



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis de los recursos hídricos de la cuenca del
río Papagayo para la generación de energías
limpias; estudio de la factibilidad técnica del
proyecto hidroeléctrico "La Parota", Acapulco
Guerrero, México**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Martín Anguiano Salinas

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Sadoth Fabián Huerta Loera



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

AGRADECIMIENTOS.

Primero que nada me gustaría agradecer profundamente a mis padres Patricia Salinas Pérez y Martín Anguiano Lozada quienes me han dedicado su tiempo para instruirme y enseñarme a siempre superarme, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio. A mi hermano Oscar Eduardo Anguiano Salinas que siempre ha sido una n mis motivaciones para no rendirme. Espero que este siguiente paso en mi vida los llene de orgullo y en un futuro no muy lejano, de mi parte regresar un poco de lo que han hecho por mí.

A mi compañera de vida Karla Cecilia Romero García, que desde que llegó a mi vida ha sido parte fundamental de ella. Sus consejos y apoyo a lo largo de mi carrera universitaria me han ayudado a mejorar mi formación académica.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser parte de una de las mejores universidades del mundo, que gracias a los aprendizajes académicos y personales obtenidos desde el bachillerato, han definido mi formación.

A todos mis amigos y compañeros que he hecho desde el bachillerato perteneciendo a esta institución, a Gustavo Pineda y Octavio Moreno quienes han sido mis compañeros de clase y amigos desde el inicio de esta carrera.

Al Dr. Sadoth Fabián Huerta Loera por su valioso tiempo y paciencia a lo largo del desarrollo de este trabajo, sin duda su apoyo ha sido parte fundamental del termino de la tesis. Gracias a mis sinodales por su tiempo, apoyo y comentarios.

Y no menos importante a mi país, ya que sin el apoyo de todos los mexicanos, la formación educativa que he recibido a lo largo de mi vida no sería posible. Es un hecho que corresponderé con mi trabajo y esfuerzo poniendo el nombre de México en alto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CAPACIDAD INSTALADA	4
1.1. PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD POR MEDIO DE RECURSOS NO RENOVABLES.....	5
1.1.1. Situación internacional.....	10
1.1.2. Capacidad instalada para generación de electricidad en México.....	15
1.2. FUENTES RENOVABLES	18
1.2.1. Producción de electricidad con fuentes renovables en el sector energético internacional	20
1.2.2. Generación e integración de fuentes limpias al Sistema Eléctrico Nacional.	24
1.2.3. Marco legal en materia de energías limpias en México	27
2. POTENCIAL HIDROELECTRICO EN MÉXICO	31
2.1. HIDROLOGÍA.....	34
2.1.1. Cuenca Hidrográfica	34
2.1.2. Recursos Hídricos en México	36
2.1.3. Hidrogramas	44
2.1.4. Disponibilidad del recurso hídrico	50
2.2. ALMACENAMIENTO DEL AGUA.....	51
2.2.1. Dimensionamiento y características de un embalse.....	52
2.2.2. Centrales hidroeléctricas en México.....	58
2.3. INFRAESTRUCTURA HIDROELÉCTRICA EN MÉXICO.....	62
3. CASO DE ESTUDIO: PROYECTO HIDROELÉCTRICO “LA PAROTA”. ACAPULCO GUERRERO, MÉXICO	67
3.1. LOCALIZACIÓN Y ACCESO.....	69
3.2. HIDROLOGÍA DEL SITIO	71
3.2.1. Embalse	75
3.3. OBRAS PRINCIPALES	76
3.4. ANÁLISIS GENERAL DE LA FACTIBILIDAD DEL P.H. LA PAROTA.....	90
3.4.1. Aportación de energía al Sistema Eléctrico Nacional.....	90
3.4.2. Aspecto social para el desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota” ...	95
4. ANÁLISIS DEL ESTUDIO HIDROENERGÉTICO DEL P.H. LA PAROTA	101

4.1.	ANÁLISIS DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO.....	103
4.1.1.	Precipitación.....	115
4.1.2.	Evaporaciones	117
4.1.3.	Avenidas de diseño.....	120
4.2.	CURVA ELEVACIONES – ÁREA – CAPACIDADES	133
4.3.	ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA ÓPTIMA	137
4.3.1.	Funcionamiento de Vaso.....	138
4.3.2.	Potencia media	147
4.3.3.	Simulación de funcionamiento de vaso para el P.H. “La Parota”	148
4.4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS CON RESPECTO AL PROYECTO ORIGINAL.....	156
	CONCLUSIONES.....	163
	BIBLIOGRAFÍA	168

INTRODUCCIÓN

A través de los años, la demanda de energía eléctrica en el mundo ha ido creciendo considerablemente debido al incremento en la población, nuevas industrias, comercio, etc. Actualmente, la energía eléctrica es de suma importancia para la vida diaria, siendo un insumo primordial en medios de transporte, comunicaciones y servicios públicos, los cuales demandan cierta cantidad de energía a lo largo del día y deben ser abastecidos por fuentes con suministros confiables, que no carezcan de producción y así mantener un bienestar en las zonas beneficiadas por el servicio. Por lo cual, se ha buscado la manera de generar energía de diferentes formas para satisfacer la demanda probable a cualquier hora que se requiera, siendo la más utilizada proveniente del uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas, etc.).

México no ha sido la excepción, y el gobierno federal ha continuado con esta línea de preferencia de inversión en la construcción de plantas a base de hidrocarburos, pues han sido considerados económicamente factibles debido a yacimientos naturales de petróleo encontrados. No solo en México sino en el mundo, se presentó un crecimiento importante en plantas con combustibles fósiles llegándolas a considerar la principal fuente de generación de energía eléctrica.

Sin embargo, el futuro parece que puede modificar drásticamente las tendencias tecnológicas para la generación de energía eléctrica, ya que hoy en día, el precio global de los hidrocarburos se ha incrementado debido a la disminución de las reservas de petróleo crudo a nivel global, conflictos políticos en los países productores de hidrocarburos, así como las afectaciones ambientales que este tipo de generación provoca. Es por ello que ante los problemas del cambio climático, México ha tenido desventaja en materia de sustentabilidad por ser bastante dependiente de la generación por combustibles fósiles en comparación con el mundo¹.

¹ RAMOS-GUTIÉRREZ, L.J. & MONTENEGRO-FRAGOSO, M. **Las centrales hidroeléctricas en México: pasado, presente y futuro**. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. III, No. 2, (Fecha de consulta: 8 de septiembre de 2019), PP.111

De lo anterior, el gobierno federal a través de la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), tiene la meta a corto plazo que en el 2024 el 35% de la capacidad instalada en México provenga de fuentes limpias, y para el año 2050 que esta sea del 50% del total del país. De acuerdo con datos del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2021 – 2035, la capacidad instalada en México al 30 de abril de 2021 es de 89,476 MW de la cual el 68% es correspondiente a fuentes de energía no renovables, mientras que el 32% restante a fuentes renovables. Por ello existe la necesidad de incrementar esta última para transitar a un modelo energético más sustentable y así tener mayores y mejores mecanismos efectivos para la lucha contra el cambio climático.

El registro de generación de energía limpia y renovable en el país a finales del año 2020 fue de un total de 65,221 GWh, de la cual la energía hidroeléctrica registro la mayor cantidad de generación con 26,817 GWh que representa aproximadamente el 41% de la generación total con 12,614 MW de capacidad instalada gracias a las 101 centrales hidroeléctricas tanto de Comisión Federal de Electricidad (CFE) como de privados, por lo que ha sido una de las mejores opciones para la producción de energía limpia, que además, en proyectos bien planificados brinda mejores condiciones de desarrollo para las comunidades en la zona donde se planeen².

México es un país con alto potencial para la generación de energías renovables, y los recursos hídricos no son la excepción, el potencial hidroeléctrico del país está en función del almacenamiento de las 181 presas que representan alrededor del 80% de la capacidad total almacenada³, sin embargo, los patrones de lluvia y el aumento de las sequías por el cambio climático puede crear conflictos e incertidumbre en la realización de estos proyectos, por lo que es indispensable identificar las mejores regiones para el aprovechamiento de este recurso y así maximizar la generación de energía renovable en el país.

² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Bases para un Centro Mexicano en Innovación de Energía Hidroeléctrica. CEMIE-Hidro. Primera parte: Infraestructura Hidroeléctrica Actual, Primera edición. 2017.

³ Ibid pp 23

Con el fin de poder analizar el potencial hidroeléctrico de México, se presenta el análisis de la factibilidad técnica del proyecto hidroeléctrico “La Parota”, su extensión abarca los municipios de Acapulco de Juárez, San Marcos, Juan R. Escudero y Teconoapa, en el estado de Guerrero, México, en donde se pretende aportar argumentos que buscan analizar la viabilidad del proyecto mediante la evaluación y caracterización de los recursos hídricos de la cuenca del río Papagayo, así como presentar la situación actual del país en materia de energías limpias y la contribución que este tipo de generación brinda al Sistema Eléctrico Nacional, para así, incentivar el desarrollo de más obras de carácter hidroeléctrico.

Con el análisis de los recursos hídricos de la cuenca del río Papagayo se pretende comparar la potencia instalada propuesta en el proyecto original, junto con otra potencia seleccionada, aportando argumentos que caractericen a cada una de estas así como las ventajas y desventajas que tienen sin dejar de tomar en cuenta las afectaciones ambientales durante la operación de la central.

1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CAPACIDAD INSTALADA

La energía eléctrica se ha convertido en un elemento fundamental en el desarrollo de nuestra vida cotidiana, tanto en el ámbito doméstico como industrial. Esta ha alcanzado un nivel de demanda bastante alto, en el que existe el propósito por parte del sector energético mundial de producir energía con respecto al crecimiento económico y de población que se presente en los próximos años. La producción a gran escala es llevada a cabo en centrales eléctricas, en donde efectúan procesos para la transformación de cualquier tipo de trabajo, en electricidad. Para ello se utilizan fuentes primarias que se clasifican en dos tipos, renovables y no renovables.

Las fuentes renovables son aquellas que son tomadas de los recursos naturales como el sol, viento, agua, etc., las cuales son caracterizadas por ser capaces de renovarse ilimitadamente, además tener un impacto ambiental escaso en comparación con las fuentes no renovables, que son aquellas que se encuentran en una cantidad agotable o simplemente no tienden a regenerarse, entre estas se encuentran combustibles fósiles como el carbón, petróleo, gas natural, etc.

Si bien tanto en México como en el mundo la mayor parte de la generación de energía eléctrica está basada en la quema de combustible, las energías renovables tienen que empezar a tomar un papel fundamental en la producción de energía, sobre todo para no continuar con la emisión de gases de efecto invernadero que es la principal desventaja de las fuentes no renovables.

Es frecuente el uso de los términos de energías renovables y energías limpias para referirse al mismo tipo de generación, sin embargo existe una diferencia entre ellas, siendo estas últimas las que durante su producción emiten un número menor de contaminantes en comparación con la energía proveniente de fuentes fósiles. La confusión entre estos dos conceptos es muy común debido a que existen energías con ambas características, ya que provienen de un recurso inagotable y a la vez son limpias porque contaminan menos al medio ambiente. Sin embargo, no todas las energías que son renovables son consideradas 100% limpias; depende en su

mayoría de la gestión del recurso así como de los procesos que se lleven para la generación de energía.

Es imprescindible que se comience con una inclinación en el sector energético hacia una transición del uso de combustibles fósiles a fuentes renovables, limpias y sustentables como recurso principal para la producción de electricidad. En el presente capítulo se abordará la generación de electricidad que se tiene con ambas fuentes de energía, la situación actual en la que se encuentran, así como las desventajas y ventajas que conllevan cada una de ellas al ser utilizadas para la producción de energía eléctrica.

1.1. PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD POR MEDIO DE RECURSOS NO RENOVABLES.

Los recursos no renovables como los combustibles fósiles son formados por restos orgánicos proveniente de plantas y animales que sufrieron variaciones durante siglos debido a cambios de presiones, temperaturas y falta de oxígeno, formando materias de alto grado energético como el carbón, petróleo y gas natural. Se puede obtener energía a partir de la quema de estos combustibles y así transformarla en electricidad, sin embargo, esta fuente de energía parte de un recurso agotable.

Su empleo se encuentra asociado a la Revolución Industrial, la cual inició a mediados del siglo XVIII, siendo esta la transición de la mano de obra y el uso de animales como medio de transporte, a maquinaria de tipo industrial y de servicios de transporte de mercancía así como de pasajeros, siendo el carbón la principal fuente de energía para motores de combustión interna que dichas máquinas utilizaban y que algunas actualmente siguen en funcionamiento.

La producción de energía eléctrica se lleva a cabo en centrales termoeléctricas, estas llevan a cabo un proceso de refinado de energía mediante la obtención de energía química proveniente de algún combustible fósil que pasa por un proceso de combustión producido en una caldera teniendo como resultado energía térmica en forma de calor (vapor de agua) para hacer girar una turbina que se encuentra

conectada a alternadores realizando el cambio de energía cinética a energía eléctrica.

Aunque el funcionamiento para este tipo de generación es muy similar en todas las instalaciones termoeléctricas, la forma del proceso para poner en marcha dicho mecanismo es muy distinta, dependiendo la clase del recurso para producir calor, por ejemplo en una central donde se trabaja con carbón, este tiene que pasar por un proceso de trituración y almacenaje antes de entrar en la caldera, mientras que en las de gas natural, el recurso llega directamente por ductos, sin necesidad de almacenarlo. Actualmente existen tres maneras de clasificar las termoeléctricas con respecto al tipo de tecnológica usada para el proceso de generación que son centrales de ciclo convencional, centrales de ciclo combinado y centrales duales.

En el proceso de una central termoeléctrica convencional, el combustible pasa a una caldera donde ocurre el proceso de combustión, provocando la energía térmica que se utiliza para calentar agua, este se transforma en vapor el cual es mandado por tuberías a una presión muy elevada hacia una gran turbina haciéndola girar, convirtiendo la energía calorífica en energía mecánica que, posteriormente, se transforma en energía eléctrica en un alternador. La electricidad pasa por un transformador que aumenta su tensión y permite transportarla. El vapor que sale de la turbina se envía a un condensador para convertirlo en agua y devolverlo a la caldera para empezar un nuevo el ciclo de producción de vapor, este proceso de las centrales termoeléctricas convencionales es el mismo para cualquier tipo de combustible usado. En la Figura 1.1 se puede observar gráficamente como se compone una central de ciclo convencional.

En el caso de una central de ciclo combinado (Figura 1.2) su tecnología permite mover dos tipos de turbina, una de ellas trabaja a través del calor proveniente de la combustión directa del gas, todo esto inicia con el ingreso de aire comprimido a alta presión por un compresor a la cámara de combustión donde es combinado con el combustible, los gases emitidos pasan a la turbina donde ocurre el proceso de transformación de energía calorífica a mecánica; la segunda turbina es accionada mediante la reutilización del calor desprendido de la combustión del gas, usado para

generar vapor de agua y así activar un proceso convencional de generación termoeléctrica. A la salida de la turbina el vapor es transformado de nuevo en agua mediante un proceso de condensación regresándolo a la caldera para iniciar un nuevo ciclo de producción de vapor. Ambas turbinas pueden estar conectadas a un generador eléctrico independiente o compartido respecto al tipo de proyecto. En la Figura 1.2 se puede observar gráficamente como se compone una central de ciclo combinado. Una de las ventajas que tiene esta tecnología con respecto a la convencional, es que puede generar la misma electricidad con menos combustible.⁴

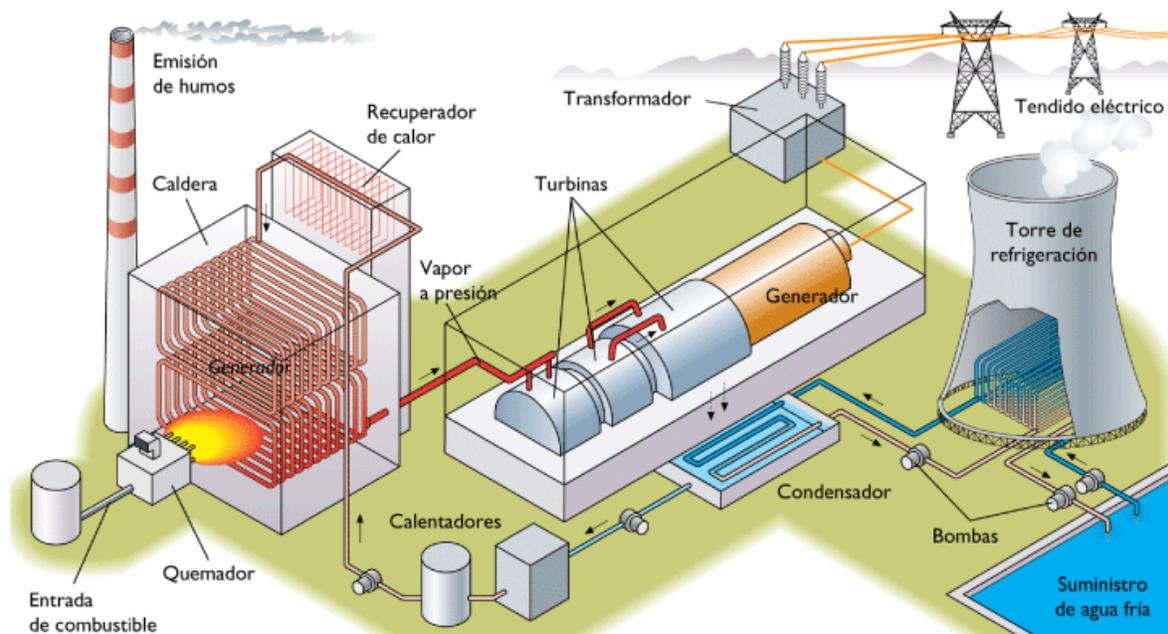


Figura 1.1: ESQUEMA DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO CONVENCIONAL

(Esquema tomado del siguiente URL:

<https://sites.google.com/site/centraleselectricasgarciaperez/central-trmica-de-combustin>)

⁴Fundacion ENDESA, **Central Térmica de Ciclo Combinado**, [En línea]: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/central-termica-convencional-ciclo-combinado>

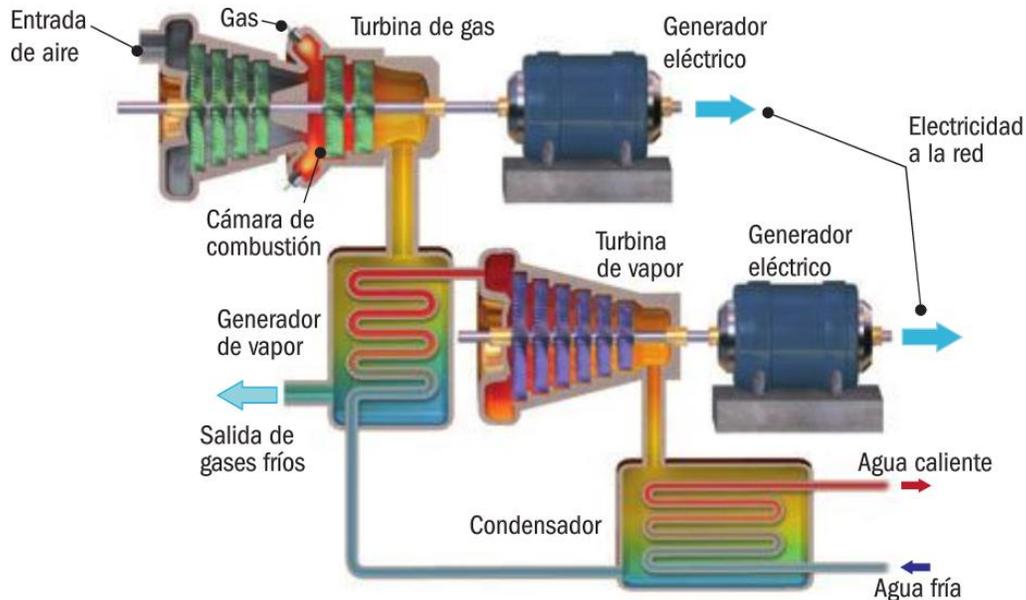


Figura 1.2: ESQUEMA DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO

(Esquema tomado del siguiente URL:
<http://pelandintecno.blogspot.com/2012/11/centrales-de-ciclo-combinado.html>)

Las centrales termoeléctricas duales no son muy comunes, estas tienen la capacidad de operar por medio del uso de dos tipos de combustibles, regularmente se usan con gas y petróleo. En los cuales puede ser usado tanto en ciclo combinado como en un sistema convencional.

Cada tipo de material fósil cuenta con características específicas, por ejemplo, el carbón al ser el precursor de los combustibles fósiles para la generación de energía resultaba sencilla su transportación y capacidad de generación, debido a que en el mundo existen grandes reservas de este mineral. Sin embargo su principal debilidad radica en la cantidad de contaminantes que emite la combustión de este material al ambiente.

Lo mismo sucede con el petróleo, ya que además de la combustión, la extracción y transporte de este material causa alteraciones a los ecosistemas. Existe una teoría llamada *pico del petróleo*, la que se define como el momento en el cual la producción de petróleo dejará de crecer tras alcanzar una tasa máxima de extracción,

evidenciando que se trata de un recurso finito no renovable, excluyendo el descubrimiento de nuevos yacimientos o nuevas formas de petróleo no convencionales.

La fracturación hidráulica o también conocida como *fracking* es un concepto que no se debe dejar de lado si de petróleo se está hablando. Consiste en una técnica utilizada para aumentar la extracción de gas y/o petróleo del subsuelo en la cual se inyecta por medio de un pozo a más de 2,500 metros de profundidad agua a presión mezclada con productos químicos y arena con el objetivo de ampliar las fracturas de los sustratos que encierra el gas y el petróleo favoreciendo su salida a la superficie. El impacto ambiental de este tipo de técnicas conlleva a la contaminación de acuíferos, debido a su alto consumo de agua utilizada para la extracción, así como contaminación atmosférica producida por la extracción de gas metano, e incluso casos de actividad sísmica debido al uso de este proceso⁵.

Por otra parte, el gas natural es definido como una mezcla de hidrocarburos en los que se encuentra el metano, butano, entre otros. Este al igual que los demás combustibles fósiles proviene de la descomposición de materia orgánica de hace miles de años. Puede encontrarse en yacimientos de petróleo o bien en reservas independientes, se caracteriza principalmente por su baja cantidad de residuos de combustión, produciendo menor cantidades de dióxido de carbono, nitrógeno, azufre etc., en comparación con el petróleo y carbón. Es la fuente de energía fósil que tiene un menor impacto ambiental.

Otra forma de generación de energía no renovable es la nuclear, se considera de esta manera ya que el principal combustible que se utiliza no se puede regenerar por sí mismo. Esta energía es generada mediante la fisión de átomos de uranio, generada en un reactor nuclear, liberando una gran cantidad de energía que calienta el agua hasta evaporarla, para así girar la turbina por la acción del vapor e iniciar con la transformación de energía mecánica en electricidad. El uranio es un material

⁵ Alianza Mexicana contra el fracking, **¿Qué es el Fracking?**, [En línea]: <https://www.nofrackingmexico.org/que-es-el-fracking/> (Fecha de consulta: 30 de noviembre de 2019)

que se encuentra de forma natural, sin embargo, en la naturaleza no es posible producir las toneladas de uranio que se necesita para mantener una producción de energía eléctrica.

