrada por cuenca propia a cada presa.....	40
4.- CÁLCULO DE LAS AVENIDAS DE DISEÑO POR CUENCA PROPIA DE LAS PRESAS CONECTADAS EN PARALELO A LA PRESA TACUBAYA. ....	44
5.- TRÁNSITO DE AVENIDAS DEL SISTEMA DE PRESAS CONECTADAS HASTA LA PRESA RUIZ CORTINES. ....	47
5.1 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Totolapa. ....	47
5.2 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Tacubaya.....	49
5.3 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Becerra C. ....	51
5.4 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Tecamachalco hasta el túnel de interconexión a la presa San Joaquín.....	52
5.5 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Ruíz Cortines. ....	54
5.6 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Totolapa con la obra de toma abierta parcialmente. ....	57
6.- MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE UBICADA AGUAS ABAJO DE LA PRESA RUIZ CORTINES HASTA EL TÚNEL INTERCEPTOR PONIENTE. ....	61
6.1 Modelación de la infraestructura existente. ....	62
6.2 Modelación sin la presa Ruíz Cortines e infraestructura existente. ....	64
6.3 Modelación sin la presa Ruíz Cortines e infraestructura propuesta. ....	70
7.-PROPUESTA DE ACCIONES PARA MITIGAR EL RIESGO DE INUNDACIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	74
Referencias bibliográficas. ....	79

# 1.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

## 1.1 Introducción.

La Dirección General de Obras para el Transporte (DGOT) solicitó al Instituto de Ingeniería un estudio de riesgo de inundaciones en la zona poniente de la ciudad de México para analizar las consecuencias hidrológicas e hidráulicas de la construcción del tramo 3 del tren interurbano que comunicará la Ciudad de Toluca con la Ciudad de México.

En particular, se requiere estudiar las condiciones hidrológicas relacionadas con el tramo que corre más o menos paralelo a la autopista México- Marquesa desde la estación Santa Fe, ubicada sobre el vaso de la presa Totolapa, hasta la estación del metro Observatorio, ubicadas en las alcaldías Cuajimalpa y Álvaro Obregón respectivamente.

Debido al trazo del tren sobre los vasos de las presas Totolapa, Tacubaya y Ruíz Cortines, así como, la ubicación de las obras asociadas, se requiere estimar los hidrogramas de entrada a cada presa, tanto por cuenca propia, como por el tránsito de presas interconectadas, para analizar los efectos de la construcción del tramo 3 del tren interurbano México-Toluca y de las obras asociadas, tomando en cuenta la situación actual de la urbanización y del sistema de drenaje.

Para ello se requiere estimar primero las tormentas de diseño, tanto locales, para la cuenca del río Tacubaya como generalizadas para estudiar su interacción con el sistema de presas interconectado, en el poniente de la ciudad.

También se realizará el análisis hidráulico del tránsito de avenidas de las 3 presas (Totolapa, Tacubaya y Ruíz Cortines) conectadas en serie y de las presa Becerra C y Tecamachalco conectadas en paralelo con la presa Tacubaya, así como, la modelación del funcionamiento hidráulico de la infraestructura de drenaje en la zona ubicada aguas abajo de la presa Ruíz Cortines, para determinar si dicha infraestructura es suficiente para conducir el agua hasta el Interceptor Poniente del sistema de drenaje.

## 1.2 El sistema interconectado de las presas del poniente de la CDMX.

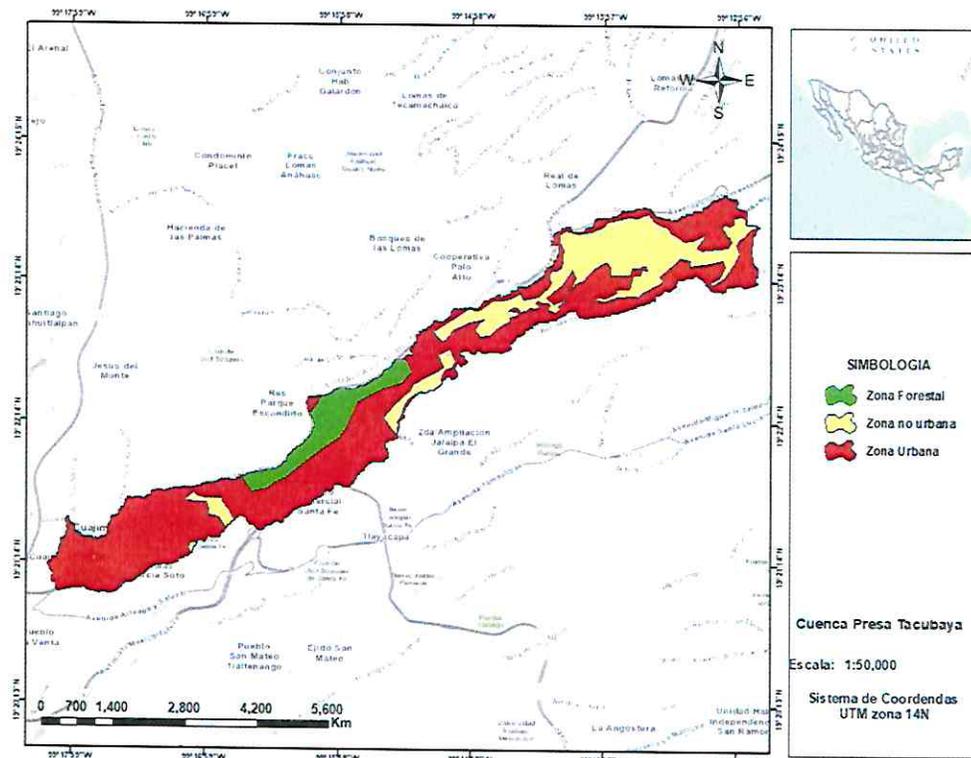
El sistema de presas Totolapa-Tacubaya-Ruiz Cortines forman parte de las presas interconectadas del poniente de la ciudad de México, las cuales sirven para regular las avenidas en época de lluvias, ayudando así a la operación del sistema de drenaje.

La característica principal de este sistema de presas, es su interconexión, la cual tiene como finalidad regular las grandes avenidas provenientes principalmente de los ríos del poniente. Los escurrimientos ya regulados son conducidos por el Interceptor Poniente.

El Interceptor del Poniente inicia a la altura del río Magdalena, su trayectoria es de sur a norte y descarga en el río Hondo, cuenta con la estructura de alivio el Interceptor Centro-Poniente del sistema de Drenaje Profundo. Mediante el río Hondo y río de los Remedios, los escurrimientos llegan al Vaso regulador "El Cristo", para finalmente descargar al Emisor del Poniente y sean conducidos hacia el norte del Valle de México.

El incremento de la población sumado al crecimiento de la mancha urbana y a la deforestación de las cuencas e invasión de los vasos de las presas, hacen que su capacidad disminuya, y por lo tanto no trabajen para las condiciones para las que fueron diseñadas y no sean capaces de hacer una correcta regulación.

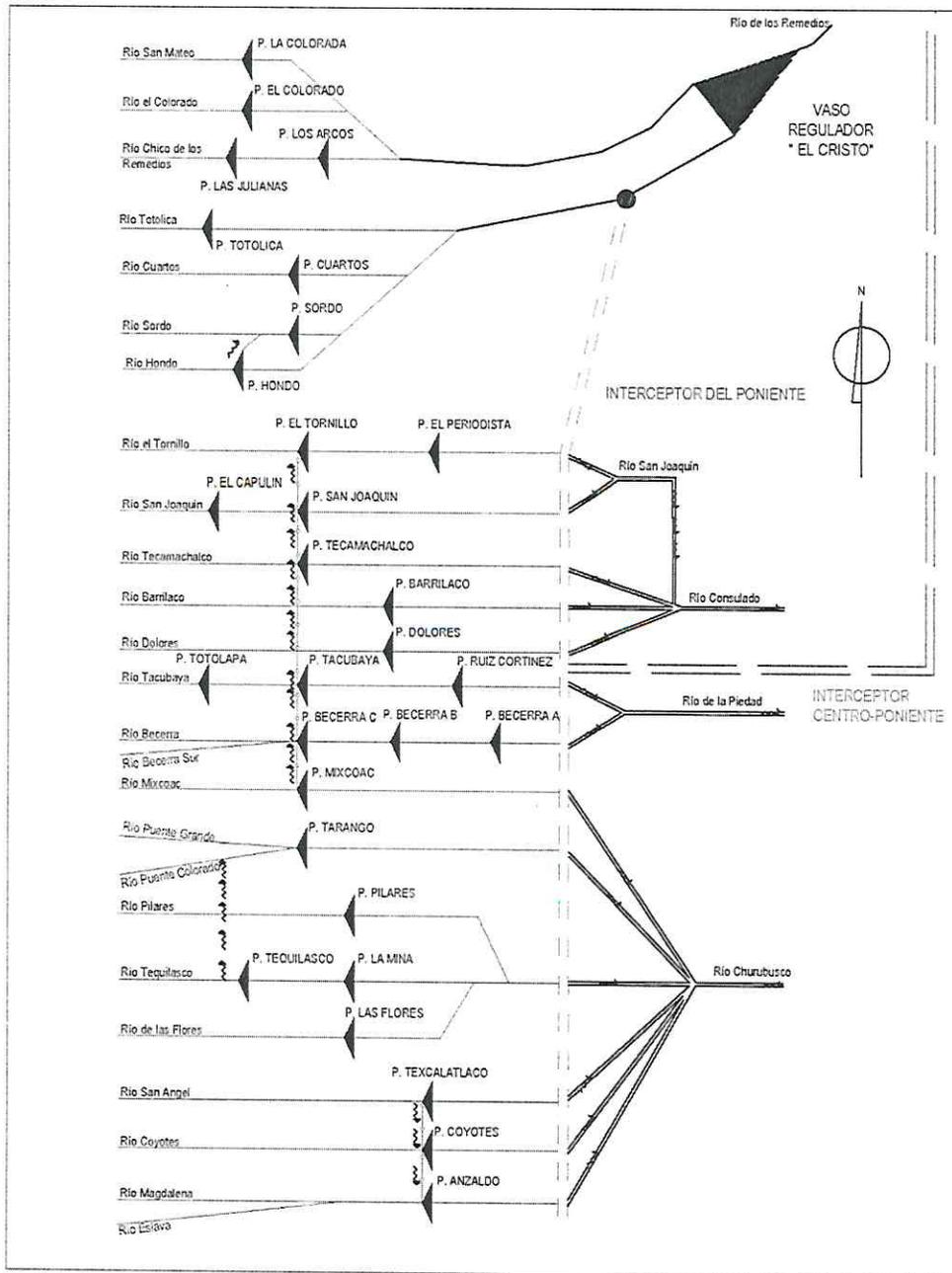
Otro de los problemas en las presas del Poniente, es el cambio de uso de suelo de sus cuencas, provocando que los escurrimientos aumenten y en el caso de la invasión de los vasos de las presas, su regulación disminuya. La figura 1.1 corresponde a la cuenca del río Tacubaya, donde en la actualidad el 67.50% del área corresponde a área urbana y el resto a forestal y no urbana. La mayoría de las cuencas de las presas tienen el mismo problema.



**Figura 1.1 Cuenca y uso de suelo del río Tacubaya.**

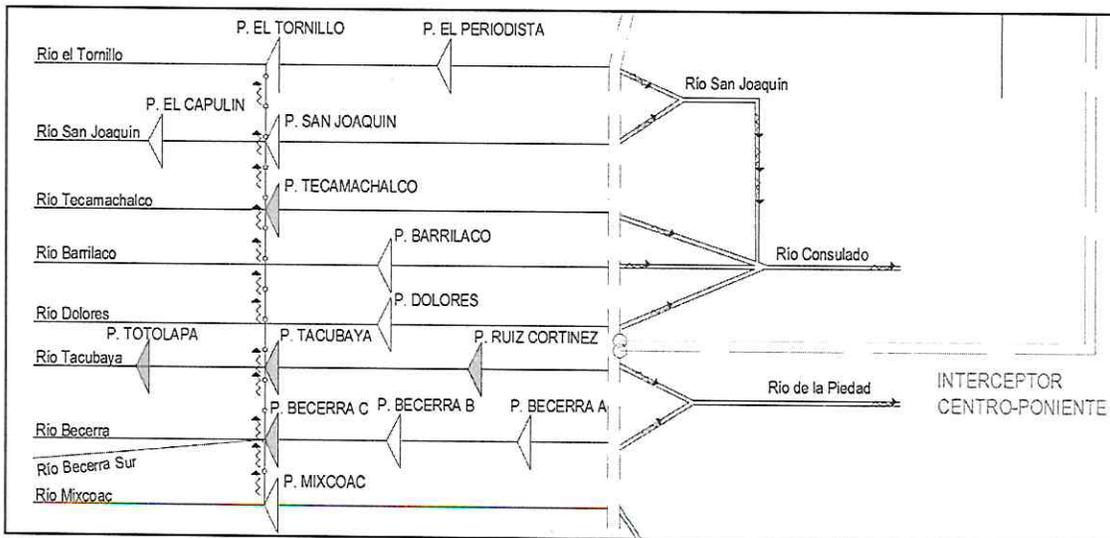
El Sistema de Presas del Poniente está conformado por 30 presas, como se muestra en la figura 1.2, las primeras 22 (de sur a norte) se localizan en el Ciudad de México y el resto en el Estado de México.

*[Handwritten signature]*



**Figura 1.2 Sistema de Presas del Poniente.**

En este proyecto los estudios se centrarán en el análisis del subsistema propuesto en la figura 1.3 donde se aprecia la interconexión entre las presas que serán afectadas por la construcción del tren interurbano México-Toluca.



**Figura 1.3 Diagrama de interconexión de las presas Totolapa, Tacubaya, Ruíz Cortines, Becerra C y Tecamachalco.**

De la figura 1.3 se observa que las presas Totolapa, Tacubaya y Ruíz Cortines se encuentran conectadas en serie, es decir, la presa Totolapa vierte sobre el cauce que llega a la presa Tacubaya y esta a su vez vierte hacia la presa Ruíz Cortines. Para el caso del vaso de la presa Tacubaya, se observa que su vaso recibe la descarga por el túnel de interconexión de la presa Becerra C y a su vez deriva por otro túnel de interconexión hacia el vaso de la presa Tecamachalco.

La presa Becerra C está conectada en serie con Becerra B y en paralelo con la presa Mixcoac, sin embargo, debido al deterioro y mal mantenimiento del túnel de interconexión entre Mixcoac y Becerra C hoy en día el túnel se encuentra fuera de servicio, también, debido a la urbanización en las cuencas de Becerra B y Becerra A, las obras de toma de Becerra C se encuentran cerradas mandando toda el agua proveniente de su cuenca hacia el vaso de Tacubaya.

El escenario propuesto donde Becerra C manda toda el agua proveniente de su cuenca propia hacia el vaso de Tacubaya es el escenario más desfavorable para el análisis de la presa al tomar en cuenta la construcción del tren interurbano.

A su vez, el vaso de Tacubaya está conectado con el vaso de Tecamachalco, debido a la poca pendiente existente entre ambos, el agua puede ir en un sentido o en otro dependiendo del gradiente hidráulico alcanzado.

La presa Tecamachalco está conectada en paralelo con la presa de San Joaquín, sin embargo, la salida del túnel de interconexión está muy por encima del vaso, esto no permite que el agua pueda regresar hacia Tecamachalco y a su vez tampoco hacia Tacubaya. Por lo anterior, la frontera hidrológica e hidráulica se fijó en la presa Tecamachalco considerando su salida hacia la presa San Joaquín y en Becerra C para el análisis hidrológico e hidráulico de las presas.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

El Instituto de Ingeniería revisó la información dispuesta por la DGOT y a partir de esta y la confirmación del sistema de aguas de la ciudad de México, SACMEX, se obtuvo la información de los vasos de las presas mostrados en la tabla 1.1. y 1.2.

**Tabla 1.1 Características de niveles de las estructuras del vaso.**

PRESA	NAMO [msnm]	NAME [msnm]	Corona [msnm]	VERTEDOR		
				Longitud de la cresta [m]	Elevación de cresta [msnm]	Coefficiente de descarga
<i>Becerra C</i>	2318.81	2327.57	2328.57	25	2326.14	1.85
<i>Totolapa</i>	2562.45	2572.4	2573.4	-	-	-
<i>Tacubaya</i>	2310.36	2326.04	2327.04	19	2324.04	2.1
<i>Ruiz Cortines</i>	2293.83	2295.44	2296.44	4.2	2295.045	1
<i>Tecamachalco</i>	-	2303.825	2304.825	-	-	-

**Tabla 1.3 Características de las obras de toma de cada presa.**

PRESA	OBRA DE TOMA					
	No. de obras de toma	Tipo	Elevación umbral	Grado de apertura [%]	Ancho [m] ó Diámetro [m]	Altura [m]
<i>Becerra C</i>	2	Rectangular	2318.81	0	0.7	1
		Rectangular	2321.32	0	0.7	1
<i>Totolapa</i>	4	Rectangular	2562.45	100	0.94	2.8
		Rectangular	2562.45	100	0.94	2.8
		Rectangular	2562.45	100	0.94	2.8
		Rectangular	2562.45	100	0.94	2.8
<i>Tacubaya</i>	4	Rectangular	2310.36	100	1.2	0.9
		Rectangular	2314.82	100	1.2	0.9
		Rectangular	2317.9	100	1.2	0.9
		Rectangular	2320.81	100	1.2	0.9
<i>Ruiz Cortines</i>	2	Circular	2293.83	100	0.61	
		Circular	2294.44	100	0.61	
<i>Tecamachalco</i>	0					

#### Túneles de interconexión.

Aquellas presas que están conectadas en paralelo, lo están por medio de un túnel; dicho túnel cuenta con características geométricas, (sección, pendiente) y de material distintos entre sí. A continuación, se describen los 2 túneles de interconexión con los que cuenta el sistema de presas.

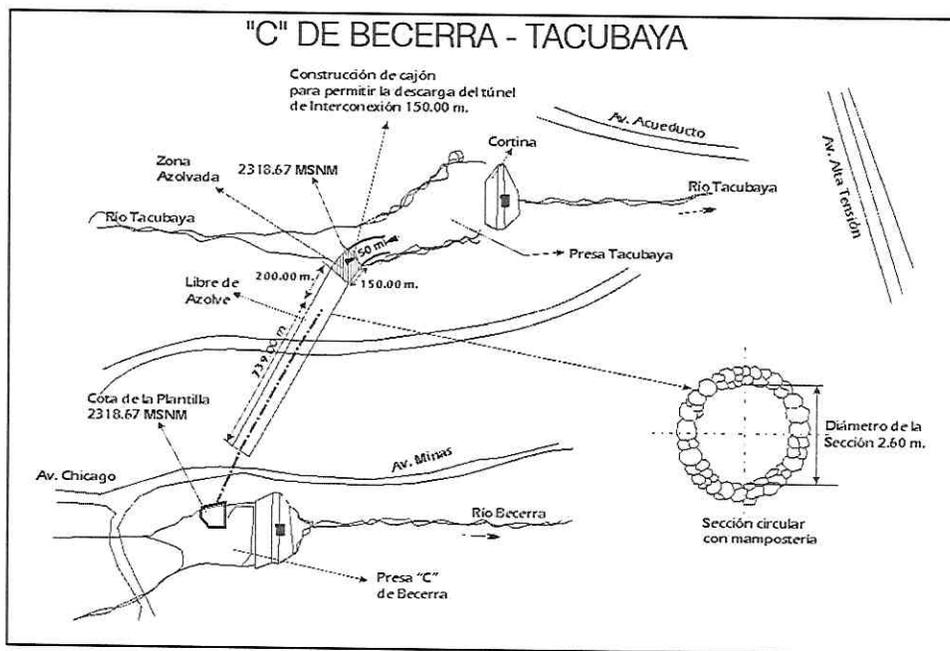
## 1. Túnel de presa Becerra C a presa Tacubaya.

Descripción:

- Se inicia a al costado del vaso de la presa Becerra C
- En época de grandes avenidas su descarga es ahogada dentro del vaso de la presa Tacubaya.

**Tabla 1.4 Características geométricas e hidráulicas del túnel Becerra C-Tacubaya.**

Característica	Dato
Longitud del túnel (m):	1089.00
Pendiente:	0.0055
Sección:	Circular
Diámetro (m):	2.6
Fecha de construcción:	-
Gasto máximo (m <sup>3</sup> /s)	21
Elevación del umbral de entrada (msnm):	2318.67
Elevación del umbral de salida (msnm):	2312.95



**Figura 1.4 Esquema del túnel Becerra C proporcionado por SACMEX**

## 2. Túnel de presa Tacubaya a presa Tecamachalco

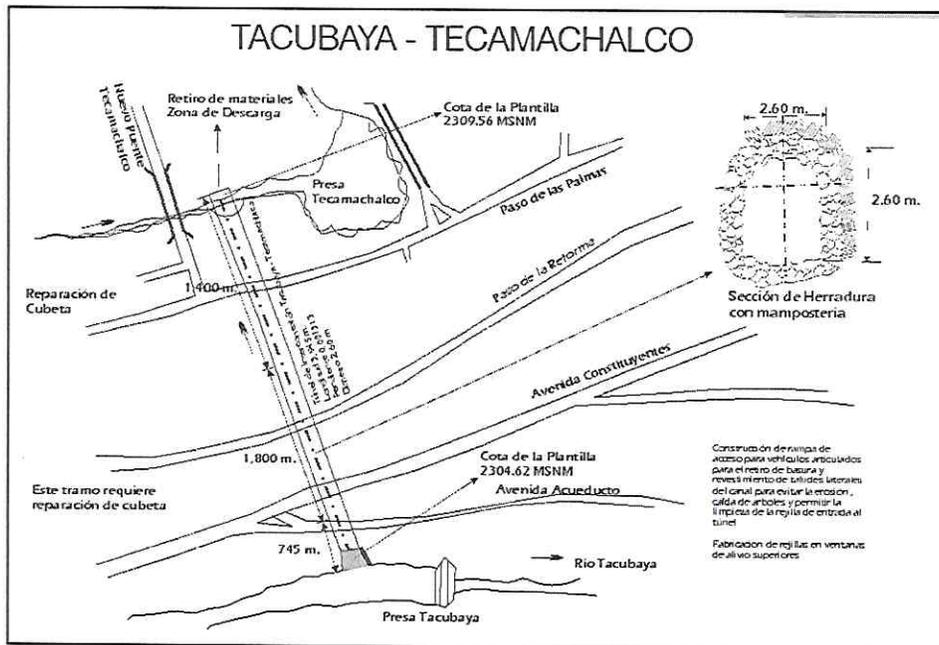
Descripción:

- Se inicia en la margen izquierda del vaso y está constituido por una caseta en la ladera de la barranca, que originalmente tenía 4 orificios rectangulares de 1.20 x 0.90 m controlados con compuertas. Estos orificios descargaban a un conducto de 2.60 m en forma de Herradura.

- Actualmente el cauce se desvía en su totalidad por una atagüía, que conduce el río al túnel de 2.10 m de diámetro.
- La descarga en el vaso de Tecamachalco cae por la ladera de la barranca, hasta llegar al cauce del río.

**Tabla 1.5 Características geométricas e hidráulicas del túnel Tacubaya-Tecamachalco.**

Característica	Dato
Longitud del túnel (m):	3, 945.16
Pendiente:	0.00122
Sección:	Herradura
Diámetro (m):	2.10
Fecha de construcción:	1937-1938
Gasto máximo (m <sup>3</sup> /s)	10
Elevación del umbral de entrada (msnm):	2, 309.86
Elevación del umbral de salida (msnm):	2, 305.03



**Figura 1.5 Esquema del túnel Tacubaya-Tecamachalco proporcionado por SACMEX.**

### 3. Túnel de presa Tecamachalco a presa San Joaquín

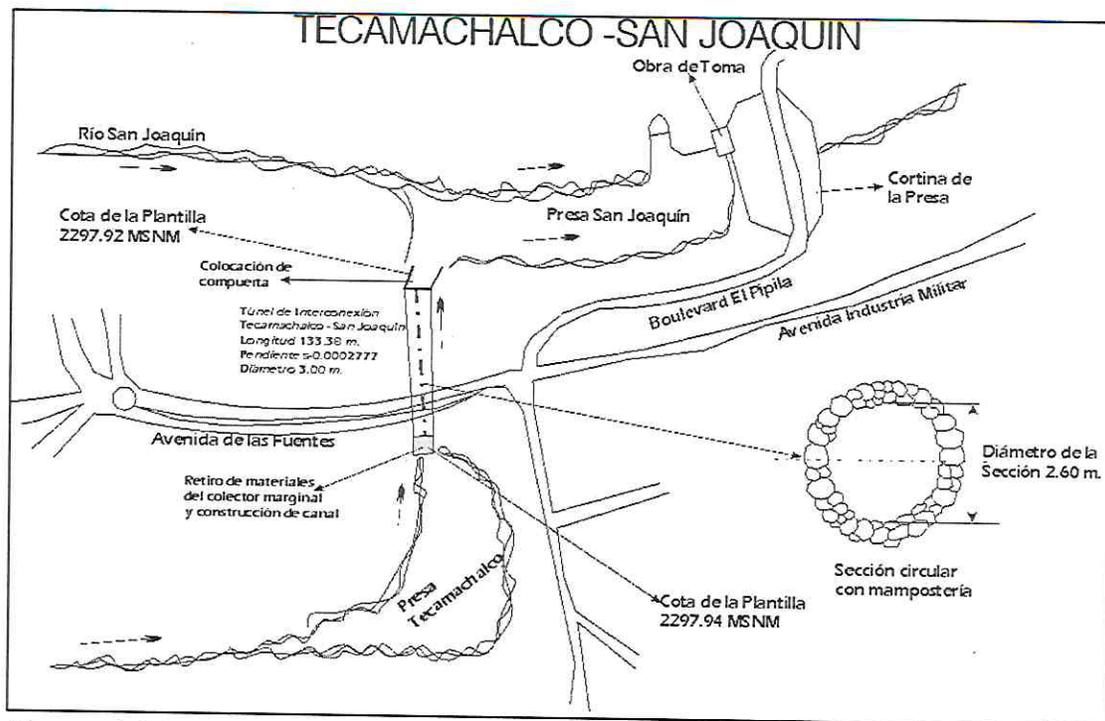
Descripción:

- La entrada al túnel se hace a través de una barranca en la margen izquierda, a unos 400 m de la cortina.

- El portal de salida en el vaso de la presa San Joaquín se localiza 350 m aguas arriba de la cortina sobre la margen derecha del río.

**Tabla 1.6 Características geométricas e hidráulicas del túnel Tecamachalco-San Joaquín**

Característica	Dato
Longitud del túnel (m):	133.38
Pendiente:	0.00028
Sección:	Circular
Diámetro (m):	3
Fecha de construcción:	1929-1930
Gasto máximo (m <sup>3</sup> /s)	10
Elevación del umbral de entrada (msnm):	2, 297.38
Elevación del umbral de salida (msnm):	2, 297.34



**Figura 1.6 Esquema del túnel Tecamachalco-San Joaquín proporcionado por SACMEX.**

### 1.3 Ubicación de las cuencas de estudio.

Para conocer las avenidas de entrada a cada presa es necesario conocer su cuenca de aportación. A continuación, se presentan las cuencas de aportación de cada presa, así como, sus características fisiográficas.

Los parteaguas de las cuencas se trazaron a partir del modelo digital de elevación LIDAR con resolución a cada 5 m disponible en el INEGI.

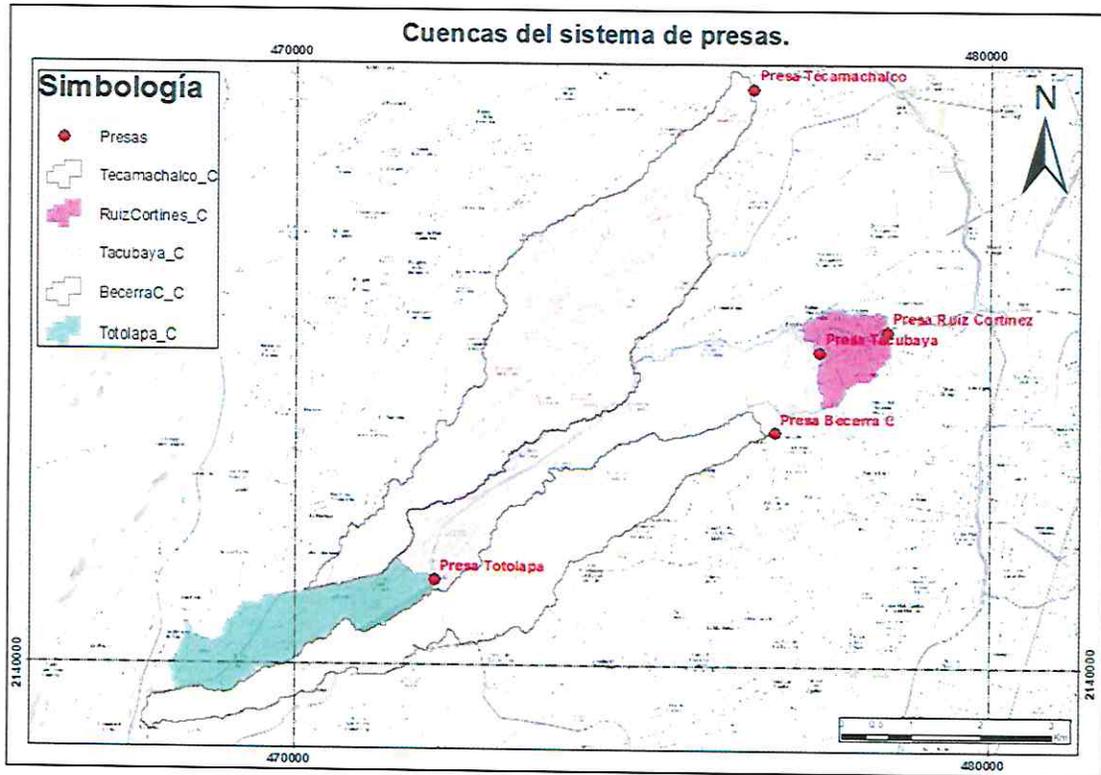


Figura 1.7 Ubicación de las cuencas de estudio.