La generación eléctrica por medio de fuentes fósiles hoy en día es cuestionada debido a las altas emisiones de contaminantes, tan sólo este sistema energético es proveedor de dos tercios de las emisiones globales de CO₂ que ayuda a la acumulación de gases de efecto invernadero, los cuales son una de las principales causas del cambio climático.

1.1.1. Situación internacional.

Es evidente que los combustibles fósiles representan la mejor opción para cubrir la demanda energética económicamente, sin embargo se depende de la disponibilidad de los insumos así como la preocupación que se tiene en cuanto a las afectaciones medioambientales que conlleva seguir generando energía por medio de dicho sistema.

La facilidad de transporte del carbón y petróleo ha sido esencial para crear un mercado energético para estos productos, y así países exportadores obtengan beneficios económicos de los países que no cuentan con las fuentes fósiles en su territorio. Las zonas correspondientes a Asia Pacífico, Europa y Norteamérica son las regiones que cuentan con mayor industrialización en el planeta, por lo que son los que representan el mayor consumo de estas fuentes de energía así como la mayor demanda de energía y de generación eléctrica. A continuación se presenta en la Figura 1.3 como se encuentra distribuida la producción de combustibles fósiles en el mundo.

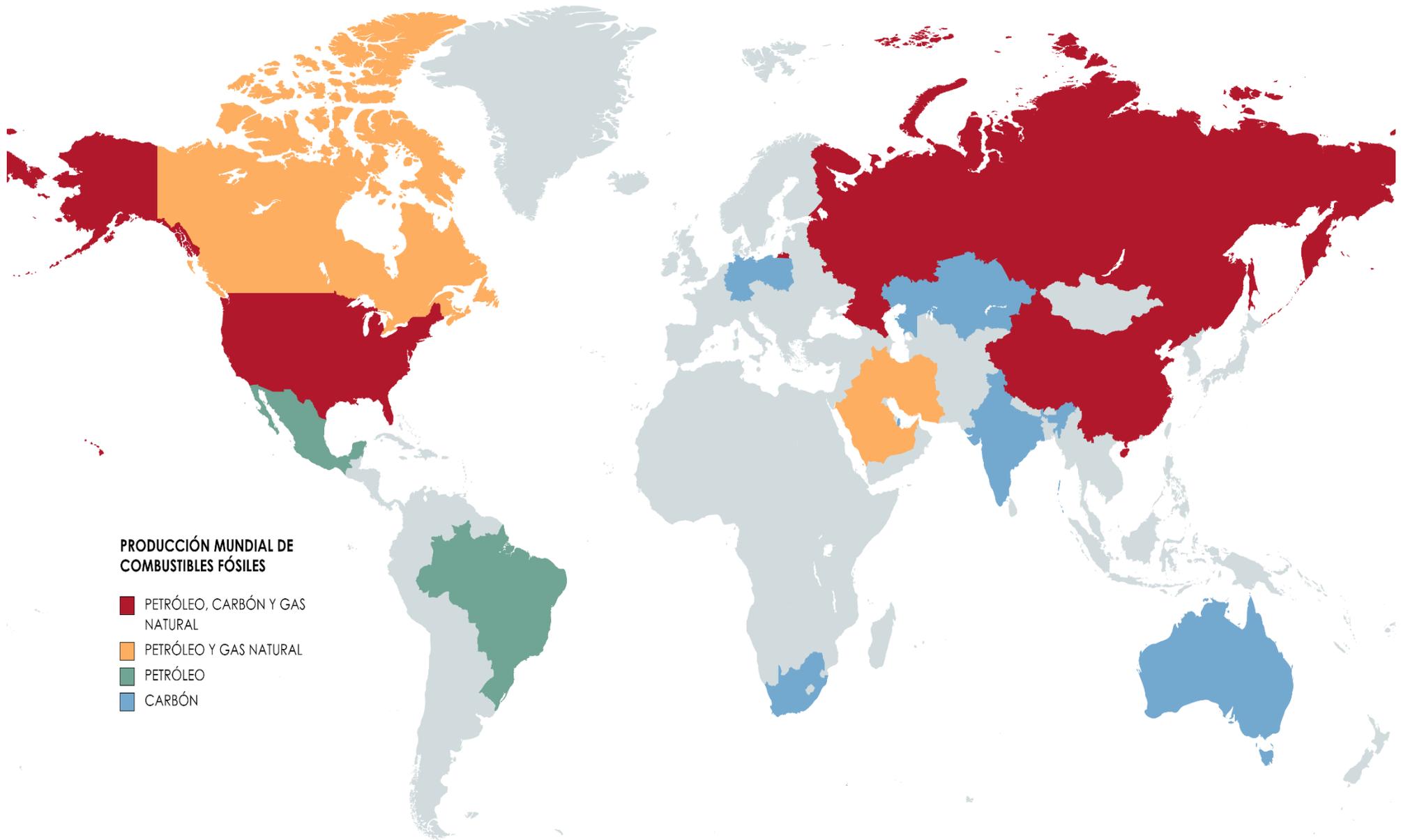


Figura 1.3: PRODUCCIÓN MUNDIAL DE COMBUSTIBLES FÓSILES

(Elaboración propia con base en los datos de ENERDATA, tomando en cuenta los principales productores por combustible:
<https://datos.enerdata.net/>)

Pocos países concentran la mayor parte de las reservas de estos combustibles ya que los yacimientos pueden encontrarse en forma desigual, lo que conlleva a que el acceso a los mismos sea difícil al igual que su extracción, no obstante los constantes problemas políticos que ha generado el uso de estas fuentes son debido a que las mayores reservas de fuentes fósiles se encuentran ubicadas en Medio Oriente, África y parte de la ex Unión Soviética, sin embargo los que demandan más de la mitad de energía del mundo miembros de la OCDE (*Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos*), solo cuentan con un 8% de reservas de gas natural y petróleo, y con un 41% de reservas de carbón.⁶

Es muy importante conocer la cantidad de demanda energética para saber la cantidad de energía a generar, la Agencia Internacional de la Energía (*International Energy Agency*, IEA) creada por la OCDE, es la encargada de recabar datos, análisis y proveer soluciones a los gobiernos en materia del sector energético. Se encuentra conformada por 30 estados miembros alrededor del mundo.

De acuerdo con datos de la IEA la generación de energía por medio de fuentes no renovables sigue siendo la que cuenta con mayor producción debido a su capacidad tecnológica para satisfacer la demanda, así como el acceso y la disponibilidad de los combustibles. En el año 2020 se registró una generación eléctrica con respecto a los países de la OCDE de 10,419.11 TWh, de la cual la obtenida mediante fuentes no renovables representa el 72% de lo generado (7,150.4 TWh)⁷. Como se puede observar en la Figura 1.4, la generación mediante combustibles fósiles representa la mayor cantidad de generación dentro del rubro de las no renovables, en comparación con la energía nuclear.

⁶Gasco Educa, **COMBUSTIBLES FÓSILES**, [En línea]:
<http://www.gascoeduca.cl/Contenido/Contenido.aspx?Cod=22>

⁷ International Energy Agency IEA, **MONTHLY ELECTRICITY STATISTICS: OVERVIEW**, [En línea]:
<https://www.iea.org/reports/monthly-electricity-statistics-overview/data-explorer>

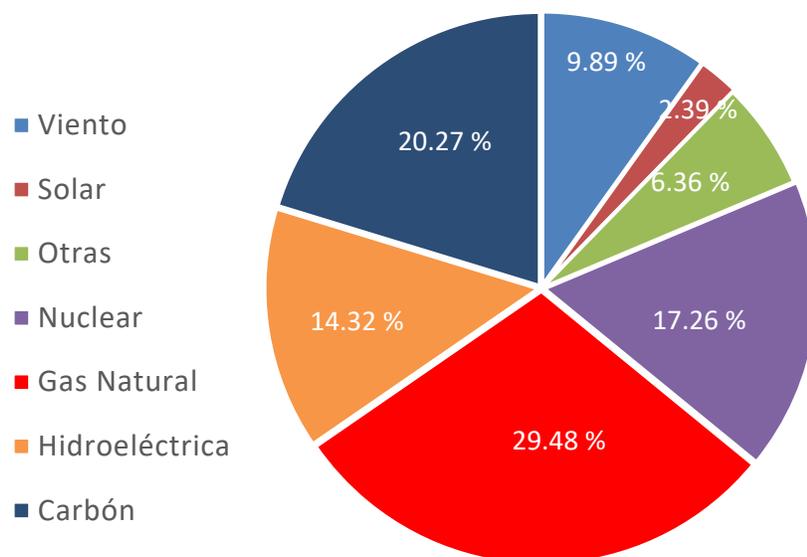


Figura 1.4: PORCENTAJES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN PAÍSES DE LA OCDE POR TIPO DE TECNOLOGÍA, 2020

(Elaboración propia con base en los datos obtenidos por parte de la International Energy Agency, IEA, <https://www.iea.org/reports/monthly-electricity-statistics-overview/data-explorer>)

Con respecto al gráfico anterior, se puede observar que las dos principales fuentes de energía no renovable que se utilizan para la generación de electricidad son el carbón y el gas natural; siendo China uno de los principales productores de carbón en el mundo, cabe destacar que su producción de energía eléctrica se encuentra establecida bajo el uso de este recurso. En el año 2020 se registró que en China se generó 7,436.58 TWh del total de su capacidad instalada, siendo el 69% lo aportado por la energía producida con carbón, (cabe mencionar que China no pertenece a la OCDE, por lo que esta generación de energía no está considerada en la Figura 1.4, sin embargo tanto la organización como el país asiático trabajan en conjunto para el desarrollo de actividades y foros). Por otro lado, Estados Unidos es uno de los países que mayor cantidad de energía genera con gas natural, de su total de 4,066.59 TWh registrado en el año 2020 por el total de su capacidad instalada, 1,579.3 TWh fue aportado mediante el uso únicamente de gas natural.⁸

⁸ International Energy Agency IEA, **MONTHLY ELECTRICITY STATISTICS: OVERVIEW**, [En línea]: <https://www.iea.org/reports/monthly-electricity-statistics-overview/data-explorer>

Los combustibles fósiles han demostrado ser muy importantes para el desarrollo industrial, sin embargo, tanto su extracción como sus residuos son causantes de daños al medio ambiente. Se sabe que los combustibles fósiles contribuyen al calentamiento global debido a las altas emisiones de CO₂ producidas en la combustión del carbón, así como los vertidos de crudo en cuerpos de agua.

Las energías no renovables como el gas natural, carbón y petróleo se encuentran expuestas a un agotamiento; a pesar de que se lleva usando el carbón por más de dos siglos desde que comenzó su industrialización en el siglo XVIII, este continúa con disponibilidad ya que sus yacimientos no se encuentran localizados en un solo sitio y así su reserva se encuentra abundante, sin embargo problemas políticos han limitado las exportaciones e importaciones de estos mismos a diferentes países, generando un aumento en su valor.

El consumo de gas natural se inicia en Estados Unidos en 1950 y 20 años después en Europa su aprovechamiento así como el nivel tecnológico desarrollado para su uso propició que sus reservas y producción llegase a unos 60 años, considerándose más escaso que el carbón. Pero a diferencia de este, el gas natural se encuentra concentrado geográficamente en Oriente Medio y la antigua Unión Soviética, como se puede observar en la Figura 1.3, que disponen conjuntamente alrededor del 75% de las reservas mundiales.

Por otra parte, la intensa explotación a la que ha sido sometido el petróleo ha reducido su ratio reservas/producción hasta 45 años, lo que lo convierte en el combustible fósil más escaso, concentrándose más de la mitad de las reservas probadas en Oriente Medio y en la antigua Unión Soviética.⁹

No obstante, se debe tomar en consideración el funcionamiento del mercado y así mediante el control de los costos del recurso limitar la posibilidad de una escasez para un determinado combustible; es posible que debido a la falta del recurso se presente un alza del precio, y a su vez disminuya el consumo, reequilibrando oferta

⁹ Marín Quemada José María, **EL FUTURO DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES**, Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED, 2014.

y demanda; los precios elevados de los hidrocarburos incentivan la sustitución de los combustibles fósiles tradicionales, por nuevas fuentes de energía como las renovables, lo que disminuiría la presión sobre la oferta y los precios del crudo y el gas.¹⁰

Los combustibles fósiles seguirán siendo el pilar de la generación de energía eléctrica en el mundo debido a su amplia capacidad instalada, sin embargo a comparación del siglo pasado, se debe iniciar con un proceso de desarrollo, impulsando las energías renovables y quitando cada vez protagonismo a las fuentes fósiles. La generación por fuentes renovables se encuentra en crecimiento pero este no será el suficiente para poder abastecer la fuerte demanda mundial de electricidad de los próximos años, lo que resulta en un fuerte aumento en el uso de energía a base de fuentes no renovables que evitaran el desabasto de electricidad.

1.1.2. Capacidad instalada para generación de electricidad en México.

Es muy importante conocer la demanda y asegurar el suministro eléctrico correspondiente para poder llevar a cabo actividades que impulsen el desarrollo económico. Dicha labor es fundamental para la elaboración de documentos que ayuden a tomar decisiones en materia energética, por eso, la Secretaría de Energía (SENER), realiza el Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional, PRODESEN, en donde se indican las referencias y consultas en materia de energía eléctrica ayudando a orientar inversiones para satisfacer la demanda que se presente.

Actualmente los combustibles fósiles cubren la mayor parte de la demanda de energía que requiere México, en el 2020 de los 330,793.8 GWh producidas en total, 264 749.9 GWh fueron producidos por tecnologías a base de fuentes fósiles, lo que representa el 80% de la energía total generada, con respecto a datos de la IEA.¹¹

¹⁰ *Idem.*

¹¹ International Energy Agency IEA, **MONTHLY ELECTRICITY STATISTICS: OVERVIEW**, [En línea]: <https://www.iea.org/reports/monthly-electricity-statistics-overview/data-explorer>

Es esencial recalcar que los combustibles fósiles actualmente representan la opción económica más viable, según datos del PRODESEN 2021-2035, la capacidad instalada por parte de combustibles fósiles representa más de la mitad de la totalidad del país, por lo que podemos asegurar que México se encuentra con cierta inclinación hacia este tipo de generación, sin embargo se tiene que atender el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero, no solo con tecnología que ayude a la disminución del CO₂, sino también con políticas que ayuden a crear un sistema eléctrico más sustentable. A continuación en la Figura 1.5 se observa el porcentaje de capacidad instalada que aporta cada tecnología al Sistema Eléctrico Nacional.

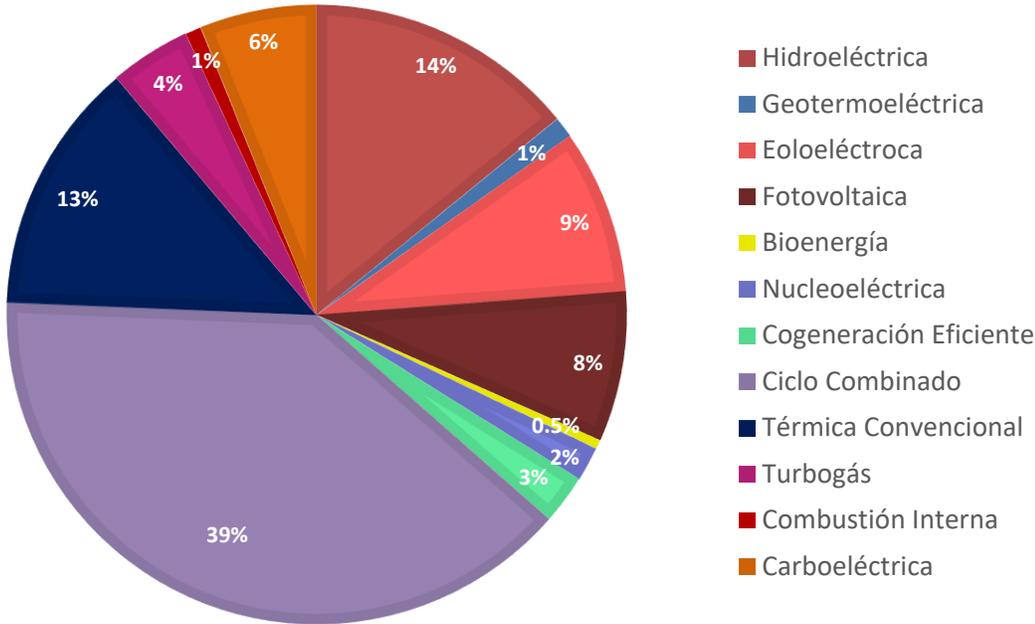


Figura 1.5: PORCENTAJES DE CAPACIDAD INSTALADA EN MÉXICO POR TIPO DE TECNOLOGÍA, ABRIL 2021

(Elaboración propia con base en los datos obtenidos por parte de la Secretaría de Energía en el PRODESEN 2021 – 2035)

Por otra parte, en 2004 México alcanzó el pico del petróleo, que como se explicó en este subtema, se refiere al punto a partir de cual la producción mundial de petróleo deja de crecer tras haber alcanzado su máximo, comenzando por ende a disminuir.

El principal motivo es que el petróleo es más difícil de encontrar y más caro de producir, hasta su irremediable agotamiento, por lo que las reservas de petróleo y gas se están agotando rápidamente¹². Esta última etapa petrolera se podrá prolongar unos años más, pero requeriría de una creciente inversión para obtener menores rendimientos de los que históricamente ha dependido el Gobierno de México.

De lo anterior, se necesita una estrategia sólida para satisfacer las demandas de energía del país de manera más sostenible y beneficiando a toda la población, sin embargo, para lograrlo, se han identificado algunos riesgos como la dependencia energética de fuentes no renovables e importadas, (como el gas natural que en una parte es importado desde los Estados Unidos) y los activos varados, que estos últimos representan la infraestructura que no genera ingresos antes del fin de su vida útil.

La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles en el país tiene gran ventaja sobre otros tipos de generación, debido a que las inversiones en infraestructura que se ha realizado hasta la fecha y que a menudo han sido apoyadas por subsidios promueven su continuo uso en torno a la vida útil de la infraestructura por lo que le otorga una ventaja significativa sobre la inversión y desarrollo de las energías renovables. Las políticas del gobierno actual están enfocadas a darles un mejor uso a los hidrocarburos, así como incrementar la capacidad instalada por medio de la construcción de una nueva refinería así como inversión en exploración para la extracción de recursos que ayuden a la generación por medio de esta tecnología y modernización de centrales que no estaban tomadas en cuenta.¹³

Sin embargo, es muy probable que para cumplir las metas energéticas propuestas por el gobierno federal, el sustituir infraestructura de energía fósil por renovable a causa de una mayor competitividad de esta última, puede convertir esta infraestructura fósil en activos varados. Una publicación de la *International*

¹² International Institute for Sustainable Development, **Más allá de los combustibles fósiles: Transición fiscal en México**, PP. 4

¹³ International Institute for Sustainable Development, **op. cit.**

Renewable Energy Agency (IRENA) menciona que la infraestructura del país puede convertirse en activos varados que puede impactar a la infraestructura actual del Sistema Eléctrico Nacional, ya que, esta se encuentra basada en la producción de energía a base de fuentes fósiles; si se continua con la inversión en combustibles fósiles más que en energías renovables, estas metas serán aún más difíciles de cumplir, por consiguiente, es importante planificar las inversiones en el sector energético con respecto a las opciones más viables tanto económicamente como política y socialmente, cuidando el ambiente y brindando bienestar a la población.¹⁴

1.2. FUENTES RENOVABLES

A lo largo de los años la población en el mundo ha incrementado, así como la calidad de vida y servicios que hoy en día son esenciales para tener un bienestar. Motivo por el cual la demanda de energía ha incrementado y se ha buscado una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía; así como a desarrollar otro tipo de energía diferente a las convencionales producidas por fuentes fósiles.

El uso de las energías renovables aparece como una opción para la producción de energía y abastecer la demanda de energía actual, así como a mitigar las emisiones de gases efecto invernadero y las graves consecuencias del cambio climático provenientes del uso de energéticos fósiles. La extracción de combustibles fósiles así como el proceso que conlleva su aprovechamiento energético tiene consecuencias ambientales, por lo que se ha buscado la forma de mitigar dicho daño ambiental mejorando la tecnología de aprovechamiento o simplemente buscando otras fuentes de energía más sustentables.

Las fuentes renovables son recursos de la naturaleza no sujetos a terminarse ya que son capaces de regenerarse naturalmente. Otro punto importante es que este tipo de generación no emite Gases de Efecto Invernadero (GEI), ya que se caracterizan por su sistema de producción que excluye todo tipo de contaminación.

¹⁴ International Institute for Sustainable Development, **Más allá de los combustibles fósiles: Transición fiscal en México**, PP. 22

De lo anterior se han encontrado diferentes maneras de reducir las emisiones contaminantes que la producción de energía eléctrica conlleva, entre ellas la captura de CO₂ pero al ser una tecnología no viable aún, las fuentes renovables son más efectivas para atender esta problemática mundial.

Como se mencionó al inicio del presente capítulo, las energías renovables y las energías limpias suelen usarse como sinónimos, sin embargo estos representan conceptos diferentes; la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica, etc. no producen residuos en ninguna de sus fases de obtención, podríamos decir que son aquellas que respetan el medio ambiente, pero existen casos como los de la biomasa a partir de madera, que es renovable si se reforesta de la misma cantidad del que se extrae, pero que puede no ser renovable si no es así, todo depende de cómo se gestionen los recursos; las energías renovables como la solar y la eólica, son a la vez limpias durante la generación de energía, ya que estas no emiten (GEI), es por ello que existe una frecuente confusión en la diferencia entre ambos conceptos.

Una de las grandes ventajas de las fuentes renovables es que, gracias a su producción a nivel local, no hay necesidad de transportar los insumos, como se hace con las fuentes fósiles y gracias a su disponibilidad estarán sujetas a menos cambios en los precios, como pasa con el petróleo y el gas. De hecho, una de las principales razones por las cuales se ha comenzado con un cambio en la producción de energía mundial, a parte de las afectaciones medioambientales que la generación a base de combustibles fósiles contribuye, es por los beneficios económicos que estos proporcionan, es decir, llegará un momento en el que las fuentes fósiles no reeditarán económicamente todos los gastos de producción de la energía por lo cual, se tendrá una mayor inclinación a las fuentes renovables.

Es esencial que en el mundo se comiencen a presentar acciones para impulsar el uso y desarrollo de las energías con recursos renovables, porque debido a las incertidumbres económicas que conlleva el uso de los combustibles fósiles así como la reducción de reservas de hidrocarburos puede representar un problema significativo para satisfacer la demanda de energía, es por ello que se debe estar

preparados para el cambio de un modelo energético y reducir el uso de las fuentes fósiles para la producción de energía para mantener una economía saludable así como reducir el daño ambiental.

1.2.1. Producción de electricidad con fuentes renovables en el sector energético internacional

Si bien, es muy importante el papel que toma la producción de energía por medio de fuentes renovables para la reducción de gases de efecto invernadero, estos proyectos son principalmente impulsados por la relación costo – beneficio que se tiene al momento de la construcción y/o desarrollo de los mismos, no obstante, este crecimiento se ha presentado poco a poco debido a los subsidios que reciben los productores de energía a base de combustibles fósiles, así como algunos costos elevados de producción de tecnología para su aprovechamiento.

Con respecto a los datos de la IRENA, en el año 2020 la capacidad instalada de energía renovable en el mundo alcanzó los 2,802 GW, siendo Asia la región que aporta la mayor cantidad; hablando específicamente de China, su crecimiento económico ha provocado un aumento de la contaminación que obliga a tomar medidas para continuar con su crecimiento de una manera sostenible, en la cual se han realizado grandes inversiones incrementando su capacidad instalada en diferentes fuentes renovables como la hidráulica, solar, eólica, etc.

El crecimiento mundial en materia de energías limpias ha sido mayor con respecto a las energías por fuentes fósiles; en la Figura 1.6 se muestra cómo se encuentra distribuida la capacidad instalada de fuentes renovables en el mundo a finales del año 2020, donde en Asia se encuentra el 46% del total de la capacidad instalada del mundo con 1,290 GW; Europa con el 22%, Norte América el 15%; Sudamérica y Eurasia con 8% y 4% respectivamente, África y Oceanía aportan el 2% cada uno, y por último Centro América y Medio Oriente con 1% cada uno también.¹⁵

¹⁵ International Energy Agency IEA, **RENEWABLE ENERGY STATISTICS 2021**, [En línea]: <https://irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>

La tecnología de fuentes renovables que tiene la mayor capacidad instalada del mundo es la hidroeléctrica, en el 2020 se registraron 1,332.9 GW, el 47% del total mundial por recursos renovables, de los cuales tan sólo de este tipo de tecnología se generaron 4,321.6 TWh, siendo China el país que más energía generó tanto de este tipo de tecnología como en el total de las renovables; ubicando a su vez la presa más grande del mundo “Tres Gargantas” que cuenta con 22,500 MW de capacidad instalada para la generación de electricidad.

Una de las tecnologías que más ha avanzado en su desarrollo y aumento tanto de su capacidad instalada y, en consecuencia, su producción de electricidad es la energía eólica. Esta representa casi el 20% del total de las energías renovables con 1,412 TWh a finales del año 2019.

A continuación en la Figura 1.7, se puede observar que porcentaje de la generación total mundial por fuentes renovables pertenece a cada tipo de tecnología. Los datos son obtenidos de la publicación *Renewable Energy Statics 2021* donde se menciona que las fuentes renovables tuvieron una generación mundial de 6,963.5 TWh a finales del año 2020

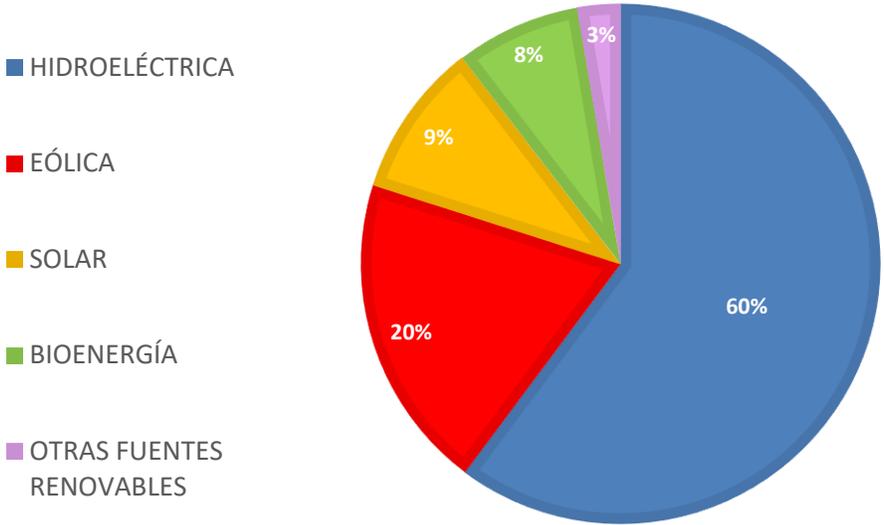


Figura 1.7: PORCENTAJES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE POR TIPO DE TECNOLOGÍA, 2021

(Elaboración propia con base en los datos de la International Renewable Energy Agency (IRENA), en su publicación: RENEWABLE ENERGY STATISTICS 2021)

Es importante mencionar que las fuentes renovables se encuentran en constante expansión en cuanto a su capacidad instalada, de acuerdo con una publicación de la *U.S. Energy Information Administration* (EIA) se prevé que la participación de las renovables en el suministro eléctrico global será del 50% para el año 2050, de la cual Asia representará el mayor productor, tomando en cuenta la disponibilidad de los recursos, políticas asociadas a estos así como el costo tecnológico accesible para poder impulsar este tipo de generación¹⁶

La energía solar, eólica y la hidráulica son consideradas por la EIA como las principales fuentes de energía renovable; la disponibilidad de los recursos, en adición con políticas renovables, y costos accesibles impulsan el aumento proyectado por la EIA en la generación de electricidad global a partir de fuentes solares, ya que se prevé que de las fuentes de producción mencionadas, esta sea la que mayor crecimiento tenga en los próximos años, debido a que este tipo de tecnología se presta a un aprendizaje práctico y sencillo en comparación con la eólica o la hidráulica, en el que sus costos de instalación se han decrementado gracias a que ha crecido su preferencia para la generación de electricidad.

Por otro lado, la energía eólica es considerada como una tecnología relativamente nueva, sus costos no son tan elevados como las tecnologías solares, sin embargo, la prospectiva de su crecimiento no será tan significativo debido a que muchas áreas para la obtención de energía a base de los recursos eólicos en todo el mundo aún no cuentan con el desarrollo tecnológico correspondiente.

Como se mencionó anteriormente, la energía hidroeléctrica es la tecnología que ha aportado la mayor generación de electricidad renovable a nivel mundial durante los últimos años. No obstante, por parte de la EIA se prevé un crecimiento relativamente bajo con respecto al año 2050. La construcción de una planta hidroeléctrica no es tan veloz como otras tecnologías renovables, ya que su instalación requiere de un gran capital monetario, así como de gran aceptación social y ambiental en la región donde se construya. La EIA prevé que las naciones que tendrán el mayor

¹⁶ U.S. Energy Information Administration, **EIA: las energías renovables proporcionarán casi la mitad de la electricidad mundial para 2050**, [En línea]: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41533>)

crecimiento en generación hidroeléctrica en 2050 son China, Brasil y los países de la OCDE de Europa, que tienen recursos hídricos extensos y accesibles.

Como se mencionó al principio de este subtema, la inclusión de las energías renovables depende de muchos factores, como por ejemplo, la creación de políticas energéticas, así como una economía estable que permita la inversión de estas fuentes de energía, que si bien, ya son una opción para la generación de electricidad, en un futuro tendrán la misma importancia que las fuentes no renovables que hoy en día dominan todo este sector.

1.2.2. Generación e integración de fuentes limpias al Sistema Eléctrico Nacional.

El consumo y producción de energía conlleva todo un proceso que involucra la creación de más infraestructura, uso de recursos materiales y humanos que traten de satisfacer una demanda. Es por ello, que es necesario identificar dicha demanda para poder utilizar un tipo de generación eléctrica específica. El aumento de las actividades económicas del país ha incrementado la demanda de energía, siendo comercios, transporte e industria los sectores que a lo largo de los años han demandado más energía eléctrica.

En cualquier sistema energético lo ideal es mantener un abastecimiento cubriendo la demanda que se tenga, mitigando en la medida de lo posible los daños medioambientales que se pudieran generar. Manteniendo las fuentes fósiles como principal medio de generación de energía, resulta difícil cumplir con lo anterior; siendo México uno de los principales países que tiene como principal fuente de generación estos recursos, las fuentes renovables deben resultar una alternativa ideal para la solución del abastecimiento cubriendo la demanda, y no dejando a un lado el enfoque responsable medioambiental que se tiene cuando se produce energía por medio de estos combustibles. Así mismo, la generación por fuentes fósiles es la que se ha mantenido constante a lo largo del tiempo, siendo esta la que mayor capacidad de generación eléctrica aporta en el mundo, en donde México no

es la excepción. Sin embargo, debido a todos los problemas medio ambientales que conlleva seguir produciendo energía con base en combustibles no renovables, el país debe impulsar la producción de energía por energías limpias.

De acuerdo con datos del PRODESEN 2021 – 2035, (Figura 1.5), la capacidad instalada que se tiene en México de fuentes limpias y renovables hasta abril del 2021 corresponde al 32% de la total del país que es 89,479 MW, lo que representa 28,714 MW, contemplando las siguientes tecnologías: Hidroeléctrica, Geotermoeléctrica, Eoloeléctrica, Fotovoltaica y Bioenergía, de la cual, la infraestructura incluida en este porcentaje es el correspondiente a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), así como productores independientes.

En la Figura 1.8 se puede observar la generación alcanzada en el año 2020 por fuentes limpias la cual tuvo un registro de 65,221 GWh, que con respecto a la generación obtenida en 2019 (54,453 GWh), se presenta un incremento de casi 20%. Sin embargo que haya habido un aumento en la generación por fuentes limpias y renovables es debido a que la energía fotovoltaica y eólica tuvieron un aumento en su capacidad instalada gracias a la creación de parques eólicos.¹⁷

¹⁷ Secretaría de Energía, SENER, **PRODESEN 2021 – 2035**, México

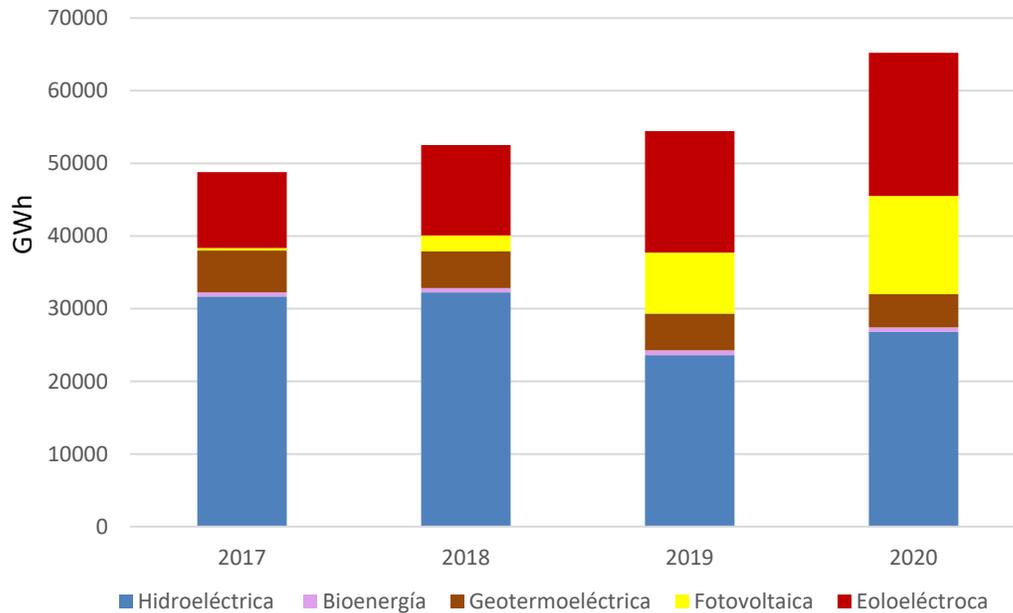


Figura 1.8: GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE POR TIPO DE TECNOLOGÍA EN MÉXICO (2017 – 2020)

(Elaboración propia con base en los datos obtenidos por parte de la Secretaría de Energía en el PRODESEN 2021 – 2035)

Una de las principales acciones que México ha tomado en cuenta para el desarrollo de la generación por fuentes renovables corresponde en la reestructuración de la industria eléctrica impulsando la competencia en la producción y comercialización de la energía, es por ello que se estableció un Mercado Eléctrico Mayorista, con el cual el gobierno mexicano anterior indicó, se obtendría una baja en las tarifas eléctricas, así como precios competitivos y nuevas tecnologías para los problemas ambientales que se presentan.¹⁸

El cambio que se ha tenido de generación con energías fósiles a renovables está en curso, y es impulsado por costos cada vez más bajos de las opciones limpias. Las energías renovables juegan un papel cada vez más importante producción de

¹⁸Mora Pérez Sergio, **DESARROLLO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO PARA 2024, A TRAVÉS DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE, EN EL MARCO DEL MERCADO ELÉCTRICO**, UNAM, México, 2018

energía eléctrica en el mundo, sin embargo, es necesario impulsar el desarrollo tecnológico para poder satisfacer la demanda de esta misma.

Las energías provenientes de los combustibles fósiles cuentan con ventajas perceptibles sobre las energías renovables debido a que las inversiones en infraestructura existente, así como del apoyo de subsidios promueven el continuo uso de los combustibles fósiles en torno a la vida útil de la infraestructura. Sin embargo México tiene una posición especialmente favorable para la transición: algunas tecnologías de energías renovables registran unos de los precios más bajos a nivel mundial.

Es por ello que el país ha impulsado diferentes objetivos para la transición energética y de reducción de emisiones para combatir el cambio climático, no obstante, siendo México un país donde su principal fuente de energía se basa en combustibles no renovables, estas metas pueden ser difíciles pero no imposibles de alcanzar. El calentamiento global se encuentra más presente, particularmente en países como México, que son altamente vulnerables a los efectos de este fenómeno. La transición energética contribuirá a la mejora del medio ambiente, así como el desarrollo de nuevos empleos y la mejora de la economía local del país.¹⁹

1.2.3. Marco legal en materia de energías limpias en México

Es muy importante que para cumplir todas las metas que se ha propuesto el país para el impulso de la transición energética, se deban realizar actividades que mantengan el desarrollo de proyectos donde las fuentes limpias tengan más injerencia en el sistema eléctrico del país. Dichas actividades conllevan estrategias de carácter económico, técnico, pero sobre todo político, pues es muy importante que haya cambios legales para que la demanda de energía pueda ser brindada por fuentes renovables. Algunas de los ordenamientos legales de mayor relevancia que se tienen en el país son los siguientes:

¹⁹ International Institute for Sustainable Development, **Más allá de los combustibles fósiles, Transición fiscal en México**, Fecha de Consulta (27 de febrero de 2020)

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

En los artículos 4^o, 27 y 28, contiene fragmentos sobre el uso de las energías renovables y no renovables, así como la obligación del estado para asegurar un desarrollo sustentable en el país. Se menciona el regalamiento que se tiene que hacer para no agotar ni adjudicarse elementos naturales susceptibles, esto con el fin de una distribución equitativa de la riqueza pública, lograr un desarrollo en el país y una mejora en la calidad de vida de las personas realizando la prestación de servicio y el buen uso que se le tiene que brindar a todos los bienes.²⁰

- Ley General de Cambio Climático (LGCC)

Esta ley busca garantizar el derecho a un medio ambiente sano a través del estado, realizando y aplicando políticas públicas que ayuden a la mitigación y control de las emisiones de GEI, así como reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático. Así mismo, busca incrementar la investigación, desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para combatir los efectos del cambio climático y promover la transición hacia un sistema energético y económico más sustentable. Una de las principales características de la LGCC es el establecimiento de un conjunto de metas para orientar el desempeño de México hacia una economía baja en carbono. Se asume una meta de reducirlas 30% al 2020 y un 50% al 2050, con relación con las emitidas en los años anteriores.²¹

- Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)

Su publicación se dio en el Diario Oficial de la Federación el día 28 de noviembre de 2008, y tiene como principal objetivo la transición energética a fuentes limpias así como promover estrategias para su financiamiento. Estas estrategias

²⁰ Secretaría de Energía, **Prospectiva de Energías Renovables (2012 – 2026)**, Fecha de Consulta (3 de marzo de 2020)

²¹Diario Oficial de la Federación (DOF), **Ley General de Cambio Climático**. [En línea]: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/16482/ley_general_de_cambio_climatico.pdf, (Fecha de consulta: 6 de marzo de 2020)

contemplan la implementación de nuevas formas para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable, investigación, desarrollo tecnológico así como el uso de nueva infraestructura para su desarrollo y la inclusión de estas tecnologías a el Sistema Eléctrico Nacional.

Para todo esto la LAERFTE ha implementado actividades para la SENER mediante programas, políticas públicas, evaluación de costos y fomento al desarrollo social así como la regulación de licitaciones de proyectos de energías renovables.

Esta ley incluye a proyectos hidroeléctricos de más de 30 MW en la definición de energía renovable, incluso aquellos cuyo almacenamiento sea igual o menor a 50 mil m³ de agua o con un embalse menor a 1 hectárea.

Así mismo, se prevé un incremento gradual de la participación del uso de las energías limpias en el sistema eléctrico nacional, se espera que para 2021 sea de un 30% y para el 2024 de un 35% de injerencia del total de la generación eléctrica nacional.²²

- Ley de Aguas Nacionales

Uno de sus objetivos de esta ley es regular el uso de las aguas, así como su preservación, promoviendo el desarrollo sustentable.

Se realizan nuevas definiciones y estrategias para la gestión, vigilancia y control, coordinación, concertación, financiamiento y a todos aquellos aspectos que son de suma importancia para el estado.

Se menciona a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como la dependencia pública encargada de todo lo que tenga que ver con la materia, así como implementación de políticas que ayuden a resolver la asignación de concesiones, planteamiento de nuevos esquemas de financiamiento que permitan construir, operar y prestar servicios en la infraestructura pública federal, y el establecimiento

²²Diario Oficial de la Federación (DOF), **Ley de Transición Energética**, [En línea]: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>, (Fecha de consulta: 6 de marzo de 2020)

de los recursos a utilizar como la cuenca hidrológica que, conjuntamente con los acuíferos, constituyen la unidad de gestión básica del recurso hidráulico.²³

Existen diferentes programas, estrategias y reglamentos que se encuentran dentro de las políticas públicas sobre los recursos energéticos, como el Plan Nacional de Desarrollo, que cada gobierno realiza y en el cual se incluyen las acciones que el estado tomará para regular estos recursos, y no menos importante el PRODESEN, que es el programa principal de la SENER, que no solo tiene el fin de informar cómo se encuentra el país en materia energética, sino mencionar las actividades a realizar para incrementar el abasto de energía o realizar la transición energética que se tiene contemplada para los próximos años.

²³Diario Oficial de la Federación (DOF), **Ley de Aguas Nacionales**, [En línea]: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf (Fecha de consulta: 17 de marzo de 2020)

2. POTENCIAL HIDROELECTRICO EN MÉXICO

En México la producción de energía en su mayor parte es cubierta por combustibles fósiles como el gas y el petróleo. Este tipo de generación de energía cuenta con inversiones en infraestructura realizada a largo plazo, las cuales son apoyadas promoviendo su uso en torno a la vida útil de la infraestructura. Esto a su vez, le otorga una ventaja significativa sobre la inversión y desarrollo de las energías renovables. Sin embargo, México tiene una posición especialmente favorable para realizar una transición a la producción con energías limpias ya que algunas formas de generación registran unos de los precios más bajos a nivel mundial ya cuando estas se encuentran en operación²⁴. Esta transición de energías fósiles a limpias en México está en curso, a pesar de que se tiene una preferencia a la generación con base a estos combustibles, las energías limpias juegan un papel cada vez más importante.

En materia de energías limpias, la hidroeléctrica es la que tiene el mayor aporte de electricidad tanto en México como en el mundo. Con respecto a la información por parte de la IEA revisada en el capítulo anterior, se muestra que en el mundo la hidroelectricidad aporta el 48% de la generación por fuentes limpias, la cual representa una cantidad superior con respecto a las demás fuentes de energía renovables, de manera que es considerada una fuente importante de electricidad limpia ya que en sus procesos prácticamente no se genera CO₂.

Para obtener un gran aprovechamiento de los recursos hídricos en la generación de energía eléctrica, la localización geográfica de los proyectos de infraestructura es muy importante, debido a que el sitio debe contar con condiciones tanto físicas como climatológicas aptas para el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, ya que la energía hidráulica depende de las lluvias y los escurrimientos locales que se presenten para su almacenamiento y control.

²⁴ : Kjell Kühne, Lourdes Sanchez, Joachim Roth, Carlos Tornel y Ivetta Gerasimchuk, **Más allá de los combustibles fósiles: transición fiscal en México**, México.

México cuenta con recursos hídricos suficientes para la creación de nuevas centrales hidroeléctricas, sin embargo, la continuidad de construcción de estos proyectos está basada en los recursos económicos con los que se cuentan además de las mejores condiciones posibles para el impulso de su ejecución²⁵, así como la cantidad del recurso hídrico disponible, impacto ambiental y aceptación social derivada de los beneficios obtenidos gracias a la realización de estos proyectos.

La planeación para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos debe ir encaminada a un enfoque sustentable aprovechando los recursos de la cuenca para abarcar las necesidades de desarrollo de las comunidades sin poner en riesgo la integridad de los ecosistemas. Sin embargo, los aspectos tanto ambientales como sociales en algunas ocasiones pueden presentarse como barreras para el desarrollo de cualquier tipo de infraestructura, ya que, por ejemplo en el caso de la construcción de una presa conlleva afectaciones que incluyen la inundación de áreas de cultivo, el desplazamiento de poblaciones, la interrupción de las migraciones de peces, las alteraciones en los caudales del río, la recarga de acuíferos y el mantenimiento de las pesquerías en la desembocadura con el mar²⁶.

Las cuencas hidrográficas mexicanas tienen una rica variedad de ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, lagunas, cenotes, etc.), hábitats y especies que están física y biológicamente articulados por el flujo del agua y su régimen hidrológico. Estos valores ambientales son expresamente reconocidos por la Ley de Aguas Nacionales (LAN), publicada en el Diario Oficial de la Federación el primero de diciembre de 1992. Representa el principal marco de referencia legislativo que proviene del artículo 27 constitucional, referente al uso o aprovechamiento del agua y sus bienes en el ámbito de la administración del recurso, establece una definición del marco normativo hidráulico en cuanto a gestión, vigilancia y control, coordinación,

²⁵ Ramos-Gutiérrez y Montenegro-Fragoso, **Las Centrales Hidroeléctricas en México: Pasado, Presente y Futuro**, 2012, pp 119

²⁶ Barajas, N., V. Aguilar, V. Morales, D. Vázquez, E. Bastida, J. Bezaury-Creel, O. Calahorra, J. Capitaine, J. P. García, F. Inguanzo, M. Higner, H. Jiménez, E. Martín, V. Morales, J. Opperman, P. Petry, H. Rodríguez, L. Sotomayor, R. Tharme, J. F. Torres, J. Touval, y L. Vázquez. **Planeación temprana para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos sustentables: marco metodológico y caso piloto en la cuenca del Río Coatzacoalcos**, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y The Nature Conservancy. México. 2014

concertación, financiamiento y a todo lo que tenga que ver con la política respecto al manejo del agua.