#### Presas Totolapa:

Localizada en la cuenca del río Tacubaya aguas arriba de la presa Tacubaya en la colonia Lomas de Santa Fe, a un costado del centro comercial Santa Fe en la alcaldía de Cuajimalpa, Ciudad de México, ver figura 1.8 No cuenta con cortina como tal, el vaso cuenta con tres canales que llevan el agua de tres colectores que descargan libremente en el vaso hasta la obra de toma que cuenta con 4 compuertas rectangulares de 0.9 m x 2.8 m. No cuenta con vertedor, la obra de toma descarga a un colector de 2.13 m de diámetro que se une aguas abajo con el colector Vasco de Quiroga, el cual descarga al río Tacubaya.

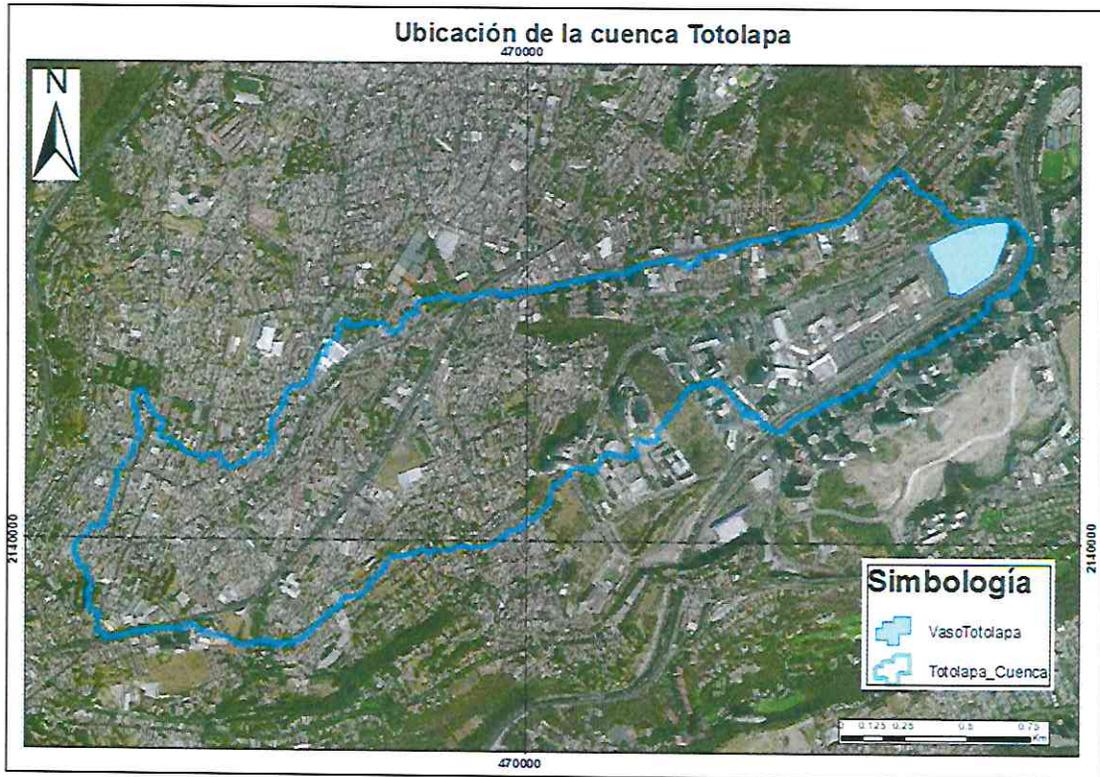


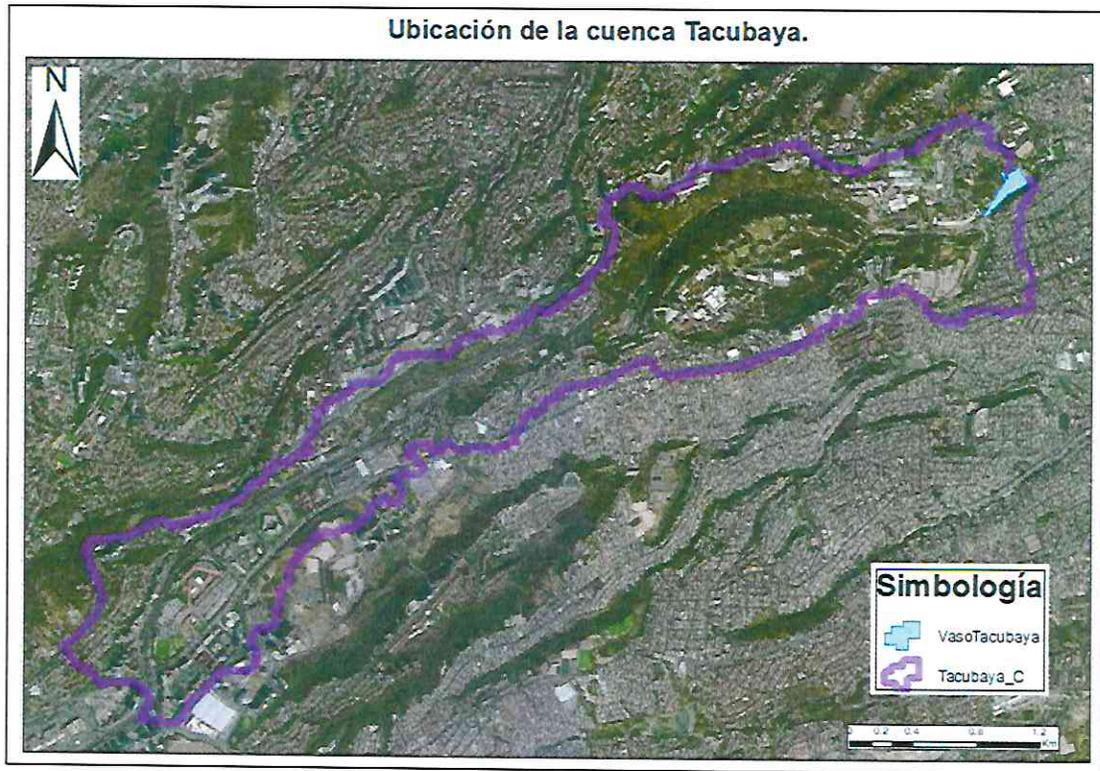
Figura 1.8 Ubicación de la cuenca Totolapa.

**Presa Tacubaya:**

Localizada en la cuenca del río Tacubaya, en la colonia Liberales de 1857 en la alcaldía Álvaro Obregón, Ciudad de México, ver figura 1.9. La cortina es de enrocamiento con pantalla de concreto en el paramento aguas arriba, con taludes de 1:1 aguas arriba y 1.2:1 aguas abajo. Cuenta con obra de toma y su vertedor es de cresta libre. Hay un túnel de interconexión con la presa Becerra C y otro con la presa Tecamachalco.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

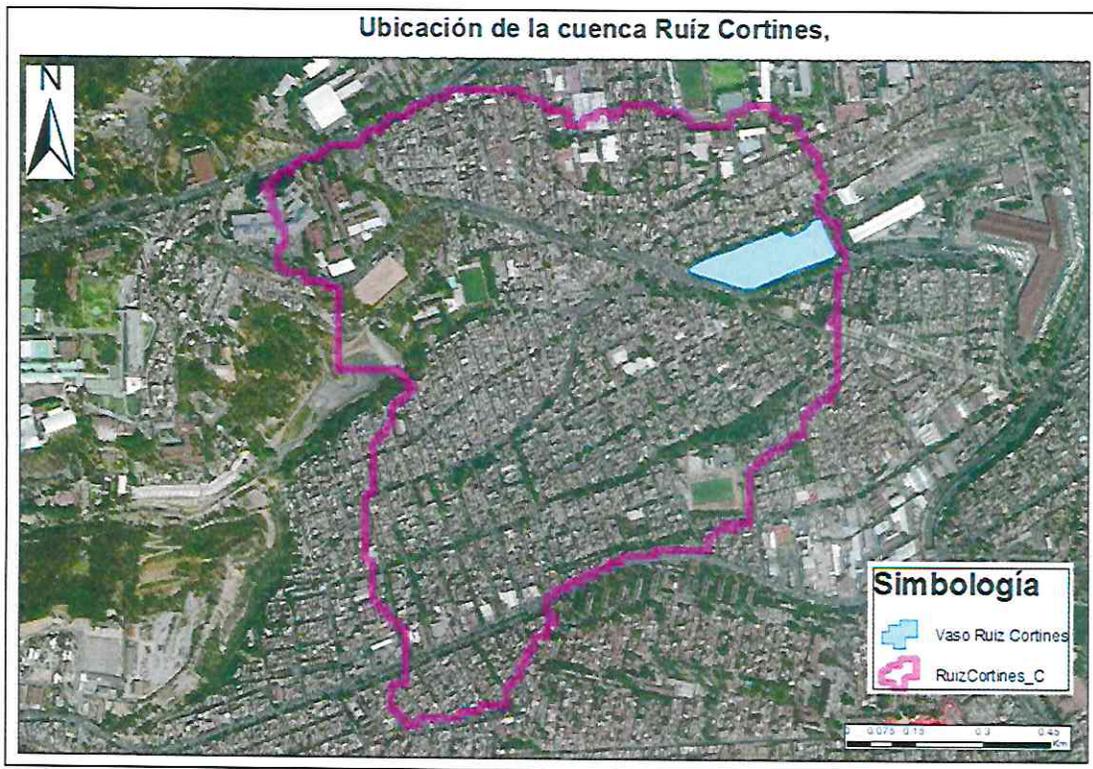


**Presas Ruíz Cortines:**

Localizada en la subcuenca del río Tacubaya en la colonia Acueducto, en la alcaldía Álvaro Obregón, Ciudad de México, ver figura 1.10. La cortina es de tierra y mampostería con taludes variables. Tiene obra de toma y su vertedor es de tipo embudo. Actualmente las descargas se conducen por un colector circular aguas abajo de la obra de toma hasta el túnel interceptor del poniente.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

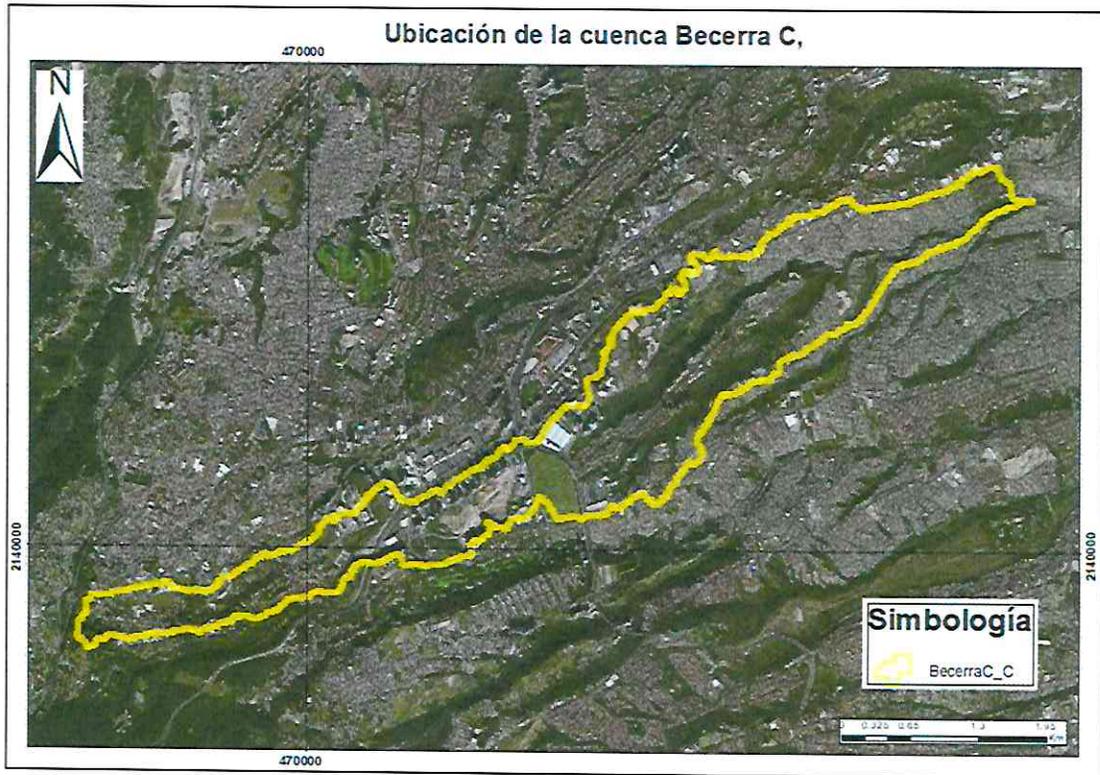


**Presa Becerra C:**

Localizada en la cuenca del río Becerra en la colonia La Cañada de la alcaldía Álvaro Obregón, Ciudad de México, ver figura 1.11. La cortina es de enrocamiento con pantalla de concreto en el paramento de aguas arriba. Tienen taludes 1:1 aguas arriba y 1.2:1 aguas abajo. Tiene obra de toma y el vertedor es recto con descarga libre sobre la margen izquierda con canal de descarga en rápida y un tanque disipador. Sobre la margen izquierda está el túnel de interconexión con la presa Tacubaya, en la otra margen se encuentra el túnel de interconexión con la presa Mixcoac.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*



**Figura 1.11 Ubicación de la cuenca Becerra C.**

**Presas Tecamachalco:**

Localizada en la cuenca del río Tecamachalco, en la colonia Reforma Social de la alcaldía Miguel Hidalgo, en los límites de la Ciudad de México y el Estado de México, ver figura 1.12. La cortina es de tipo gravedad, de concreto con taludes casi verticales, en ella no existe obra de toma ni vertedor, solo es un paso hacia la presa San Joaquín. También hay un túnel de interconexión con la presa Tacubaya.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

Ubicación de la cuenca Tecamachalco.

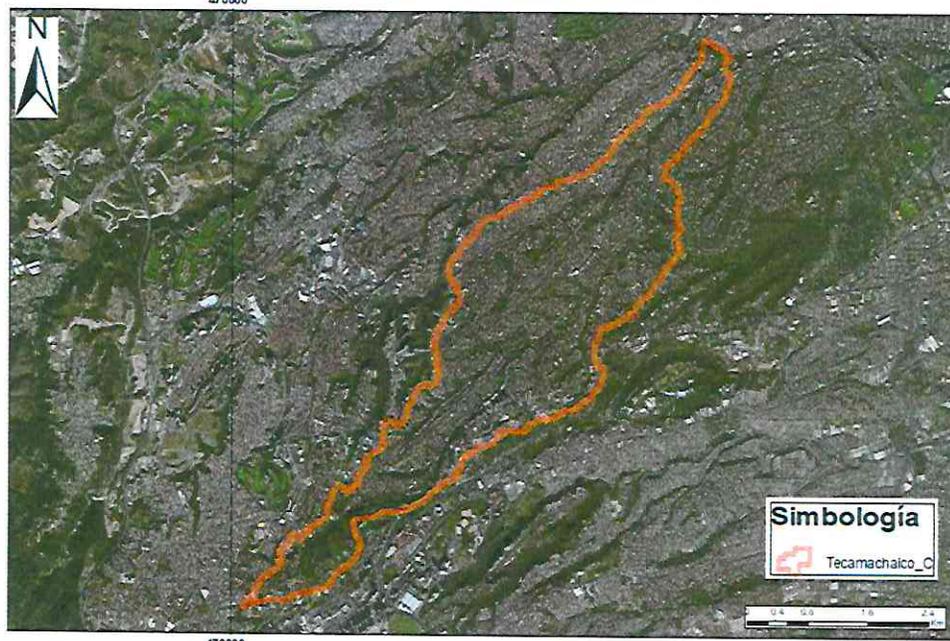


Figura 1.12 Ubicación de la cuenca Tecamachalco.

La tabla 1.7 muestra en resumen las características fisiográficas de cada cuenca mostrada.

Tabla 1.7 Características fisiográficas de las cuencas de estudio.

Presa	Área total [km <sup>2</sup> ]	Tipo de área	Área [km <sup>2</sup> ]	Área [km <sup>2</sup> ]		Porcentaje de área [%]		Características fisiográficas		
				No urbana	Urbana	Urbana	No urbana	Lcp [m]	Scp [1]	tc [hr]
Tecamachalco	11.4	Zona urbana	10.32	1.08	10.3	90.5	9.5	11562	0.03	1.62
		Forestal	0.27							
		No urbano	0.82							
Ruiz Cortines	1.13	Zona urbana	1.13	0	1.13	99.96	0.04	1824	0.06	0.32
		No urbano	0							
Totolapa	2.83	Zona Urbana	2.83	0	2.83	100	0	4822	0.04	0.73
Tacubaya	5.59	Zona urbana	2.82	2.77	2.82	49.55	50.44	8548	0.04	1.66
		Forestal	0.69							
		No urbano	2.08							
Becerra C	7.54	Zona urbana	5.49	2.04	5.49	72.88	27.12	12507	0.04	1.59
		Bosque	0							
		Agrícola	0.02							
		No urbano	2.03							

#### 1.4 Curvas elevación volumen de los vasos de las presas.

La DGOT proporcionó al Instituto de Ingeniería los estudios hidrológicos realizados para las cuencas de las presas en el año 2016, dentro de estos estudios hidrológicos viene el cálculo de las curvas elevación volumen de la presa Totolapa y una curva elevación-volumen propuesta para el vaso de Tacubaya.

En el Instituto de Ingeniería se revisaron las curvas y se pidió la confirmación de SACMEX; como resultado de esta revisión se actualizó la curva elevación-volumen de la presa Tacubaya de un levantamiento hecho en el año 2018. Por otra parte, se calcularon las curvas tomando en cuenta el volumen de las obras dentro del vaso, calculado a partir de los planos proporcionados por la DGOT; el caso más desfavorable es el del vaso de la presa Totolapa ya que la estación del Tren Interurbano Santa Fe está proyectada dentro del vaso con una serie de columnas circulares, además de las columnas que sostendrán la vía del tren. A pesar de ello, el volumen de la obra dentro del vaso no es muy considerable debido al gran volumen de capacidad del mismo, como se muestra en la figura 1.13.

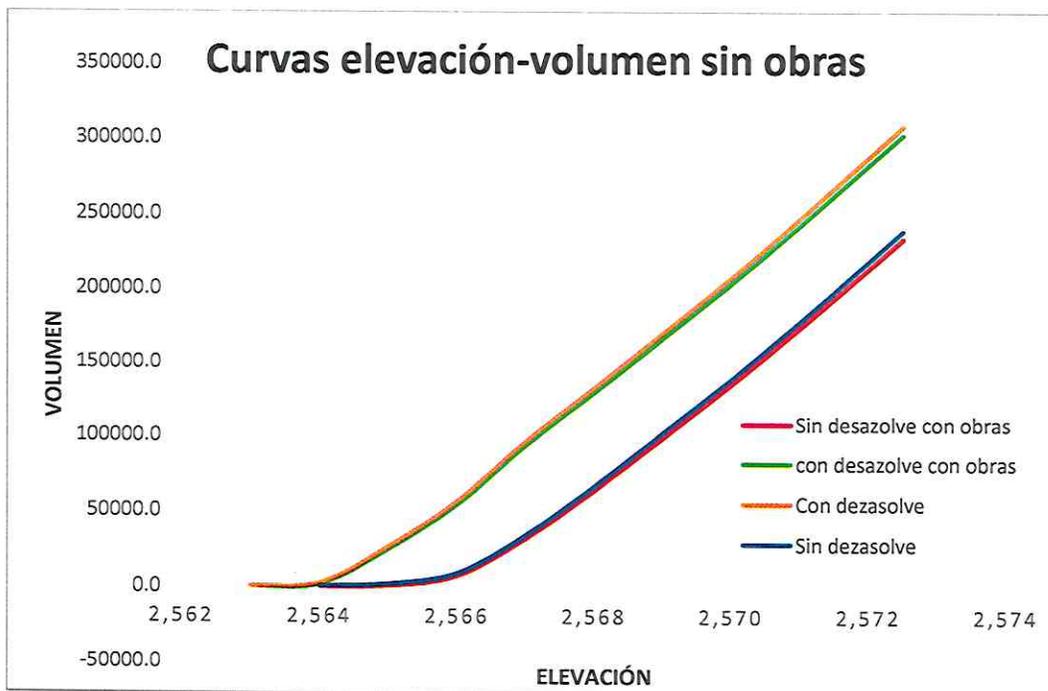
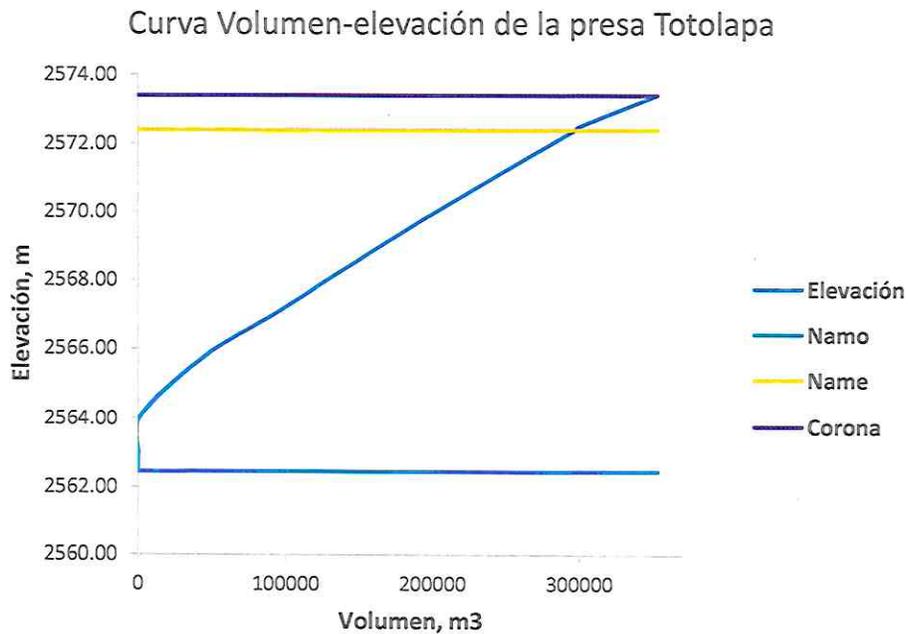


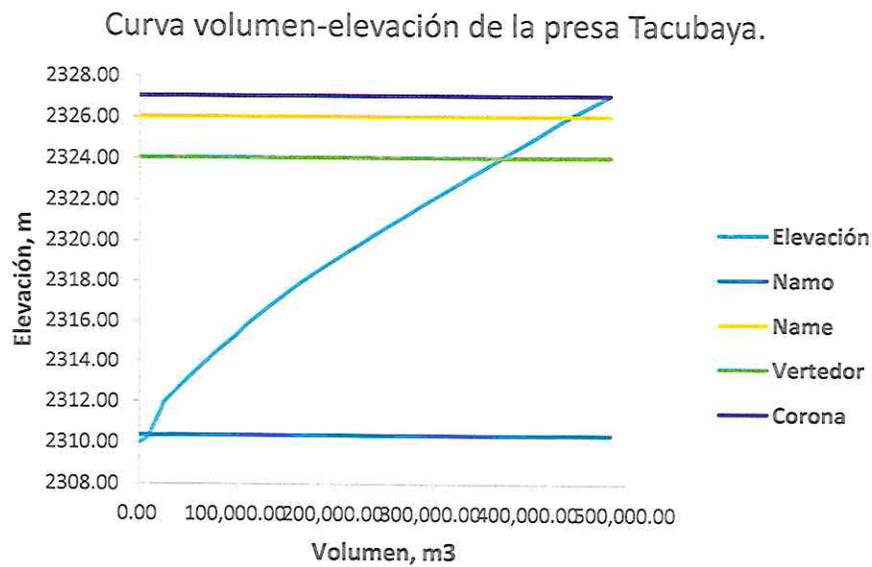
Figura 1.13 Curvas elevación-volumen de la presa Totolapa.

Debido a que se llegó a un convenio entre SACMEX y la DGOT donde se acordó que la empresa constructora desazolvaría el vaso para la construcción de la terminal, se decidió utilizar la curva que contempla el desazolve y las obras dentro del vaso como se muestra en la figura 1.14



**Figura 1.14 Curva elevación-volumen de la presa Totolapa.**

El Sistema de Aguas de la CDMX, SACMEX, actualizó y proporcionó las curvas elevación-volumen de las presas Tacubaya, Ruiz Cortines, Becerra C y Tecamachalco como se muestra en las figuras 1.15 a 1.18:



**Figura 1.15 Curva volumen-elevación de la presa Tacubaya.**

Curva volumen-elevación de la presa Ruíz Cortines.

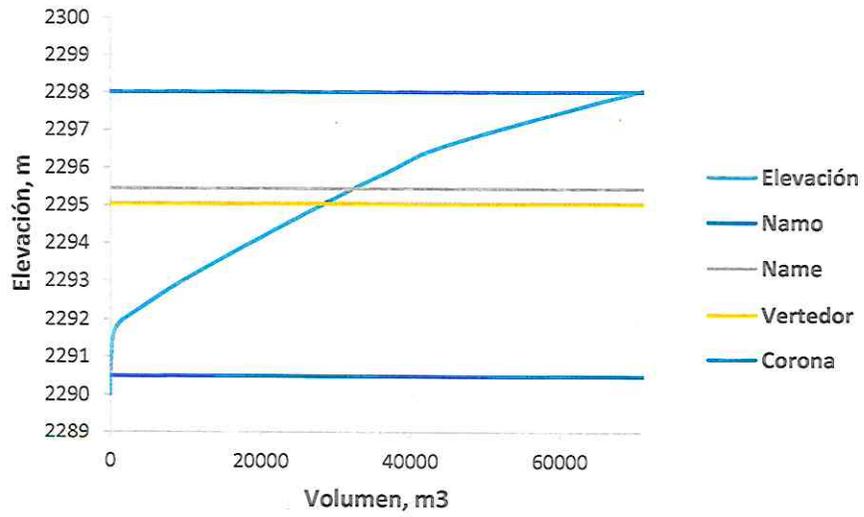


Figura 1.16 Curva volumen-elevación de la presa Ruíz Cortines.

Curva volumen-elevación de la presa Ruíz Cortines.

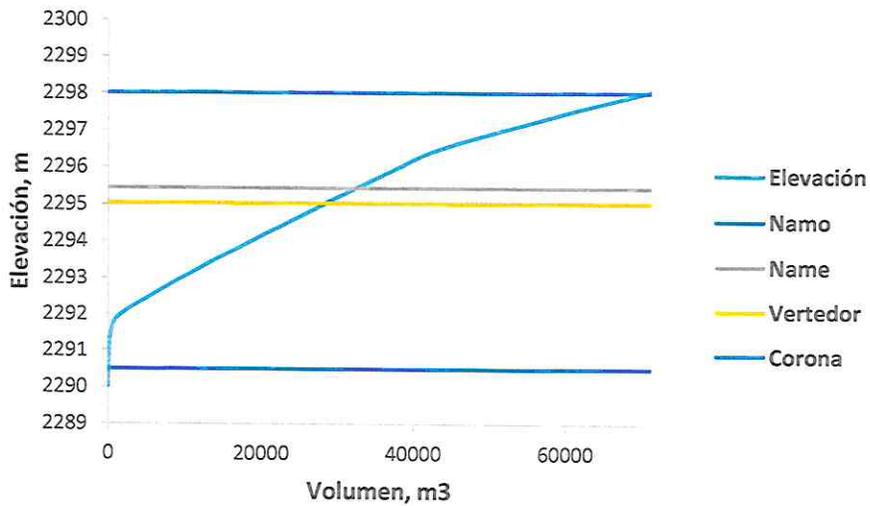


Figura 1.17 Curva volumen-elevación de la presa Becerra C.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

Curva volumen-elevación de la presa Tecamachalco.

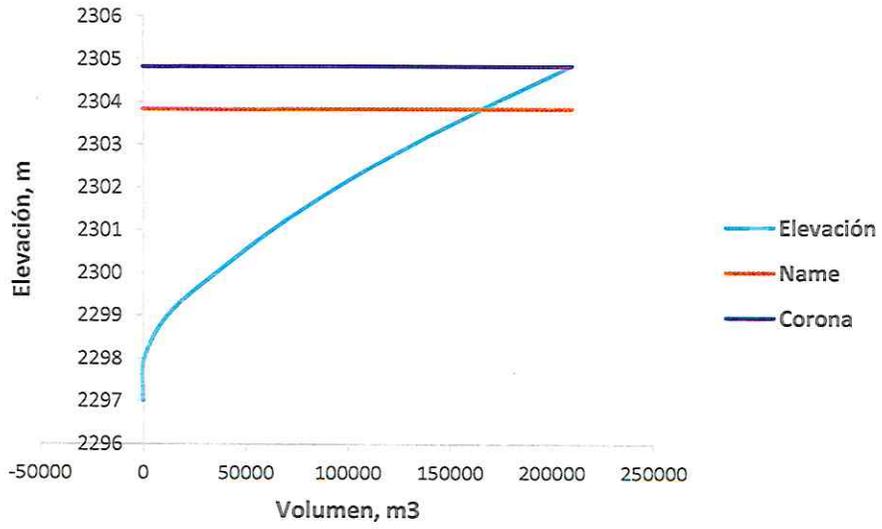


Figura 1.18 Curva volumen-elevación de la presa Tecamachalco.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

## 2.- CÁLCULO DE TORMENTAS DE DISEÑO EN LA CUENCA DEL RÍO TACUBAYA.

La tormenta estadística permite dar una idea de las condiciones actuales de cada presa y los problemas que enfrentaran en el futuro, por lo que se hace uso de tormentas estadísticas asociadas a diferentes periodos de retorno. En este capítulo se describe la metodología utilizada para el cálculo de tormentas de diseño y su aplicación al sistema de presas en estudio Totolapa-Tacubaya-Ruiz Cortines, Becerra C y Tecamachalco.