La LAN permite declarar reservas de agua cuando se comprometa la sustentabilidad de los ecosistemas vitales vinculados al agua. Aunque ya existen leyes para la conservación de los espacios naturales, la protección de un recurso clave como el agua y su papel en los procesos naturales, crea una continua actualización de dichas normas para así preservar estos espacios con respecto a cualquier tipo de situación, por lo tanto es indispensable identificar aquellas cuencas que presenten un elevado interés de conservación desde la perspectiva de su biodiversidad teniendo en cuenta las Áreas Naturales Protegidas (ANP) ya existentes. Las ANP establecen limitaciones en la explotación, uso o aprovechamiento de una porción o la totalidad de las aguas disponible y en la cual se implantan programas de restauración, conservación o preservación.²⁷ Al año 2020, el sistema federal de ANP está conformado por 182 ANP con decreto federal, que abarcan una superficie total de 90 millones 839 mil 522 hectáreas; de esta superficie, el 23.6% corresponde a ecosistemas terrestres y, 76.4% a ecosistemas marinos, aproximadamente un 13% de la superficie del territorio nacional.²⁸

Si bien es bajo el porcentaje de ANP como para que se pueda situar en ríos donde se puedan aprovechar los escurrimientos para la construcción de una presa, es importante a su vez identificar las zonas de veda, que son áreas específicas de las regiones hidrológicas, cuencas hidrológicas o acuíferos, en las cuales no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente y éstos se controlan mediante reglamentos específicos, en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por la afectación a la sustentabilidad hidrológica, o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.²⁹

²⁷ CONAGUA, **Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México**, México, 2011

²⁸ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), **Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2020 – 2024**, México, 2020

²⁹ CONAGUA, **Vedas, Reservas y Reglamentos de Aguas Nacionales Superficiales**, [En línea]: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/vedas-reservas-y-reglamentos-de-aguas-nacionales-superficiales>

2.1. HIDROLOGÍA

La selección de un sitio para construir un proyecto hidroeléctrico considera las características geológicas y geotécnicas existentes. El lugar seleccionado debe cumplir con las características de impermeabilidad, resistencia y deformabilidad acordes con las cargas impuestas por el embalse y las estructuras civiles del proyecto. No todos los sitios cumplen con estas características y en algunas ocasiones, las alternativas son desechadas debido a que estas condiciones pueden hacer inviable al proyecto o porque se requiere una inversión muy elevada para su construcción. Asimismo, conociendo las características de la zona del proyecto hidroeléctrico podemos iniciar un estudio hidrológico, con el cual se determinarán las propiedades fisiográficas de la cuenca localizada en el sitio.

2.1.1. Cuenca Hidrográfica

La cuenca se encuentra definida como la zona donde el caudal de lluvia drena por la superficie terrestre a través de una red de corrientes que lleva hacia un punto de descarga. La cuenca puede a su vez estar integrada por varias subcuencas, las cuales están constituidas por ríos secundarios que provienen del principal y/o microcuencas pertenecientes a estos últimos y que drenan a un solo cauce.

Una manera de clasificar las cuencas es con respecto a la dirección de descarga del caudal de agua que transite por ellas, es decir, aquellas que su descarga sea hacia el mar llevan el nombre de exorreicas, las que desembocan en lagos o lagunas endorreicas³⁰ (Figura 2.1)

³⁰ AGUA.ORG.MX, **Cuencas Hidrográficas**, [En línea]: <https://agua.org.mx/que-es-una-cuenca/> (Fecha de consulta: 3 de mayo 2020)

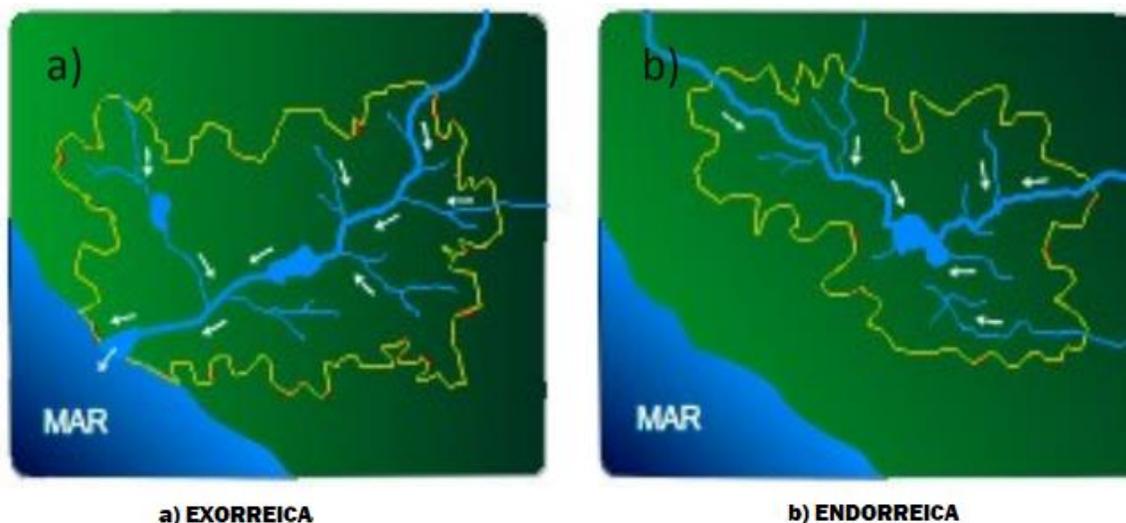


Figura 2.1: TIPOS DE CUENCAS

(Esquema tomado del documento ¿Qué es una Cuenca Hidrológica? de Sociedad Geográfica de Lima)³¹

Existe otro tipo de cuencas, las cuales son denominadas arreicas, la particularidad de esta clase es que el caudal de agua no desemboca a ninguna parte como la exorreica y endorreica, esto debido a que dichas aguas son evaporadas o filtradas en el suelo. Regularmente este tipo de cuencas suele presentarse en zonas desérticas donde el caudal de agua no es regular, generalmente escasos.

Otras características importantes de la cuenca son la cantidad de los escurrimientos superficiales, los cuales son aforados por las estaciones hidrométricas; las precipitaciones que se presenten en la zona son monitoreadas por las estaciones climatológicas.

Las estaciones hidrométricas están representadas por medio de regletas graduadas colocadas en los cuerpos de agua originados por lluvias³². Las variables como la

³¹ Sociedad Geográfica de Lima, ¿Qué es una Cuenca Hidrológica?, [En línea]:

https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
(Fecha de consulta: 3 de mayo 2020)

³² CONAGUA, ¿Sabes qué es una #EstaciónHidrométrica?, [En línea]:

<https://www.gob.mx/conagua/articulos/sabes-que-es-una-estacionhidrometrica?idiom=es#:~:text=%C2%BFSabes%20qu%C3%A9%20es%20una%20%23Estaci%C3%B3nHidrom%C3%A9trica%3F,-Autor%20Comisi%C3%B3n%20Nacional&text=julio%20de%202017-,Las%20estaciones%20hidrom%C3%A9tricas%20son%20reglas%20graduadas%20colocadas%20escalonadamente%20en%20un,las%20lluvias%20y%20los%20escurrimientos.> (Fecha de consulta: 11 de mayo 2020)

temperatura, precipitación pluvial, evaporación, velocidad y dirección del viento son medidas por estaciones climatológicas, estas variables difieren geográfica y temporalmente, por lo que su medición resulta relevante los estudios hidrológicos.³³

2.1.2. Recursos Hídricos en México

La CONAGUA, órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de 13 organismos de cuenca, cuyo ámbito de competencia son las Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA). El país se ha dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas, las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, sus límites respetan los municipales, para facilitar la administración e integración de la información socioeconómica³⁴, A continuación en la Figura 2.2 se muestra un mapa de México donde se ilustra la división de estas regiones.

³³ COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, “Atlas del Agua en México 2016”, pp 22

³⁴ AGUA.ORG.MX, **Cuencas Hidrográficas**, (En línea): <https://agua.org.mx/que-es-una-cuenca/>

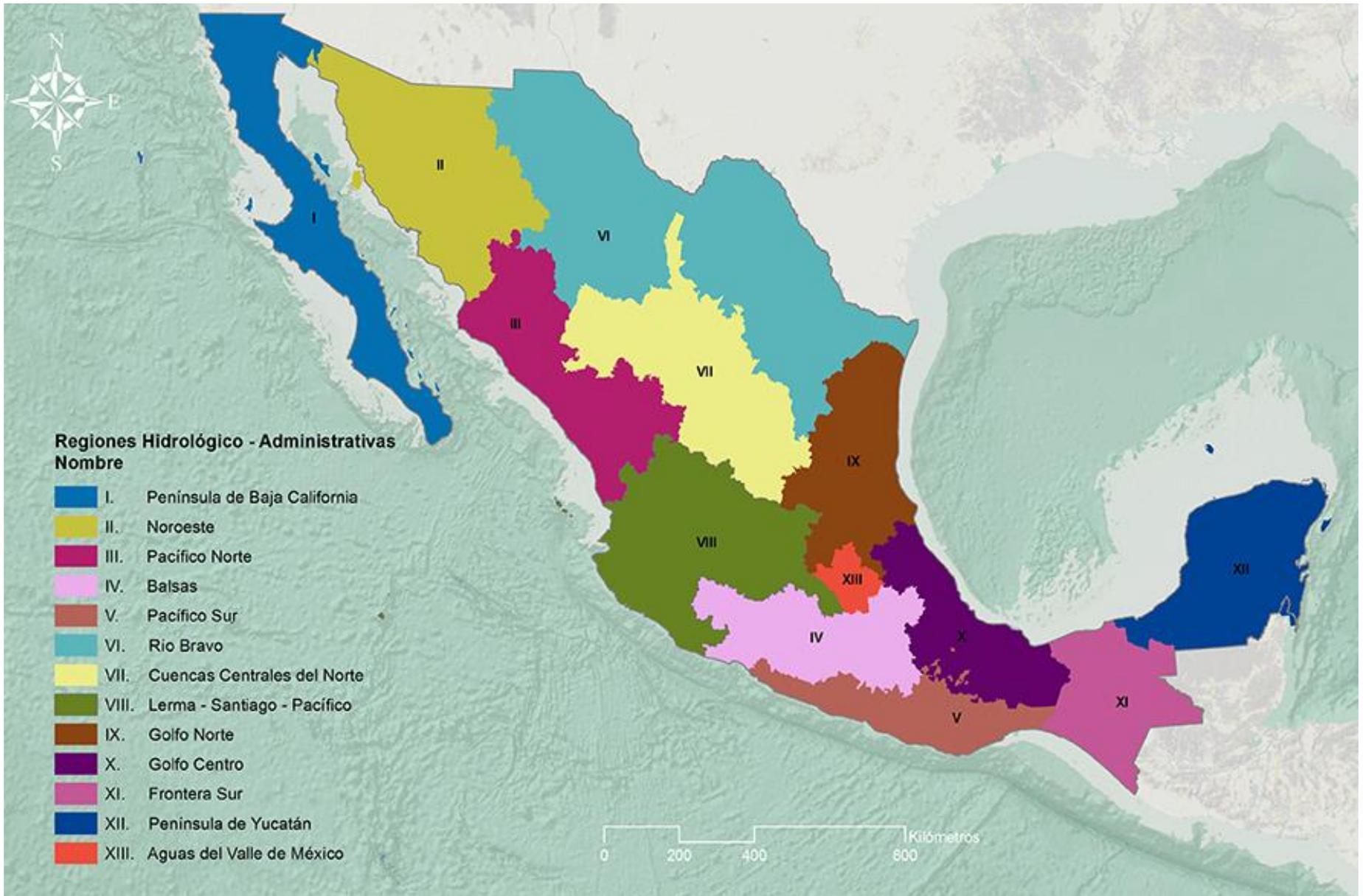


Figura 2.2: REGIONES HIDROLÓGICAS ADMINISTRATIVAS

(Mapa tomado de la página de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT,
URL: http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua_RHA.html#)

Las Regiones Hidrológicas (RH) son porciones territoriales concebidas en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, por lo que sus límites son, en general, distintos a la división política por estados y municipios. En México, se han delimitado 1,471 cuencas hidrográficas que, con propósitos administrativos la CONAGUA ha agrupado en 731 cuencas, que a su vez conforman 37 regiones hidrológicas, nuevamente agrupadas en las 13 regiones económico-administrativas.³⁵ Estas regiones hidrológicas representan los límites naturales de las grandes cuencas de México y se emplean para el cálculo del agua disponible.

Algunas de las cuencas exorreicas más importantes corresponden a los grandes ríos nacionales: Lerma, Santiago, Balsas, Bravo, Pánuco, Papaloapan, Coahuila, Grijalva, Usumacinta, Mayo, Yaqui y otros de menor tamaño. Cada uno de estos ríos tiene corrientes que se forman con las precipitaciones que caen sobre sus propios territorios de drenaje, a las que se les llama cuencas secundarias o subcuencas. A su vez, cada subcuenca tiene sus propios sistemas hidrológicos que alimentan sus caudales, estas son cuencas de tercer orden. Así, sucesivamente, hasta territorios muy pequeños por los que escurre el agua sólo durante las temporadas de lluvia y por períodos muy cortos de tiempo.

A continuación en la Tabla 2.1 se presentan las características de estas regiones actualizadas hasta el año 2020 (Tabla 2.1), así como un mapa de su división en la República Mexicana (Figura 2.3), en la Figura 2.4 se puede observar cómo se encuentran distribuidas las cuencas arreicas, endorreicas y exorreicas en México.

³⁵ AGUA.ORG.MX, **Cuencas Hidrográficas**, (En línea): <https://agua.org.mx/que-es-una-cuenca/>

No	Región Hidrológica	Precipitación normal 1981 – 2010 (mm)	Escurrimiento natural medio superficial interno (hm ³ /año)	Importaciones (+) o Exportaciones (-) de otros países (hm ³ /año)	Escurrimiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	Números de cuencas	Área (km ²)
1	B.C. Noroeste	209	359	17	359	16	28,492
2	B.C. Centro-Oeste	116	244		244	16	44,314
3	B.C. Suroeste	200	380		380	15	29,722
4	B.C. Noreste	151	140		140	8	14,418
5	B.C. Centro-Este	132	103		103	15	13,626
6	B.C. Sureste	291	198		198	14	11,558
7	Río Colorado	98	77	1,850	1,928	4	6,911
8	Sonora Norte	297	211		211	9	61,429
9	Sonora Sur	483	4,800		4,800	16	139,370
10	Sinaloa	747	14,644		14,644	30	103,483
11	Presidio-San Pedro	819	8,925		8,925	26	51,717
12	Lerma-Santiago	717	13,240		13,240	58	132,916
13	Río Huicicila	1,400	1,330		1,330	6	5,225
14	Río Ameca	1,063	2,289		2,289	9	12,255
15	Costa de Jalisco	1,144	3,513		3,513	11	12,967
16	Armería-Coahuayana	866	3,431		3,431	10	17,628
17	Costa de Michoacán	944	1,613		1,613	6	9,205
18	Balsas	947	18,575		18,575	15	118,268
19	Costa Grande de Guerrero	1,215	5,223		5,223	28	12,132
20	Costa Chica de Guerrero	1,282	18,513		18,513	32	39,936
21	Costa de Oaxaca	951	2,539		2,539	19	10,514
22	Tehuantepec	884	3,099		3,099	15	16,363
23	Costa de Chiapas	2,220	12,512	1,586	14,098	25	12,293
24	Bravo-Conchos	399	5,690	-353	5,258	37	229,740
25	San Fernando-Soto la Marina	703	4,650		4,650	45	54,961
26	Pánuco	855	20,372		20,372	77	96,989
27	Norte de Veracruz (Tuxpan-Nautla)	1,422	15,021		15,021	12	26,592
28	Papaloapan	1,440	47,421		47,421	18	57,355
29	Coatzacoalcos	2,211	34,723		34,723	15	30,217
30	Grijalva-Usumacinta	1,703	72,794	44,080	116,874	83	102,465
31	Yucatán Oeste	1,175	735		735	7	25,443
32	Yucatán Norte	1,143	22		22	2	58,135
33	Yucatán Este	1,210	1,124		1,989	6	38,308
34	Cuencas Cerradas del Norte	298	1,338		1,338	22	90,829
35	Mapimí	292	225		225	6	62,639
36	Nazas-Aguanaival	393	1,762		1,762	16	93,032
37	El Salado	393	219		219	8	87,801
	Total	740	322,056	47,180	370,005	757	1,959,248

Tabla 2.1: CARACTERÍSTICAS DE LAS REGIONES HIDROLÓGICAS 2020

(Tabla realizada con datos medios determinados con los últimos estudios realizados por parte de la CONAGUA 2020)

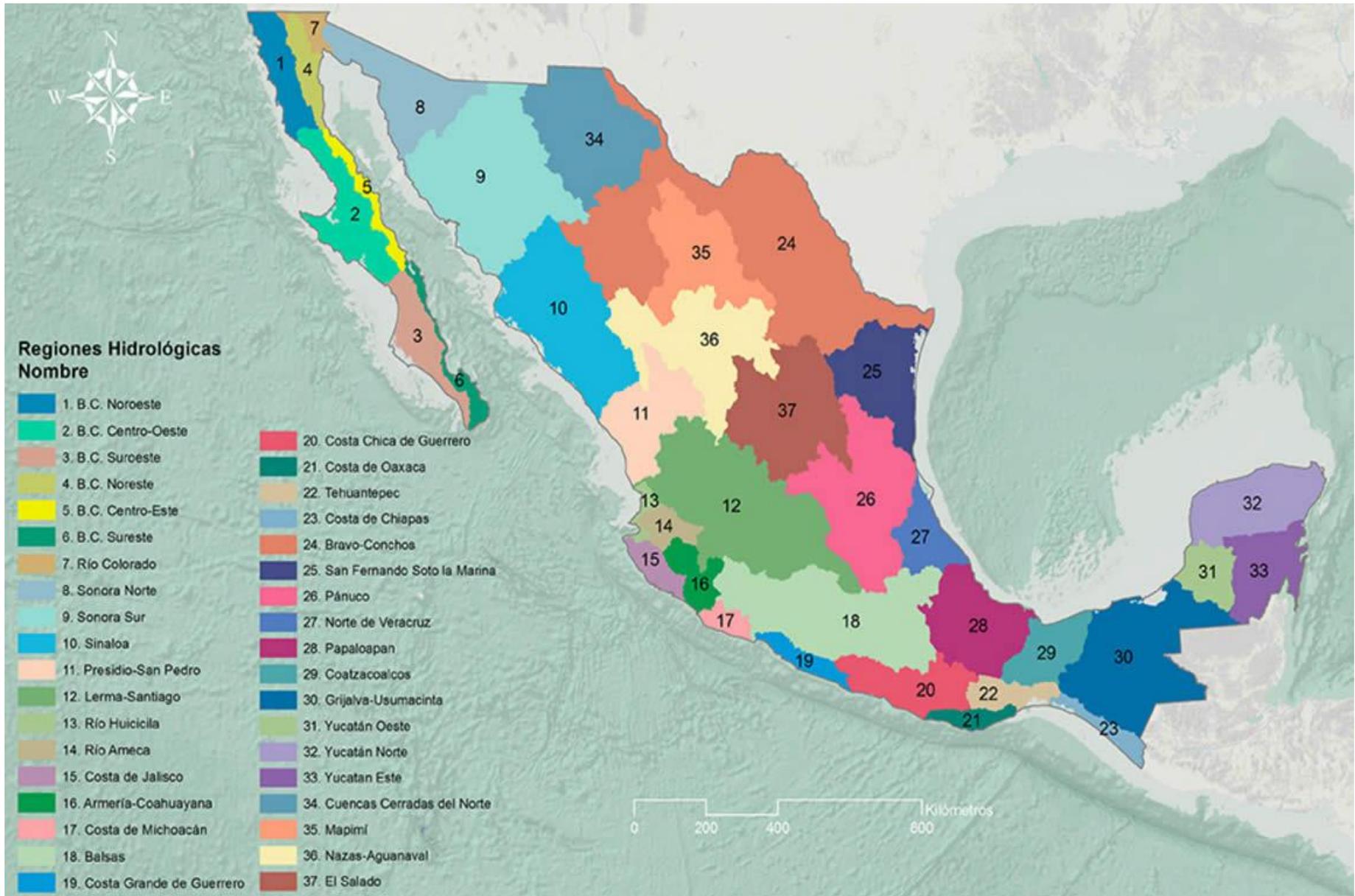


Figura 2.3: REGIONES HIDROLÓGICAS

(Mapa tomado de la página de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, URL: http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua_RH.html)

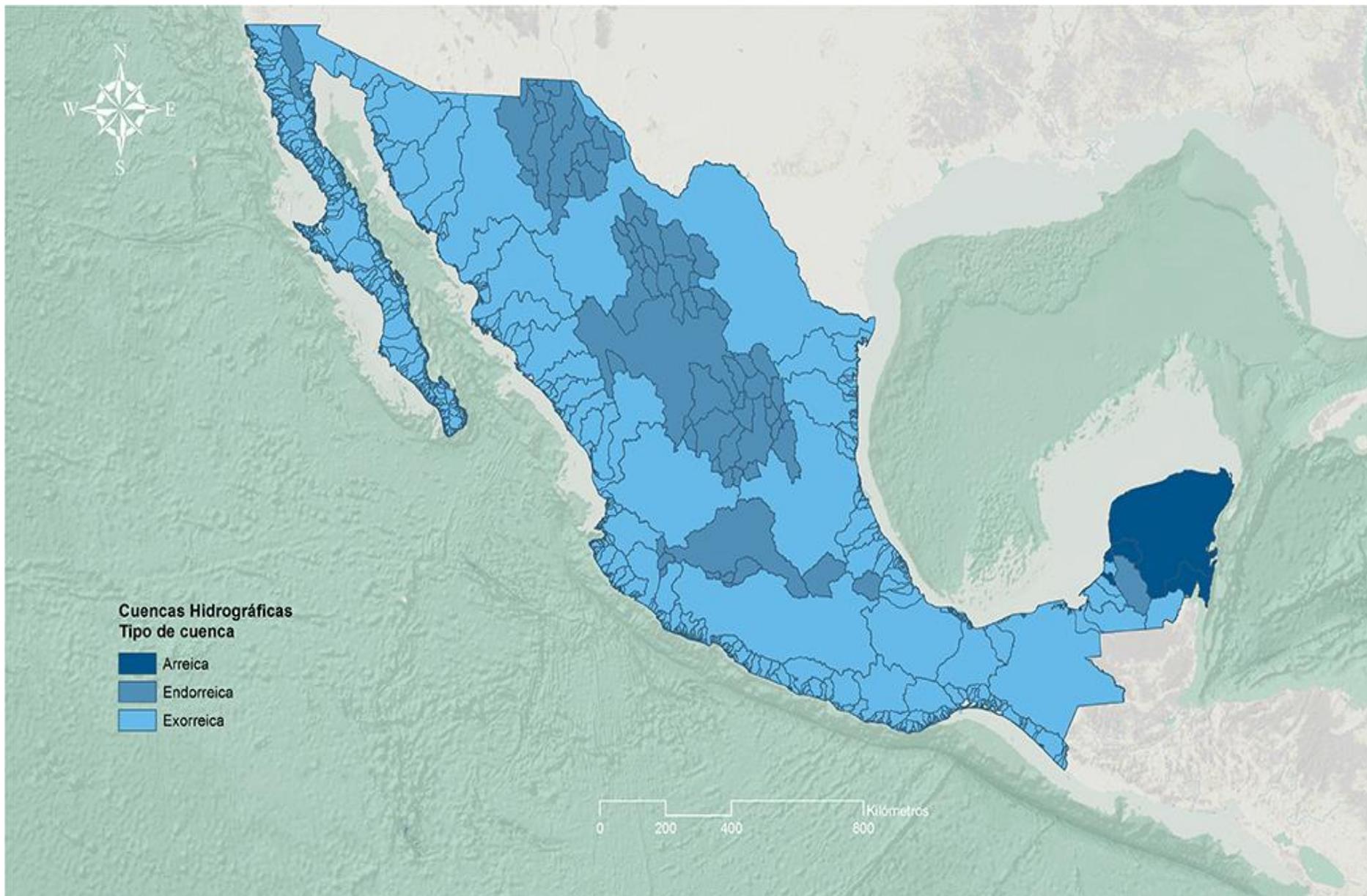


Figura 2.4: CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO

(Mapa tomado de la página de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT,
URL: http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua_chidrograficas.html)

Es muy importante que para el desarrollo de una infraestructura hidráulica se tenga en cuenta la capacidad que tiene la cuenca para abastecer de escurrimiento al embalse que se pretende construir. Para poder evaluar una cuenca es importante considerar la estructura geológica en donde se presentarán los escurrimientos y así conocer la cantidad de vertientes y el valor acumulativo de su desnivel, estos separan y dividen la red hidrográfica en subcuencas.³⁶

De esta manera se puede saber el escurrimiento que se presenta y asimismo conocer la disponibilidad de las cuencas con las que se cuenta en la región.