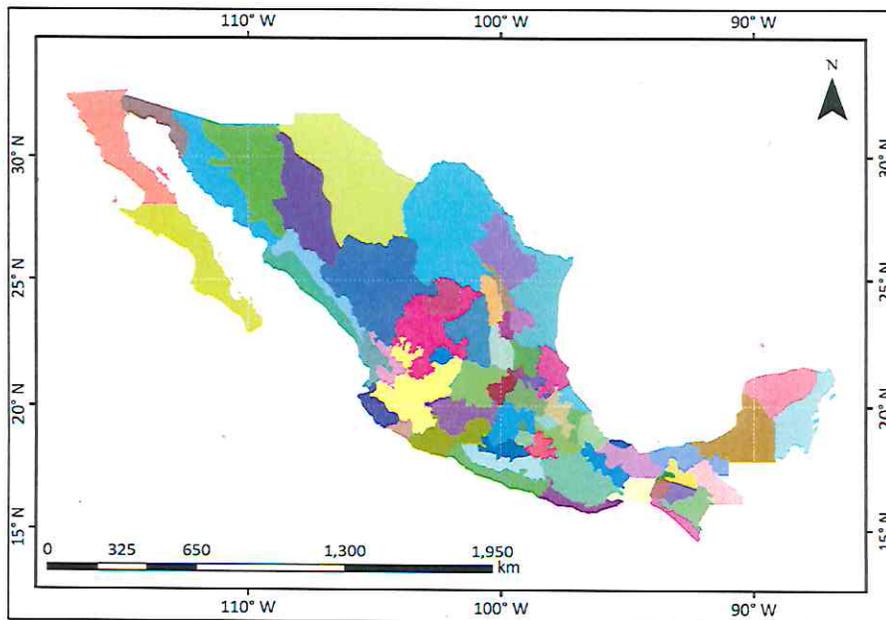
En este trabajo para la tormenta estadística, se consideró el estudio de regionalización de lluvias elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

En el año 2017 el Instituto de Ingeniería realizó un estudio para el CENAPRED donde se depuró la base de datos de precipitaciones del CLICOM. En dicho estudio se depuraron los datos de precipitaciones diarias máximas anuales de 5492 estaciones climatológicas a lo largo de toda la república mexicana y se hizo un análisis regional de precipitaciones tomando como frontera la división política de los estados.

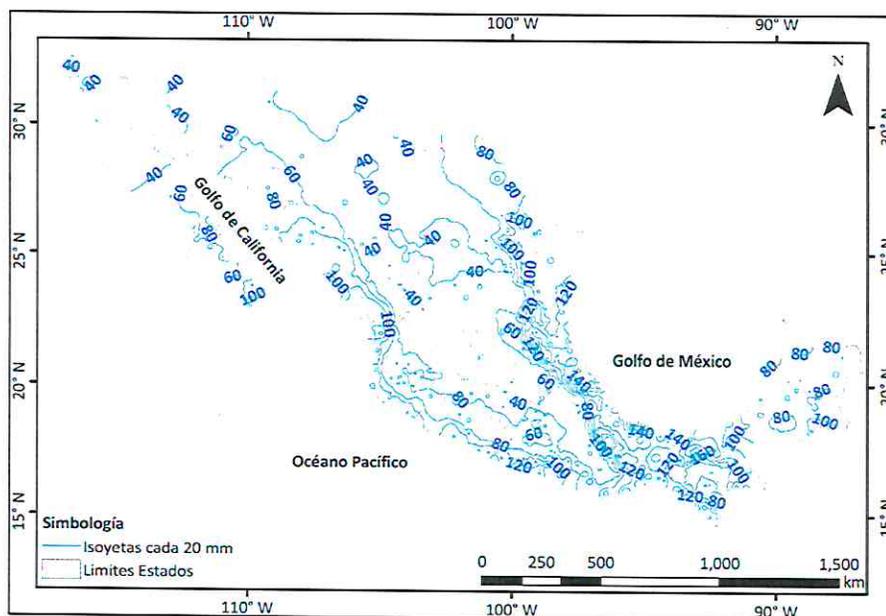
El estudio regional de precipitaciones realizado para el CENAPRED busca estimar precipitaciones de diseño, asociadas a distintos periodos de retorno, duraciones y áreas. Considerando un análisis regional de una base de datos depurada se logran resultados más confiables y espacialmente consistentes, evitando las inconsistencias que se obtienen cuando se analiza cada estación por separado.

Dentro del estudio de regionalización mencionado, se definieron un total de 66 regiones homogéneas (figura 2.1) de las cuales se obtuvieron los factores regionales para diferentes periodos de retorno a partir del mejor ajuste de una función de distribución de probabilidad.

Con esta base de datos depurada y el análisis regional de sus registros se construyeron mapas de isoyetas del promedio de las precipitaciones diarias máximas anuales (figura 2.2).



**Figura 2.1** Regiones definidas tomando en cuenta coeficientes de variación y condiciones topográficas y meteorológicas



**Figura 2.2** Isoyetas del promedio de las precipitaciones diarias máximas.

En el estudio de regionalización de la república mexicana se seleccionaron 2381 estaciones que cumplieran con los siguientes requisitos:

- Estaciones operando por al menos 20 años.
- Estaciones que efectivamente contaran con información completa para los 20 años.

- En el caso de las zonas centro y sur del país se incluyeron estaciones en las que los datos faltantes corresponden a la temporada de estiaje. En el noroeste, por la presencia de lluvias intensas en época invernal, sólo se incluyeron estaciones con registro completo.

En la tabla 2.1 se muestra el número de estaciones consideradas en cada estado, así como el promedio de años de registro correspondiente. A nivel nacional se seleccionaron 2381 estaciones que cumplen los requisitos mencionados, con un promedio de 37.5 años de registro.

**Tabla 2.1 Estaciones seleccionadas por estado.**

Entidad Federativa	Estudio 2017	
	N° Estaciones	Promedio de años de registro
Aguascalientes	50	44.58
Baja California Norte	37	33.35
Baja California Sur	74	41.20
Campeche	45	34.51
Chiapas	140	36.45
Chihuahua	58	37.74
Coahuila	35	37.06
Colima	16	48.81
<b>CDMX</b>	<b>34</b>	<b>34.26</b>
Durango	83	38.11
Edo Mx	113	32.93
Guanajuato	107	41.30
Guerrero	128	40.22
Hidalgo	65	42.94
Jalisco	185	40.76
Michoacán	94	37.17
Morelos	44	44.14
Nayarit	35	35.11
Nuevo León	99	34.15
Oaxaca	129	32.45
Puebla	98	40.08
Querétaro	34	30.09
Quintana Roo	30	33.77
San Luis Potosí	98	35.16
Sinaloa	51	34.20
Sonora	79	34.97
Tabasco	32	43.72
Tamaulipas	109	34.38
Tlaxcala	22	35.32
Veracruz	178	35.31
Yucatán	31	35.32
Zacatecas	50	35.62
<b>Total</b>	<b>2381</b>	<b>37.35</b>

Las cuencas de las presas por las que pasará el tren interurbano México-Toluca se ubican dentro de la CDMX.

Para cada una de las estaciones dentro de estas regiones se obtuvieron los valores diarios máximos anuales y se calculó su media, desviación estándar, coeficiente de variación, valor máximo, y valor mínimo.

Con los valores depurados y tomando en cuenta tanto los coeficientes de variación como la conformación topográfica (particularmente en relación con la incidencia de fenómenos meteorológicos extremos como los huracanes o las lluvias extremas de invierno), se definieron regiones homogéneas desde el punto de vista de las precipitaciones diarias máximas anuales, considerando que, si en una región los coeficientes de variación son similares y los valores máximos anuales de cada estación se dividen entre su media, las muestras que se obtienen tendrán media igual a 1 y una desviación estándar similar.

Las muestras homogéneas obtenidas para cada región estarán entonces conformadas por muchos más datos que los correspondientes a cada estación considerada individualmente (figura 2.3), de manera que los resultados obtenidos al ajustarles una función de distribución de probabilidades (figura 2.4) serán mucho más confiables y robustos.

Para el caso de la región homogénea CDMX se muestran los ajustes de la función de distribución de probabilidad Gumbel, así como, los factores regionales asociados a diferentes periodos de retorno.

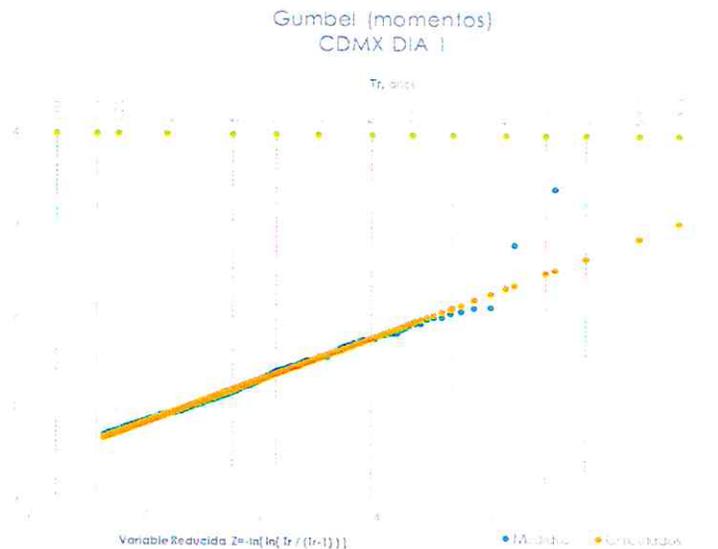
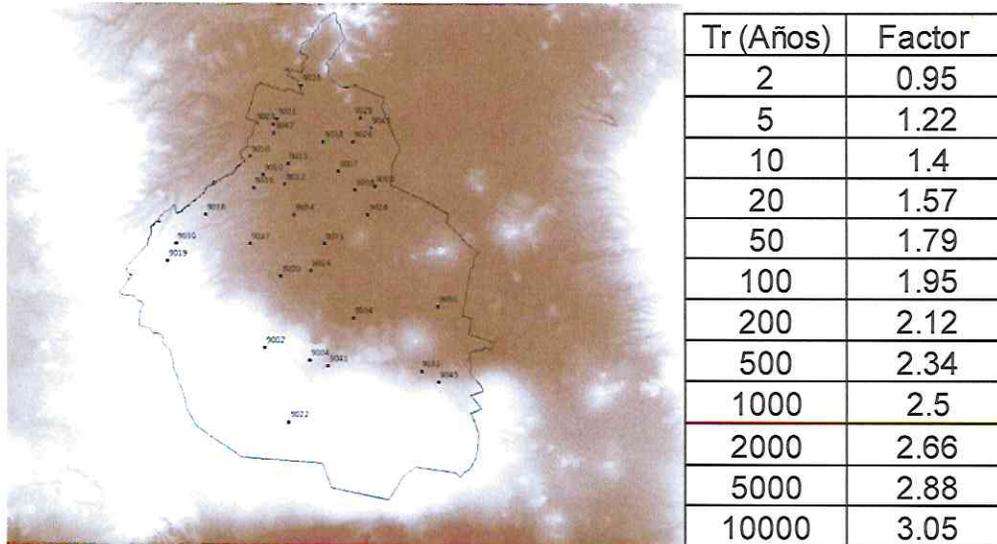
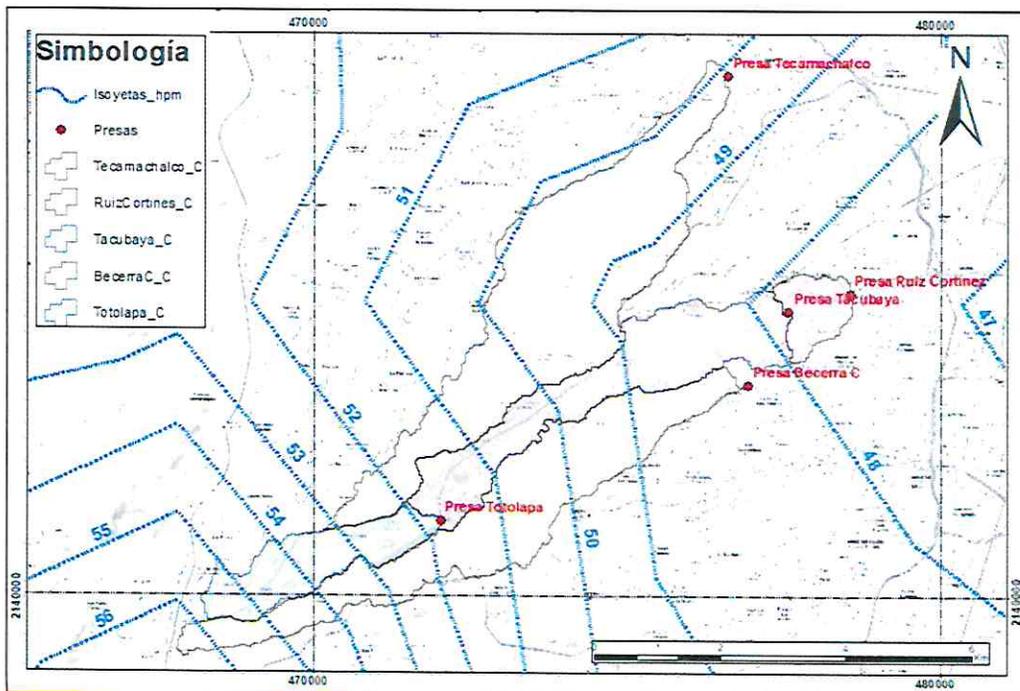


Figura 2.3 Ajuste de la función Gumbel a la región homogénea CDMX.



**Figura 2.4 Estaciones y factores regionales de la región homogénea CDMX.**

Con el análisis estadístico de las estaciones de cada región y con los factores regionales extrapolados del ajuste de función de distribución de probabilidad se construyeron los mapas de isoyetas de la media de precipitaciones máximas anuales para la zona de las presas del Tren Interurbano México-Toluca como se muestra en la figura 2.5.



**Figura 2.5 Mapa de isoyetas del promedio de las precipitaciones máximas anuales para las presas Totolapa, Tacubaya, Ruiz Cortines, Becerra C y Tecamachalco.**

## 2.1 Metodología aplicada para la obtención del hietograma de diseño:

El sistema de aguas SACMEX cuenta con una red de 78 pluviógrafos ubicados alrededor de la ciudad de México y el área metropolitana, debido a que se busca convertir la lluvia a escurrimiento para determinar los hidrogramas de entrada por cuenca propia a cada presa, se interpola la lluvia de cada pluviógrafo a cada una de las cuencas siguiendo la siguiente metodología:

1. Asociar a cada pluviógrafo (78) una precipitación media utilizando el mapa de isoyetas del promedio de las precipitaciones máximas anuales.
2. Determinar la precipitación máxima anual diaria para cada periodo de retorno.
3. Convertir la precipitación máxima anual diaria al valor correspondiente a una duración de 1 hora con los factores de convectividad propuestos por Baeza.
4. Convertir la precipitación de 1 hora en intervalos de 10 min. con los factores de Chen.
5. Aplicar el factor de reducción por área para las cuencas de estudio.
6. Obtener hietogramas de diseño para cada cuenca de presas y diferentes periodos de retorno.

Con base en el estudio de regionalización, con el mapa de isoyetas de las medias de la precipitación diaria máxima anual, a los 78 pluviógrafos se le asignó su correspondiente precipitación media mediante la interpolación de acuerdo con su ubicación.

La Figura 2.6 muestra la localización de la red de pluviógrafos de la Ciudad de México en el mapa de isoyetas de precipitación media.

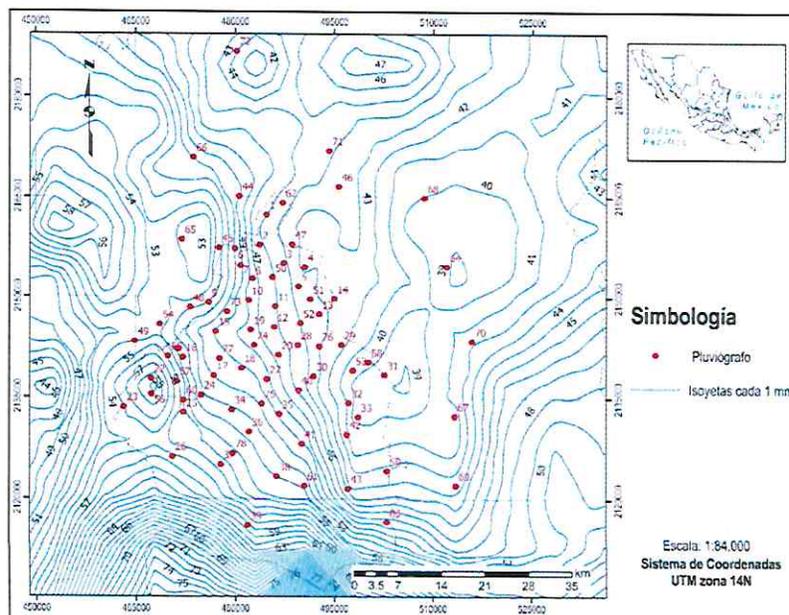


Figura 2.6. Mapa de isoyetas de precipitación media y pluviógrafos.

La precipitación media correspondiente a cada pluviógrafo se observa en la Tabla 2.2:

**Tabla 2.2. Precipitación media de cada pluviógrafo.**

No. estación	hpm [mm]						
1	45.05	21	51.62	41	48.00	61	50.61
2	45.31	22	57.42	42	41.18	62	44.53
3	44.22	23	54.96	43	43.78	63	47.42
4	42.06	24	50.37	44	48.00	64	39.18
5	43.72	25	53.34	45	51.43	65	53.20
6	48.85	26	55.21	46	43.52	66	49.00
7	48.26	27	47.27	47	43.44	67	40.86
8	46.65	28	44.45	48	51.20	68	39.95
9	50.87	29	42.18	49	53.00	69	42.60
10	46.81	30	43.53	50	45.10	70	41.76
11	45.10	31	39.52	51	43.33	71	44.13
12	45.24	32	40.69	52	44.00	72	43.10
13	43.30	33	39.90	53	40.52	73	48.65
14	42.61	34	50.17	54	52.17	74	46.66
15	47.97	35	47.79	55	53.76	75	48.75
16	51.70	36	50.58	56	57.72	76	43.06
17	48.98	37	53.54	57	54.23	77	48.41
18	48.11	38	51.00	58	40.25	78	52.27
19	46.42	39	57.31	59	42.25		
20	45.69	40	44.85	60	53.29		

### 2.1.1 Precipitación máxima anual diaria asociada a diferentes periodos de retorno.

En el estudio de regionalización de lluvias la Ciudad de México y el Estado de México quedaron conformados en una región homogénea, respectivamente, para las cuales se determinaron factores regionales asociados a diferentes periodos de retorno; en la Tabla 2.3 se muestran dichos factores.

**Tabla 2.3 Factores regionales**

Tr [años]	Ciudad de México	Estado de México
2	0.95	0.95
5	1.22	1.22
10	1.40	1.40
20	1.57	1.57
50	1.79	1.79
100	1.95	1.95
200	2.12	2.12
500	2.34	2.33
1000	2.50	2.50
2000	2.66	2.66
5000	2.88	2.88
10000	3.05	3.04

Con los factores regionales y la precipitación media de cada pluviógrafo se determina la precipitación asociada a diferentes periodos de retorno. Para ello se identificaron los pluviógrafos que se encuentran en la Ciudad de México y en el Estado de México para poder ser afectados por su correspondiente factor regional.

A manera de ejemplo la Tabla 2.4 es el cálculo de la precipitación máxima anual diaria asociada a diferentes periodos de retorno de los primeros pluviógrafos, la cual se determina como sigue:

$$hp_{24h}^{Tr} = hpm * FR$$

Donde:

- $hp_{24h}^{Tr}$  precipitación máxima anual diaria asociada a un periodo de retorno (mm).
- $hpm$  precipitación media (mm).
- $FR$  factor regional (1).

**Tabla 2.4 Precipitación asociada a diferentes periodos de retorno [mm].**

No. Estación	hpm [mm]	Tr 2	Tr 5	Tr 10	Tr 20	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500	Tr 1000	Tr 2000	Tr 5000	Tr 10000
1	45.05	42.79	54.96	63.06	70.72	80.63	87.84	95.50	105.41	112.62	119.82	129.73	137.39
2	45.31	43.04	55.28	63.43	71.13	81.10	88.35	96.05	106.02	113.27	120.52	130.49	138.19
3	44.22	42.01	53.95	61.91	69.43	79.16	86.23	93.75	103.48	110.55	117.63	127.36	134.87
4	42.06	39.96	51.31	58.88	66.03	75.28	82.01	89.16	98.42	105.15	111.87	121.13	128.28
5	43.72	41.53	53.34	61.21	68.64	78.26	85.25	92.68	102.30	109.30	116.29	125.91	133.34
6	48.85	46.41	59.60	68.39	76.70	87.45	95.26	103.57	114.32	122.13	129.95	140.70	149.00
7	48.26	45.84	58.87	67.56	75.76	86.38	94.10	102.30	112.92	120.64	128.36	138.98	147.18
8	46.65	44.32	56.91	65.31	73.24	83.50	90.97	98.90	109.16	116.63	124.09	134.35	142.28
9	50.87	48.33	62.07	71.22	79.87	91.06	99.20	107.85	119.04	127.18	135.32	146.52	155.16
10	46.81	44.47	57.11	65.53	73.49	83.79	91.28	99.24	109.53	117.02	124.51	134.81	142.77

### 2.1.2 Precipitación con duración de 1 hora.

Con el mapa de los factores de convectividad obtenidos por Baeza (2007), se determina la precipitación con duración de 1 hora, multiplicando la de un día por el factor correspondiente, en este caso para todas las cuencas del poniente el factor es  $R=0.65$  como se muestra en la Figura 2.7.

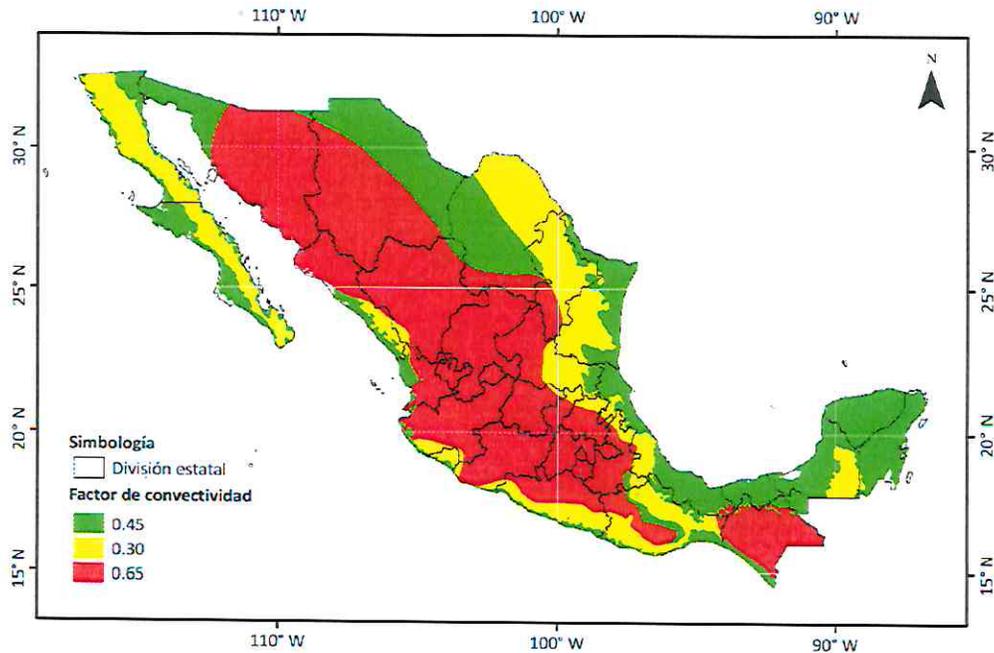


Figura 2.7. Mapa de factor de convectividad.

Una vez identificadas las áreas de estudio en el mapa de la Figura 2.7, se aplica la siguiente relación:

$$R = \frac{P_{1h}^{Tr}}{P_{24h}^{Tr}}$$

Donde:

- $R$  factor de convectividad correspondiente al mapa de la figura 2.7
- $P_{1h}^{Tr}$  precipitación con duración de 1 hora (mm).
- $P_{24h}^{Tr}$  precipitación con duración de 24 horas (mm).

La Tabla 2.5 es la precipitación con duración de 1 hora para diferentes periodos de retorno, de los primeros 10 pluviógrafos.

Tabla 2.5. Precipitación con duración de 1 hora para diferentes periodos de retorno [mm].

No. estación	Tr 2	Tr 5	Tr 10	Tr 20	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500	Tr 1000	Tr 2000	Tr 5000	Tr 10000
1	27.82	35.72	40.99	45.97	52.41	57.10	62.07	68.52	73.20	77.89	84.33	89.30
2	27.98	35.93	41.23	46.24	52.72	57.43	62.43	68.91	73.63	78.34	84.82	89.82
3	27.31	35.07	40.24	45.13	51.45	56.05	60.94	67.26	71.86	76.46	82.78	87.67
4	25.97	33.35	38.27	42.92	48.93	53.31	57.96	63.97	68.34	72.72	78.73	83.38
5	27.00	34.67	39.78	44.62	50.87	55.41	60.24	66.50	71.04	75.59	81.84	86.67
6	30.17	38.74	44.46	49.85	56.84	61.92	67.32	74.30	79.39	84.47	91.45	96.85
7	29.80	38.27	43.91	49.25	56.15	61.17	66.50	73.40	78.42	83.44	90.34	95.67

8	28.81	36.99	42.45	47.61	54.28	59.13	64.28	70.96	75.81	80.66	87.33	92.48
9	31.41	40.34	46.30	51.92	59.19	64.48	70.10	77.38	82.67	87.96	95.24	100.86
10	28.90	37.12	42.60	47.77	54.46	59.33	64.50	71.20	76.07	80.93	87.63	92.80

### 2.1.3 Precipitación con duraciones menores de 1 hora.

La precipitación con duración de 1 hora, es afectada por los factores  $R$  de Chen, que consideran duraciones menores y mayores a 1 hora hasta 24 horas. Los factores de Chen dependen del factor de Baeza, como se muestra en la Tabla 3.11.

Para determinar la precipitación con duraciones diferentes a 1 hora se aplica la siguiente relación:

$$K = \frac{P_d^{Tr}}{P_{1h}^{Tr}}$$

Donde:

$K$  factor de convectividad de Chen que depende del valor del factor de convectividad  $R$

$P_d^{Tr}$  precipitación para diferentes duraciones, menores y mayores a 1 hora hasta 24 horas (mm).

$P_{1h}^{Tr}$  precipitación con duración de 1 hora (mm).