Es fundamental conocer el volumen de agua que se recibe así como las salidas que se tienen para poder realizar un cálculo de balance hídrico adecuado, con lo cual se puede definir viabilidad del proyecto.

En el caso de México existen variaciones de precipitación obtenidas a lo largo de los años, por ejemplo en el año 2013 con respecto a datos de la CONAGUA, se presentó una precipitación media anual en todo el territorio nacional de 921 mm, mientras que en el 2020 fue sólo de 722.5 mm³⁷, a esto también debe sumarse la diversidad de climas presentes en las regiones hidrológico-administrativas del país, ya que estos presentan diferencias en la cantidad de volumen obtenido mediante las precipitaciones, por ejemplo en la región Frontera Sur, con un clima cálido húmedo, la precipitación pluvial normal anual en el 2020 fue de 2,372 mm mientras que en la región de la Península de Baja California se presentó 103.3 mm ya que ahí predomina el clima seco.

³⁶ Cotler Helena, **Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización**, México 2010, pp 27

³⁷ SINA, CONAGUA. **Precipitación nacional**, México 2020 Disponible en:

<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=precipitacion&ver=reporte&o=2&n=nacional>.

No	Región Hidrológica - Administrativa	Precipitación pluvial anual 2020 (mm)
1	Península de Baja California	103.3
2	Noroeste	354.0
3	Pacífico Norte	644.8
4	Balsas	889.1
5	Pacífico Sur	930.7
6	Río Bravo	289.6
7	Cuencas Centrales del Norte	257.3
8	Lerma Santiago Pacífico	766.8
9	Golfo Norte	635.5
10	Golfo Centro	1,590.0
11	Frontera Sur	2,372.2
12	Península de Yucatán	1,801.0
13	Aguas del Valle de México	355.2
	NACIONAL	722.5

Tabla 2.2: PRECIPITACIÓN PLUVIAL ANUAL POR CADA REGIÓN HIDROLÓGICA - ADMINISTRATIVA 2020

(Elaboración propia con base en los datos medios determinados con los últimos estudios realizados por parte de la CONAGUA 2020) URL: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=precipitacion&ver=reporte&o=2&n=nacional>

Los escurrimientos dependen de la estructura geológica de la región, es por ello que al igual que la precipitación, estos varían dependiendo la región en que se encuentra. Este escurrimiento superficial corre principalmente en ríos, arroyos y lagos por todo el territorio, por ejemplo en la región de la Frontera Sur tan solo los ríos Grijalva y Usumacinta representan aproximadamente el 37% del total nacional, mientras que en la zona de Yucatán debido a su relieve plano su clima seco y la capacidad de permeabilidad del suelo evita que existan escurrimientos.³⁸

³⁸ SEMARNAT, **Informe del Medio Ambiente, 2020 (EN LINEA:** <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>)

A continuación se presentan los datos de escurrimientos actualizados hasta el 2020 de los principales cuerpos de agua del país.

Región	Número de ríos	Escurrecimiento natural medio superficial (hm ³ /año)
Ríos de la vertiente del Pacífico y Golfo de California	33	81,695.5
Ríos de la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe	16	228,272.7
Ríos de la vertiente interior	2	6,399.3
TOTAL	51	316,367.5

	Número de lagos	Capacidad de almacenamiento (hm ³)
Lagos principales	7	81,695.5

Tabla 2.3: ESCURRIMIENTOS Y CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LOS PRINCIPALES CUERPOS DE AGUA DE MÉXICO 2020

(Elaboración propia con base en los datos medios determinados con los últimos estudios realizados por parte de la CONAGUA 2020) URL: http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua_rios.html#

2.1.3. Hidrogramas

Es importante conocer la cantidad de agua que desemboque por el cauce principal de la cuenca en un lapso determinado de tiempo, el registro es obtenido mediante las estaciones hidrométricas colocadas cerca de la zona de la cuenca donde los datos de escurrimientos son presentados ya sea por días, meses o años. Dichos valores pueden ser expresados en un hidrograma, que representa de manera gráfica el escurrimiento presentado en determinado intervalo de tiempo, ya sea horario o diario. En el hidrograma de descarga de una determinada corriente se puede observar que forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial, asimismo en las cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente.³⁹

³⁹ Lux Cardona Benjamín, **Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas**, [En línea]: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf/> (Fecha de consulta: 11 de mayo 2020)

A continuación se presenta un ejemplo de hidrograma.

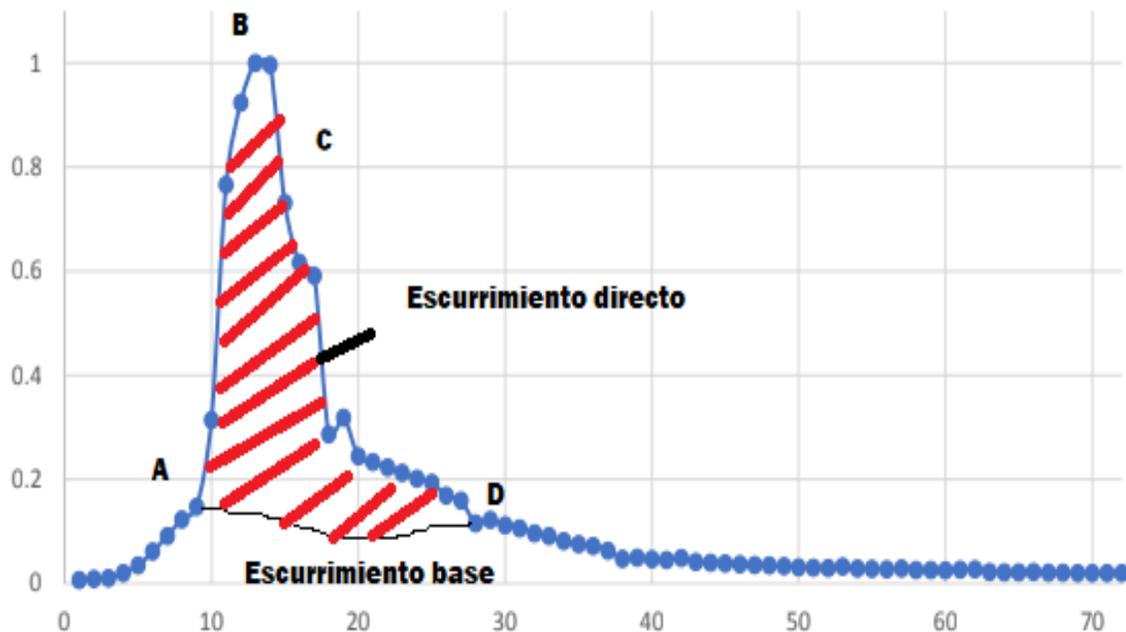


Figura 2.5: PARTES DE UN HIDROGRAMA

(Elaboración propia con base en la Figura 3.2 del libro Fundamentos de la Hidrología de Superficie, Aparicio. México 1992. pp. 29)

Los hidrogramas son generados con los datos del volumen presentado en el cauce por efectos de una tormenta en un determinado lapso. El escurrimiento directo se refiere a ese aumento a causa de la precipitación presentada en la zona del cauce de manera superficial, mientras que el escurrimiento base se refiere al flujo permanente generado por los escurrimientos subterráneos y el escurrimiento retardado de la cuenca. Los puntos del hidrograma de la figura anterior se explican a continuación:

- A. En este punto se encuentra definido el inicio de la precipitación, si la intensidad de la lluvia es mayor que la humedad del suelo habrá un aumento en el volumen de agua.

- B. En este nivel se llega al volumen máximo generado por las precipitaciones y toda esa agua generada contribuye a la recarga del cuerpo de agua de manera superficial. Es muy importante mencionar que para efectos de diseño de obras hidráulicas, este punto es el de mayor relevancia, puesto que es donde se presentan los escurrimientos máximos generados en esa cuenca con respecto a sus características fisiográficas.
- C. En este punto del hidrograma se presenta el punto de inflexión donde el volumen generado por la tormenta únicamente se presentará por el subsuelo, es decir, los escurrimientos superficiales cesan y comienza una curva descendente.
- D. Es aquí donde los escurrimientos son constantes y solo son generados por el agua subterránea que se encuentra en el cauce hasta el inicio de una nueva tormenta.

Existen otros factores que pueden modificar la forma del hidrograma, entre ellos se encuentra la intensidad, duración y el tipo de precipitación, ya que se pueden presentar picos múltiples por una sucesión de tormentas continuas, donde con respecto las condiciones climatológicas de las precipitaciones así como de la situación del suelo es que se presentarán dichas variaciones generando una diferencia de caudales con respecto a cada tormenta presentada.

Se sabe que la lluvia es la alimentadora principal dentro de un sistema hidrológico, siendo la lluvia máxima al momento de transformarse en escurrimiento, presentándose los gastos máximos instantáneos. Estos gastos son utilizados para el diseño de las obras de desvío y excedencias; sin embargo, para tener confiabilidad de utilizar estos gastos máximos instantáneos, se debe realizar un análisis de precipitación, lo anterior a fin de verificar si la lluvia que se está generando dentro del sistema hidrológico está aumentando o disminuyendo con respecto al tiempo. Por lo tanto, al realizar el análisis de la precipitación puede determinarse si el sistema hidrológico de la cuenca es estable o, de esta manera concluir si los gastos máximos registrados son o no confiables para el diseño de las estructuras de la presa. Por lo anterior, se hace uso del método del hidrograma

unitario, el cual consiste en la determinación del gasto generado por la precipitación sobre la cuenca a estudiar.

El hidrograma unitario representa un evento meteorológico típico de la cuenca, es decir, debido a que las características físicas de la cuenca no sufren muchas modificaciones estas permanecen constantes la mayor parte del tiempo, es así como se espera una semejanza en la forma de los hidrogramas producto de las precipitaciones de características similares; para su construcción son necesarios los datos de la precipitación y escurrimiento generados en la cuenca. El hidrograma unitario corresponde a un volumen unitario representado por cm, mm, in, etc., originado por una lluvia de intensidad y duración uniforme con respecto a lo presenciado en la zona; en el hidrograma unitario se presenta el mismo periodo de tiempo del registro con el que se cuenta y las ordenadas del volumen son distribuidas con respecto a la magnitud de la lluvia, siendo la unidad el máximo valor registrado.

Para el dimensionamiento de las obras hidráulicas es necesario conocer el gasto máximo con respecto a un periodo de tiempo determinado. Los estudios realizados para obtener las avenidas de diseño consisten en determinar por métodos probabilísticos el gasto máximo para distintos periodos de retorno, así como en adoptar la forma de la avenida máxima registrada desagregando los gastos máximos asociados a diferentes duraciones de acuerdo con el periodo de retorno de cada uno de ellos⁴⁰. Es importante mencionar que para obtener datos confiables el registro tomado de las estaciones hidrométricas cercanas a la cuenca que abastecerá al embalse debe ser mayor a 20 años.

Para obtener el gasto de diseño de una obra (vertedor o desvío) es necesario hacer uso de los gastos máximos anuales o instantáneos mediante el empleo de métodos probabilísticos y con ello definir un periodo de retorno para el diseño de las obras, siguiendo las recomendaciones emitidas por la Gerencia Técnica de la CONAGUA en 2017, en donde el periodo de retorno a asignar depende a su vez de la altura,

⁴⁰ Dr. Humberto Marengo Mogollón, **Obras de Desvío en Proyectos Hidráulicos, Aspectos de Diseño y Construcción**, Noviembre 2019, pp 10

capacidad y vida útil de las obras. Dichos métodos probabilísticos son analizados por la relación de dependencia de la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos de variables hidrológicas. La estimación de la frecuencia de los valores máximos registrados para las variables consideradas, son a partir de funciones de distribución de frecuencias. Las distribuciones de frecuencia consideradas para un óptimo análisis hidrológico son por lo general: Gumbel 1p y 2p, LogNormal, Exponencial, Gamma2p, Nash, Pearson, etc., en donde es importante escoger la que sus resultados sean los más parecidos a los datos medidos, presentando el menor error de ajuste. A continuación se presenta un gráfico con datos medidos correspondiente a la cuenca de la C.H. Las Cruces.

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD ANALIZADAS								
Tr (años)	Exponencial	Gamma2p	Gumbel1p	Gumbel2p	LogNormal	Nash	Normal	Pearson III
2	1385.53	1591.12	1732.23	1628.72	1585.02	495.91	1998.84	1998.66
5	3217.11	3075.62	3166.81	3107.15	2771.36	1087.40	3364.27	2025.34
10	4602.64	4129.45	4116.63	5181.76	3712.44	1479.01	4078.71	2039.44
20	5988.17	5161.97	5027.72	6461.26	4725.85	1854.66	4668.53	2051.15
50	7819.74	6514.61	6207.03	7916.57	6200.41	2340.90	5332.18	2064.40
100	9205.27	7536.15	7090.76	8972.63	7430.74	2705.26	5774.52	2073.28
500	12422.38	9919.52	9132.91	11112.27	10718.57	3547.26	6669.80	2091.36
1000	13807.91	10954.50	10010.86	11664.46	12338.94	3909.24	7013.84	2098.35
5000	17025.02	13383.06	12048.44	12218.98	16632.91	4749.35	7743.61	2113.25
10000	18410.55	14440.89	12925.82	12297.20	18730.67	5111.10	8033.87	2119.20

Tabla 2.4: EVENTOS EXTRAORDINARIOS RELACIONADOS A UN PERIODO DE RETORNO Y DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DEL EJEMPLO CORRESPONDIENTE AL P.H. LAS CRUCES (m³/s)

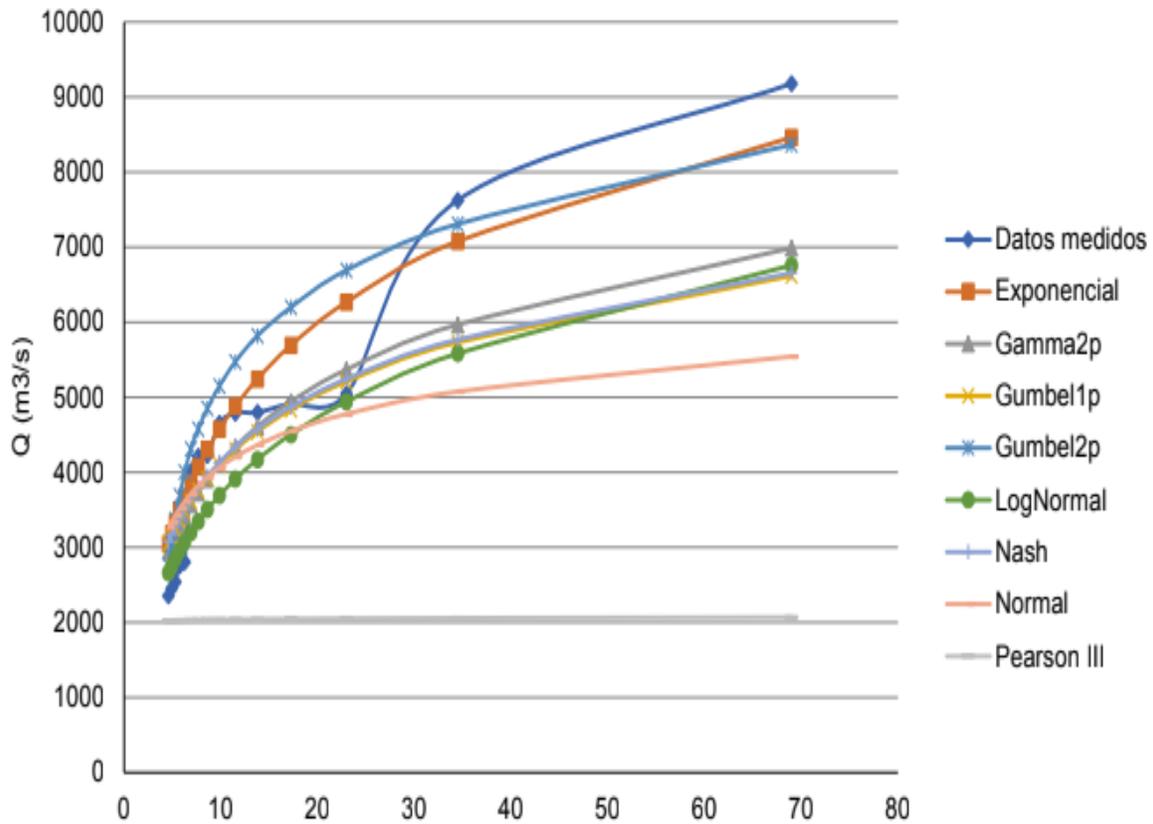


Figura 2.6: DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES CON RESPECTO A LOS DATOS MEDIDOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS CRUCES

DISTRIBUCIÓN	ERROR
Exponencial	14877.63
Gamma2p	3848.76
Gumbel1p	4685.03
Gumbel2p	3700.66
LogNormal	18865.04
Nash	4695.11
Normal	6475.25
Pearson III	13076.02

Tabla 2.5: ERROR PARA CADA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DEL EJEMPLO CORRESPONDIENTE AL P.H. LAS CRUCES

De acuerdo con la gráfica anterior y a la Tabla 2.5, se puede concluir que para este ejemplo, la distribución que más se apega a los valores obtenidos así como la que obtuvo el menor error es la DobleGumbel por lo que es necesario extraer los datos de los eventos extraordinarios para cada periodo de retorno y asociarlo al hidrograma unitario correspondiente. En la Figura 2.7 se muestra un ejemplo de hidrograma asociado a distintos periodos de retorno.

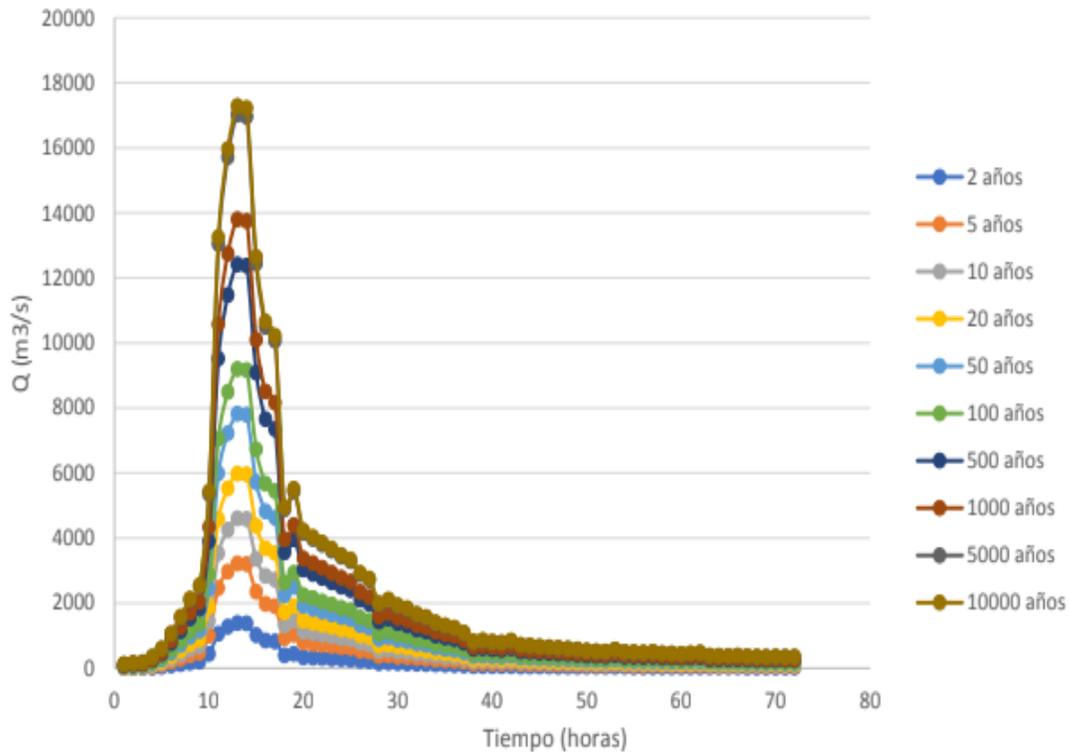


Figura 2.7: HIDROGRAMAS DE DISEÑO PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO (TR)

2.1.4. Disponibilidad del recurso hídrico

El valor de la disponibilidad de agua tiene el objetivo de definir si es posible autorizar nuevos aprovechamientos sin afectar los que ya se encuentran concesionados o asignados, ni tampoco el entorno natural. La disponibilidad varía entre las regiones y no coincide ni con la distribución de la población en el territorio ni con la generación regional del producto interno bruto, es decir en algunas regiones la disponibilidad

del recurso sobrepasa la demanda que se pueda tener, tan sólo si se juntan las regiones del Pacífico Sur, Golfo Centro, Frontera Sur y Península de Yucatán se puede observar que se tiene aproximadamente el 67% del agua renovable total pero sólo el 24% de población. Por lo tanto, los proyectos de almacenamiento de agua deben ser considerados sin afectar nada de lo anterior. A continuación en la Tabla 2.3 se presenta la cantidad de agua renovable por Región Hidrológica Administrativa (RHA)

No	Región Hidrológica - Administrativa	Escorrentamiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	Recarga media total de acuíferos (hm ³ /año)	Agua renovable total (hm ³ /año)
1	Península de Baja California	3,218	1,641	4,858.43
2	Noroeste	5,068	3,207	8,274.40
3	Pacífico Norte	23,537	3,211	26,747.25
4	Balsas	16,798	4,871	21,668.48
5	Pacífico Sur	28,900	1,936	30,836.07
6	Río Bravo	6,495	6,350	12,844.46
7	Cuencas Centrales del Norte	5,551	2,474	8,024.45
8	Lerma Santiago Pacífico	25,241	9,831	35,071.39
9	Golfo Norte	24,555	4,099	28,654.60
10	Golfo Centro	89,764	4,599	94,362.80
11	Frontera Sur	124,477	22,718	147,194.86
12	Península de Yucatán	4,331	25,316	29,646.82
13	Aguas del Valle de México	1,106	2,294	3,400.74
	TOTAL	359,041	92,544	451,584.75

Tabla 2.6: AGUA RENOVABLE POR REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA, 2019

(Tabla realizada con datos medios determinados con los últimos estudios realizados por parte de la CONAGUA 2019)

URL: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=reporte&o=0&n=regional>

2.2. ALMACENAMIENTO DEL AGUA.

Los embalses son depósitos de agua construidos de manera artificial en el cauce de un río, de modo que se busca retener el agua dependiendo de una determinada demanda, según la finalidad del embalse ya sea de abastecimiento de agua potable,

generación de energía eléctrica, de manera recreativa etc., así como también contener los caudales máximos que se presenten en la zona para evitar desbordamiento del río.