**Tabla 2.6. Relación  $K = P_d^{Tr}/P_{1h}^{Tr}$  en función de  $R$  y la duración  $d$ .**

d [min]	d [hrs]	K en función de d y el factor de convectividad R						
		R=0.10	R=0.20	R=0.30	R=0.40	R=0.50	R=0.60	R=0.65
10	0.17	0.292	0.390	0.432	0.454	0.469	0.481	0.487
20	0.33	0.462	0.566	0.618	0.648	0.670	0.688	0.695
30	0.50	0.612	0.700	0.745	0.773	0.793	0.809	0.816
40	0.67	0.749	0.812	0.844	0.865	0.879	0.891	0.896
50	0.83	0.878	0.911	0.928	0.938	0.946	0.952	0.955
<b>60</b>	<b>1</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
70	1.17	1.117	1.082	1.064	1.053	1.045	1.039	1.036
80	1.33	1.229	1.158	1.123	1.101	1.085	1.072	1.067
90	1.50	1.338	1.230	1.176	1.143	1.119	1.100	1.092
100	1.67	1.444	1.298	1.226	1.182	1.150	1.125	1.114
110	1.83	1.546	1.362	1.273	1.217	1.177	1.147	1.134
120	2	1.647	1.424	1.316	1.250	1.203	1.166	1.151
130	2.17	1.745	1.483	1.358	1.281	1.226	1.184	1.167
140	2.33	1.841	1.540	1.397	1.310	1.248	1.200	1.181
150	2.50	1.935	1.595	1.435	1.337	1.268	1.215	1.194

160	2.67	2.028	1.648	1.470	1.363	1.287	1.229	1.205
170	2.83	2.119	1.699	1.505	1.387	1.305	1.242	1.216
180	3	2.208	1.749	1.538	1.411	1.321	1.254	1.226
190	3.17	2.296	1.798	1.570	1.433	1.337	1.265	1.236
200	3.33	2.383	1.845	1.601	1.455	1.353	1.276	1.245
210	3.50	2.469	1.891	1.630	1.475	1.367	1.286	1.253
220	3.67	2.554	1.936	1.659	1.495	1.381	1.295	1.261
230	3.83	2.638	1.980	1.687	1.514	1.394	1.304	1.268
240	4	2.720	2.023	1.715	1.533	1.407	1.313	1.275
250	4.17	2.802	2.066	1.741	1.550	1.419	1.321	1.282
260	4.33	2.883	2.107	1.767	1.568	1.431	1.329	1.289
270	4.50	2.963	2.148	1.792	1.585	1.442	1.337	1.295
280	4.67	3.043	2.188	1.817	1.601	1.453	1.344	1.300
290	4.83	3.121	2.227	1.841	1.617	1.464	1.351	1.306
300	5	3.199	2.265	1.864	1.632	1.474	1.358	1.311
310	5.17	3.276	2.303	1.887	1.647	1.484	1.364	1.317
320	5.33	3.352	2.340	1.910	1.662	1.494	1.371	1.322
330	5.50	3.428	2.377	1.932	1.676	1.503	1.377	1.326
340	5.67	3.503	2.413	1.953	1.690	1.513	1.383	1.331
350	5.83	3.578	2.449	1.975	1.704	1.522	1.388	1.336
360	6	3.652	2.484	1.996	1.717	1.530	1.394	1.340
370	6.17	3.726	2.519	2.016	1.731	1.539	1.399	1.344
380	6.33	3.798	2.553	2.036	1.743	1.547	1.404	1.348
390	6.50	3.871	2.586	2.056	1.756	1.555	1.410	1.352
400	6.67	3.943	2.620	2.075	1.768	1.563	1.414	1.356
410	6.83	4.014	2.653	2.095	1.780	1.571	1.419	1.360
420	7	4.085	2.685	2.113	1.792	1.578	1.424	1.363
430	7.17	4.156	2.717	2.132	1.804	1.586	1.429	1.367
440	7.33	4.226	2.749	2.150	1.815	1.593	1.433	1.370
450	7.50	4.295	2.780	2.168	1.827	1.600	1.437	1.374
460	7.67	4.365	2.811	2.186	1.838	1.607	1.442	1.377
470	7.83	4.433	2.842	2.203	1.849	1.614	1.446	1.380
480	8	4.502	2.872	2.221	1.859	1.621	1.450	1.383
490	8.17	4.570	2.903	2.238	1.870	1.627	1.454	1.386
500	8.33	4.637	2.932	2.255	1.880	1.634	1.458	1.389
510	8.50	4.705	2.962	2.271	1.890	1.640	1.462	1.392
520	8.67	4.772	2.991	2.288	1.900	1.647	1.466	1.395
530	8.83	4.838	3.020	2.304	1.910	1.653	1.469	1.398
540	9	4.905	3.049	2.320	1.920	1.659	1.473	1.401
550	9.17	4.970	3.077	2.336	1.930	1.665	1.476	1.403
560	9.33	5.036	3.105	2.351	1.939	1.671	1.480	1.406
570	9.50	5.101	3.133	2.367	1.949	1.676	1.483	1.409
580	9.67	5.166	3.161	2.382	1.958	1.682	1.487	1.411

590	9.83	5.231	3.188	2.397	1.967	1.688	1.490	1.414
600	10	5.295	3.215	2.412	1.976	1.693	1.493	1.416
610	10.17	5.359	3.242	2.427	1.985	1.699	1.497	1.418
620	10.33	5.423	3.269	2.441	1.994	1.704	1.500	1.421
630	10.50	5.487	3.295	2.456	2.002	1.709	1.503	1.423
640	10.67	5.550	3.322	2.470	2.011	1.714	1.506	1.425
650	10.83	5.613	3.348	2.484	2.019	1.720	1.509	1.428
660	11	5.676	3.374	2.498	2.028	1.725	1.512	1.430
670	11.17	5.738	3.399	2.512	2.036	1.730	1.515	1.432
680	11.33	5.800	3.425	2.526	2.044	1.735	1.518	1.434
690	11.50	5.862	3.450	2.540	2.052	1.740	1.520	1.436
700	11.67	5.924	3.475	2.553	2.060	1.744	1.523	1.438
710	11.83	5.986	3.500	2.567	2.068	1.749	1.526	1.440
720	12	6.047	3.525	2.580	2.076	1.754	1.529	1.442
730	12.17	6.108	3.550	2.593	2.084	1.758	1.531	1.444
740	12.33	6.169	3.574	2.606	2.092	1.763	1.534	1.446
750	12.50	6.229	3.598	2.619	2.099	1.768	1.537	1.448
760	12.67	6.290	3.622	2.632	2.107	1.772	1.539	1.450
770	12.83	6.350	3.646	2.645	2.114	1.777	1.542	1.452
780	13	6.410	3.670	2.657	2.121	1.781	1.544	1.454
790	13.17	6.469	3.694	2.670	2.129	1.785	1.547	1.456
800	13.33	6.529	3.717	2.682	2.136	1.790	1.549	1.457
810	13.50	6.588	3.741	2.694	2.143	1.794	1.552	1.459
820	13.67	6.647	3.764	2.707	2.150	1.798	1.554	1.461
830	13.83	6.706	3.787	2.719	2.157	1.802	1.556	1.463
840	14	6.765	3.810	2.731	2.164	1.806	1.559	1.464
850	14.17	6.823	3.833	2.743	2.171	1.810	1.561	1.466
860	14.33	6.882	3.856	2.754	2.178	1.814	1.563	1.468
870	14.50	6.940	3.878	2.766	2.185	1.818	1.566	1.469
880	14.67	6.998	3.901	2.778	2.192	1.822	1.568	1.471
890	14.83	7.056	3.923	2.789	2.198	1.826	1.570	1.473
900	15	7.113	3.945	2.801	2.205	1.830	1.572	1.474
910	15.17	7.171	3.967	2.812	2.211	1.834	1.574	1.476
920	15.33	7.228	3.989	2.824	2.218	1.838	1.577	1.477
930	15.50	7.285	4.011	2.835	2.224	1.841	1.579	1.479
940	15.67	7.342	4.033	2.846	2.231	1.845	1.581	1.480
950	15.83	7.399	4.054	2.857	2.237	1.849	1.583	1.482
960	16	7.456	4.076	2.868	2.243	1.853	1.585	1.483
970	16.17	7.512	4.097	2.879	2.250	1.856	1.587	1.485
980	16.33	7.569	4.118	2.890	2.256	1.860	1.589	1.486
990	16.50	7.625	4.139	2.901	2.262	1.863	1.591	1.488
1000	16.67	7.681	4.160	2.912	2.268	1.867	1.593	1.489
1010	16.83	7.737	4.181	2.922	2.274	1.870	1.595	1.491

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

1020	17	7.792	4.202	2.933	2.280	1.874	1.597	1.492
1030	17.17	7.848	4.223	2.943	2.286	1.877	1.599	1.493
1040	17.33	7.903	4.244	2.954	2.292	1.881	1.601	1.495
1050	17.50	7.959	4.264	2.964	2.298	1.884	1.602	1.496
1060	17.67	8.014	4.285	2.975	2.304	1.888	1.604	1.498
1070	17.83	8.069	4.305	2.985	2.310	1.891	1.606	1.499
1080	18	8.123	4.325	2.995	2.315	1.894	1.608	1.500
1090	18.17	8.178	4.345	3.005	2.321	1.898	1.610	1.501
1100	18.33	8.233	4.365	3.015	2.327	1.901	1.612	1.503
1110	18.50	8.287	4.385	3.026	2.332	1.904	1.613	1.504
1120	18.67	8.342	4.405	3.035	2.338	1.907	1.615	1.505
1130	18.83	8.396	4.425	3.045	2.344	1.910	1.617	1.507
1140	19	8.450	4.445	3.055	2.349	1.914	1.619	1.508
1150	19.17	8.504	4.464	3.065	2.355	1.917	1.620	1.509
1160	19.33	8.557	4.484	3.075	2.360	1.920	1.622	1.510
1170	19.50	8.611	4.503	3.085	2.366	1.923	1.624	1.511
1180	19.67	8.665	4.523	3.094	2.371	1.926	1.625	1.513
1190	19.83	8.718	4.542	3.104	2.376	1.929	1.627	1.514
1200	20	8.771	4.561	3.113	2.382	1.932	1.629	1.515
1210	20.17	8.825	4.580	3.123	2.387	1.935	1.630	1.516
1220	20.33	8.878	4.599	3.132	2.392	1.938	1.632	1.517
1230	20.50	8.931	4.618	3.142	2.397	1.941	1.634	1.519
1240	20.67	8.983	4.637	3.151	2.403	1.944	1.635	1.520
1250	20.83	9.036	4.656	3.160	2.408	1.947	1.637	1.521
1260	21	9.089	4.675	3.170	2.413	1.950	1.638	1.522
1270	21.17	9.141	4.694	3.179	2.418	1.953	1.640	1.523
1280	21.33	9.194	4.712	3.188	2.423	1.956	1.642	1.524
1290	21.50	9.246	4.731	3.197	2.428	1.958	1.643	1.525
1300	21.67	9.298	4.749	3.206	2.433	1.961	1.645	1.526
1310	21.83	9.350	4.768	3.215	2.438	1.964	1.646	1.527
1320	22	9.402	4.786	3.224	2.443	1.967	1.648	1.529
1330	22.17	9.454	4.804	3.233	2.448	1.970	1.649	1.530
1340	22.33	9.506	4.822	3.242	2.453	1.972	1.651	1.531
1350	22.50	9.557	4.840	3.251	2.458	1.975	1.652	1.532
1360	22.67	9.609	4.859	3.260	2.463	1.978	1.654	1.533
1370	22.83	9.660	4.877	3.269	2.467	1.981	1.655	1.534
1380	23	9.711	4.894	3.277	2.472	1.983	1.657	1.535
1390	23.17	9.763	4.912	3.286	2.477	1.986	1.658	1.536
1400	23.33	9.814	4.930	3.295	2.482	1.989	1.659	1.537
1410	23.50	9.865	4.948	3.303	2.486	1.991	1.661	1.538
1420	23.67	9.916	4.965	3.312	2.491	1.994	1.662	1.539
1430	23.83	9.966	4.983	3.320	2.496	1.997	1.664	1.540
1440	24	10.017	5.001	3.329	2.500	1.999	1.665	1.541

*Handwritten signature*

*Handwritten signature*

Los factores  $K$  de Chen fueron ajustados para obtener la precipitación en intervalos de 10 minutos. La Tabla 2.7 es la precipitación a cada 10 minutos, sólo se muestran los primeros 110 minutos de los primeros 10 pluviógrafos para un periodo de retorno de 50 años.

**Tabla 2.7. Precipitación para intervalos de 10 minutos (mm).**

No. Estación	Tr 50, d=1h	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min
1	52.41	25.51	36.43	42.74	46.96	50.04	52.41	54.32	55.90	57.25	58.41	59.43
2	52.72	25.66	36.65	42.99	47.23	50.33	52.72	54.64	56.23	57.58	58.75	59.77
3	51.45	25.05	35.77	41.96	46.10	49.12	51.45	53.33	54.88	56.20	57.34	58.34
4	48.93	23.82	34.02	39.91	43.85	46.72	48.93	50.72	52.20	53.45	54.53	55.49
5	50.87	24.76	35.36	41.48	45.58	48.56	50.87	52.72	54.26	55.56	56.69	57.68
6	56.84	27.67	39.51	46.36	50.93	54.26	56.84	58.91	60.63	62.09	63.35	64.45
7	56.15	27.33	39.03	45.79	50.31	53.60	56.15	58.19	59.89	61.33	62.57	63.66
8	54.28	26.42	37.73	44.27	48.63	51.82	54.28	56.26	57.90	59.29	60.49	61.55
9	59.19	28.81	41.15	48.27	53.04	56.51	59.19	61.35	63.14	64.65	65.97	67.12
10	54.46	26.51	37.86	44.42	48.80	52.00	54.46	56.45	58.09	59.49	60.70	61.76

#### 2.1.4 Aplicación de factor de reducción por área (FRA).

Para evitar sobreestimar los hietogramas de diseño debido a la simultaneidad de las lluvias, se aplica el factor de reducción por área, el cual convierte las precipitaciones de puntuales en areales.

La tabla 2.8 muestra el FRA para el estudio tomando en cuenta las áreas de las cuencas Totolapa, Tacubaya, Ruíz Cortines, Becerra C y Tecamachalco.

**Tabla 2.8. Factor de Reducción por Área.**

Presa	Área [km <sup>2</sup> ]	Área total [km <sup>2</sup> ]	Factor Reducción por área [1]
Becerra C	7.54	28.49	0.80
Totolapa	2.83		
Tacubaya	5.59		
Ruiz Cortines	1.13		
Tecamachalco	11.4		

El factor de reducción por área se determinó con la siguiente ecuación.

$$FRA = -0.052 \ln(A) + 0.9782$$

Finalmente, el hietograma de diseño se construye para los distintos periodos de retorno. Eso se hace utilizando el método de bloques alternos, es decir se alternan de derecha a izquierda los incrementos de precipitación.

Las Figuras 2.8 y 2.9 corresponden a los hietogramas de diseño de las estaciones 1 y 10, en este caso para un periodo de retorno de 50 años.

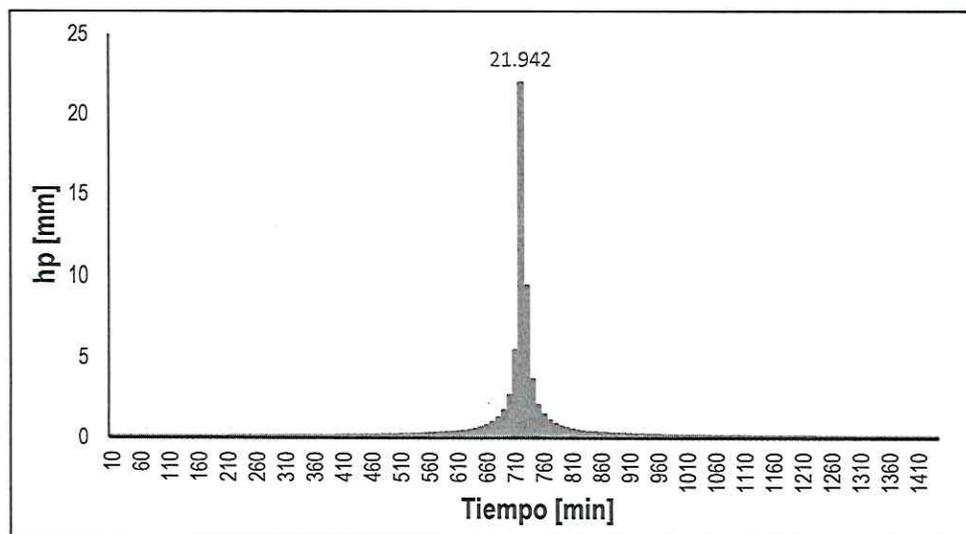


Figura 2.8. Hietograma del pluviógrafo 1 correspondiente a  $T_r= 50$  años.

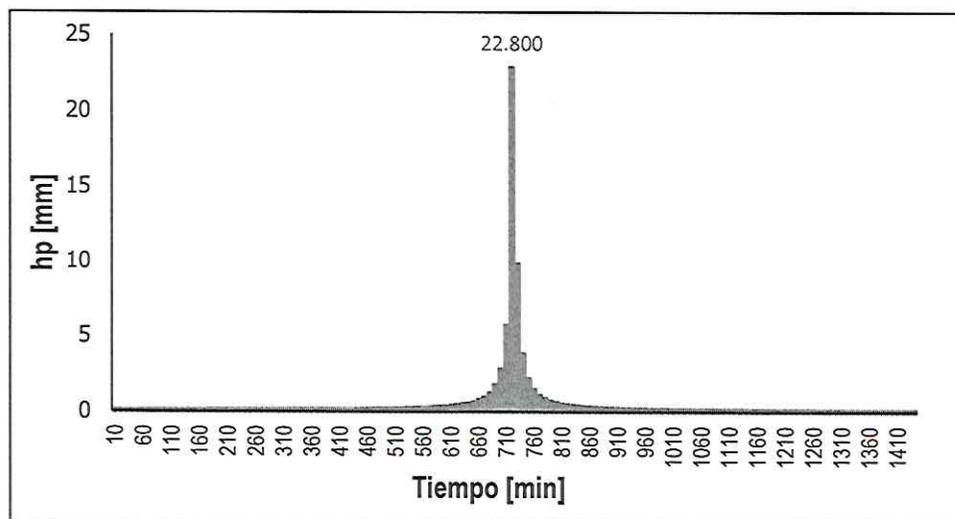
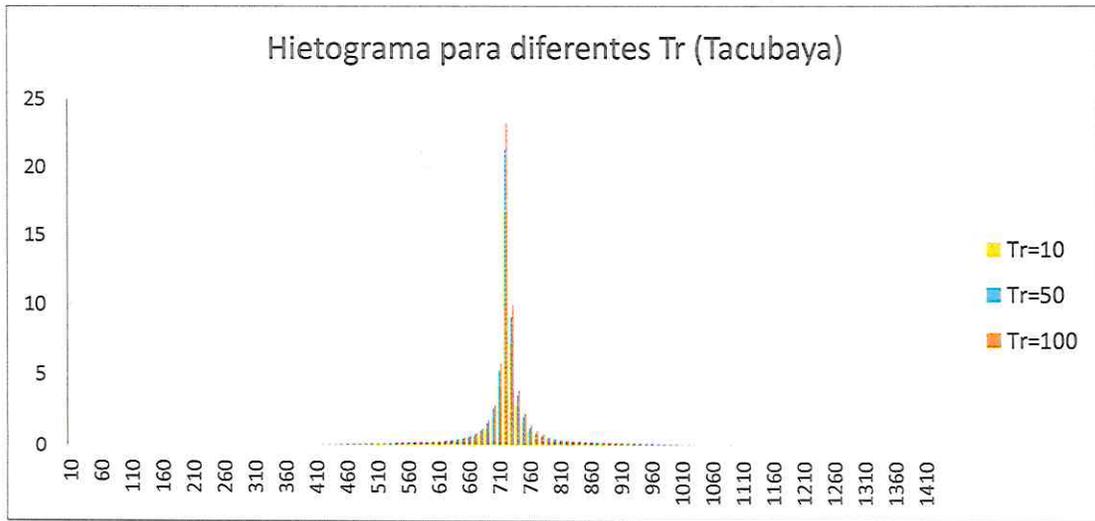
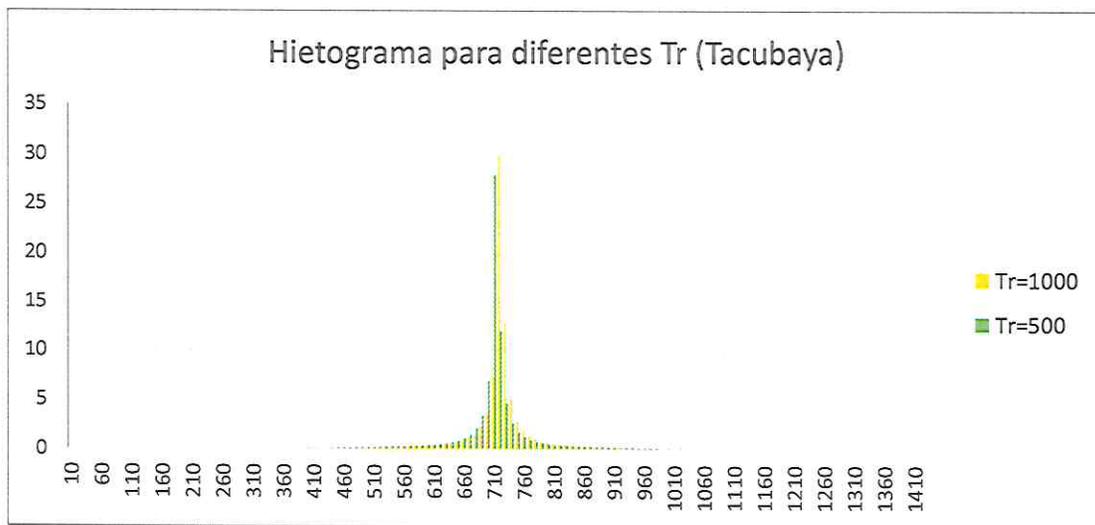


Figura 2.9. Hietograma del pluviógrafo 10 correspondiente a  $T_r= 50$  años.

Utilizando el modelo MPE desarrollado en el Instituto de Ingeniería se interpoló la lluvia de todos los pluviógrafos a cada una de las cuencas para obtener el hietograma de precipitación media de cada una. La siguiente figura muestra el hietograma de precipitación media para la cuenca de la presa Tacubaya y diferentes periodos de retorno.



**Figura 2.10** Hietogramas de diseño para diferentes periodos de retorno en la cuenca Tacubaya.



**Figura 2.11** Hietogramas de diseño para diferentes periodos de retorno en la cuenca Tacubaya.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

### 3.- CÁLCULO DE LAS AVENIDAS DE DISEÑO POR CUENCA PROPIA DE LAS PRESAS TOTOLAPA, TACUBAYA Y RUIZ CORTINES.

Para la obtención de las avenidas de diseño se utilizó el modelo de parámetros distribuidos MPE desarrollado en el instituto de ingeniería.

El *Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE)* tiene la finalidad de pronosticar escurrimientos de una cuenca empleando un modelo de parámetros distribuidos. Para determinar la precipitación distribuida en la cuenca en estudio, se usa el Método de Shepard, este método es muy parecido al inverso de la distancia, solo que hace uso de mínimos cuadrados. La precipitación distribuida se obtiene con la asignación de un factor de peso a todas las estaciones pluviográficas cercanas al punto de interés. La producción del escurrimiento se determina con el método de número de curva del Soil Conservation Service.

Finalmente, para la transferencia de escurrimiento se usa el método de Clark modificado, que traslada el escurrimiento producido en cada celda hasta la salida de la cuenca después de haber transcurrido un tiempo, el cual es el tiempo de viaje.

Para cada cuenca en particular es necesario calibrar los parámetros de pérdidas: *factor de escala de pérdida inicial* ( $\lambda$ ), *factor de escala de retención potencial* ( $S$ ) y *factor de olvido* ( $f_x$ ), y los parámetros de forma: *tiempo de concentración* ( $T_c$ ) y *coeficiente de almacenamiento* ( $k$ ).

El **factor de escala de pérdida inicial** ( $\lambda$ ), relaciona la infiltración inicial con la infiltración máxima. El **factor de escala de retención potencial** ( $S$ ), modifica la retención potencial del suelo y, por lo tanto, el valor del número de curva. A diferencia de otros modelos, *MPE* toma en cuenta la evapotranspiración que hay de un evento de lluvia a otro, para ello se introduce el **factor de olvido** que disminuye el peso de las lluvias previas al instante en que se realiza el cálculo.

El valor de factor de olvido está entre 0 a 1. Si se requiere menor evapotranspiración y mayor escurrimiento se aumenta el factor, de otra manera para mayor evapotranspiración y menor escurrimiento se disminuye el valor del factor de olvido.

En cuanto a los parámetros de forma se considera el **tiempo de concentración** ( $t_c$ ), el cual se refiere al tiempo que tarda la precipitación excedente en transitar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida, la ecuación usada fue la de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 * \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Donde:

- $t_c$  tiempo de concentración (h).
- $L$  longitud del cauce principal (m).
- $S$  pendiente del cauce principal (m).

Otro parámetro de forma es el **coeficiente de almacenamiento** ( $k$ ), este es una medida de retraso provocado por el efecto del almacenamiento natural, de manera práctica se determina como:

$$k = 0.6 tc$$

Donde:

- $tc$  tiempo de concentración (h).
- $k$  coeficiente de almacenamiento (h).

La figura 3.1 se muestra la interfaz del programa; del lado izquierdo tenemos los valores ingresados para los parámetros de pérdidas y los de forma. En el lado derecho superior se observa el hietograma ingresado, y en la parte inferior se tiene la avenida calculada.

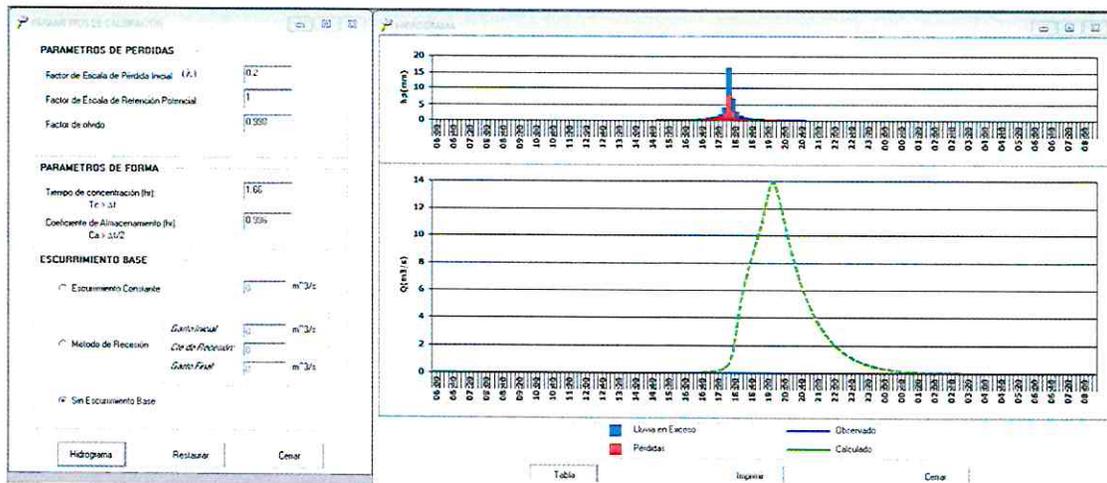


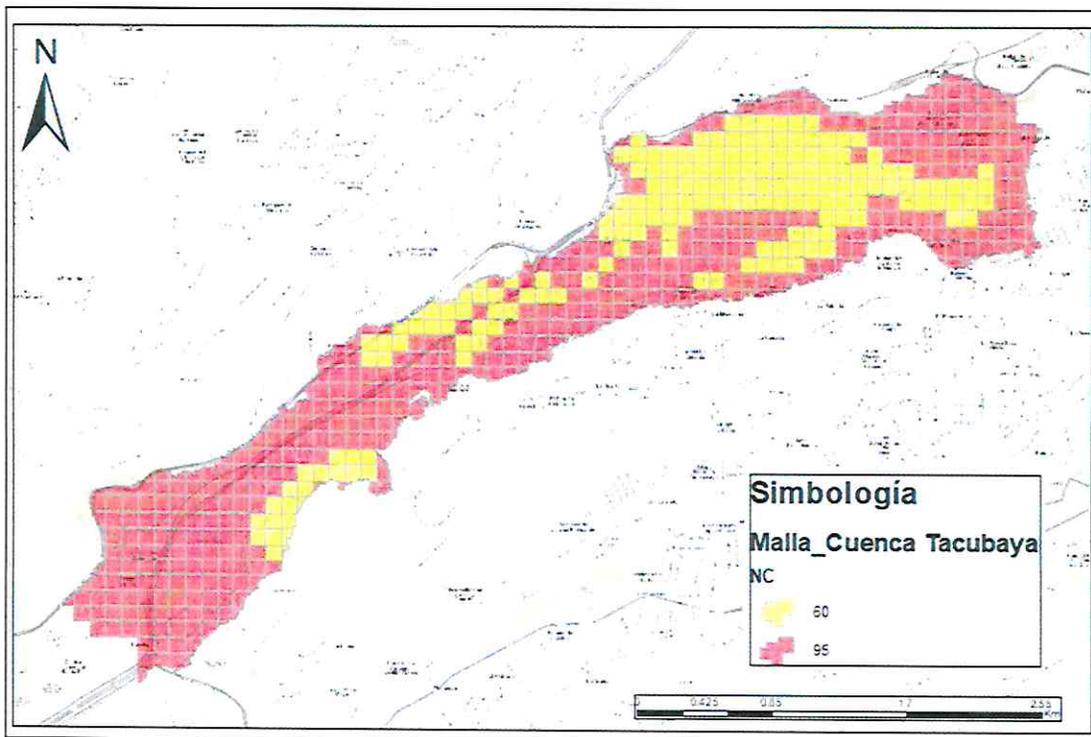
Figura 3.1 Interfaz del software MPE.

### 3.1 Calibración del modelo MPE.

Los archivos de entrada que requiere MPE son: archivo de celdas y archivo con lluvias. *El archivo de celdas* contiene información de la cuenca repartida en celdas, cada celda tiene coordenadas SHG del centro de la celda, longitud de viaje, área y número de curva. Por ello, se hizo un análisis para identificar el uso y tipo de suelo que hay en las cuencas y determinar el número de curva (CN) que existe en condiciones actuales. Todos estos archivos también se determinaron con el software ArcView. (Figura 3.2)

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*



**Figura 3.2 Malla 100 m x 100 m de la cuenca Tacubaya y el número de curva asignado a cada celda.**

Con la información de cada tormenta se construyó el *archivo con lluvias*, que contiene las coordenadas UTM (X, Y) de las estaciones seleccionadas, además el valor de lluvia en intervalos  $\Delta t=10$  min, durante la tormenta.

Debido a que a la salida de las cuencas de las presas no se cuenta con una estación hidrométrica, no es posible hacer la comparación de los resultados calculados con los observados, por lo tanto, se consideraron los parámetros de pérdidas que recomienda la literatura; es decir:

1. Factor de escala de pérdida inicial ( $\lambda$ )= 0.2
2. Factor de escala de retención potencial ( $S$ )= 1
3. Factor de olvido ( $f_x$ )= 0.998

Los parámetros de forma dependen del tiempo de concentración ( $t_c$ ) de cada cuenca, dicho parámetro se determinó con la ecuación de Kirpich.