Una manera de clasificar los embalses es con respecto a su tamaño. A continuación, en la Tabla 2.4, se ordenan los diferentes tipos de embalses con respecto al área y volumen inundado de acuerdo con la clasificación de Zhelezniakov (1984).

CLASIFICACIÓN	ÁREA (km²)	VOLUMEN (hm³)
MICRO	< 1	< 1
PEQUEÑOS	1 < 10	1 < 100
MEDIANOS	10 < 100	100 < 1,000
GRANDES	100 < 500	1,000 < 10,000
MUY GRANDES	500 < 5,000	10,000 < 100,000
GIGANTES	> 5,000	> 100,000

Tabla 2.7: CLASIFICACIÓN DE EMBALSES CON RESPECTO AL ÁREA Y VOLUMEN INUNDADO, ZHELEZNIKOV (1984)

2.2.1. Dimensionamiento y características de un embalse

Para la construcción de un vaso de almacenamiento es necesario retener la mayor cantidad de agua posible y aprovechando el escurrimiento que se presente en la zona. En el dimensionamiento del vaso de almacenamiento de la presa es necesario contar con la topobatrimetría de la zona donde se desplantará la obra, para en primera instancia obtener las curvas elevaciones – áreas – capacidades del vaso. A continuación en la Figura 2.8 se presenta un ejemplo de la curva elevación – áreas – capacidades, en concreto de la Central Hidroeléctrica “Las Cruces”

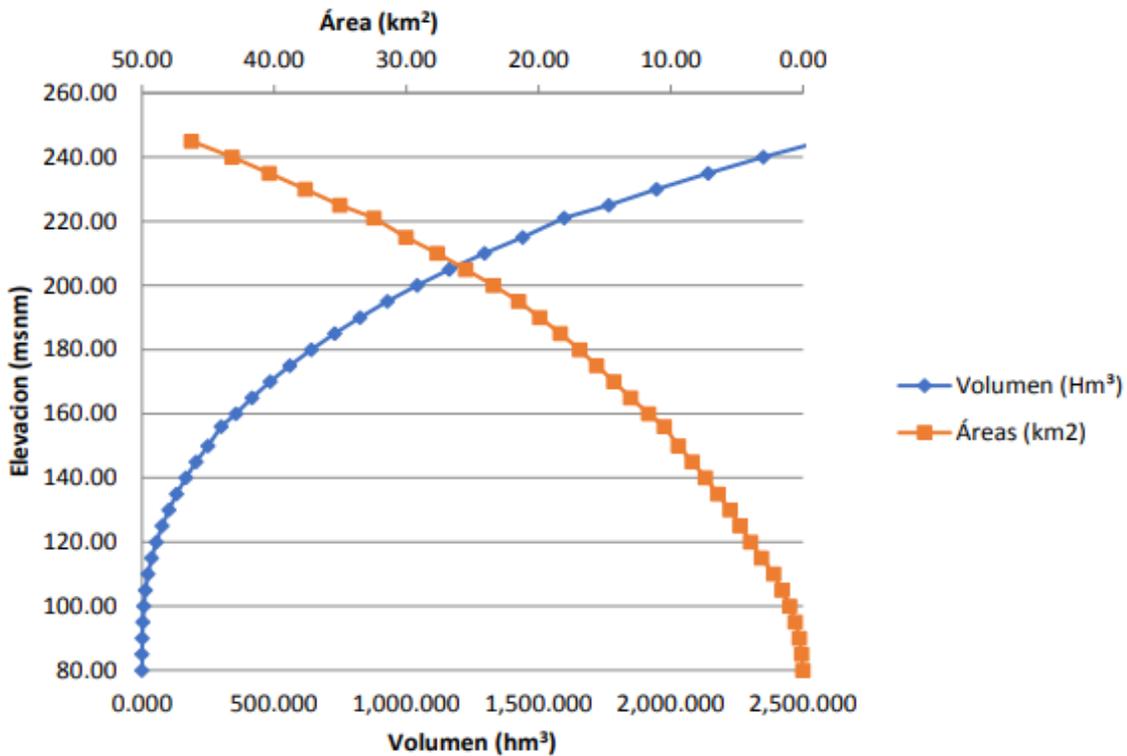


Figura 2.8: CURVA ELEVACIONES – ÁREAS - CAPACIDADES

(Gráfico realizado con respecto a los datos de las curvas de nivel de la zona de desplante del P.H. Las Cruces)

Es importante mencionar que gracias a las curvas elevaciones-áreas-capacidades, y al estudio de azolves correspondiente, se localizará la elevación mínima de operación que deben tener en el embalse, de manera que conocidos los escurrimientos se puede conocer el volumen que generarán en el vaso, y con lo cual se localizará de manera preliminar la corona y la altura de la cortina⁴¹. De lo anterior es posible dimensionar el embalse y obtener las elevaciones de los niveles característicos (preliminarmente), por lo tanto es muy importante la selección y diseño de la obra de contención que ofrezca la mejor alternativa en el río en el que se plantea desplantar la cortina, tomando en cuenta las condiciones geológicas y topográficas del sitio, así como la posibilidad de utilizar material que se encuentre cerca de la zona del proyecto como bancos de roca, grava o roca producto de la

⁴¹ Facultad de Ingeniería UNAM, **NOCIONES DE ESTABILIDAD DE CORTINAS**, pp 19

excavación, permitiendo tener un diseño y construcción que ofrezca condiciones de economía, seguridad y funcionalidad a lo largo de la vida útil del proyecto⁴².

Los embalses cuentan con niveles de operación los cuales son definidos con respecto a las características de la zona de influencia de la cuenca y los escurrimientos que se tengan, los cuales son los siguientes:

- NAMIN (Nivel de Aguas Mínimas)

Corresponde al nivel previsto para el almacenamiento de azolve esperado para la vida útil de la estructura. El nivel debe ser más alto que el nivel de sedimentos previsto, el volumen que se encuentra hasta esta elevación, es considerado como volumen de azolves. Una manera eficiente para determinar la cantidad de sedimentos que entrarán al embalse es por medio de un aforo regular del material que lleva el río, esto por un periodo de tiempo determinado o en época de estiaje. Es importante mencionar que para el cálculo del volumen que ocupará el NAMIN, será por medio de la gráfica elevaciones – capacidades.

- NAMINO (Nivel de Aguas Mínimas de Operación)

Este nivel se encuentra delimitado por la elevación obtenida en la curva elevaciones – capacidades donde se presenta el volumen requerido para, en el caso de las centrales hidroeléctricas la carga mínima necesaria para la correcta operación de las turbinas. Su estimación es definida del mejor escenario obtenido partiendo de la demanda dentro de la simulación analítica del funcionamiento de vaso. El volumen que se encuentra entre el NAMIN y NAMINO, es considerado como volumen muerto, puesto no tendrá injerencia en la operación de la presa (obra de toma).

- NAMO (Nivel de Aguas Máximas Ordinarias)

A diferencia del NAMINO, el NAMO se encuentra delimitado por la elevación máxima donde se genera el volumen para que la presa puede operar y satisfacer las demandas. Para su estimación además de la selección del mejor escenario

⁴² Dr. Humberto Marengo Mogollón, **Asistencia Técnica Especializada para Proponer Esquemas de Anteproyectos a Construirse con Nuevas Presas**, diciembre 2011.

partiendo de la simulación analítica el funcionamiento de vaso, se deberá considerar la topografía existente, es decir un nivel topográficamente factible. El volumen comprendido entre el NAMO y NAMINO es definido como volumen útil.

- NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias)

Es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición y se determina con el tránsito de avenidas con un periodo de retorno de 1,000 a 10,000 años, dependiendo de la altura y la capacidad de la presa, tomando como nivel inicial en el vaso para la simulación la cota del NAMO. El volumen comprendido entre el NAMO y el NAME se llama súper almacenamiento o capacidad de control de avenidas. El espacio que queda entre el NAME y la máxima elevación de la cortina (corona) se denomina bordo libre y está destinado a contener el oleaje y la marea producidos por el viento y compensar las reducciones de la altura producida por asentamientos.

A continuación en la Figura 2.9 se presenta un esquema donde se muestran los principales niveles de operación y capacidades de aprovechamiento y operación de la presa.

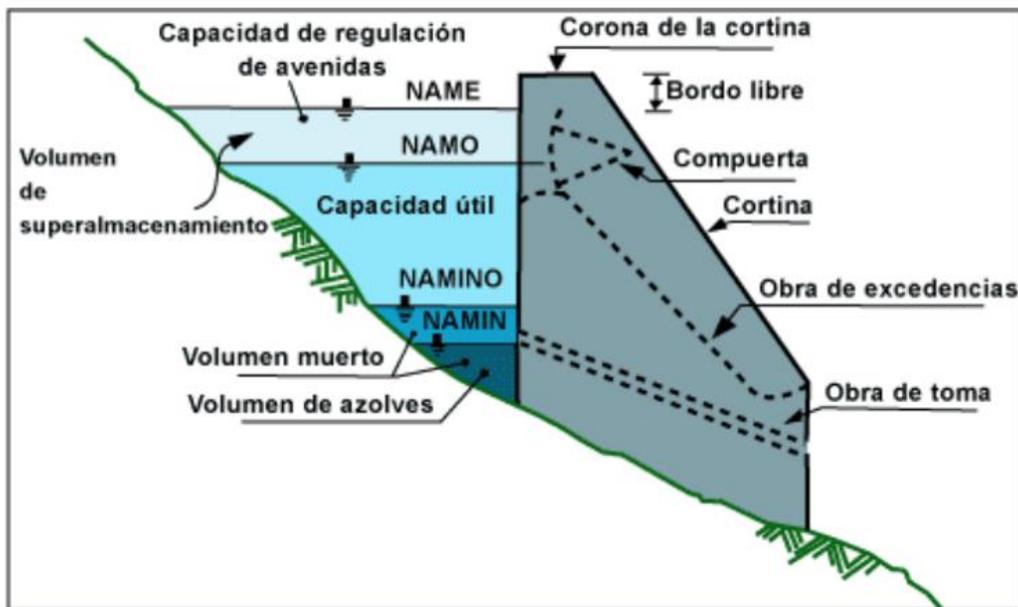


Figura 2.9: PRINCIPALES COMPONENTES DE UN VASO DE ALMACENAMIENTO

(Esquema tomado del libro FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE, Francisco Aparicio)

Para determinar el volumen útil, en una presa se debe hacer una estimación de los datos de los escurrimientos directos presentados, así como las demandas que se presentarán a lo largo de la vida útil del proyecto, es por ello que es importante la realización de un funcionamiento de vaso para un periodo largo de registros tomando en cuenta todas las variaciones y factores que puedan interferir en el volumen de agua que se pueda almacenar.

La simulación del funcionamiento de un vaso tiene como objetivo determinar el comportamiento del embalse a partir de la evolución de los volúmenes almacenados en función de la hidrología de la cuenca del proyecto, la topografía del embalse y la demanda. Dicha evolución depende de la política de operación del proyecto, la cual se define considerando el comportamiento hidrológico al sitio de proyecto y la operación conjunta entre el tiempo de operación del proyecto. Para poder realizar un funcionamiento de vaso correcto es necesario usar la ecuación de la continuidad expresada en un intervalo de tiempo:

$$X - D = \Delta V$$

X.- se encuentra definido como el volumen de entradas al vaso durante un intervalo de tiempo

D.- volumen de salida del vaso durante el mismo intervalo de tiempo

ΔV . – diferencia de volúmenes durante un intervalo de tiempo

- Volumen de regulación

Este volumen es almacenado y regulado cuando se presenta la temporada de lluvias, se encuentra a partir del NAMO y es determinado mediante el tránsito de avenidas.

Es importante mencionar que el intervalo de tiempo manejado regularmente es por meses. Los volúmenes de entrada al vaso, como se ha mencionado anteriormente, incluyen los provenientes de las precipitaciones que se presenten sobre el vaso, el que escurre por parte del subsuelo, así como la transferencia que se pueda tener

por otras cuencas. Por otra parte los volúmenes de salida del vaso pueden incluir el volumen evaporado, el usado para satisfacer la demanda, así como el infiltrado en el vaso⁴³. Asimismo, es importante conocer el hidrograma de salida de la presa para definir el dimensionamiento de la obra de excedencias, las elevaciones del vaso y conocer si la política de operación de las compuertas es adecuada. Para esto es necesario realizar el procedimiento de tránsito de avenidas en vasos empleando la ecuación de la continuidad:

$$X - S = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

X.- volumen de entrada del vaso

S.- volumen de salida del vaso

$\frac{\Delta V}{\Delta t}$. - volumen almacenado en un periodo determinado.

Al realizar el tránsito de avenidas, la elevación máxima obtenida en la simulación definirá la cota del NAME, el procedimiento se vuelve iterativo, buscando el escenario óptimo, es decir dimensionar una obra de excedencias técnica y económicamente factible sin sobredimensionar la elevación del NAME. Se presenta un ejemplo de tránsito de avenidas del P.H. Las Cruces en la Figura 2.10.

⁴³ Francisco Aparicio, **FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGIA DE SUPERFICIE**. México 1992. pp. 79

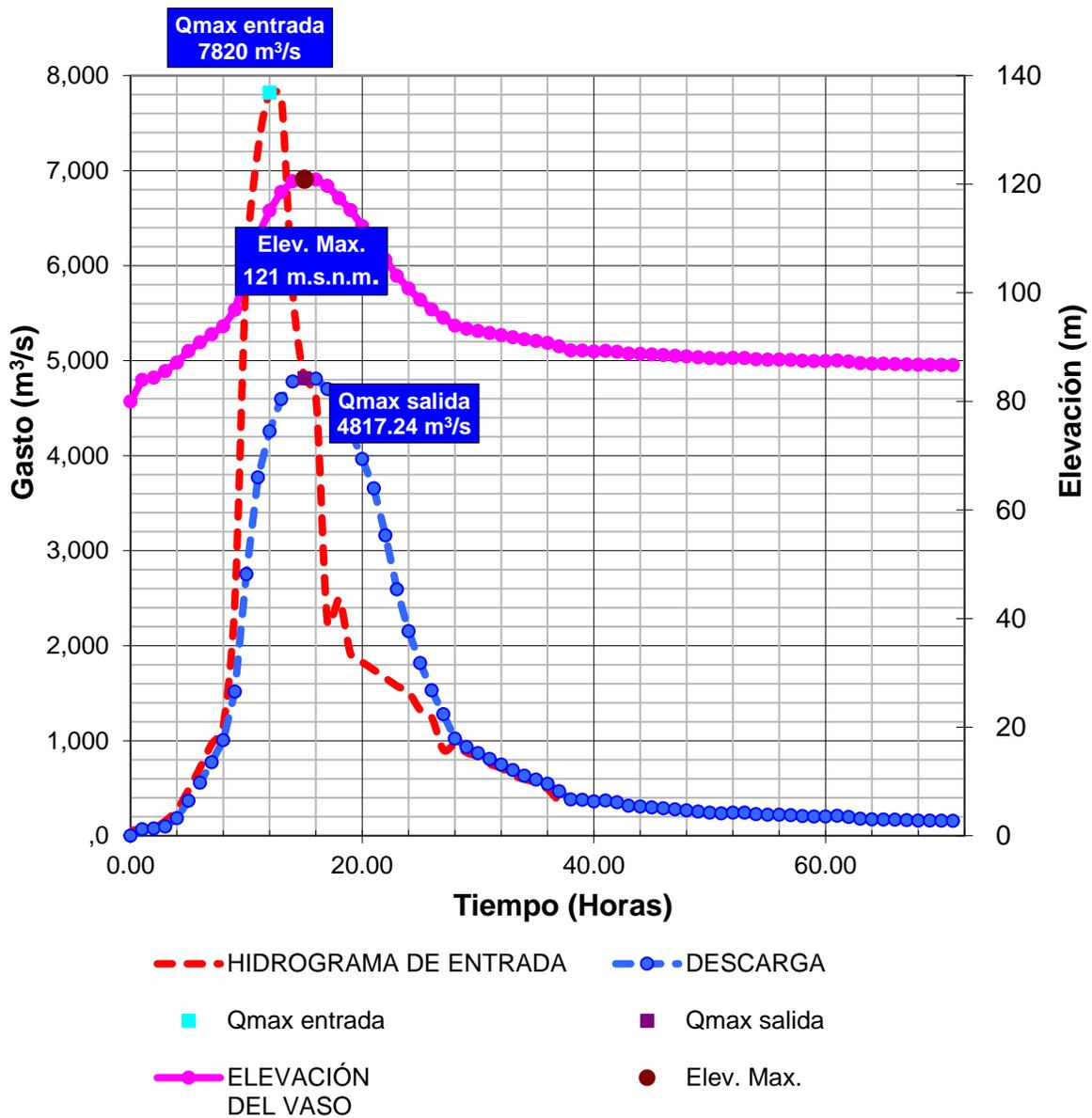


Figura 2.11: EJEMPLO DE TRÁNSITO DE AVENIDAS PARA OBRA DE EXCEDENCIAS DEL P.H. LAS CRUCES CON UN TR DE 50 AÑOS

2.2.2. Centrales hidroeléctricas en México

El abastecimiento del agua para el consumo de la población y para las actividades productivas ha hecho necesario contar con mayores volúmenes del líquido de los que se pueden obtener de las fuentes de suministro más comunes (como los ríos, lagos y acuíferos), por lo que se ha construido infraestructura para reducir los efectos de las contingencias ocasionadas por la variabilidad natural. La construcción

de embalses, además de cumplir con este propósito, sirve también para el control de avenidas y para la generación de energía eléctrica, siendo este último nuestro punto principal de análisis.

Como se puede observar en la Tabla 2.3, en México existen alrededor de 209 principales presas que representan aproximadamente el 82% del almacenamiento nacional, siendo la región de la Frontera Sur la que cuenta con la mayor capacidad de almacenamiento, en ella se encuentran dos de las presas más grandes del país por su volumen útil y su capacidad de almacenamiento máximo ordinario: La Angostura y Malpaso, las cuales obtienen su abastecimiento del Río Grijalva.

No obstante la RHA de Frontera Sur es de las que cuenta con menor número de presas, mientras que en la RHA de Lerma – Santiago – Pacífico se encuentran 72 de estas, el Río Lerma, que es el que suministra del recurso a esta región, se origina en el Estado de México, continúa sobre Querétaro, Guanajuato y Michoacán, para desembocar en el Lago de Chapala, Jalisco. Es ahí en donde nace el Río Santiago, que recorre 475 kilómetros hasta desembocar en el Océano Pacífico por el estado de Nayarit, en esta región se encuentra establecido el sistema hidrológico del Río Grande formado por presas como: C.H. Aguamilpa, C.H. El Cajón, P.H. La Yesca, C.H. Santa Rosa, etc., las cuales se encuentran construidas conforme a la desembocadura al mar del río Santiago. En la Figura 2.11 se pueden observar la localización de las principales presas en el país siendo su uso principal la generación de energía eléctrica, irrigación y el abastecimiento de agua potable, así como para el control de avenidas.⁴⁴

⁴⁴ SEMARNAT, **Informe del Medio Ambiente, 2020 (EN LINEA:**
<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>)

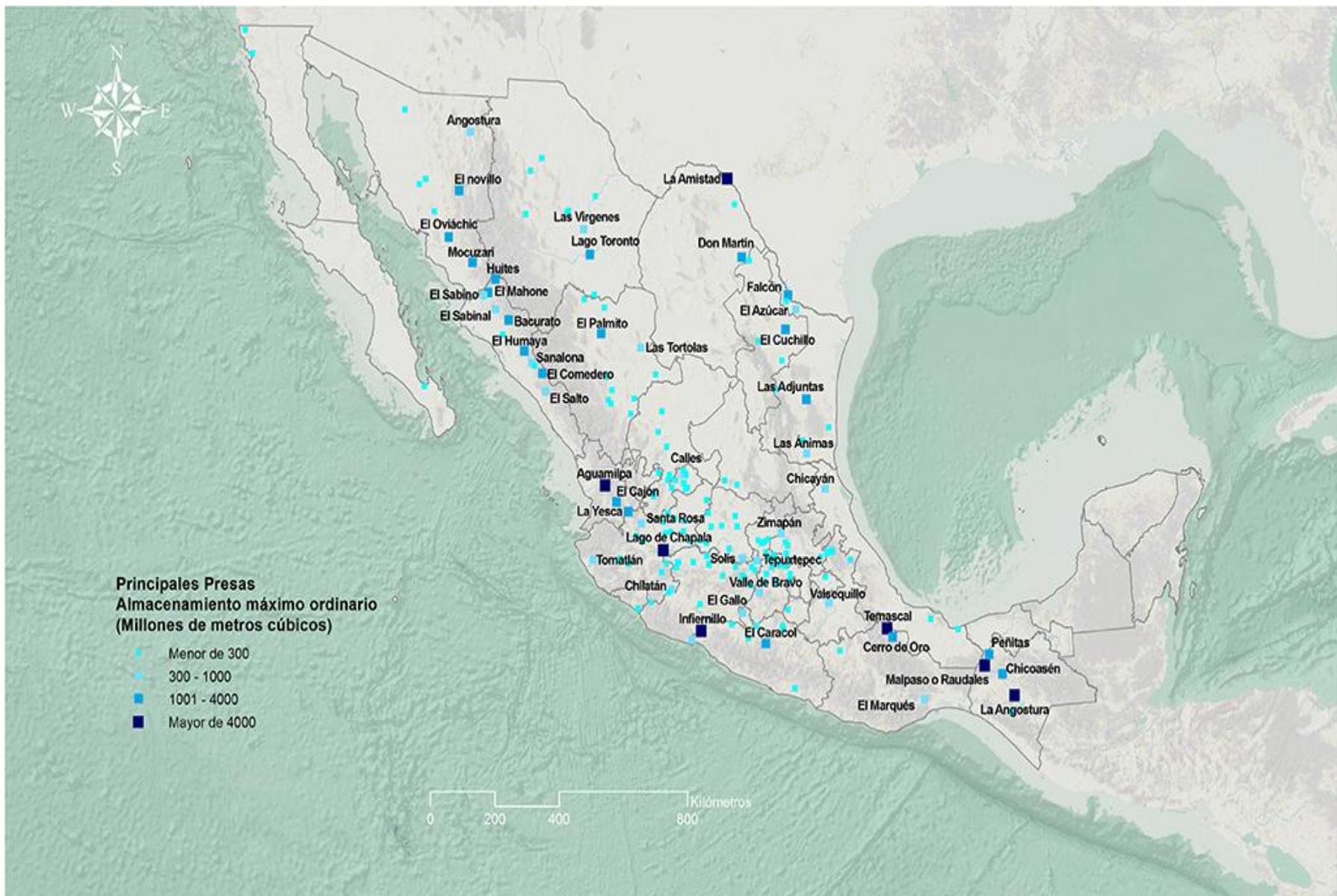


Figura 2.11: PRINCIPALES PRESAS DE ALMACENAMIENTO

(Mapa tomado de la página de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT,
URL: http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua_presas.html#)

No	Región Hidrológica - Administrativa	Capacidad al NAMO (hm ³)	Volumen Almacenado (hm ³)	No de presas
1	Península de Baja California	126	38	4
2	Noroeste	7,970	4,075	9
3	Pacífico Norte	15,904	6,289	18
4	Balsas	14,094	10,282	23
5	Pacífico Sur	1,091	725	2
6	Río Bravo	15,165	3,596	22
7	Cuencas Centrales del Norte	3,464	2,082	15
8	Lerma Santiago Pacífico	23,202	16,104	72
9	Golfo Norte	6,822	4,267	16
10	Golfo Centro	11,058	7,932	11
11	Frontera Sur	28,118	27,141	5
13	Aguas del Valle de México	590	336	12
	TOTAL	127,605	82,868	209

Tabla 2.8: VOLÚMENES DE CAPACIDAD Y ALMACENAMIENTO DE PRESAS POR REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA, 2020

(Tabla realizada con datos medios determinados con los últimos estudios realizados por parte de la CONAGUA 2020
 URL: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=presasPrincipales&ver=reporte&o=0&n=nacional>)

Es esencial conocer las características fisiográficas de la cuenca para poder realizar el diseño de las obras hidráulicas, ya que estas tienen que tomar en cuenta la cantidad de recurso hídrico que pueda estar disponible en la zona, a fin de cubrir la demanda esperada. Por ello se tienen que realizar distintos procedimientos cuantitativos para el dimensionamiento de dichas obras que son de suma importancia para el proceso de construcción de la presa y también para su vida útil.

Una vez construido el embalse este debe ser operado de manera que pueda abastecer la demanda que se requiera en el momento adecuado. Realizar un modelo para la operación de embalses conlleva la planificación y administración de los recursos hídricos. Una correcta política de operación de embalses debe estar establecida con respecto al aprovechamiento sostenible estableciendo un control estricto mediante normas operativas que regulen las entregas, escurrimientos y

volúmenes para satisfacer las demandas requeridas⁴⁵, es por ello que para garantizar el cumplimiento de estas, es necesario que resulten fáciles de aplicar previniendo cualquier tipo de confusión para su correcta operación.

A grandes rasgos, se pretende que para que el embalse tenga una correcta operación deberá contar con mediciones directas de la cantidad de agua que ingrese al embalse, se descargue y cuidar el nivel en el que se encuentre. Es importante mantener las descargas constantes con respecto a lo establecido para satisfacer las demandas requeridas siempre y cuando el embalse se encuentre entre el NAMO y NAMINO

Cabe resaltar que existen situaciones en que dichas condiciones iniciales del embalse cambian en el transcurso del tiempo o existan variaciones en las aportaciones con respecto a nuevos registros hidrológicos, por lo tanto el modelo de operación debe ser adaptado.

En términos energéticos la energía firme de un sistema hidroeléctrico es el mayor valor posible de energía que el sistema puede generar continuamente, asegurando la operación y confiabilidad del sistema en cualquier momento del día, por lo tanto la generación firme (GWh) contará con una garantía de al menos el 95%⁴⁶, es decir un déficit de 5%.

2.3. INFRAESTRUCTURA HIDROELÉCTRICA EN MÉXICO

Con respecto a datos del PRODESEN 2021 – 2035, hasta abril de 2021 la capacidad instalada total entregada a la operación comercial para abastecimiento fue de 89,479 MW, de las cuales las energías limpias aportaron 32,632 MW, siendo la producción hidroeléctrica la que mayor participación tuvo con el 39%, (12,614

⁴⁵ Dr. José Benavides Martínez Rodríguez, **SISTEMA PARA OPERACIÓN DE EMBALSE SIMPLE IMPLEMENTADO EN EL ASISTENTE MATEMÁTICO MATLAB**. [En línea]: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100003 (Fecha de consulta: 4 de agosto, 2020)

⁴⁶ Roberto Dobles, **LA ENERGÍA FIRME Y NO FIRME EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA**. [En línea]: <https://www.larepublica.net/noticia/la-energia-firme-y-no-firme-en-la-generacion-electrica> (Fecha de consulta: 15 de agosto, 2020)

MW); el estado de Chiapas es donde se localiza la mayor cantidad de capacidad instalada de energía Hidroeléctrica del país, debido al gran almacenamiento y desnivel generado por las presas Angostura, Malpaso, Chicoasén, etc., sin embargo la mayor concentración de capacidad instalada se encuentra en las cuencas de Lerma Santiago, Grijalva y Balsas (véase Figura 2.12). Al término del año 2020 la generación neta de energía hidroeléctrica fue de 26,817 GWh, la cual continúa predominando como la que realiza la mayor aportación de energía producida por fuentes renovables con el 30% de 86,988 GWh generados (PRODESEN 2021 – 2035)⁴⁷.

En México, de acuerdo con las disposiciones aplicables de la regulación, las hidroeléctricas son parte de las que se consideran fuentes de energía o procesos de generación eléctrica limpia, ya que en sus procesos prácticamente no se genera CO₂. Este tipo de generación contribuye a perseguir las metas de generación de Energía Limpia establecidas en ley para el país que deberán ser de 35% para 2024, 40% para 2036 y 60% para 2050.

Es importante el desarrollo de proyectos hidroeléctricos sustentables, donde las metas de generación sean compatibles con las expectativas sociales y con la conservación de la biodiversidad. La búsqueda de metodologías que faciliten el desarrollo de la hidroelectricidad de forma sustentable se fundamenta en el principio de que *“el desarrollo sustentable debe de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*⁴⁸.

⁴⁷ PRODESEN 2021 – 2035, **ANEXO 3.6**.

⁴⁸ Barajas, N., V. Aguilar, 2014. **Planeación temprana para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos sustentables: marco metodológico y caso piloto en la cuenca del Río Coatzacoalcos**, CFE, México



Figura 2.12: CAPACIDAD INSTALADA EN CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE MÉXICO POR ESTADO

(Esquema realizado con base en los datos del ANEXO 3.2A y 3.2G del PRODESEN 2021 – 2035)

Actualmente se identifican 101 presas de generación actual tanto de CFE como de privados, entre grandes (mayores a 30 MW) y pequeñas (menores a 30 MW) de capacidad instalada y que van desde 1 unidad de generación hasta 8 unidades

El uso de centrales hidroeléctricas en México ha sido de mucha importancia para su desarrollo económico, ya que además de los beneficios económicos que se presentan en la región de su construcción, la aportación de energía eléctrica ayuda a abastecer las demandas crecientes de los últimos años en el país; a continuación se enlistan algunas de las razones por las cuales la energía hidroeléctrica juega un papel importante en el desarrollo económico:

- Independientemente de los beneficios y de suministro de electricidad y servicios por la construcción de la central hidroeléctrica, este contribuye al mejoramiento del uso del agua de la región, para su uso recreativo o personal.
- Las centrales hidroeléctricas tienen la facilidad de entrar y salir de operación en el momento en que se requiera, abarcan eficientemente las demandas en las horas pico evitando las interrupciones de aportación de energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) provocadas por fallas en los principales generadores de electricidad (termoeléctricas) abasteciendo las demandas correspondientes.
- Disminución de los costos de operación en el sistema eléctrico, ya que el agua al ser un recurso renovable su costo es prácticamente cero, y su precio en el mercado no tiene variaciones que puedan afectar la continuidad de la producción de electricidad.

Como resultado de la expansión del SEN, se estima que, en el año 2035, la capacidad total será de 102,340 MW, al considerar la evolución anual de las adiciones y los retiros de las unidades generadoras que integran al SEN, por lo que se proyecta que la capacidad instalada aumente en 13% con relación con la

capacidad en operación de 2021, y en específico para las energías limpias se prevé tener un aumento del 17% con respecto a lo obtenido en 2021.⁴⁹

No obstante, la energía hidroeléctrica ha sido la que menos aumento de capacidad instalada ha tenido en los últimos años. De acuerdo con datos del PRODESEN 2021 – 2035, se menciona la evolución que han tenido la producción de energía y su capacidad instalada desde 2017 hasta mayo del 2021; la energía hidroeléctrica no ha tenido cambios considerables en su capacidad instalada, presentando un aumento de 2 MW en todo el territorio nacional, lo que ha detonado un decremento en su producción de energía del 15%; a pesar de lo anterior, estas centrales continúan siendo la que más aporta energía renovable al SEN.

Para el continuo desarrollo de la energía hidroeléctrica nacional, los proyectos ejecutados deben de estar enfocados al desarrollo y modernizados de centrales, donde se deben abarcar los principios de sostenibilidad ambiental y viabilidad social; otro de los principales retos en México de la hidroelectricidad y la industria eléctrica es la seguridad jurídica para detonar inversiones, debido a que los grandes proyectos hidroeléctricos en México son muy importantes para la continuidad en el desarrollo económico del país.

Los proyectos de energía hidroeléctrica continuarán teniendo múltiples retos y desafíos que pueden provocar un crecimiento menor del esperado si no se comienzan a tener cambios relevantes en el aspecto tecnológico y enfoques que puedan equilibrar con éxito múltiples propósitos, como son la producción de energía, la gestión del agua, la protección del medio ambiente y el impacto social de los proyectos; igualmente, el impulso para nuevos estudios de especialidad en energía hidroeléctrica, como la seguridad de presas, y otras áreas afines, son temas que tanto las universidades como centros de investigación, deben incentivar conjuntamente para el desarrollo de proyectos sobre disponibilidad de agua, su uso y las probabilidades de venta de energía.

⁴⁹ PRODESEN 2021 – 2035.

3. CASO DE ESTUDIO: PROYECTO HIDROELÉCTRICO “LA PAROTA”. ACAPULCO GUERRERO, MÉXICO.

La energía hidroeléctrica representa una alternativa para el cumplimiento de las metas propuestas por el país, en las que se pretende aumentar la capacidad instalada de fuentes limpias y renovables, donde para el año 2050 estas deben abarcar el 50% de la capacidad total instalada del país. Asimismo, es necesario en todo momento cubrir las demandas de electricidad requeridas, y las centrales hidroeléctricas tienen gran confiabilidad ante cualquier tipo de situación por su inmediata disponibilidad evitando interrupciones de energía en el sistema eléctrico, ya que el aprovechamiento de los escurrimientos de los ríos (almacenamiento de energía potencial en forma de agua en el embalse) es de gran ayuda para adaptar las operaciones con respecto a la energía requerida.

La CFE estableció diferentes alternativas para satisfacer la cantidad de energía demandada, es así como se identifica una oportunidad de almacenar los escurrimientos que provienen del río Papagayo en el estado de Guerrero para el desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico “*La Parota*”. La construcción de esta obra aportará beneficios socioeconómicos a la región que, además de la generación y suministro que se pretende aportar al SEN, se tendrá un mejor manejo del recurso hídrico.

Con la construcción del P.H. La Parota se obtendrán los siguientes beneficios para la zona de influencia del proyecto:

- Incremento de la generación de energía eléctrica en esta región.
- Contar con una capacidad instalada de 900 MW compuesta por tres unidades donde cada una aporta 300 MW, con una generación de 1,527 GWh/año
- Abatimiento de los picos de las avenidas provenientes del río Papagayo, evitando afectaciones aguas abajo de la cuenca.
- La creación de más de 5,000 empleos para pobladores de la zona durante el periodo de construcción estimado que es de 5 años.

- Uso del embalse para diferentes actividades como recreación, pesca, etc., aportando una importante derrama económica a la región.
- La construcción de caminos de acceso para la zona de la obra así como un puente previsto sobre el río Papagayo que permitirá la comunicación en la zona de influencia del proyecto, desarrollando nuevas actividades así como fuentes de empleo.
- Continuar con el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Acapulco Guerrero.
- Apoyo al cumplimiento de programas de desarrollo estatales así como las metas propuestas por el gobierno federal para la implementación de energías limpias y renovables.⁵⁰

El sistema hidrológico donde se encuentra la cuenca del río Papagayo corresponde a la Región Hidrológica 20: Costa Chica de Guerrero; integrada por los ríos Papagayo, Petaquillas, Omitlán, Nexpa o Tecuanapa, Copala, Marquelia, Ometepec (conocido localmente como Santa Catarina), Cortijo, La Arena, Atoyac y Verde, entre los más importantes; cuenta con una extensión de 35,923.39 kilómetros cuadrados, precipitación anual promedio de 1,282 milímetros y escurrimiento medio anual de 18,170.28 millones de metros cúbicos.

El proyecto es resultado de un proceso donde se identificaron los sitios adecuados en la zona, tomando en cuenta aspectos geológicos, fisiografía del cauce, afectaciones ambientales así como la disponibilidad del recurso hídrico para ser aprovechado en el proceso de generación de energía eléctrica; la CFE cuenta con un procedimiento para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos donde son consideradas etapas tanto de identificación así como de ingeniería de detalle, en este último, los estudios de ingeniería para los estudios del sitio son de suma importancia para el análisis y soporte de la viabilidad del proyecto abarcando los rubros de topografía, geotecnia, hidráulica e ingeniería de proyectos que se encarga

⁵⁰ Comisión Federal de Electricidad, **PROYECTO HIDROELÉCTRICO “LA PAROTA”**, [En línea]: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2004/12GE2004H0014.pdf>, 2004

de elaborar todo el proyecto ejecutivo así como el dimensionamiento de los sistemas y equipos con el detalle necesario para su debida construcción.

Para el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico son necesarias un conjunto de obras que al final tendrán como propósito la generación de energía eléctrica, por lo que debido a la complejidad del P.H. La Parota a continuación se hará una descripción general con el fin de analizar las factibilidades técnicas del proyecto.

3.1. LOCALIZACIÓN Y ACCESO

Geopolíticamente el embalse del proyecto pretende abarcar los municipios de Acapulco de Juárez, San Marcos, Juan R. Escudero y Teconoapa, en el estado de Guerrero, se contempla que este tendrá una superficie de 14,213 hectáreas y una capacidad de 7,188 millones de m³ a la elevación de 180 msnm (NAME). El área de la cuenca del río Papagayo, que será la que aporte el agua para el embalse es de aproximadamente 7,067 km², con un volumen de escurrimiento medio anual de 4,387 millones de m³ y un gasto medio anual de 139 m³/s. La cortina de la presa se construirá sobre el río Papagayo. La boquilla estará a 39 km de distancia de la desembocadura del río en el Océano Pacífico. En la Figura 3.1 se muestran los municipios que pretende abarcar el proyecto así como el curso del río hasta su desembocadura con el mar.⁵¹

Se hace hincapié en la construcción de accesos y caminos que ayuden a facilitar el proceso constructivo de la obra. Es importante mencionar que estos caminos deben ser previamente mejorados (pavimentados) para evitar daños por el constante tránsito de maquinaria pesada; los accesos construidos aportarán un gran desarrollo integral de la región permitiendo la comunicación de las comunidades aledañas con el puerto de Acapulco.

⁵¹ *Idem*



Figura 3.1: MAPA DE LOCALIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO “LA PAROTA”

(Esquema tomado del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”

URL: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2004/12GE2004H0014.pdf>)

La longitud total del camino principal a la zona del acceso de la obra parte desde el entronque con la carretera federal Acapulco – Pinotepa Nacional, este camino evita cruzar por zonas donde se encuentran comunidades, sin embargo ofrece beneficios de comunicación entre estas mismas, donde debido a que se trata de un camino definitivo y permanente tendrá las siguientes especificaciones con respecto a la secretaria de Comunicaciones y Transportes para un camino tipo C:

- Un carril por sentido
- Derecho de vía de 20 m.
- Ancho de Calzada de 7 m
- Ancho de acotamiento de 1 m
- Velocidad de diseño de 60 – 100 km/h
- Espesor de pavimento 7 cm (recomendado, sujeto a diseño ejecutivo)
- Espesor de base y sub-base 15 cm c/u (recomendado, sujeto a diseño ejecutivo) ⁵²

Existen caminos en la zona que usan los pobladores de las comunidades para trasladarse, estos serán aprovechados para el traslado de camiones a los bancos de material que se encuentren cerca de la zona, en algunos casos estos tendrán que ser rehabilitados, así como abrir nuevos caminos que conecten a la ruta principal; esta se desarrollará sobre un lomerío suave en un primer tramo, y en el segundo y tercero corresponde a una topografía montañosa.

3.2. HIDROLOGÍA DEL SITIO

La producción de energía eléctrica depende de la potencia generadora capaz de ser instalable en algún sitio, para su instalación es considerado la capacidad de almacenamiento del embalse, así como encontrar el nivel correcto donde existe la altura suficiente para cumplir con los niveles de operación propuestos; por lo que se busca aprovechar en todo momento los escurrimientos que drenan por la cuenca,

⁵² *Idem*

para lo anterior son necesarios los registros hidrológicos aforados a lo largo de varios años para poder realizar un análisis estadístico que nos ayude a proponer volúmenes mensuales que se esperan lleguen al embalse de la central hidroeléctrica; en el caso del P.H. La Parota, las estaciones hidrométricas que se tomarán en cuenta serán: La Parota, Agua Salada y El Puente; en la Figura 3.2 se puede observar su ubicación.

Para el dimensionamiento del proyecto los registros a emplear de las estaciones antes mencionadas son:

- Caudales medios mensuales durante el periodo de 1953 – 1990 (u horarios según la disponibilidad de la información).
- Eventos extraordinarios para el dimensionamiento de las obras de control de avenidas.
- Sólidos en suspensión, para la definición del nivel de azolves en el embalse.⁵³

La cuenca del río Papagayo se encuentra dividida en 6 subcuencas las cuales son: Río Petaquillas, Río Omitlán, Río Papagayo 1, Río Papagayo 2, Río Papagayo 3 y Río Papagayo 4; el río Papagayo, que es el que atraviesa de norte a sur hasta su término en el Océano Pacífico, (cuenta con un escurrimiento anual promedio de 4,283 Hm³ de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF)) en la parte norte se le unen el Río Omitlán que proviene de la montaña baja del estado, la confluencia de ambos Ríos sustentan la presa la Venta, ubicada en el municipio de Juan R. Escudero, cuyo propósito es para riego de productores locales, la pesca de autoconsumo y la generación de energía eléctrica.

La temporada de lluvias se presenta entre los meses de julio a octubre, mientras que la temporada de estiaje en la región es entre los meses de noviembre a junio; su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano donde la temperatura media anual de 16 - 28°C. Precipitación total anual de 1000 – 2000; durante el mes de abril la evaporación media mensual máxima es de 201.9 mm, y en noviembre la mínima con 105.3 mm; el relieve de la cuenca se compone de montañas que

⁵³ *Idem*

encierran grandes cuencas fluviales, predominan los lomeríos y planicies aluviales en la boca de los ríos; rocas metamórficas, así como, suelos someros poco desarrollados, con Regosol, Cambisol y Feozem.⁵⁴

⁵⁴ INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA, **GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DEL RÍO PAPAGAYO**, México, 2014.

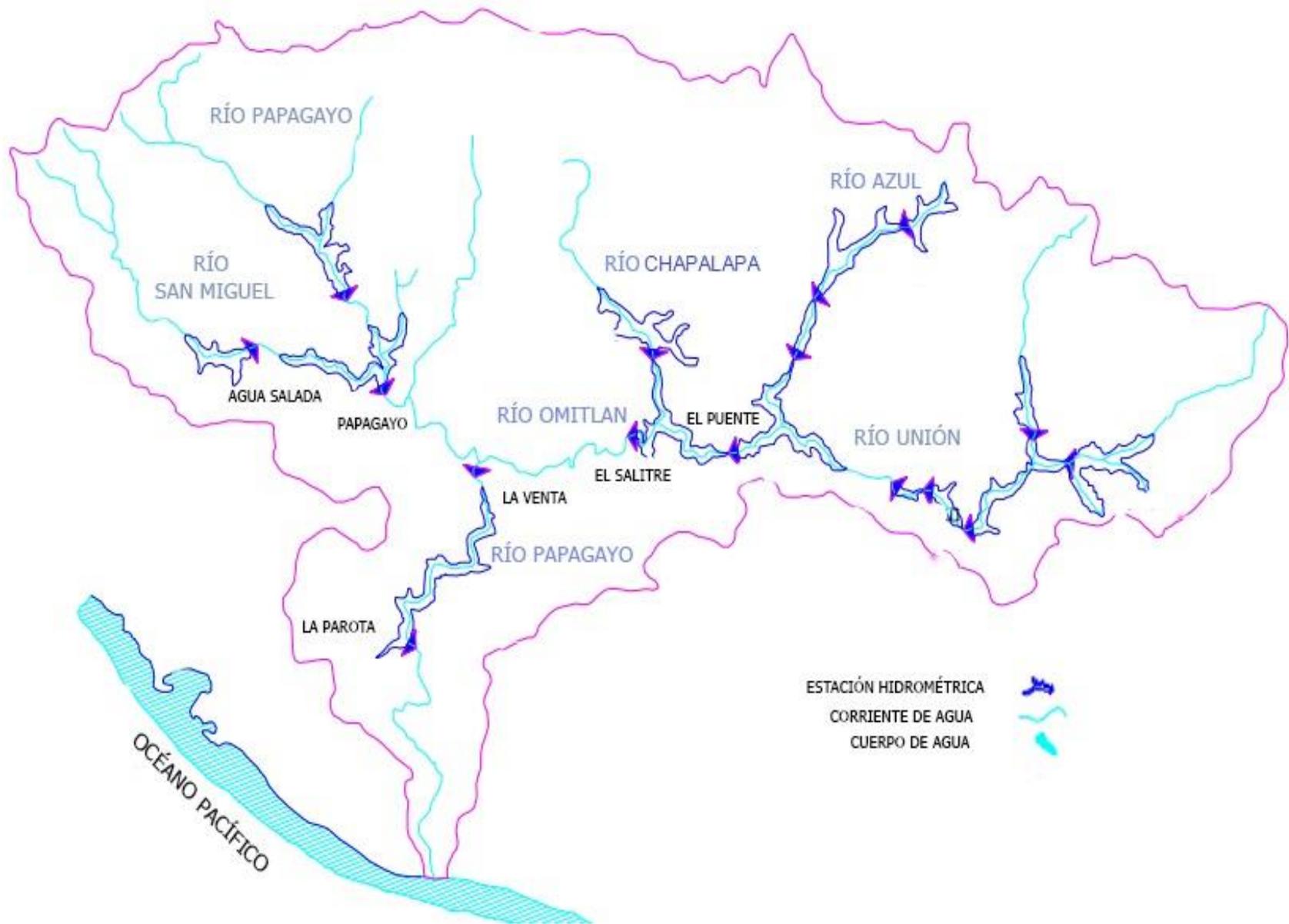


Figura 3.2: LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO PAPAGAYO

(Esquema elaborado en base a la localización proporcionada por CONAGUA, BANDAS)

Para la interpretación y dimensionamiento de las obras con los registros antes mencionados es necesaria la realización de un análisis hidrológico, este consiste en la estimación de un evento futuro, el cual se basa en la probabilidad en la que pueda suceder, por lo tanto, en función de los eventos y/o escurrimientos históricos es posible estimar la magnitud y probabilidad de sucesos futuros; por ello la importancia de la recopilación periódica de los registros de la precipitación, escurrimiento, volúmenes, temperatura y evaporación, ya sea para garantizar la demanda a despachar o revisar la seguridad de las obras ante nuevos eventos extraordinarios.