La Figura 3.3 muestra los parámetros ingresados a *MPE* para la cuenca de la presa Tacubaya.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

PARAMETROS DE PERDIDAS	
Factor de Escala de Pérdida Inicial ( $\lambda$ )	0.2
Factor de Escala de Retención Potencial	1
Factor de olvido	0.998

PARAMETROS DE FORMA	
Tiempo de concentración (hr): $T_c > \Delta t$	1.66
Coefficiente de Almacenamiento (hr): $C_a > \Delta t/2$	0.996

Figura 3.3 Parámetros de pérdidas y forma de la presa Tacubaya.

### 3.2 Obtención de avenidas de entrada por cuenca propia a cada presa.

Las siguientes figuras muestran los hidrogramas de entrada a cada presa, obtenidos con el modelo MPE, seguidos por una tabla resumen que muestra las principales características de la precipitación y el escurrimiento obtenidos.

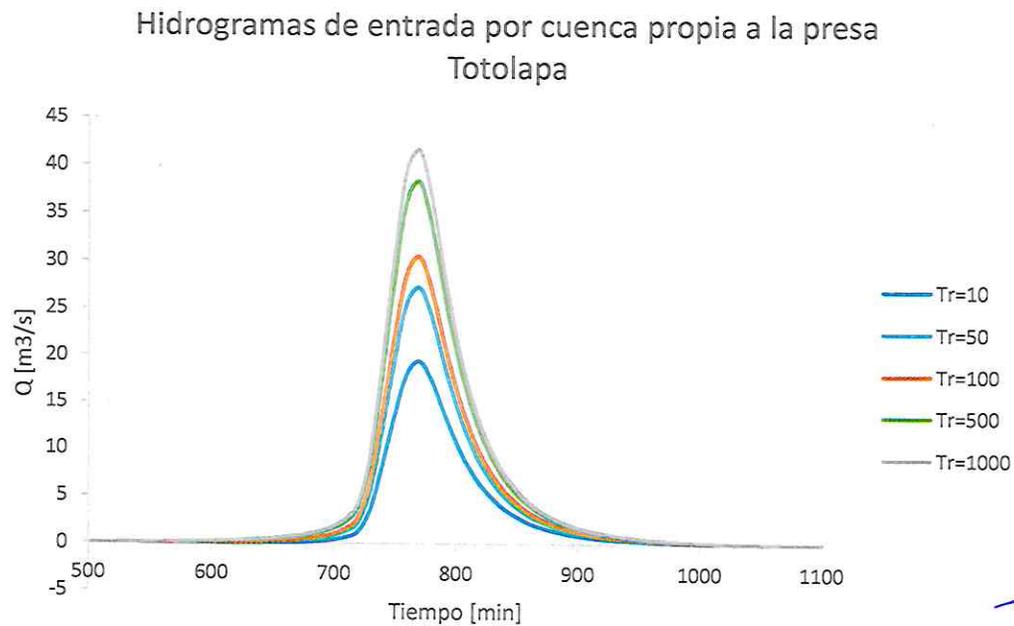
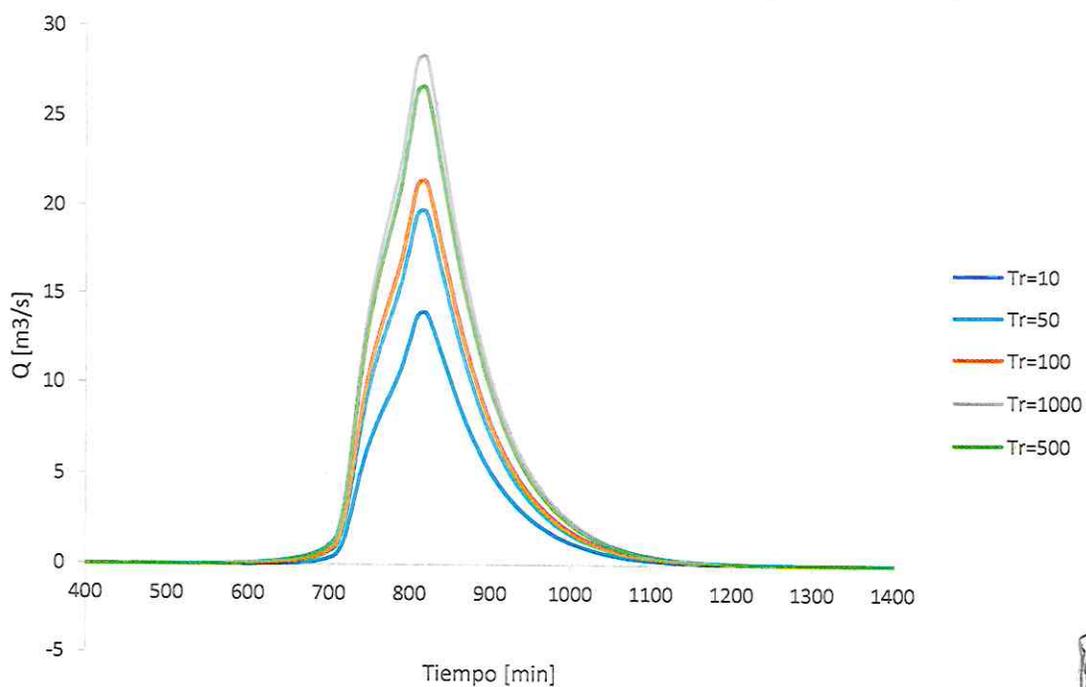


Figura 3.4 Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Totolapa para distintos Tr.

**Tabla 3.1 Resumen de los hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Totolapa**

Tabla Resumen						
Periodo de Retorno:	Tr=10	Tr= 50	Tr= 100	Tr=500	Tr= 1000	Años
Área de cuenca:	2.838					Km <sup>2</sup>
Lluvia media:	56.03	71.63	78.04	93.61	100.05	mm
Pérdidas:	25.42	28.25	29.30	31.65	32.55	mm
Lluvia en exceso:	30.61	43.38	48.74	61.97	67.49	mm
Volumen Total Observado:	47.50	123.10	138.30	175.84	191.52	miles m <sup>3</sup>
Gasto Máximo Calculado:	10.67	27.19	30.43	38.34	41.61	m <sup>3</sup> /s
CE	0.55	0.61	0.62	0.66	0.67	

Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Tacubaya

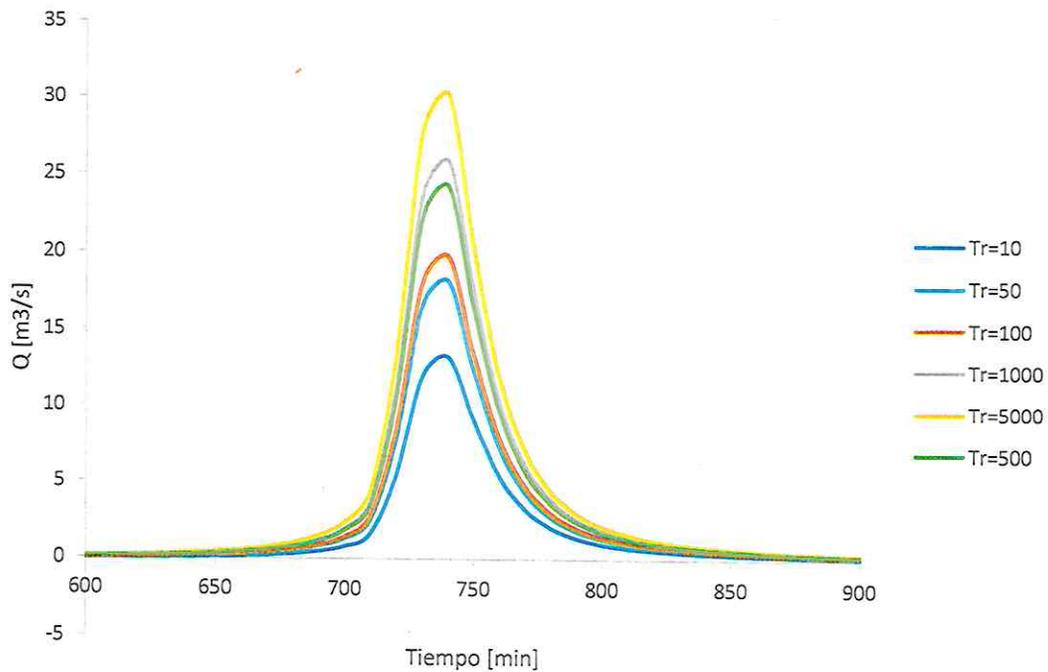


**Figura 3.5 Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Tacubaya para distintos Tr.**

**Tabla 3.2 Resumen de los hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Tacubaya.**

Tabla Resumen						
Periodo de Retorno:	Tr=10	Tr= 50	Tr= 100	Tr=500	Tr= 1000	Años
Área de cuenca:	5.596					Km <sup>2</sup>
Lluvia media:	52.81	67.52	73.561	88.24	94.30	mm
Pérdidas:	31.59	37.2	40.662	47.16	50.65	mm
Lluvia en exceso:	21.21	30.32	32.899	41.08	43.65	mm
Volumen Total Observado:	118.74	169.71	184.114	229.92	244.33	miles m <sup>3</sup>
Gasto Máximo Calculado:	13.92	19.69	21.377	26.56	28.25	m <sup>3</sup> /s
CE	0.40	0.45	0.45	0.47	0.46	

**Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Ruiz Cortines**



**Figura 3.6 Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Ruiz Cortines para distintos Tr.**

**Tabla 3.3 Resumen de los hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Tacubaya.**

Tabla Resumen						
Periodo de Retorno:	Tr=10	Tr= 50	Tr= 100	Tr=500	Tr= 1000	Años
Área de cuenca:			1.13			Km <sup>2</sup>
Lluvia media:	54.77	70.02	76.28	91.53	97.79	mm
Pérdidas:	22.69	25.19	27.60	31.35	33.76	mm
Lluvia en exceso:	32.07	44.83	48.68	60.18	64.04	mm
Volumen Total Observado:	36.17	50.55	54.90	67.87	72.21	miles m <sup>3</sup>
Gasto Máximo Calculado:	13.23	18.19	19.77	24.27	25.85	m <sup>3</sup> /s
CE	0.59	0.64	0.64	0.66	0.65	

*Res. P. Tacubaya*

*[Handwritten signature]*

#### 4.- CÁLCULO DE LAS AVENIDAS DE DISEÑO POR CUENCA PROPIA DE LAS PRESAS CONECTADAS EN PARALELO A LA PRESA TACUBAYA.

Utilizando la misma metodología descrita anteriormente se trazó la malla para las cuencas de la presa Becerra C y Tecamachalco, ya que, la operación de estas influye en las condiciones del vaso de la presa Tacubaya al estar conectadas en paralelo.

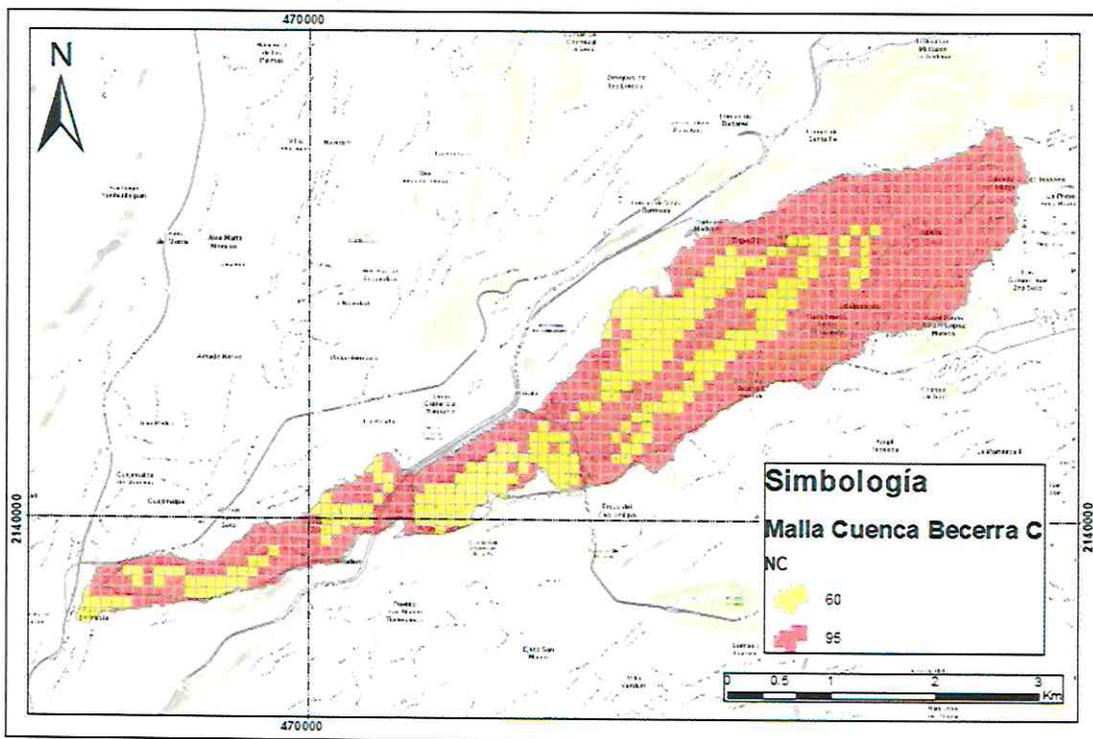


Figura 4.1 Malla 100 m x 100 m de la cuenca Becerra C y el número de curva asignado a cada celda.

Utilizando el modelo MPE, se obtuvieron las avenidas de diseño de entrada por cuenca propia a cada una de las presas como se muestra en las siguientes figuras.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa  
Becerra\_C

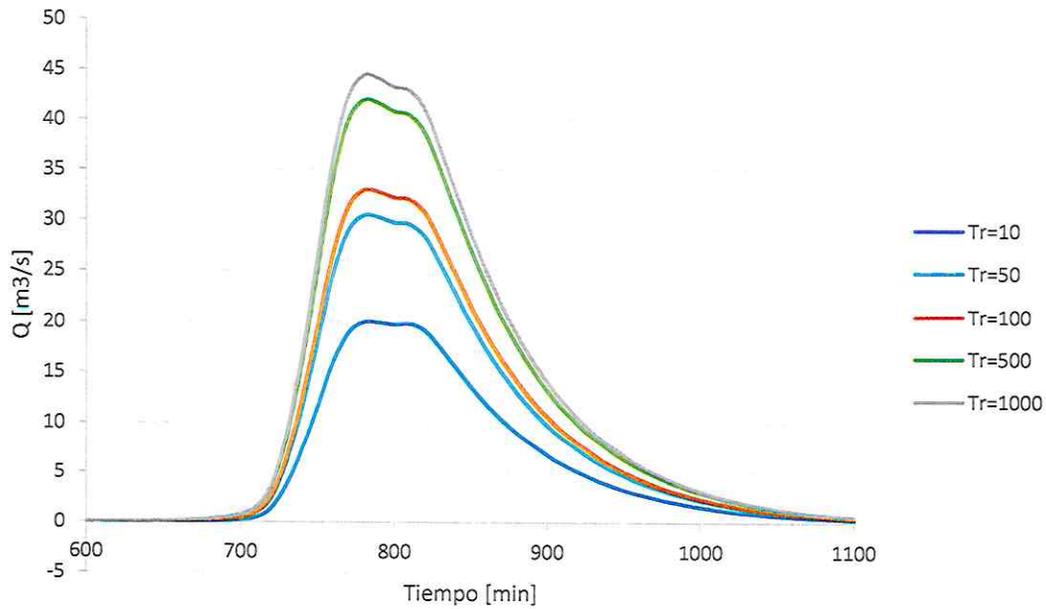


Figura 4.2 Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Becerra C para distintos Tr.

Tabla 4.1 Resumen de los hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Becerra C.

Tabla Resumen						
Periodo de Retorno:	Tr=10	Tr= 50	Tr= 100	Tr=500	Tr= 1000	Años
Área de cuenca:	7.537					Km <sup>2</sup>
Lluvia media:	56.51	72.25	78.70	94.44	100.90	mm
Pérdidas:	33.32	37.58	41.15	46.94	50.53	mm
Lluvia en exceso:	23.19	34.66	37.55	47.50	50.37	mm
Volumen Total Observado:	174.76	261.24	283.01	357.99	379.65	miles m <sup>3</sup>
Gasto Máximo Calculado:	19.95	30.41	32.92	41.88	44.38	m <sup>3</sup> /s
CE	0.41	0.48	0.48	0.50	0.50	

Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa  
Tecamachalco

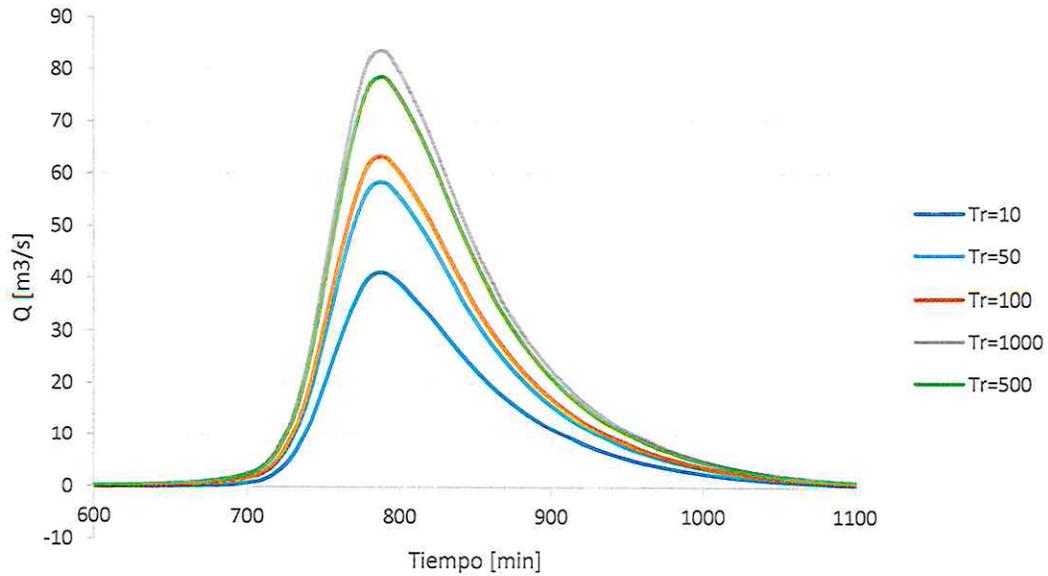


Figura 4.3 Hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Tecamachalco para distintos Tr.

Tabla 4.2 Resumen de los hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Tecamachalco.

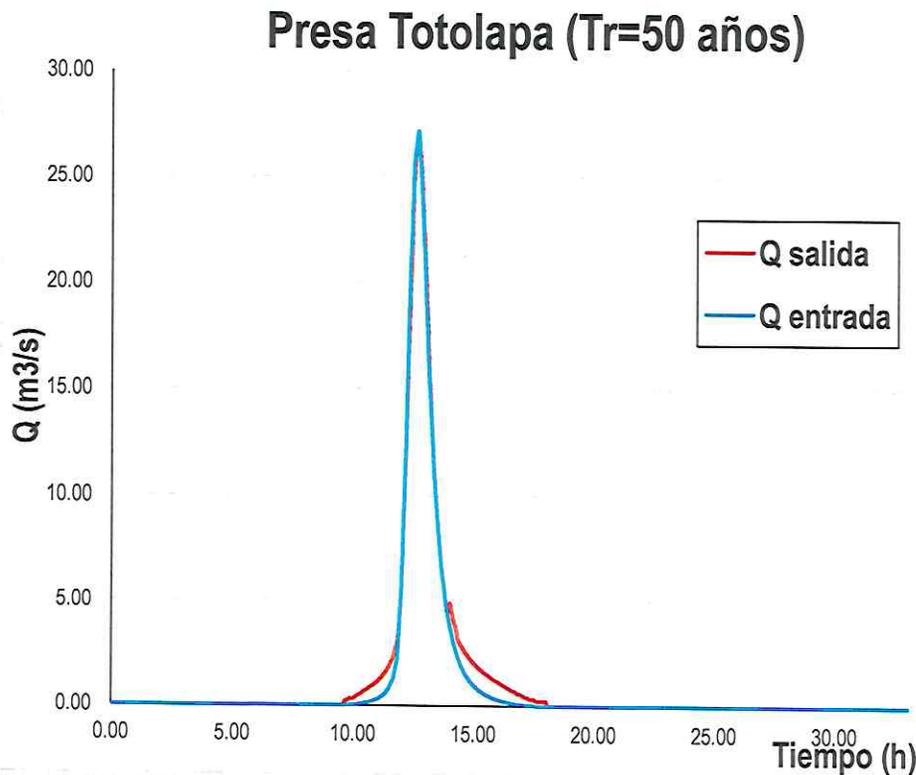
Tabla Resumen						
Periodo de Retorno:	Tr=10	Tr= 50	Tr= 100	Tr=500	Tr= 1000	Años
Área de cuenca:	11.40					Km <sup>2</sup>
Lluvia media:	53.29	68.14	74.23	89.00	95.16	mm
Pérdidas:	26.02	29.11	31.88	36.28	39.07	mm
Lluvia en exceso:	27.28	39.03	42.35	52.72	56.09	mm
Volumen Total Observado:	310.89	444.83	482.66	600.89	639.31	miles m <sup>3</sup>
Gasto Máximo Calculado:	40.98	58.28	63.26	78.54	83.59	m <sup>3</sup> /s
CE	0.51	0.57	0.57	0.59	0.59	

*Handwritten signature in blue ink.*

## 5.- TRÁNSITO DE AVENIDAS DEL SISTEMA DE PRESAS CONECTADAS HASTA LA PRESA RUIZ CORTINES.

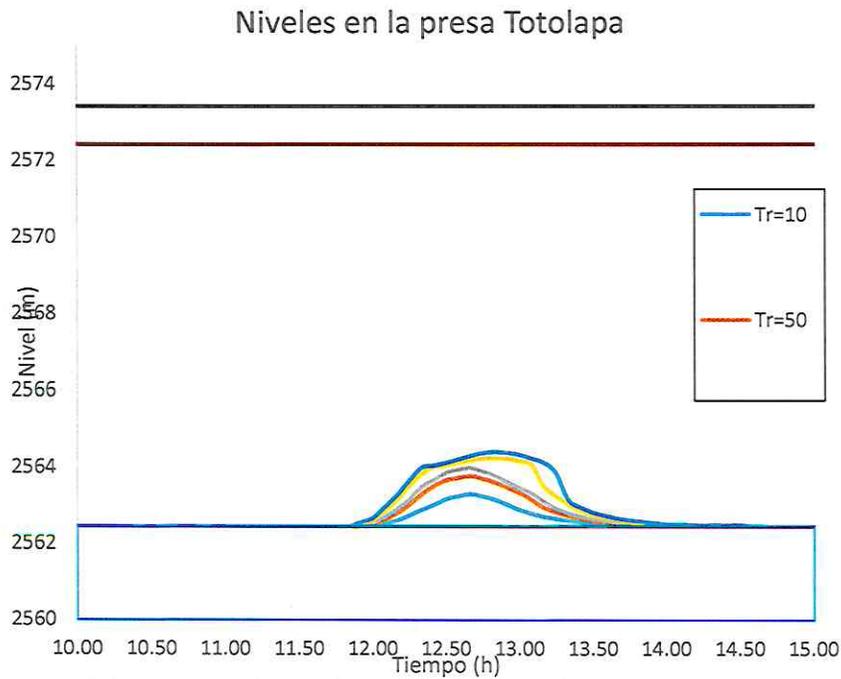
Se realizó el tránsito de avenidas para los mismos periodos de retorno de los hidrogramas obtenidos anteriormente. Para el tránsito de avenidas se utilizó el programa VASOS desarrollado en el Instituto de Ingeniería. Es importante determinar los hidrogramas de salida de la presa Tacubaya para determinar si la infraestructura propuesta aguas abajo de la cortina es suficiente para conducir el gasto hacia la presa Ruíz Cortines. Por su parte el hidrograma de salida resultante en la presa Ruíz Cortines será el que se deberá de conducir por el sistema de drenaje hasta el Túnel Interceptor del Poniente. En las siguientes figuras se muestra los resultados obtenidos del tránsito de avenidas para el sistema de presas propuesto.

### 5.1 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Totolapa.



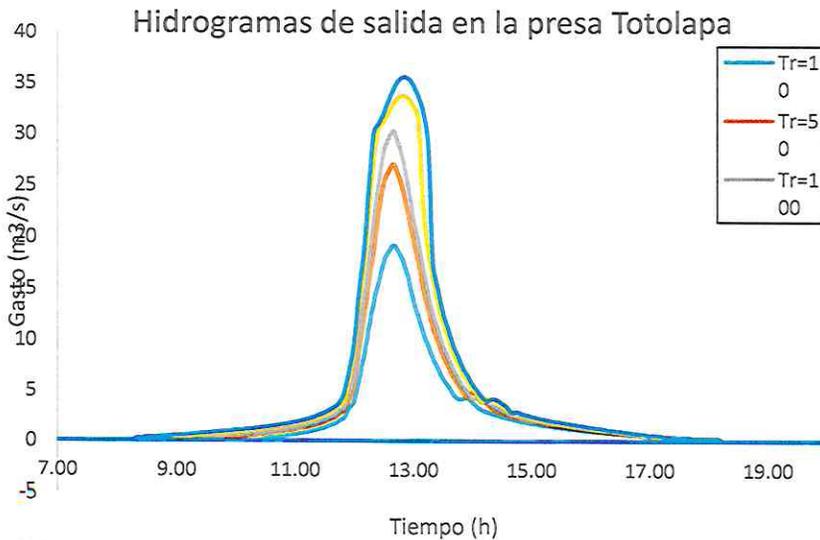
**Figura 5.1 Hidrograma de entrada por cuenca propia e hidrograma de salida de la presa Totolapa para un periodo de retorno de 50 años.**

Para la figura anterior se consideraron las 4 obras de toma de la presa Totolapa abiertas al 100 % por lo anterior todo el hidrograma que llega al vaso, sale sin regulación alguna. Para los demás periodos de retorno se consideró la misma abertura para observar como varían los niveles en el vaso en función de los distintos periodos de retorno.



**Figura 5.2 Niveles alcanzados en el vaso de Totolapa para distintos periodos de retorno.**

Se observa que para todos los periodos de retorno el vaso tiene una capacidad muy sobrada, por lo que después se realizará un nuevo transito cerrando las obras de toma con el fin de observar la regulación en el vaso de Totolapa ayudando así la operación de las presas Tacubaya y Ruíz Cortines.



**Figura 5.3 Hidrogramas de salida de la presa Totolapa para cada periodo de retorno.**

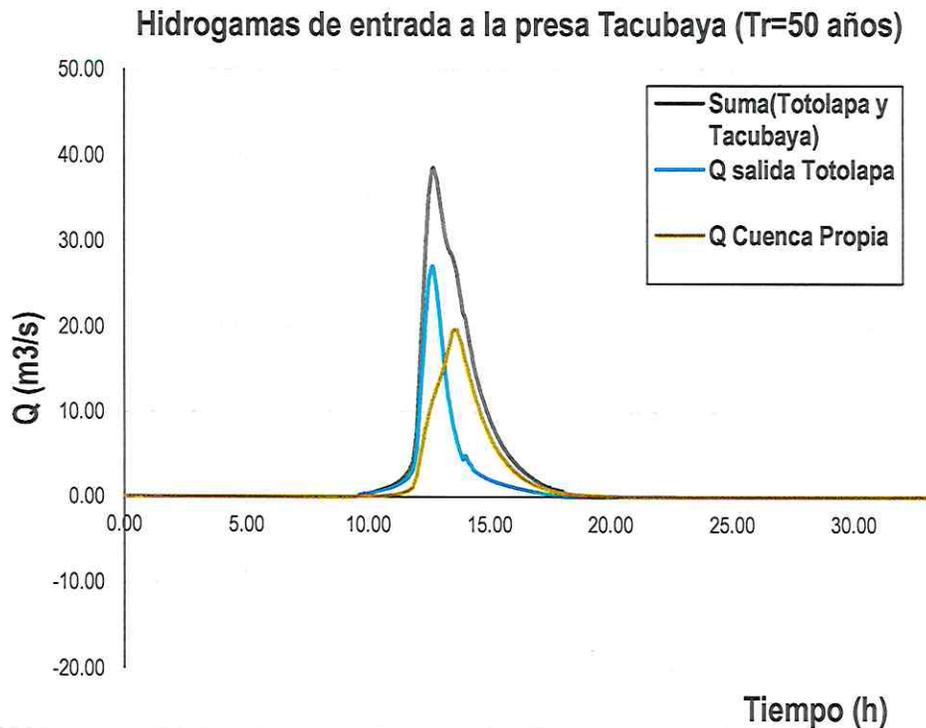
*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

El hidrograma de salida de la presa Totolapa se conduce por un colector de 2.13 m de diámetro que se une aguas abajo con el colector Vasco de Quiroga el cual descarga al río Tacubaya.

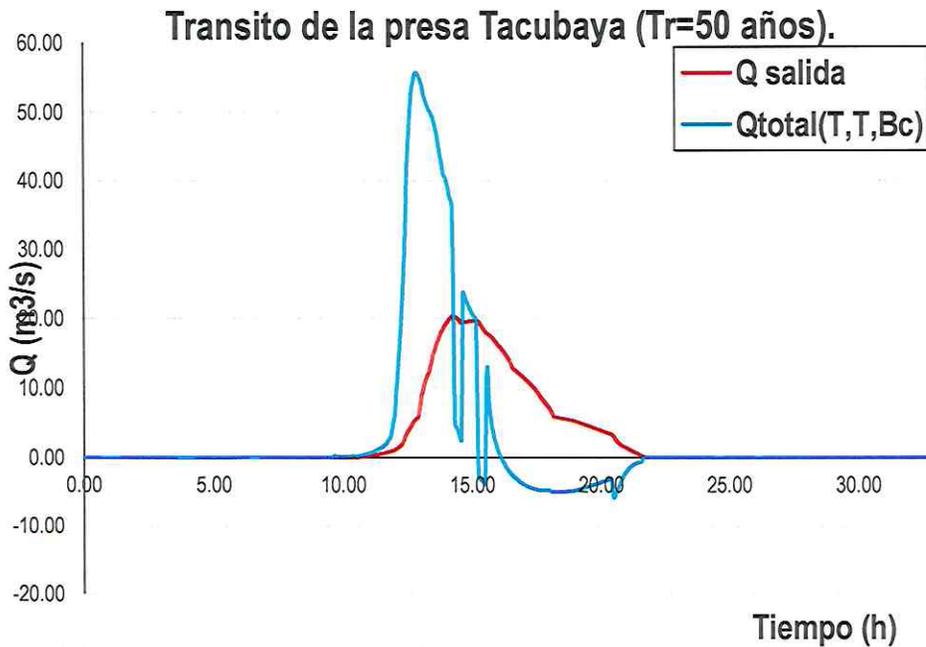
## 5.2 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Tacubaya.

El vaso de la presa Tacubaya recibe las aportaciones en serie de la presa Totolapa, a su vez tiene aportaciones debidas a su cuenca propia y recibe las aportaciones reguladas en la presa Becerra C por un túnel de interconexión de 2.6 m de diámetro. También puede derivar el agua hacia la presa de Tecamachalco por otro túnel de interconexión, debido a que el nivel en Tecamachalco es casi el mismo que en Tacubaya, el agua puede ir hacia Tecamachalco o hacia Tacubaya dependiendo del gradiente hidráulico que alcance.



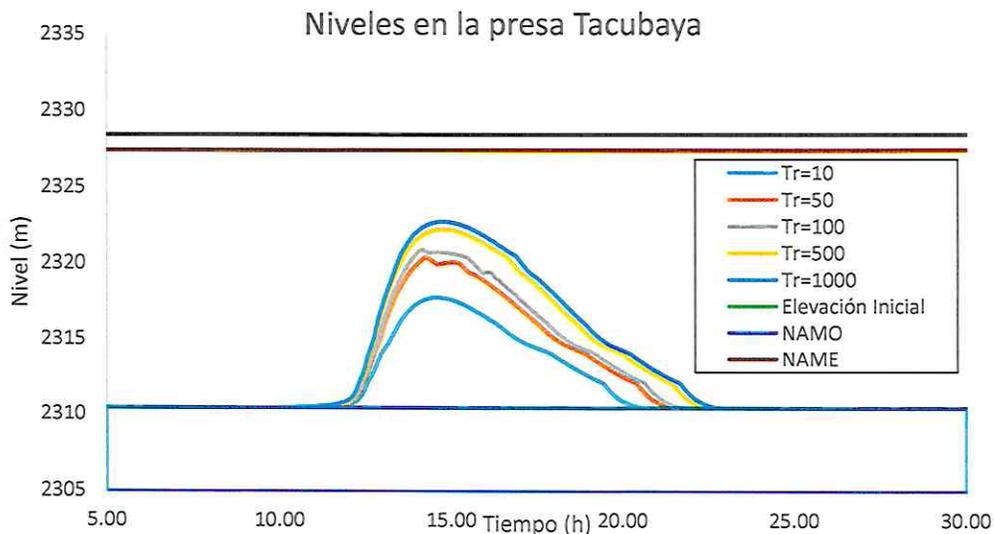
**Figura 5.4 Hidrogramas de entrada a la presa Tacubaya para un Tr=50 años**

La siguiente figura muestra las entradas totales al vaso de la presa Tacubaya para un periodo de retorno de 50 años, así como, el hidrograma de salida por el vertedor y obra de toma, estas entradas ya consideran los gastos que se conducen por los túneles de interconexión hacia las presas Becerra C y Tecamachalco, por lo anterior si en la gráfica se observa un gasto positivo es porque entra al vaso Tacubaya mientras que, si es negativo, este sale del vaso por algún túnel.



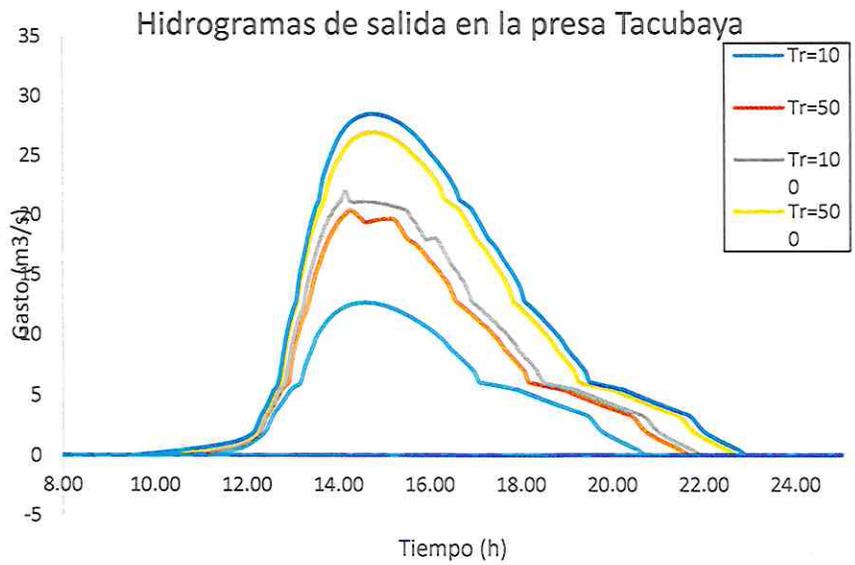
**Figura 5.5 Hidrograma de entrada total y de salida por obra de toma y vertedor de la presa Tacubaya para un Tr=50 años.**

Los niveles alcanzados en el vaso de la presa Tacubaya se muestran en la figura 5.6



**Figura 5.6 Niveles en el vaso de la presa Tacubaya para distintos periodos de retorno.**

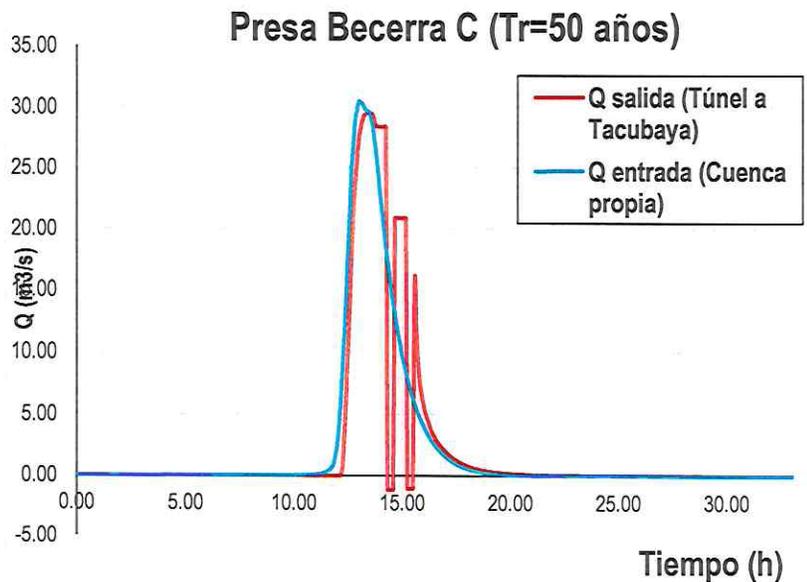
Los hidrogramas de salida por vertedor y obra de toma de la presa Tacubaya se muestran en la figura 5.7 estos gastos son los que deberán conducirse hacia la presa Ruíz Cortines aguas abajo.



**Figura 5.7 Hidrogramas de salida por vertedor y obra de toma de la presa Tacubaya.**

**5.3 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Becerra C.**

Para simular la peor condición hacia el vaso de Tacubaya que es por donde pasará el trazo del tren interurbano, se realizó el tránsito de avenidas cerrando las obras de toma de la presa Becerra C, así todo se derivará hacia Tacubaya por el túnel de interconexión.

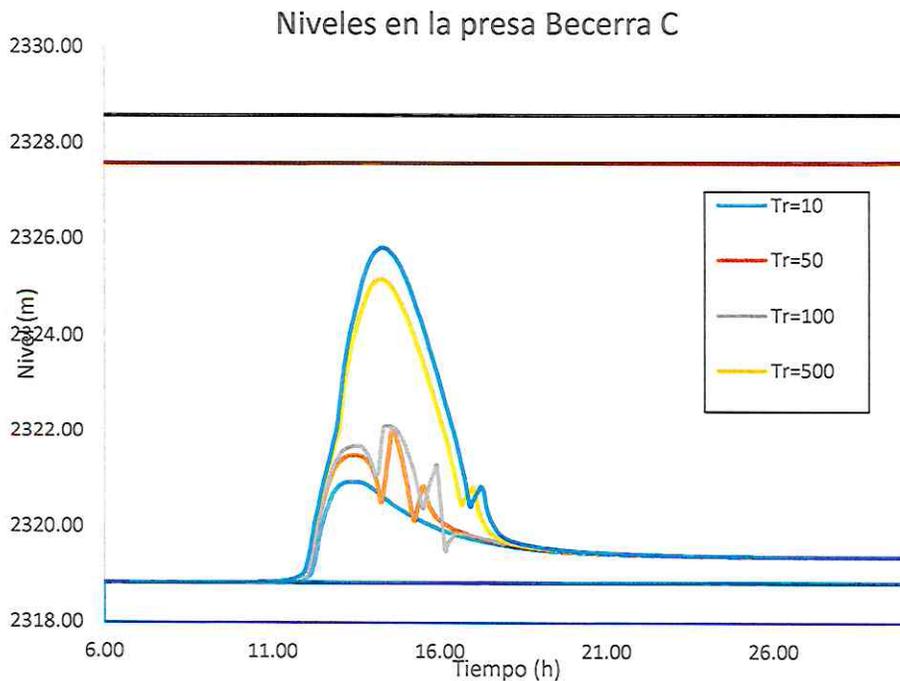


*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

**Figura 5.8 Hidrograma de entrada por cuenca propia y salida por el túnel de interconexión hacia el vaso Tacubaya para un Tr=50 años.**

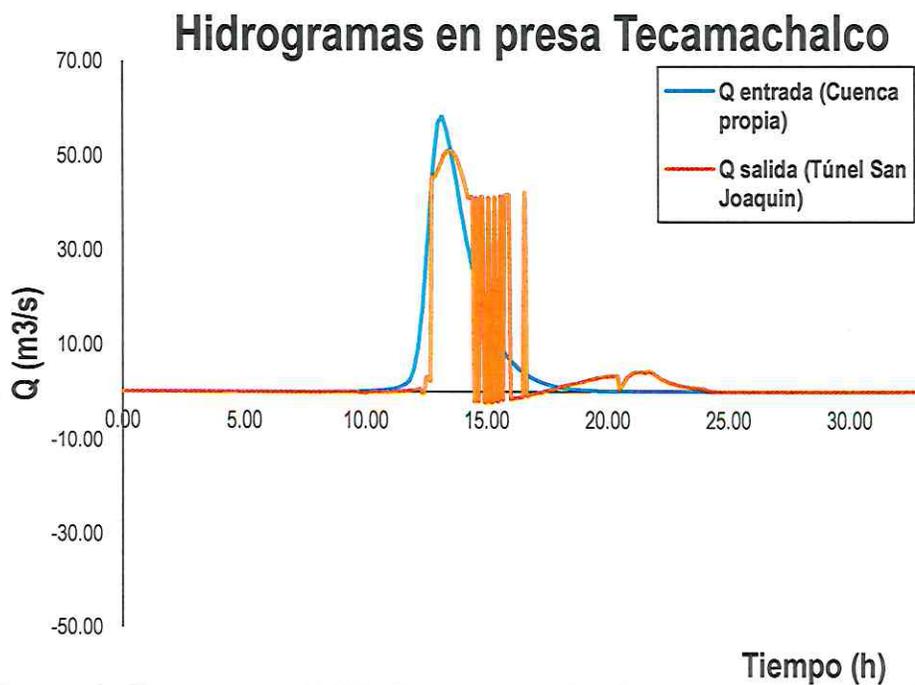
Los niveles alcanzados en la presa Becerra C para diferentes periodos de retorno se muestran en la figura 5.9.



**Figura 5.9 Niveles en el vaso de la presa Becerra C para distintos periodos de retorno.**

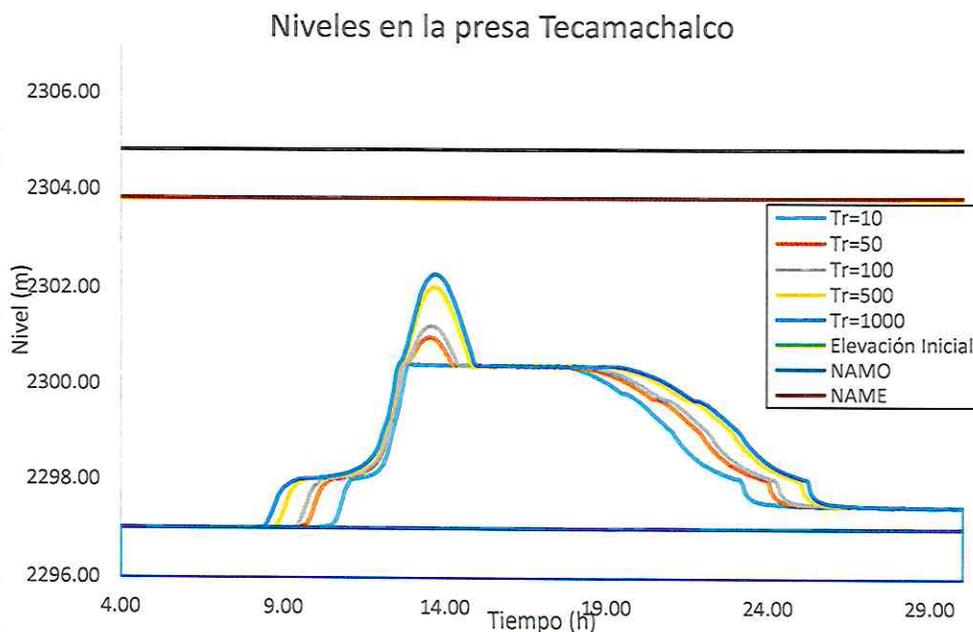
#### **5.4 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Tecamachalco hasta el túnel de interconexión a la presa San Joaquín.**

La presa Tecamachalco no cuenta con vertedor ni obras de toma, es una presa de paso entre la presa Tacubaya y San Joaquín. Su capacidad de regulación no es muy alta y debido a la gran urbanización a su alrededor se debe tener especial cuidado con los niveles alcanzados en el vaso. El túnel de interconexión con Tacubaya tiene muy poca pendiente por lo que la dirección del flujo entre ambas presas depende del gradiente alcanzado debido a la diferencia de niveles alcanzados en ambos vasos durante el tránsito. Las siguientes figuras ilustran el comportamiento de los vasos y los gastos que se transmiten de una presa a otra para un periodo de retorno de 50 años.



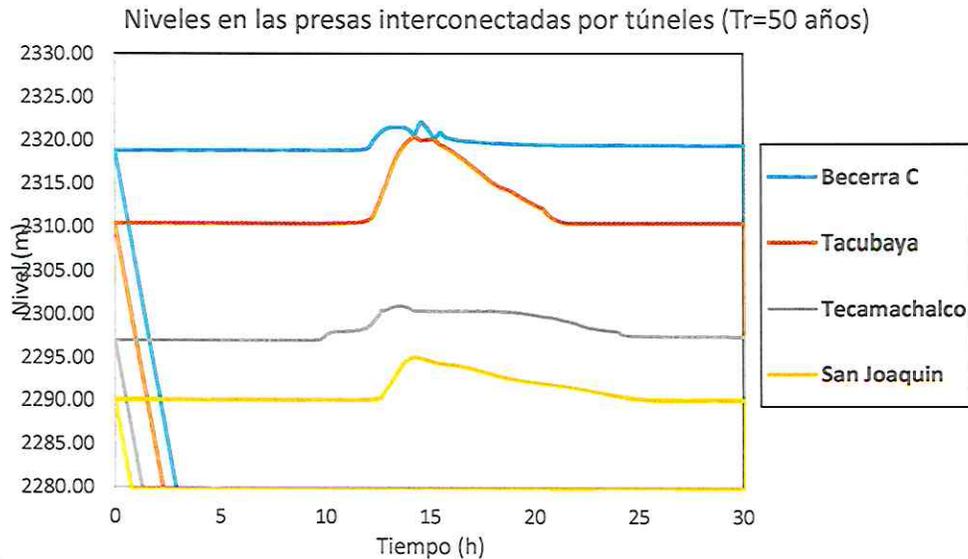
**Figura 5.10** Hidrogramas de entrada y salida de la presa Tecamachalco para  $Tr=50$  años.

Los niveles en la presa Tecamachalco se muestran en la siguiente figura.



**Figura 5.11** Niveles en la presa Tecamachalco para distintos periodos de retorno.

Se propuso como frontera final este túnel de interconexión a San Joaquín la siguiente figura muestra los niveles alcanzados en Becerra C, Tacubaya, Tecamachalco y San Joaquín que son las presas interconectadas.



**Figura 5.12 Niveles en las presas interconectadas por túnel para  $Tr= 50$  años.**

De la figura anterior se observa que debido a los niveles el flujo del agua va de Becerra C a San Joaquín por los túneles de interconexión.

*Mano*

### 5.5 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Ruíz Cortines.

La presa Ruíz Cortines tiene un vaso de regulación con menor capacidad que todas las presas anteriores, Su cuenca de aportación también es la más pequeña y se encuentra urbanizada en su totalidad. Esta presa está conectada en serie con la presa Tacubaya aguas arriba, es decir, recibe los hidrogramas de salida por vertedor y obra de toma de la presa Tacubaya (figura 5.13).

*[Handwritten signature]*

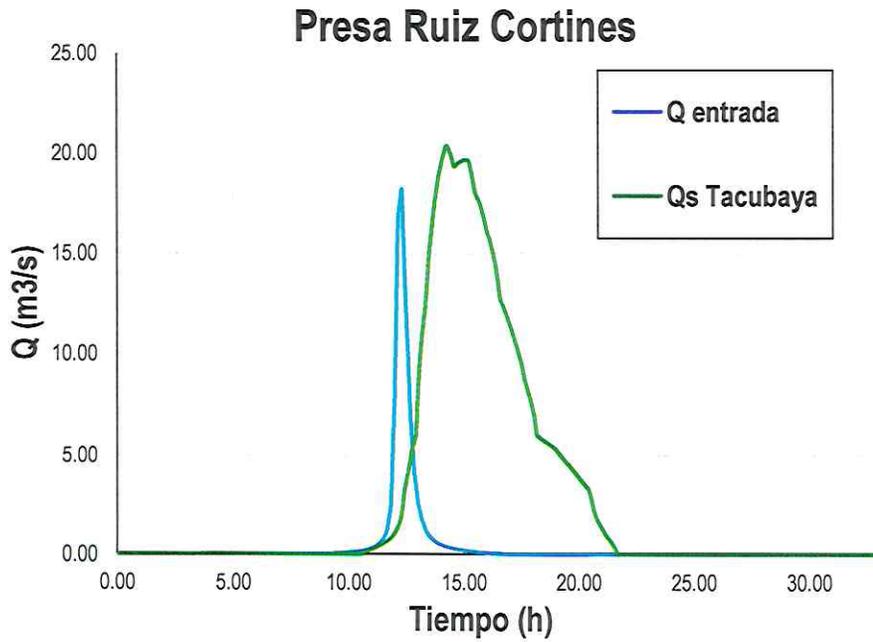


Figura 5.13 Hidrograma de entrada por cuenca propia de la presa Ruíz Cortines e hidrograma de salida de la presa Tacubaya.

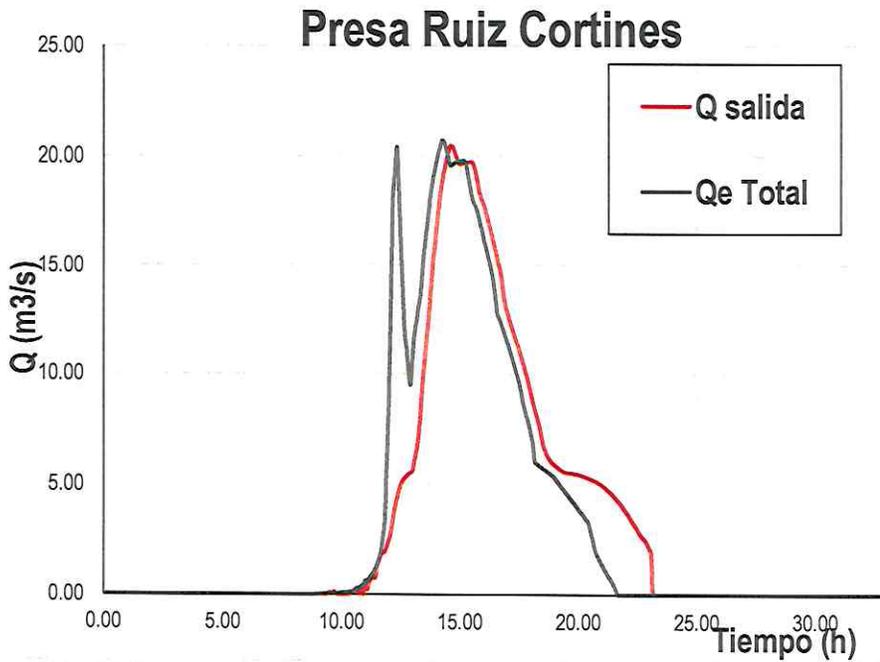
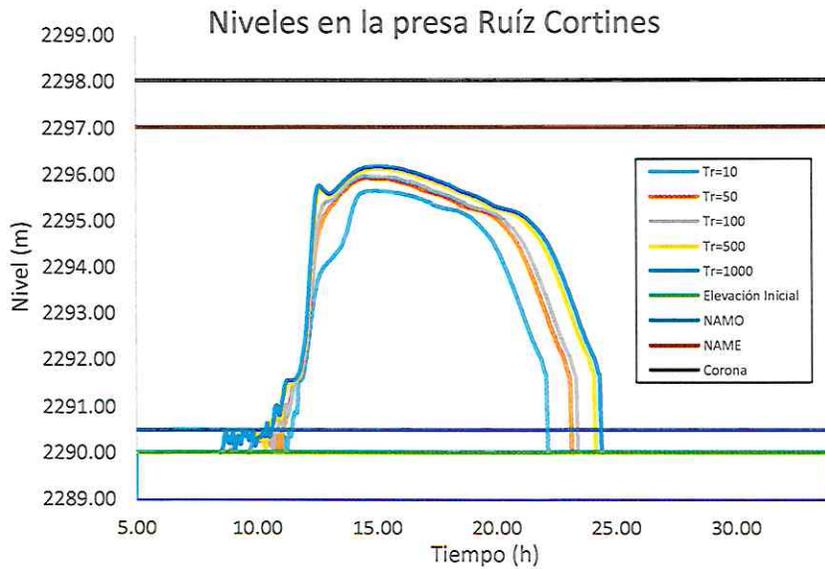
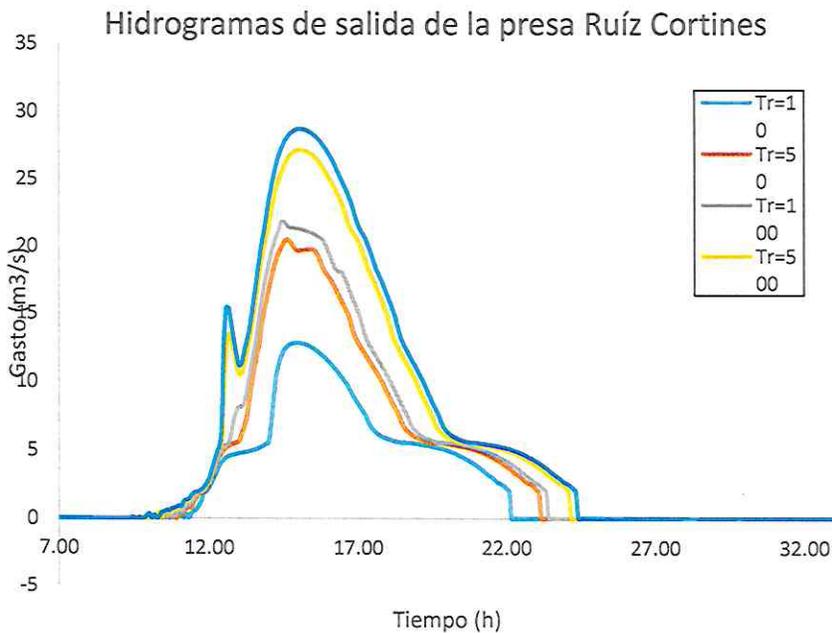


Figura 5.14 Tránsito de la presa Ruíz Cortines (Hidrograma de entrada total e hidrograma de salida).

Los niveles alcanzados en el vaso son los que se muestran a continuación:



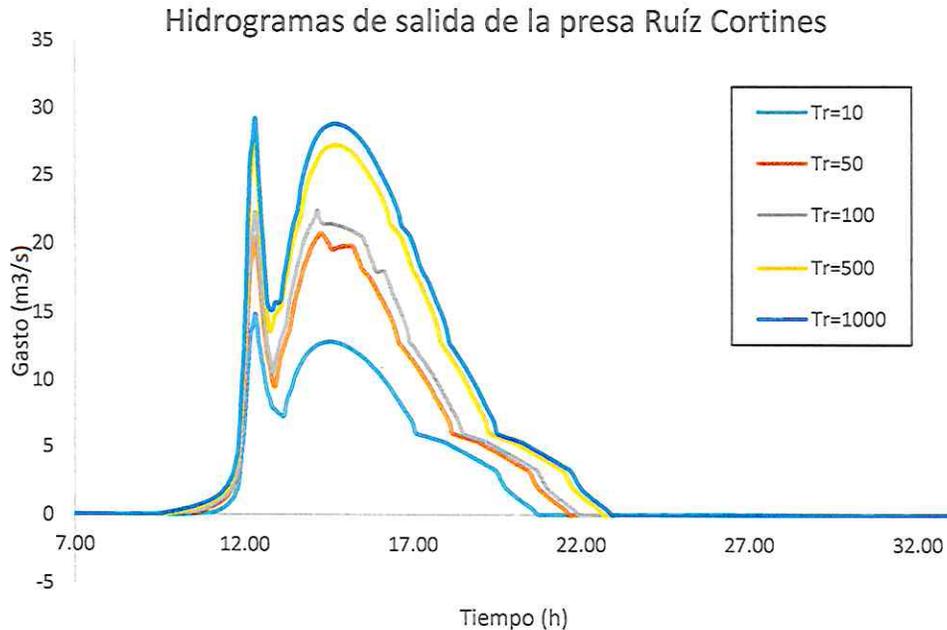
**Figura 5.15 Niveles en el vaso de la presa Ruíz Cortines para diferentes periodos de retorno.**



**Figura 5.16 Hidrogramas de salida por vertedor y obra de toma de la presa Ruíz Cortines.**

Los hidrogramas mostrados en la figura 5.16 muestran los hidrogramas de salida de la presa Ruíz Cortines ya regulados por el vaso de almacenamiento, estos son los hidrogramas que deben transitarse por el colector Tacubaya hasta el interceptor del poniente (IP).

Para simular la posible desaparición de la presa se sumaron los hidrogramas de salida de la presa Tacubaya con los hidrogramas de entrada por cuenca propia a la presa Ruíz Cortines (figura 5.17).



**Figura 5.16 Hidrogramas de entrada al colector Tacubaya considerando la desaparición de la presa Ruíz Cortines.**

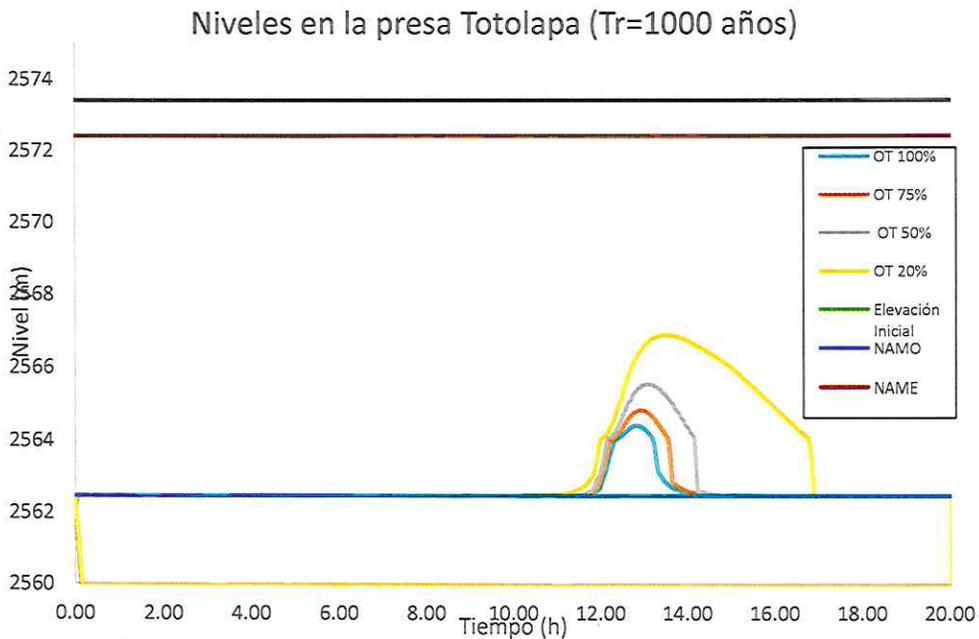
Se observa que en general los gastos pico se mantienen igual, sin embargo, la figura 5.16 muestra dos picos en los hidrogramas, estos se deben a la aportación por cuenca propia de la presa Ruíz Cortines, debido a que la presa si tiene capacidad para regular este primer pico, estos no se observan en los hidrogramas de salida mostrados en la figura 5.15 donde se considera la operación de la presa.

### **5.6 Resultados del tránsito de avenidas en la presa Totolapa con la obra de toma abierta parcialmente.**

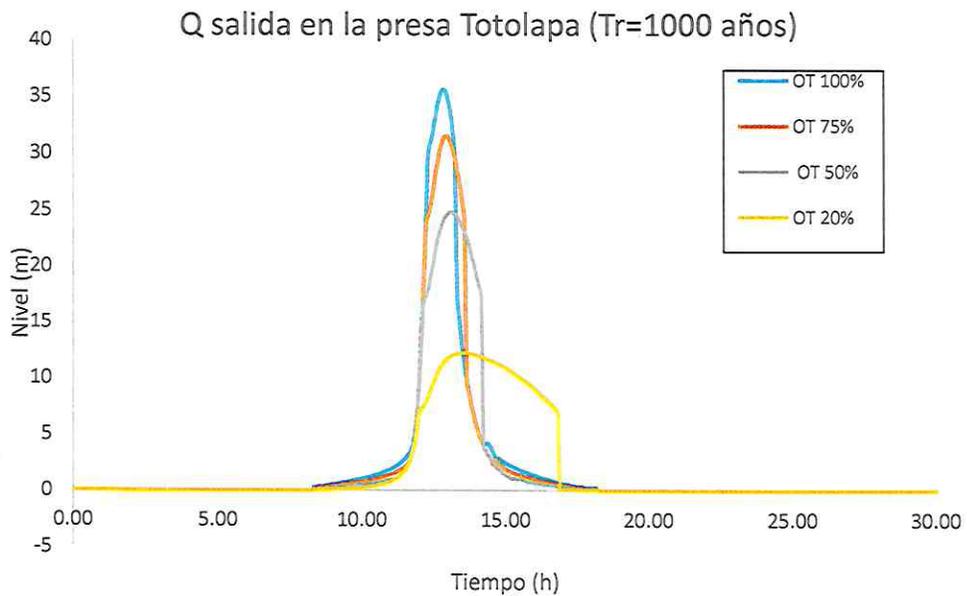
Debido a que en los resultados se observó que la presa Ruíz Cortines presenta problemas al regular las avenidas debido a la poca capacidad de regulación y a que las presas Totolapa y Tacubaya pueden regular más volumen se realizó un nuevo tránsito con las avenidas de 1000 años de periodo de retorno cerrando en cierto porcentaje las obras de toma de Totolapa para observar si regulando más en Totolapa se lograba un beneficio en los niveles de Ruíz Cortines.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*



**Figura 5. Niveles en el vaso de la presa Totolapa para distintas aberturas de sus obras de toma para un  $Tr=1000$  años.**



**Figura 5. Hidrogramas de salida de la presa Totolapa con diferentes aberturas en su obra de toma**

Estos hidrogramas de salida deben verse reflejados aguas abajo en los niveles de la presa Tacubaya ya que el gasto pico es menor y con esto se le da más tiempo de regular a la presa Tacubaya.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

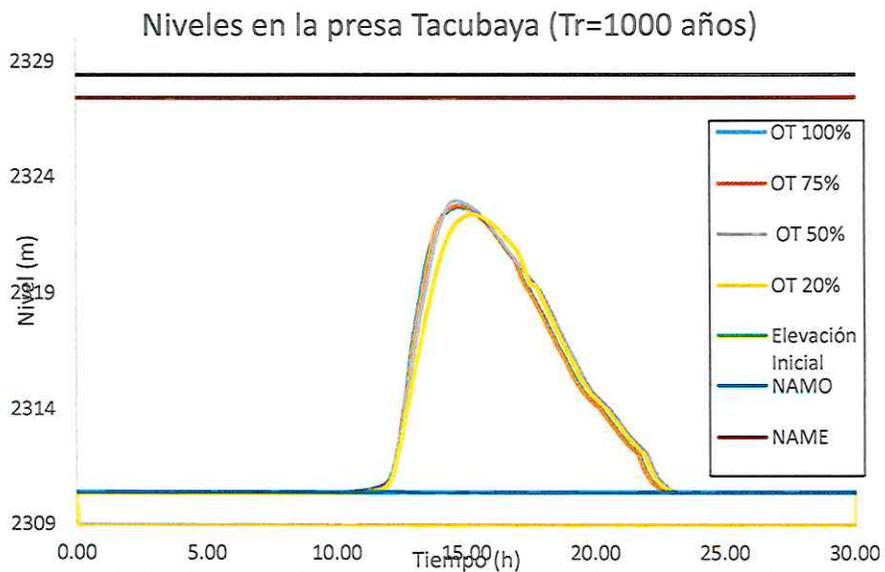


Figura 5. Niveles en la presa Tacubaya cerrando las obras de toma de Totolapa.

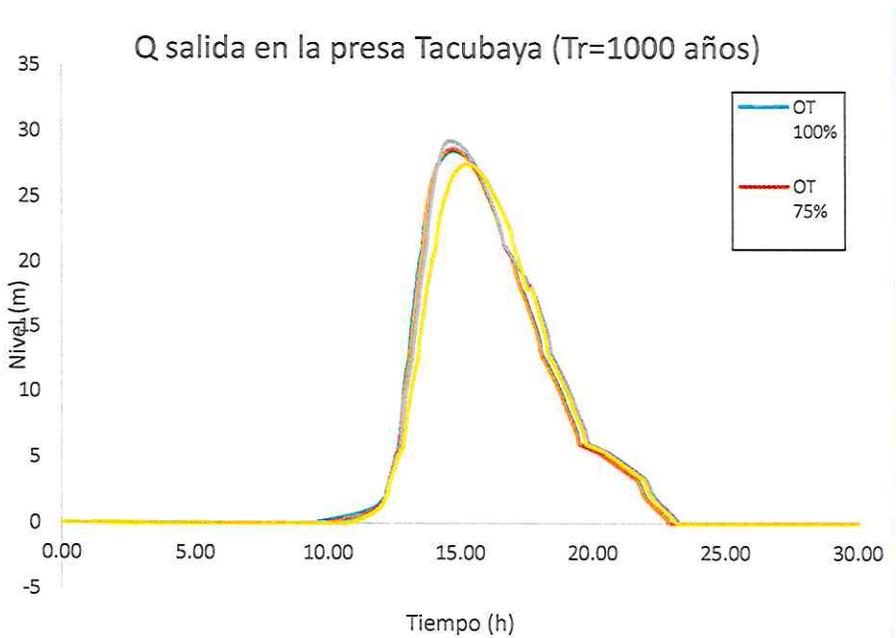


Figura 5. Niveles en la presa Tacubaya cerrando las obras de toma de la presa Totolapa.

Se observa que aun cerrando en un 80% las obras de toma de Totolapa el beneficio obtenido en los hidrogramas de salida de Tacubaya es mínimo, por lo anterior en la presa Ruíz Cortines no se observó mejoría en los niveles dentro del vaso ni en los hidrogramas de salida que son los que deberán conducirse hacia el túnel interceptor del poniente.

La siguiente tabla muestra en resumen los resultados obtenidos en el tránsito de avenidas para distintos periodos de retorno.

**Tabla 5.1 Resumen de resultados obtenidos para niveles máximos y Qp máximos de salida para distintos periodos de retorno.**

	Tr=10		Tr=50		Tr=100		Tr=500		Tr=1000	
	Nivel Máx. (m)	Qp Salida (m3/s)								
<b>Totolapa</b>	2563.31	19.20	2563.77	27.05	2563.98	30.27	2564.24	33.77	2564.39	35.56
<b>Tacubaya</b>	2317.71	12.63	2320.34	20.34	2320.86	21.94	2322.20	26.92	2322.68	28.46
<b>Ruiz Cortines</b>	2295.66	12.74	2295.93	20.46	2295.98	21.81	2296.13	27.14	2296.18	28.68
<b>Becerra C</b>	2320.92	0.00	2322.05	0.00	2322.11	0.00	2325.15	0.00	2325.80	0.00
<b>Tecamachalco</b>	2300.40	0.00	2300.96	0.00	2301.20	0.00	2302.01	0.00	2302.28	0.00

Se observó que para las políticas de operación propuestas que es mantener las obras de toma 100% abiertas los niveles de las presas no sobrepasan el nivel del NAME y tampoco el nivel de la corona.

## 6.- MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE UBICADA AGUAS ABAJO DE LA PRESA RUÍZ CORTINES HASTA EL TÚNEL INTERCEPTOR PONIENTE.

La presa Ruíz Cortines es la última presa en el sistema de presas en serie de la cuenca del río Tacubaya. En este vaso son reguladas por última vez las avenidas provenientes de la cuenca antes de ser conducidas hacia el túnel interceptor del poniente (IP); al estar aguas abajo de la presa Tacubaya, el vaso recibe el hidrograma de salida de la presa Tacubaya por obra de toma y vertedor, más lo que escurre por su cuenca propia. Ver figura 5.13. Después de realizar el tránsito de avenidas tomando en cuenta las obras proyectadas del tren interurbano se observó que el volumen de la obra en comparación al volumen de regulación de los vasos no es muy significativo e hidrológicamente no representan problema para la operación del sistema.

Sin embargo, debido a otras obras que podrían surgir en un futuro, como es la ampliación de la línea 12 del metro, se ha pensado en la posibilidad de desaparecer el vaso de regulación de Ruíz Cortines, mandando los hidrogramas sin regular hacia el Interceptor del Poniente (IP).

La obra de toma de la presa Ruíz Cortines descarga directamente al colector Tacubaya de 2.20 m de diámetro, este colector tiene una longitud aproximada de 1,048 m hasta la caja de conexión con el túnel Interceptor del Poniente. El colector consta de varios tramos escalonados conectados entre sí por pozos de diferentes profundidades.

Para verificar la afectación producida al desaparecer la presa Ruíz Cortines se construyó un modelo hidráulico utilizando el software EPA\_SWMM con el fin de observar el nivel de la superficie libre del agua alcanzado en cada uno de los pozos para los diferentes periodos de retorno estudiados. Los datos del colector los proporcionó el SACMEX y se obtuvieron de la hoja 6 del plano "Planta y perfil, entubación río Tacubaya" ver figura 6.1.



Figura 6.1 Plano proporcionado por SACMEX con los datos del colector Tacubaya desde la presa Ruíz Cortines hasta la caja de conexión del IP.

## 6.1 Modelación de la infraestructura existente.

Se realizó una primera simulación con la infraestructura existente actualmente, esta se refiere a toda la infraestructura que compone el vaso de la presa Ruíz Cortines como es su obra de toma, vertedor, y bardas perimetrales, así como, el colector Tacubaya existente de 2.20 m de diámetro.

Debido a que se considera la existencia de la presa, los gastos a conducir son los gastos obtenidos después de la simulación del tránsito de avenidas realizado en el capítulo 5, en la figura 6.2 se muestran los hidrogramas de entrada al colector, así como, los que se descargarían al río de la piedad.

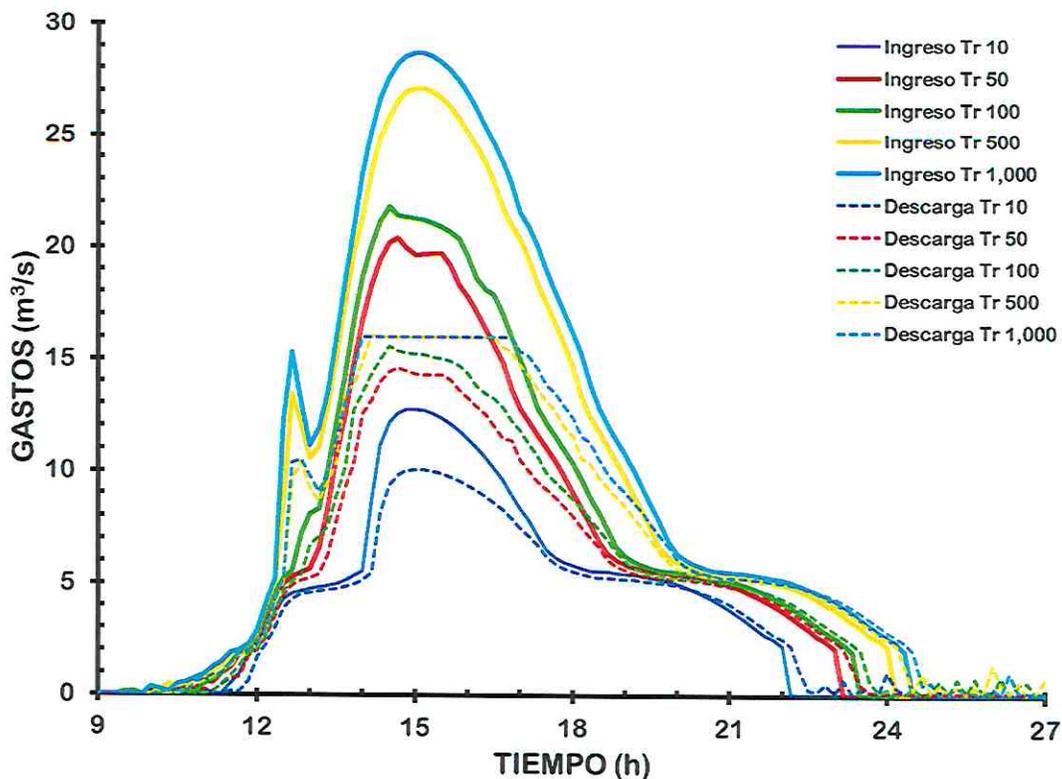


Figura 6.2 Hidrogramas de salida de la presa Ruíz Cortines, (entradas al colector Tacubaya) para diferentes periodos de retorno e hidrogramas que descargarían al río de la Piedad aguas abajo.

En la figura 6.3 se muestra en planta el recorrido del colector Tacubaya dentro del modelo hidráulico.

*Handwritten signature*

*Handwritten signature*

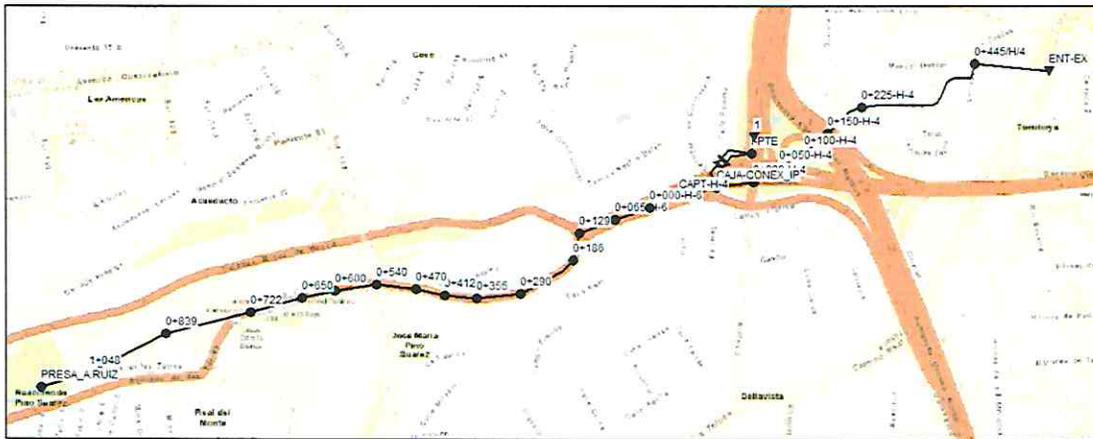


Figura 6.3 Planta del colector Tacubaya en el modelo hidráulico.

En la figura 6.4 se muestra el perfil de la superficie libre del agua resultado de la simulación para un periodo de retorno de 100 años.

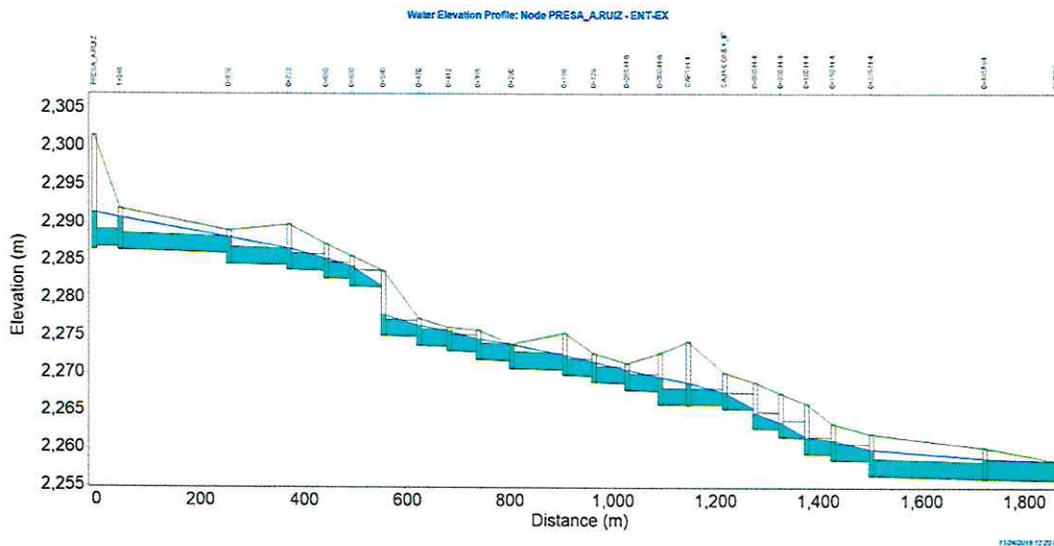


Figura 6.4 Perfil dentro del colector Tacubaya para un  $Tr=100$  años.

Esta simulación se hizo para cada periodo de retorno.

La figura 6.5 muestra los hidrogramas que se derivarían al túnel Interceptor del Puente IP.

*Handwritten signature*

*Handwritten signature*

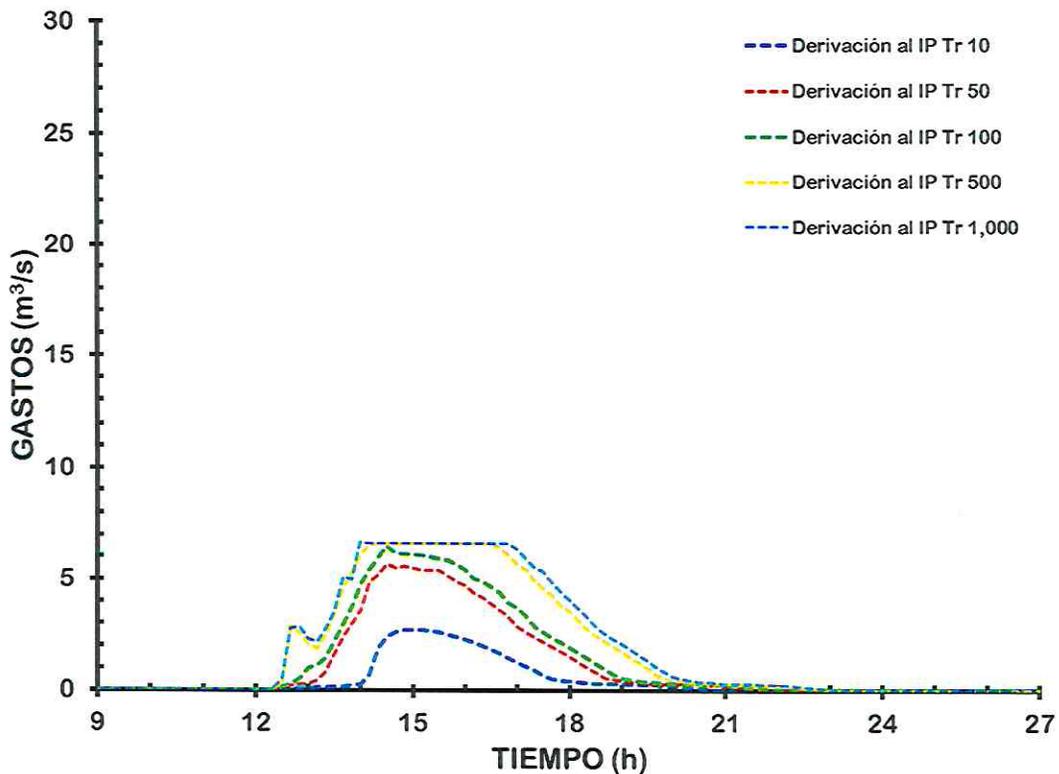


Figura 6.5. Hidrogramas de derivación hacia el túnel IP considerando la regulación en la presa Ruíz Cortines.

## 6.2 Modelación sin la presa Ruíz Cortines e infraestructura existente.

Tomando en cuenta que a futuro podría desaparecer la presa Ruíz Cortines debido a la construcción de nuevas obras, se propone hacer la simulación del colector Tacubaya considerando que no existe esta última regulación.

Para tal efecto, el colector deberá conducir el hidrograma de salida de la presa Tacubaya (figura 5.7) más el hidrograma por cuenca propia de la presa Ruíz Cortines (figura 3.6) estos hidrogramas resultantes se muestran en la figura 6.6 como hidrogramas de ingreso para diferentes periodos de retorno. También en la figura 6.6 se muestran los hidrogramas que se derivarían al río de la Piedad aguas abajo.

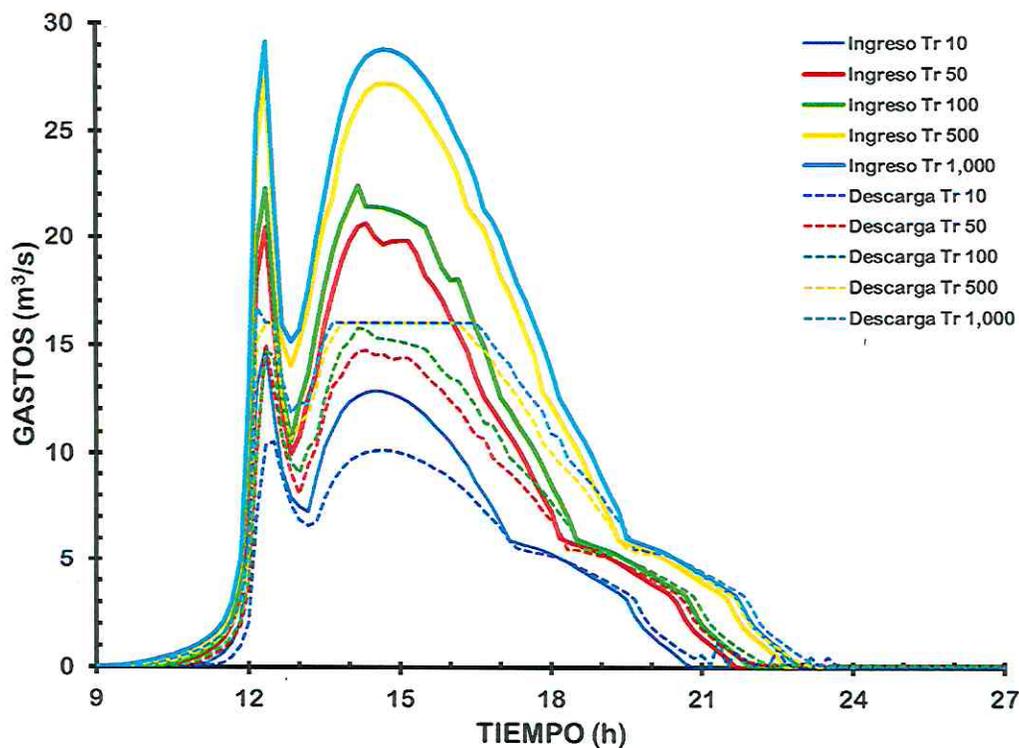


Figura 6.6 Hidrogramas de entrada al colector Tacubaya, considerando la desaparición de la presa Ruíz Cortines e hidrogramas de descarga al río de la Piedad aguas abajo.

La figura 6.7 muestra el perfil obtenido en la simulación para un  $Tr=100$  años.

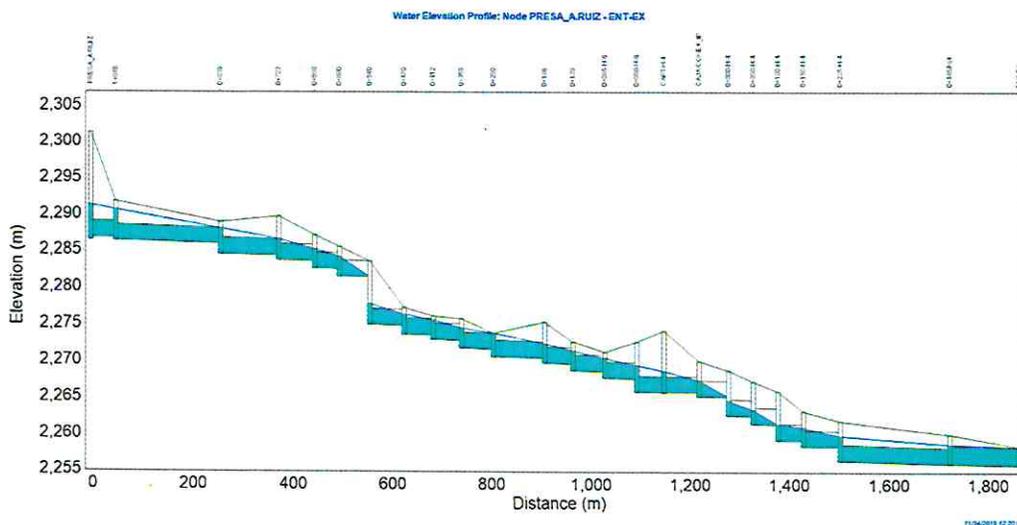


Figura 6.7 Perfil en el colector Tacubaya estimado para un  $Tr= 100$  años.

*Handwritten signature*

*Handwritten signature*

La figura 6.8 muestra los hidrogramas que se derivarían hacia el IP en dado caso de no existir la presa Ruíz Cortines.

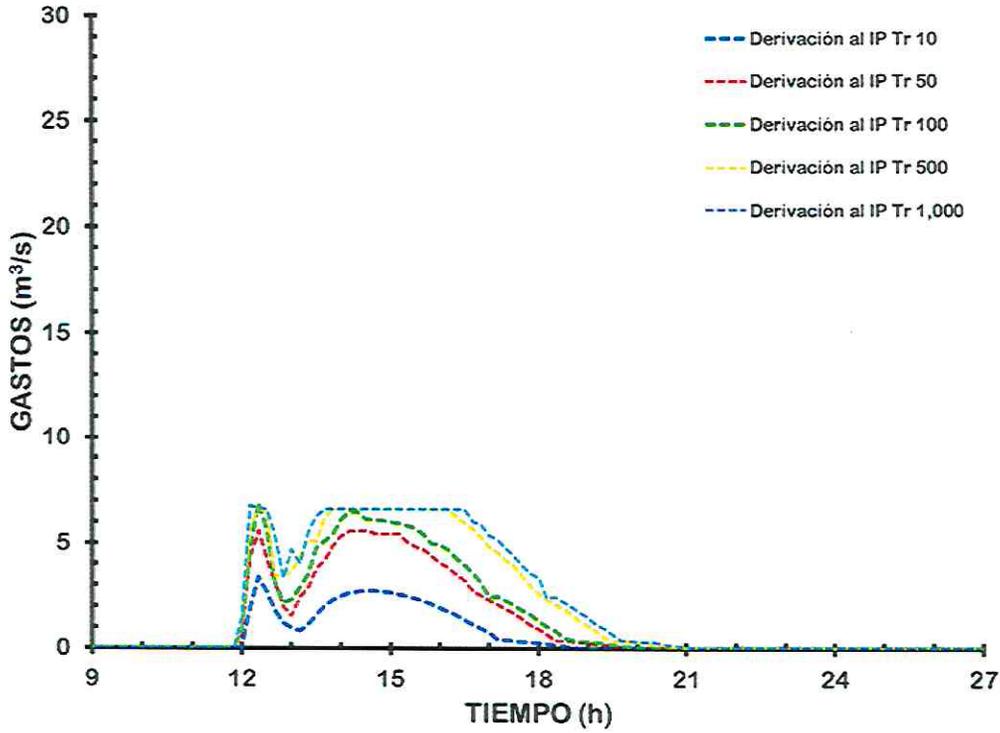


Figura 6.8 Hidrogramas derivados hacia el IP tomando en cuenta la desaparición de la presa Ruíz Cortines.

Por último, la tabla 6.1 muestra la comparación de tirantes obtenidos para distintos periodos de retorno dentro del colector Tacubaya.

Tabla 6.1 Comparación de tirantes en el colector Tacubaya para distintos periodos de retorno, considerando y sin considerar la regulación en la presa Ruíz Cortines.

POZO			TR 1000		TR 500	
ID	PROF. LLEGADA	PROF. SALIDA	SIN PRESA	CON PRESA	SIN PRESA	CON PRESA
1+048	5.02	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
0+839	3.04	4.40	4.05	4.05	4.05	4.05
0+722	5.44	6.00	3.04	3.04	3.04	3.04
0+650	3.50	4.50	2.76	2.76	2.76	2.76
0+600	3.02	4.00	2.89	2.89	2.89	2.89
0+540	0.54	7.00	3.01	3.01	3.01	3.01
0+470	2.44	3.60	3.02	3.02	3.02	3.02
0+412	2.49	3.10	2.85	2.85	2.85	2.85
0+355	2.93	4.00	3.07	3.07	3.07	3.07
0+290	4.01	5.00	3.19	3.19	3.19	3.19
0+186	4.91	5.60	2.69	2.69	2.69	2.69
0+129	3.03	3.90	2.76	2.76	2.76	2.76
0+065-H-6	2.63	3.50	2.77	2.77	2.77	2.77
0+000-H-6	5.00	6.83	3.56	3.56	3.56	3.56
CAPT-H-4	8.38	8.38	2.89	2.89	2.89	2.89
CAJA-CONEX_IP	4.80	4.80	2.14	2.14	2.14	2.14
0+000-H-4	3.59	6.09	2.06	2.06	2.06	2.06
0+050-H-4	4.69	5.70	2.06	2.06	2.06	2.06
0+100-H-4	4.50	6.60	2.06	2.06	2.06	2.06
0+150-H-4	4.00	4.74	2.23	2.23	2.23	2.23
0+225-H-4	3.59	5.46	3.79	3.79	3.79	3.79
0+445/H/4	4.10	4.10	2.77	2.77	2.77	2.77

POZO		
ID	PROF. LLEGADA	PROF. SALIDA
1+048	5.02	5.50
0+839	3.04	4.40
0+722	5.44	6.00
0+650	3.50	4.50
0+600	3.02	4.00
0+540	0.54	7.00
0+470	2.44	3.60
0+412	2.49	3.10
0+355	2.93	4.00
0+290	4.01	5.00
0+186	4.91	5.60
0+129	3.03	3.90
0+065-H-6	2.63	3.50
0+000-H-6	5.00	6.83
CAPT-H-4	8.38	8.38
CAJA-CONEX_IP	4.80	4.80
0+000-H-4	3.59	6.09
0+050-H-4	4.69	5.70
0+100-H-4	4.50	6.60
0+150-H-4	4.00	4.74
0+225-H-4	3.59	5.46
0+445/H/4	4.10	4.10

TR 100	
SIN PRESA	CON PRESA
4.50	4.13
3.56	3.42
2.83	2.77
2.60	2.55
2.70	2.65
2.81	2.75
2.67	2.63
2.67	2.62
2.83	2.73
3.15	3.08
2.67	2.63
2.73	2.68
2.73	2.68
3.48	3.44
2.84	2.82
2.12	2.12
2.07	2.06
2.07	2.01
2.02	1.93
2.02	2.02
3.79	3.78
2.73	2.78

TR 50	
SIN PRESA	CON PRESA
3.82	3.78
3.07	3.03
2.66	2.64
2.46	2.45
2.55	2.53
2.63	2.62
2.53	2.51
2.53	2.51
2.60	2.58
2.92	2.89
2.52	2.50
2.59	2.58
2.67	2.64
3.42	3.36
2.81	2.77
2.00	1.99
1.92	1.92
1.93	1.93
2.00	1.98
2.17	2.16
3.49	3.44
2.69	2.60

POZO			TR 10	
ID	PROF. LLEGADA	PROF. SALIDA	SIN PRESA	CON PRESA
1+048	5.02	5.50	2.10	2.09
0+839	3.04	4.40	1.93	1.92
0+722	5.44	6.00	1.86	1.85
0+650	3.50	4.50	1.81	1.81
0+600	3.02	4.00	1.83	1.83
0+540	0.54	7.00	1.85	1.85
0+470	2.44	3.60	1.83	1.82
0+412	2.49	3.10	1.83	1.82
0+355	2.93	4.00	1.84	1.84
0+290	4.01	5.00	1.91	1.91
0+186	4.91	5.60	1.83	1.82
0+129	3.03	3.90	1.84	1.83
0+065-H-6	2.63	3.50	1.84	1.84
0+000-H-6	5.00	6.83	2.13	2.12
CAPT-H-4	8.38	8.38	1.98	1.98
CAJA-CONEX_IP	4.80	4.80	1.62	1.62
0+000-H-4	3.59	6.09	1.59	1.58
0+050-H-4	4.69	5.70	1.59	1.58
0+100-H-4	4.50	6.60	1.59	1.58
0+150-H-4	4.00	4.74	1.62	1.61
0+225-H-4	3.59	5.46	2.05	2.04
0+445/H/4	4.10	4.10	1.98	1.97

En la tabla anterior se comparan los tirantes obtenidos en la simulación con la profundidad de llegada a cada pozo del colector Tacubaya. En amarillo se muestran aquellos tirantes que llegan a estar hasta 10 cm por encima de la profundidad de llegada; esto representaría una inundación no tan grave en dichos pozos.

En rojo se muestran aquellos tirantes que están más de 10 cm por encima de la profundidad de llegada al pozo, estos representan un mayor riesgo de inundación en la superficie ya que el agua saldría de los pozos hacia la calle.

Se observa que para un periodo de retorno de 10 años la diferencia de tirantes obtenidos con y sin presa es en promedio de 1 cm más al quitar la presa Ruíz Cortines, además cuenta con un punto crítico ubicado en el cadenamiento 0+540 donde el nivel de la superficie libre del agua estaría 1.31 m por encima del nivel de la superficie del pozo. Probablemente este pozo se encuentre cerrado y soporte la presión ejercida por el agua para que esta no salga al nivel de la calle.

Para un periodo de retorno de 50 años la diferencia promedio de tirantes es de 3 cm más al quitar presa, el riesgo de inundación es prácticamente el mismo excepto en el cadenamiento 0+839 donde al quitar la presa el tirante estaría 3 cm por encima del nivel del pozo, pero 1 cm debajo de este si la presa se dejase.

Para periodos de retorno de 100 años la diferencia de niveles es de 6 cm al quitar la presa y el riesgo de inundación en distintos puntos es prácticamente el mismo, variando por centímetros.

Para periodos de retorno de 500 y 1000 años, ya no se aprecia diferencia en los tirantes al quitar la presa y se aumentan los puntos donde los tirantes están por encima del nivel de los pozos, para estos casos el riesgo de inundación es prácticamente igual al dejar o quitar la presa Ruíz Cortines.

### **6.3 Modelación sin la presa Ruíz Cortines e infraestructura propuesta.**

Como ya se mencionó, la presa Ruíz Cortines es la última presa en serie antes de derivar el agua hacia el IP por el colector Tacubaya. Esta recibe los hidrogramas de salida de la presa Tacubaya los cuales se conducen a superficie libre hasta un colector de 1.52 m de diámetro que los lleva a la presa Ruíz Cortines.

El proyecto del tren Interurbano propone rehabilitar el cauce del río Tacubaya aguas abajo de la presa Tacubaya hasta este colector de 1.52 m de diámetro, el cual en caso de desaparecer la presa Ruíz Cortines deberá conectarse directamente con el colector Tacubaya descrito anteriormente.

El proyecto proporcionado por la DGOT propone un cajón de sección rectangular cuyas secciones son más anchas y altas a la salida de la presa y se van reduciendo hasta la llegada al colector de 1.52 m de diámetro (figura 6.9 y 6.10).



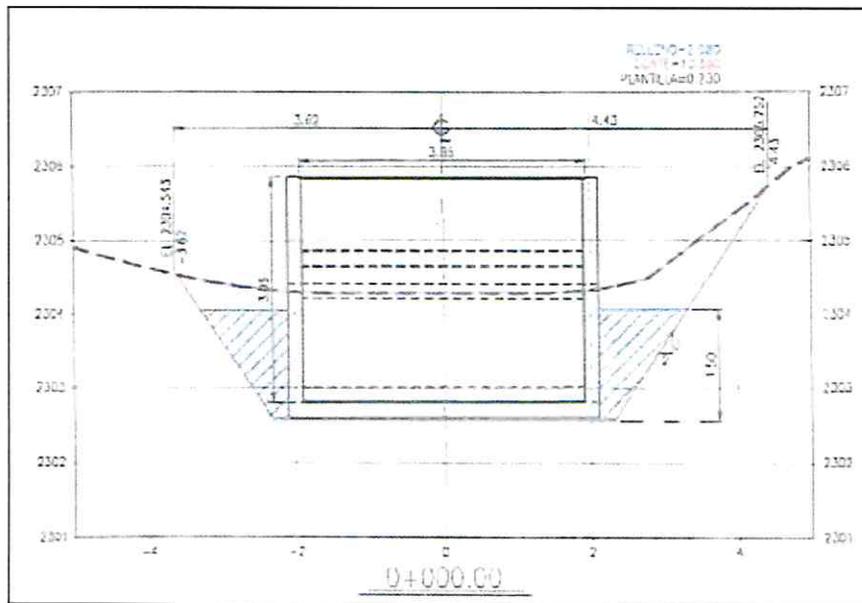


Figura 6.9 Sección del cajón rectangular a la salida de la presa Tacubaya.

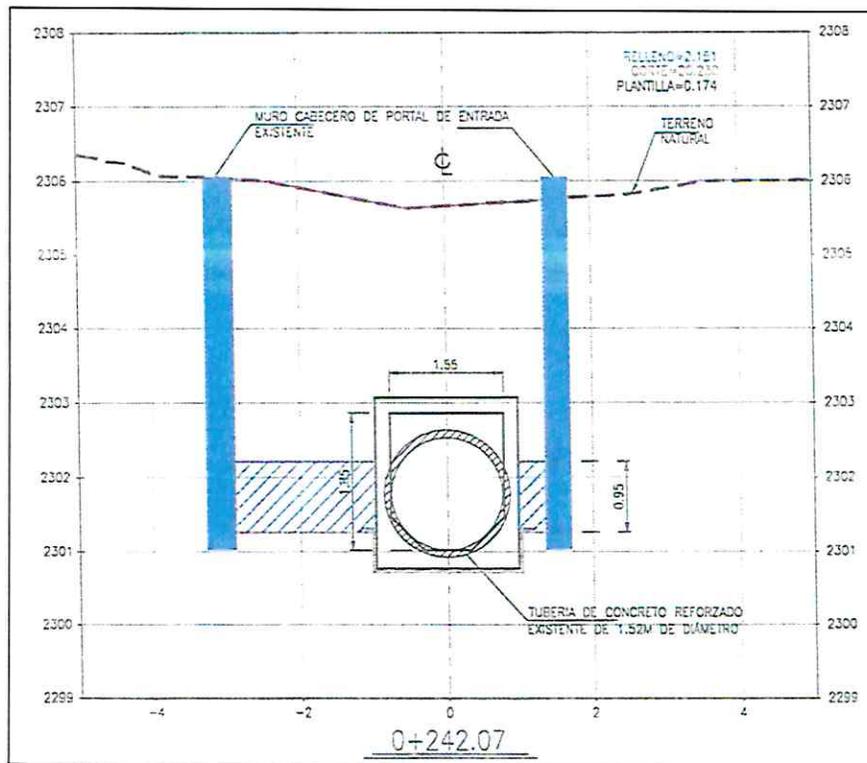
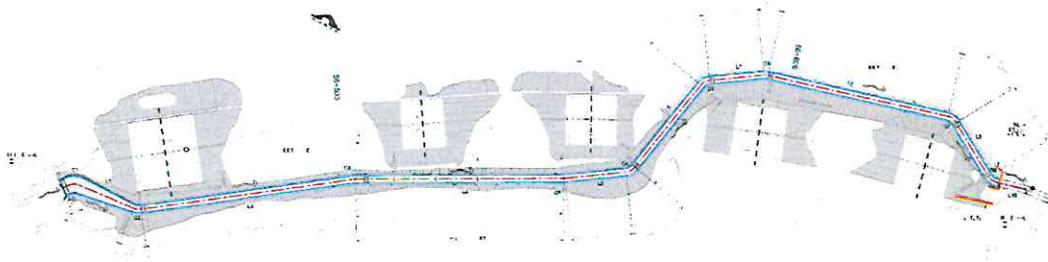


Figura 6.10 Sección del cajón a la llegada del colector de 1.52 m de diámetro.

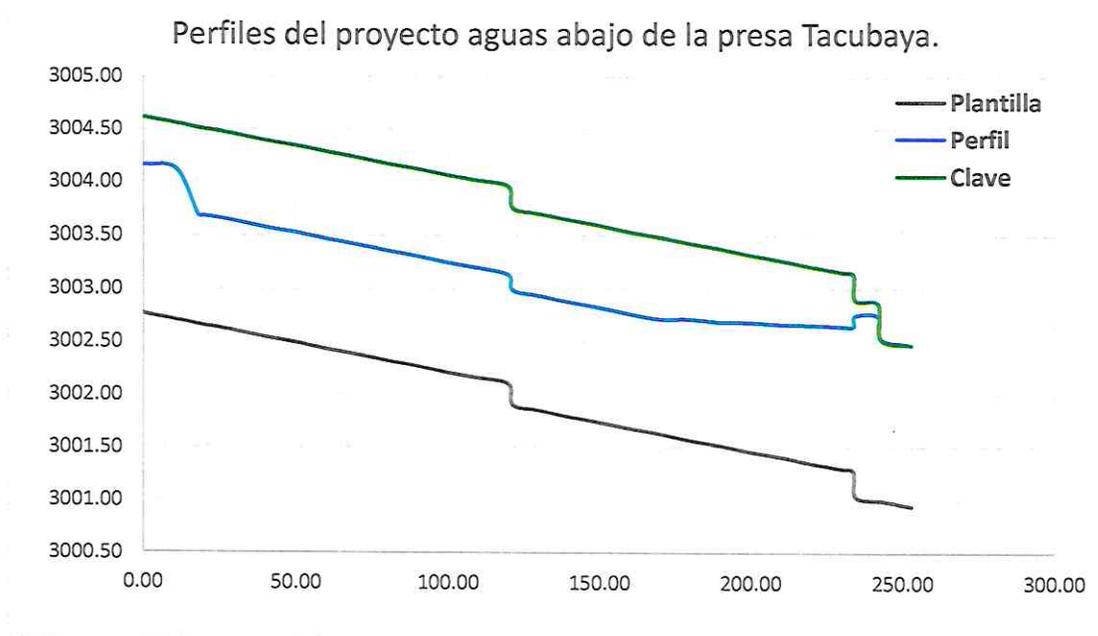
La planta del proyecto propuesto se muestra en la figura 6.11, se rectificó el trazo del cauce natural con el fin de librar las zapatas y columnas que soportaran la vía del tren.



**Figura 6.11 planta del proyecto de rectificación del río Tacubaya aguas debajo de la presa Tacubaya.**

Primero se calculó el gasto máximo que puede pasar por el colector de 1.52 m de diámetro y pendiente  $S = 0.0055$ .

El gasto máximo que puede conducir el conducto es de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  sin entrar en carga. A partir de este gasto se calculó el perfil de la superficie libre del agua hacia aguas arriba, es decir hacia la cortina de la presa Tacubaya. La figura 6.12 muestra el resultado del cálculo del perfil desde la cortina hasta el colector.



**Figura 6.12. Perfil de la superficie libre del agua en el cajón para el gasto máximo conducido por el colector de 1.52 m de diámetro.**

La tabla 6.2 muestra el resultado del cálculo anterior. Para dicho cálculo se propuso un coeficiente de rugosidad  $n = 0.014$  que es el propuesto para superficies de concreto.

Cabe señalar que el gasto estimado es el máximo que puede conducir el colector sin entrar en carga. Este colector funge como un cuello de botella al momento de conducir el gasto hacia la presa Ruíz Cortines. El cajón propuesto es suficiente para conducir los gastos de salida de la presa Tacubaya en época de estiaje, sin embargo, desde periodos de retorno bajos, 10 años, los gastos de salida son del orden de 12 m<sup>3</sup>/s, más del doble, esto haría que el nivel de los tirantes suba por encima del bordo del cajón desbordándose, con esto el colector comienza a trabajar a presión y el nivel del cauce sube como sucede en la actualidad.

Al subir el nivel y desbordarse el cajón, el agua inundaría las pilas proyectadas, sin embargo, las velocidades presentadas en el cauce serian del orden de 1.74 m/s. Estas velocidades bajas no representan un peligro para las pilas y la construcción del cajón tampoco cambiaria las condiciones de operación que actualmente se presentan en época de lluvias ya que actualmente el cauce del río también sube y el colector ya construido es el que condiciona la conducción hacia aguas abajo.

**Tabla 6.2 Cálculo del perfil de la superficie libre del agua en el cajón del río Tacubaya propuesto**

COTA PLANTILLA	TIRANTE	COTA AGUA	COTA CLAVE
m. s. n. m.	m	m. s. n. m.	m. s. n. m.
3000.95	1.52	3002.47	3002.47
3001.00	1.52	3002.52	3002.52
3001.00	1.73	3002.73	3002.85
3001.04	1.70	3002.74	3002.89
3001.27	1.37	3002.64	3003.12
3001.30	1.34	3002.64	3003.15
3001.35	1.30	3002.65	3003.20
3001.41	1.25	3002.66	3003.26
3001.46	1.22	3002.68	3003.31
3001.52	1.16	3002.68	3003.37
3001.57	1.14	3002.71	3003.42
3001.63	1.08	3002.71	3003.48
3001.68	1.08	3002.76	3003.53
3001.74	1.08	3002.82	3003.59
3001.79	1.08	3002.87	3003.64
3001.85	1.08	3002.93	3003.70
3001.90	1.08	3002.98	3003.75
3002.10	1.02	3003.12	3003.95
3002.16	1.03	3003.19	3004.01
3002.21	1.03	3003.24	3004.06
3002.27	1.03	3003.30	3004.12
3002.32	1.03	3003.35	3004.17
3002.38	1.03	3003.41	3004.23
3002.43	1.03	3003.46	3004.28
3002.49	1.03	3003.52	3004.34
3002.54	1.03	3003.57	3004.39
3002.60	1.03	3003.63	3004.45
3002.65	1.03	3003.68	3004.50
3002.66	1.03	3003.69	3004.51
3002.70	1.41	3004.11	3004.55
3002.75	1.41	3004.16	3004.60
3002.76	1.40	3004.16	3004.61

## 7.-PROPUESTA DE ACCIONES PARA MITIGAR EL RIESGO DE INUNDACIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO.

Para este trabajo se recopiló la información más actual referente a las presas y a la infraestructura hidráulica en la zona por donde se construirá el nuevo tren interurbano México-Toluca. Uno de los datos más importantes para el estudio son las curvas capacidad-volumen ya que con estas se estima el volumen de regulación de cada una de las presas en estudio. Estas curvas cambian cada año debido a los azolves y al mantenimiento de cada vaso, por lo anterior se tomaron los levantamientos más recientes de las curvas proporcionadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).

Una de las principales afectaciones de la construcción del tren interurbano al funcionamiento de las presas es que el volumen de obra que se ubicará en los vasos representa una disminución en la capacidad de regulación; por lo anterior, se pidieron los planos de proyecto a la DGOT para estimar las curvas elevación-volumen tomando en cuenta esa disminución de volumen. De lo anterior se observó que el volumen de obra dentro de los vasos no es importante en comparación con el volumen de los vasos, por lo que diferencia de volúmenes respecto a las elevaciones con y sin obra del tren es despreciable (ver, por ejemplo, la figura 7.1). Debido a lo anterior, los resultados del tránsito de avenidas no se modificaron y se concluyó que las obras del tren interurbano dentro de los vasos no presentan una afectación considerable para la capacidad de regulación de cada presa.

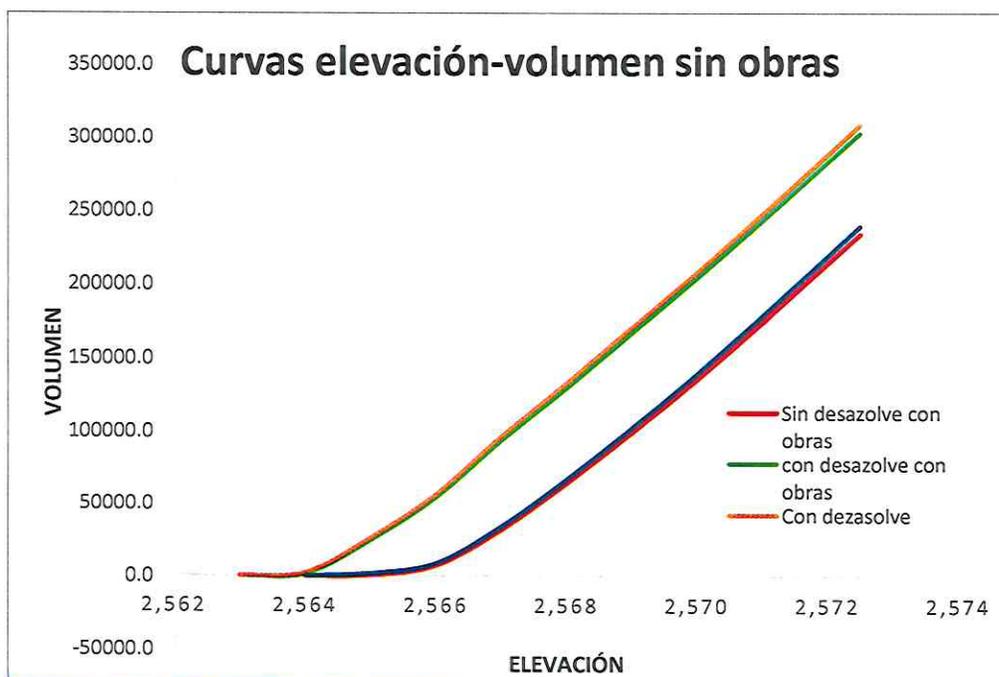


Figura 7.1 Estimación de la curva elevación volumen del vaso Totolapa, con y sin obras.

Por otro lado, las obras si representan otro tipo de problemas, tal es el caso del vaso de la presa Totolapa sobre el cual se construirá la estación Santa Fe, apoyada en una serie de columnas circulares, si bien el volumen de las pilas no es representativo comparado con el volumen de regulación del vaso, la cercanía de las columnas entre sí podría representar un problema para maniobrar la maquinaria necesaria al momento de desazolvar, por lo anterior, se recomienda elaborar un plan adecuado de desazolva para seguir dando mantenimiento al vaso Totolapa.

En el caso del vaso Tacubaya, durante la visita realizada se observó que el túnel de Becerra C a Tacubaya estaba obstruido por un tapón de basura; para el correcto funcionamiento del sistema se recomienda limpiar dicho tapón, así como la basura que obstruye las obras de toma de la presa y la entrada del túnel hacia la presa Tecamachalco.

Durante la visita y las reuniones realizadas se comentó de un colector de drenaje local que captaba las descargas de agua residual de las casas aledañas al vaso de la presa Tacubaya y conducía el agua hacia el vaso, este se quitó debido a las obras del tren dejando las descargas de las casas directas hacia el vaso.

Se recomienda diseñar un colector que capte el agua proveniente del río Tacubaya en el punto donde se intersecta con la descarga del túnel de Becerra C para conducir el agua aguas abajo de la presa en época de estiaje, esto con el fin de ayudar al mantenimiento y desazolva del vaso. Las descargas de las casas mencionadas pueden estar conectadas a dicho colector.

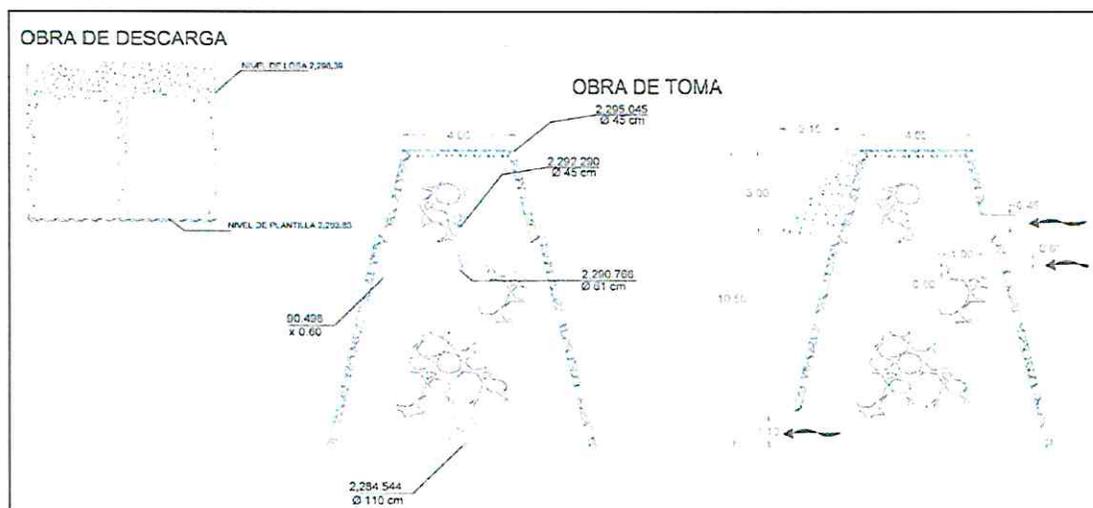
A un costado del vaso de Tacubaya existen instalaciones de la SEDENA las cuales son afectadas cuando sube el nivel en la presa. Tanto por el nivel del agua como por las velocidades que se presentan en época de lluvias, existe un riesgo de inundación asociado a diferentes periodos de retorno como se muestra en la figura 7.2. Por este motivo se recomienda diseñar una obra de protección perimetral adecuada como podría ser un muro de concreto armado.





de 1.74 m/s. Estas velocidades bajas no representan un peligro para las pilas y la construcción del cajón tampoco cambiaria las condiciones de operación que actualmente se presentan en época de lluvias ya que actualmente el cauce del río también sube y el colector ya construido es el que condiciona la conducción hacia aguas abajo.

En la presa Ruíz Cortines se recomienda reparar y habilitar los orificios de la obra de toma como se muestra en la figura 7.3 ya que estas fueron las condiciones y los niveles simulados para obtener los gastos de descarga hacia el colector Tacubaya,



**Figura 7.3 Levantamiento de la obra de toma de Ruíz Cortines proporcionado por SACMEX.**

Debido a que se planteó la posibilidad de que el vaso de Ruíz Cortines desaparezca en un futuro, se realizó el tránsito de avenidas considerando y sin considerar la regulación de dicha presa. Se observó que los gastos pico son muy parecidos entre sí, ya que, la presa Ruíz Cortines tiene capacidad de regular únicamente las avenidas de su cuenca propia. La desaparición del vaso Ruíz Cortines representaría una afectación en el colector Tacubaya que es el encargado de conducir el agua hacia el Interceptor del Poniente o al río de la Piedad, por lo que se revisó el funcionamiento hidráulico de dicho colector considerando y sin considerar la regulación de la presa.

Se observó que en general las afectaciones debidas a la desaparición de la presa Ruíz Cortines no son muy grandes aguas abajo en el colector Tacubaya, para periodos de retorno bajos, 10 años, representan un aumento en los tirantes de aproximadamente 1 cm y se observó que hay un pozo en el cadenamamiento 0+540 que probablemente presenta problemas de desbordamiento en época de lluvias.

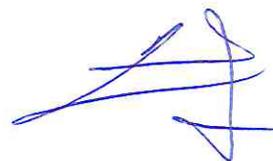
Al subir el periodo de retorno, la diferencia de tirantes aumenta, tal es el caso de los 50 años de periodo de retorno donde se observa que los tirantes son aproximadamente 3 cm más grandes al quitar la regulación de la presa, para este

periodo de retorno el riesgo de inundación aumenta en el cadenamiento 0+839 donde al quitar la presa el nivel del pozo estaría 3 cm por encima de este, en lugar de 1 cm por debajo si se deja la presa.

Para periodos de retorno de 100 años la diferencia de niveles es de 6 cm al quitar la presa y el riesgo de inundación en distintos puntos es prácticamente el mismo, variando por centímetros.

Para periodos de retorno de 500 y 1000 años, ya no se aprecia diferencia en los tirantes al quitar la presa, pero aumentan los puntos donde los tirantes están por encima del nivel de los pozos. Debido a lo anterior se recomienda proyectar un colector auxiliar que ayude a conducir los gastos provenientes de las presas hacia el Interceptor del Poniente.

Por último, se destaca que la actividad principal para el correcto funcionamiento del sistema de presas para evitar inundaciones en toda la zona de estudio, es tener un buen programa de desazolve anual que permita tener en óptimas condiciones los vasos antes de que inicie la época de lluvias.



## Referencias bibliográficas.

Baeza Ramírez, Carlos. Estimación regional de factores de convectividad para el cálculo de las relaciones intensidad-duración-frecuencia, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM septiembre 2007.

Domínguez, R., Esquivel, G., Méndez, A., Arganis, M., Carrizosa, E., (2008). "*Manual para el Pronóstico de Escurrimiento*". Instituto de Ingeniería UNAM.

Domínguez, R., (2008). "Sistema para el Control y Drenaje de las avenidas en el área metropolitana del Valle de México". Instituto de Ingeniería UNAM.

Domínguez, Carrizosa, Fuentes, Arganis, Osnaya, Galván., (2015). "Análisis Regional para la estimación de precipitaciones de diseño en la república mexicana". Instituto de Ingeniería UNAM. México.

Domínguez, M. R. et al. (2017). "Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la República Mexicana". Informe Técnico elaborado para el Centro Nacional de Prevención de Desastres

Domínguez M. R., (1982) "*Manual de Hidráulica Urbana*", Tomo I, Capítulos 1, 2, 3 y 4, 196 pp., Tomo II, Capítulos 1 y 2, 21 pp. y Tomo III, Capítulos, B y C, 64 pp., editado por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal.

Franco, D.C.G. y Domínguez, M.R., (1998) "*Análisis Regional de Lluvias Convectivas Aplicación en el Valle de México*". Tesis de Maestría. UNAM, CDMX.

Franco, Víctor. et al (1992). "*Diagnóstico de las presas del Poniente*". Instituto de Ingeniería, UNAM.

Sánchez, M.S.A., (2017) "Actualización de los factores de reducción por área para distintas regiones de la República Mexicana" Tesis de Maestría. DEPI UNAM, México.

Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2017) "*Estudio para determinar la estabilidad de las presas del poniente y elaborar los proyectos necesarios para recuperar su capacidad de regulación*" Informe para CFE. México, CDMX.