3.2.1. Embalse

El embalse tendrá una superficie de 14,213 ha y una capacidad de 7,188 hm³ a la elevación de 180 msnm (NAME). El área de la cuenca del río Papagayo, que será la que aporte el agua para el embalse es de 7,476 km², asimismo, para la definición de la elevación del NAMO se consideran dos niveles, para la temporada de avenidas de 170 msnm, mientras que para la temporada de estiaje se encuentra a los 175 msnm, donde el volumen corresponde a 5,859.7 millones de m³ y 6,523.95 millones de m³ respectivamente. El volumen muerto que se encuentra en el NAMINO es de 3,134.19 millones de m³, ubicándose a la elevación 143 msnm, con un área de 80.54 km²; y por último el volumen de azolves será de 1,543.76 millones de m³, a la elevación 118 msnm, cuenta con un área de 48.89 km². A continuación en la Tabla 3.1 se muestran las coordenadas UTM del embalse, asimismo en la Tabla 3.2 se presenta un resumen de los niveles anteriormente mencionados.⁵⁵

⁵⁵ Comisión Federal de Electricidad, **PROYECTO HIDROELÉCTRICO “LA PAROTA”**, [En línea]: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2004/12GE2004H0014.pdf>, 2004

Latitud Norte (X)	Latitud Oeste (Y)
431 000	1901 000
459 000	1895 000
421 000	1869 000
441 000	1869 000

Tabla 3.1: COORDENADAS UTM DE LA POLIGONAL QUE ENVUELVE A LA ZONA DEL EMBALSE DEL P. H. "LA PAROTA"

(Coordenadas tomadas del Proyecto Hidroeléctrico "La Parota")

	Elevación (msnm)	Área (km ²)	Capacidad (m ³)
NAME	180	142.13	7,188.72 x10 ⁶
NAMO (temporada de estiaje)	175	132.96	6,523.95 x10 ⁶
NAMO (control de avenidas)	170	123.78	5,859.17 x10 ⁶
NAMINO	143	80.54	3,134.19 x10 ⁶
Azolves	118.26	48.89	1,543.76 x10 ⁶

Tabla 3.2: CARACTERISTICAS GENERALES DEL EMBALSE DEL P. H. "LA PAROTA"

(Datos tomados del Proyecto Hidroeléctrico "La Parota")

3.3. OBRAS PRINCIPALES

Para el correcto funcionamiento de una central hidroeléctrica es necesaria infraestructura que complementa la funcionalidad de esta. Por ello, para la construcción de la cortina que delimitará el embalse, desviar el cauce del río de la zona de construcción es muy importante mediante el desarrollo de las **obras de desvío**, estas se componen principalmente por ataguías aguas arriba y aguas abajo del eje de la cortina, así como túneles y/o canal de desvío. De acuerdo con el proyecto las ataguías serán construidas de materiales graduados que con respecto a las especificaciones del proyecto y para evitar filtraciones de aguas, contarán con un núcleo impermeable que llega hasta la roca sana del fondo del río. Es importante mencionar que la construcción de las ataguías debe realizarse durante la temporada de estiaje, asimismo estas quedarán integradas al cuerpo de la cortina. En la Tabla

3.3 se presentan las características de las ataguías tanto aguas arriba como aguas debajo del eje de la cortina del proyecto original.

	Aguas arriba	Aguas abajo
Elevación de la corona (m)	76.3	43
Ancho de la corona (m)	10	25
Longitud de la corona (m)	383	188
Altura de la ataguía (m)	58.3	25
Nivel de base de plantilla (m)	18	18
Superficie (m²)	61,397.98	16,283.052
Volumen del material (m³)	1,243,260	151,550

Tabla 3.3: CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS ATAGUIAS PARA EL DESVIO DEL CAUCE EL RIO, AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DEL EJE DE LA CORTINA

(Datos tomados del Proyecto Hidroeléctrico "La Parota")

El proyecto de la P.H. La Parota contará con dos túneles que se encargarán de desviar el cauce del río a través de ellos, estos hechos de roca revestidos con concreto tanto en muros como en bóveda. Estos túneles están diseñados para ingresar un gasto de entrada de 11,647 m³/s con respecto al análisis hidrológico realizado en el proyecto original. La conducción del río a la entrada de los túneles será por parte de un canal a superficie libre donde existirá una diferencia de alturas de 3 m entre cada uno de estos siendo el número 1 levantado a 27 msnm mientras el 2, a la elevación 30 msnm; es importante mencionar que cada uno de los túneles cuentan con una compuerta para tener control total de la cantidad de agua que pase, siendo definido por el túnel 2 mediante el cual se realice el cierre de la presa, y una vez terminados los trabajos de construcción se comience con el llenado del embalse. ⁵⁶

⁵⁶ Idem

A continuación en la Tabla 3.4 se presentan las características de diseño principales de cada uno de los túneles, y en la Figura 3.3 una vista en planta de estos mismos.

	Túnel 1	Túnel 2
Longitud (m)	610.513	673.04
Superficie (m²)	10,248.21	11,248.64
Dimensiones del túnel (ancho x alto) (m)	16 x 17	16 x 17
Portal de entrada y salida del túnel (ancho x alto) (m)	19.8 x 18.9	16 x 17
Elevación de entrada (msnm)	27	30
Elevación de salida (msnm)	26	26
Volumen de la avenida (Mm³)	2,284.93	
Periodo de retorno para el diseño (Tr) (años)	50	
Velocidad máxima de descarga (m/s)	16.58	
Carga hidráulica máxima en cada túnel (m)	50	
Gasto máximo de avenida (entrada / salida) (m³/s)	11,647 / 8,089.22	

Tabla 3.4: CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS TÚNELES DE LA OBRA DE DESVIO CORRESPONDIENTE AL P.H. LA PAROTA

(Datos tomados del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”)

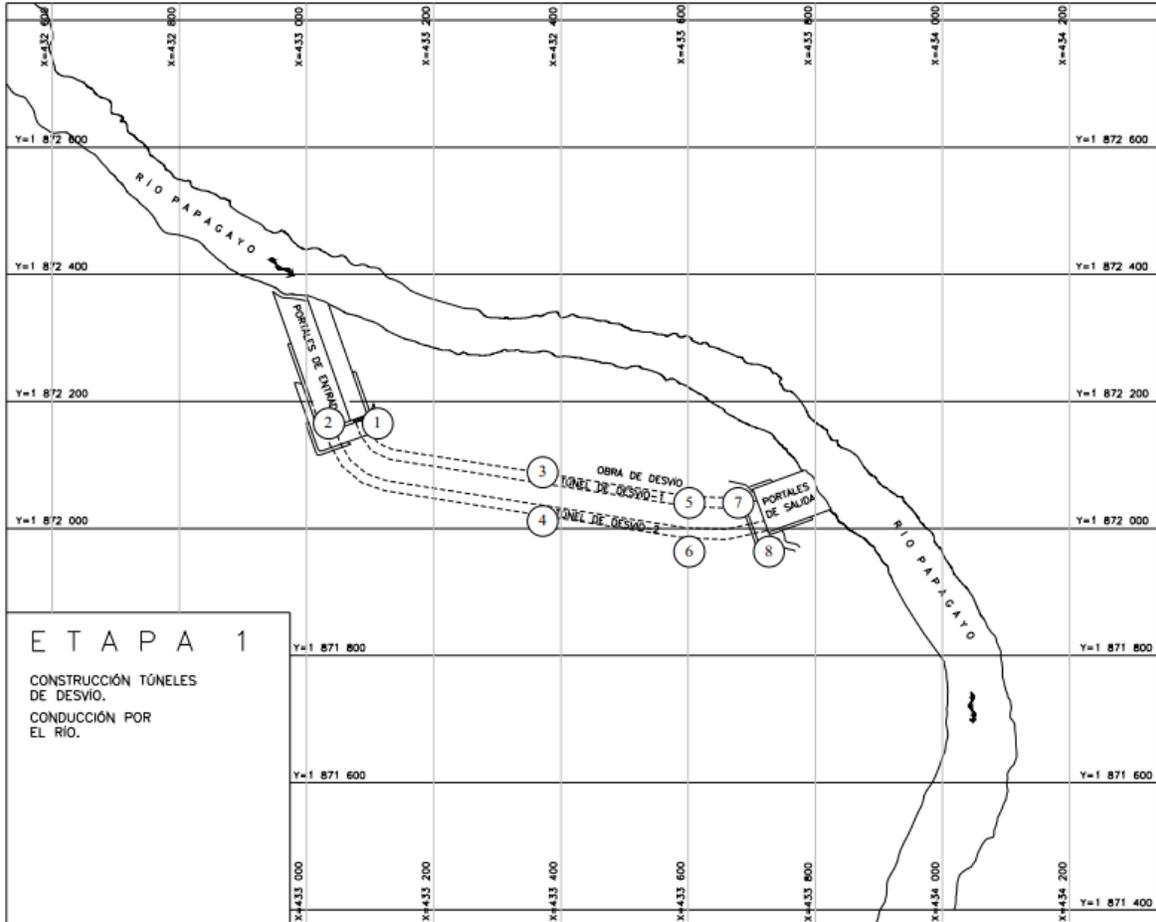


Figura 3.3: VISTA EN PLANTA DE LOS TÚNELES DE LA OBRA DE DESVIO CORRESPONDIENTE AL P.H. LA PAROTA

(Esquema tomado del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”)

Es muy importante que para la construcción de la obra de contención, se tome en cuenta la localización del proyecto, ya que siendo el estado de Guerrero una zona donde se presenta alta actividad sísmica, el diseño debe estar sujeto a las condiciones que marque los reglamentos de construcción. La cortina del P.H. La Parota, será construida por medio de materiales graduados con núcleo de arcilla, la altura total será de 162 m, desplantada desde los 18 msnm hasta los 180 msnm, adicionando 2 m más de bordo libre llegando a la elevación 182 msnm.

Las cortinas de materiales graduados están formadas por secciones en las que su material más fino e impermeable es colocado en el corazón y de forma gradual se

va colocando material más grueso, pasando por filtros; hasta colocar rocas grandes en la cara aguas arriba de la cortina. La selección de este tipo de cortinas depende de la graduación de materiales con los que se cuente en la zona, en el caso del proyecto serán necesarios 17,629.813 m³ de los cuales 52.19% corresponde al enrocamiento, 36.6% a grava y arena y un 11.5% de material de arcilla⁵⁷. A continuación en la Tabla 3.5 se enlistan las características de la cortina con respecto al proyecto original y en la Figura 3.4 un corte transversal de esta misma.

CORTINA DE ENROCAMIENTO CON NÚCLEO DE ARCILLA	
CONCEPTO	CANTIDAD
Elevación de la corona (msnm)	180
Elevación máxima del parapeto (msnm)	182
Elevación máxima de terracerías (msnm)	179
Elevación de desplante (msnm)	18
Altura total al desplante (m)	164
Altura de bordo libre (m)	2
Talud aguas arriba/aguas abajo	2:1 m

Tabla 3.5: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA OBRA DE CONTENCIÓN (CORTINA) DEL P.H. LA PAROTA

(Datos tomados del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”)

⁵⁷ Idem

MATERIALES

- ① ARCILLA
- ② LIMO-ARENOSO
- ③ GRAVA-ARENA
- ④ GRAVA-ARENA (EN GREÑA)
- ⑤ GRAVA-ARENA (A FONDO PERDIDO)
- ⑥ ENROCAMIENTO (ONEISS O GRANITO) COMPACTADO
- ⑦ ENROCAMIENTO GRIOSO ONEISS (A VOLTED)
- ⑧ ARENA (FILTRO)

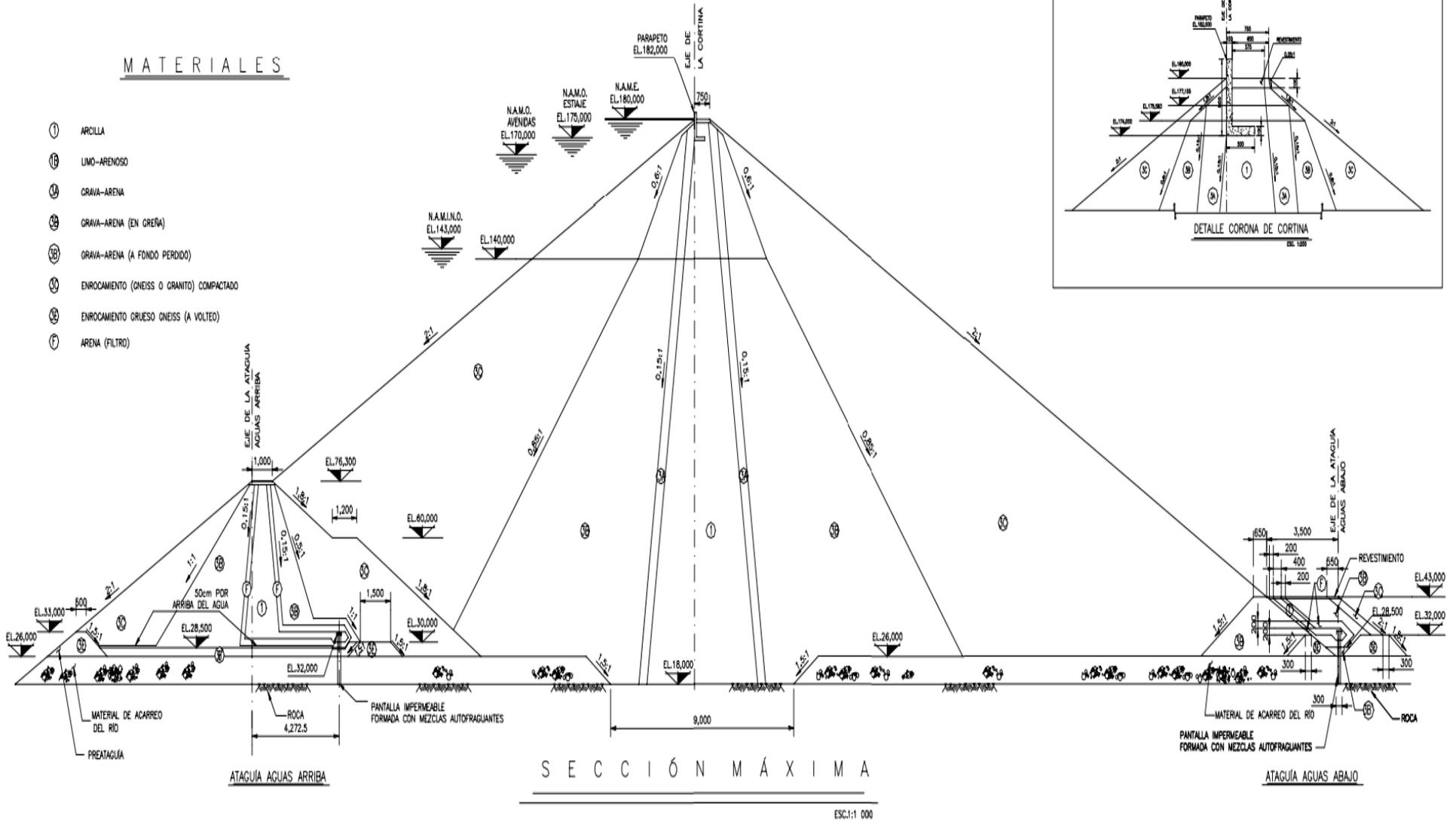


Figura 3.4: ESQUEMA DE VISTA TRANSVERSAL DE LA OBRA DE CONTENCIÓN (CORTINA) DEL P.H. LA PAROTA

(Esquema tomado del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”)

Es muy importante considerar que, para lograr el cierre total del embalse será necesario la construcción de estructuras llamadas diques, en total para cumplir con el proyecto se requieren 7, donde cada uno tendrá un ancho de corona de 4 m, con alturas que van desde los 5.4 m hasta los 27 m, y una longitud de la corona de 29 m a 170 m.

Para el control de los volúmenes de agua excedentes que no serán aprovechados en el embalse es necesario la construcción de estructuras llamadas **obras de excedencias** las cuales ayudan a evacuar los volúmenes excedentes por medio de vertedores evitando el desbordamiento sobre la obra de contención generando daños de manera importante.

Existen muchos diseños posibles para una obra de excedencias pues cada una es un caso particular, debido al tipo del terreno, la geología, tipo de cortina, etc., así como la cantidad de la avenida registrada tomando en cuenta un periodo de retorno para su respectivo dimensionamiento.

Las estructuras que componen una obra de excedencias son las siguientes:

- *Canal de llamada*: se encarga de dirigir el agua hacia la obra de control.
- *Obra de control*: el vertedor se encarga de dar salida del almacenamiento hacia el cauce del río, este solo se acciona cuando se presentan avenidas que sobrepasen el almacenamiento, sin embargo en algunos casos donde las presas son específicamente para el control de avenidas, el vertedor se encuentra en constante uso.
- *Canal de descarga*: se realiza la conducción del agua en un régimen supercrítico desde lo alto de la presa que es donde se encuentra el vertedor, hasta aguas abajo del río.
- *Estructura terminal*: para la descarga total de los excedentes del embalse al cauce aguas abajo del río, es necesario disipar la energía con la que el agua es conducida para su incorporación adecuada al flujo del río, es por ello que se desarrollan obras para reducir considerablemente la energía del agua,

como tanques amortiguadores, aliviaderos etc., donde en algunas ocasiones es necesario la creación de un canal de salida hacia el cauce del río.

Para el caso del P.H. La Parota la obra de excedencias constará de un canal a cielo abierto controlado por compuertas. Su estructura de control estará conformada por un cimacio de tipo Creager con una altura de 4.40 m. Para el control de la descarga serán habilitadas 6 compuertas accionadas con servomotores, mientras que la estructura terminal se encontrará conformada por una cubeta deflectora, que adicionalmente se tendrá un tanque amortiguador para disipar la energía del agua proveniente del vertedor. Dicha obra de excedencias se encuentra diseñada para una avenida máxima de 22,993 m³/s.⁵⁸ A continuación en la Tabla 3.6 se encuentran las características principales de la obra de excedencias del P.H. La Parota. En la Figura 3.5 se muestra un ejemplo de obra de excedencia con compuertas controladas.

OBRA DE EXCDENCIAS: CANAL A CIELO ABIERTO CONTROLADO	
CONCEPTO	CANTIDAD
NAME (mnsn)	180
Gasto máximo de avenida de diseño (m ³ /s)	22,992.7
Volumen de la avenida de diseño (Mm ³)	8.912
Periodo de retorno de la avenida de diseño (Tr) (años)	10,000
Gasto máximo de diseño (m ³ /s)	18,155
Carga sobre la cresta (m)	30
Elevación de la cresta (msnm)	158
Longitud total de la cresta (m)	86.4
Carga hidráulica máxima (m)	22,388
Elementos de cierre: 6 compuertas radiales	
Dimensiones (ancho x alto) (m)	14.4 x 22,388

Tabla 3.6: CARACTERISTICAS GENERALES DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS DEL P.H. LA PAROTA

(Datos tomados del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”)

⁵⁸ Idem



Figura 3.5: EJEMPLO DE OBRA DE EXCEDENCIAS A BASE DE UN VERTEDOR CON COMPUERTAS CONTROLADAS FOTOGRAFÍA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “LA YESCA”, NAYARIT, MÉXICO.

La **obra de generación** se compone de diversas obras, tanto de manera subterránea como a cielo abierto, se encargará de realizar el cambio de producción de energía mecánica generada por el movimiento de las turbinas a causa del agua, hacia energía eléctrica a través de alternadores de energía. El P.H. La Parota tiene el objetivo de alcanzar una generación media anual total de 1,527 GWh con tres unidades de 300 MW. A continuación en la Tabla 3.7 se presentan los valores de generación media anual resultantes del equipamiento.

GENERACIÓN DEL P.H. LA PAROTA	
CONCEPTO	CANTIDAD
Generación media anual total (GWh)	1,527
Generación media anual firme (GWh)	1,387
Generación media anual secundaria (GWh)	140
Factor de planta	0.174

TABLA 3.7: CARACTERÍSTICAS DE LA GENERACION DEL P.H. LA PAROTA

(Datos tomados del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”)

Una de las estructuras que componen la obra de generación es la obra de toma; el recorrido del agua hacia a las turbinas se hace a través de canales construidos ya sea con excavaciones en el terreno o mediante estructuras de concreto prefabricado. Su diseño y construcción se encuentra sujeto a las condiciones tanto geológicas como topográficas. La obra de toma que corresponde al P.H. La Parota, se trata de un canal a cielo abierto excavado en roca que se localiza en la zona del proyecto, la bocatoma hacia las turbinas se encuentra compuesta por tres tomas de 249.5 m³/s cada una (748.5 m³/s en total), las cuales deben contar con rejillas finas para evitar el paso de elementos ajenos que eviten el correcto funcionamiento de las turbinas.

La parte final del recorrido del agua desde la obra de toma hasta las turbinas se realiza a través de una tubería a presión. Para la construcción de estas tuberías se utiliza acero para saltos de agua de hasta 2000 m y concreto reforzado para saltos de agua de 500 m; la tubería a presión correspondiente al P.H. La Parota será constituida por tres túneles circulares excavados en roca revestidos con una camisa metálica, cada una con un diámetro interior de 7 m y una longitud de 180.76 m.

En la casa de máquinas se ubican los equipos para el cambio de energías: turbinas-alternadores, turbina hidráulica, eje y generador eléctrico, así como los elementos de regulación y comando. Para el P.H. La Parota esta se localiza aguas abajo de las tuberías a presión, se instalarán tres turbinas tipo Francis para una carga neta de diseño de 131.53 m y un factor de planta correspondiente a 0.174.⁵⁹

La galería de oscilación del proyecto se conectará a la casa de máquinas por medio de túneles de aspiración, la galería es una estructura cuyo objetivo es servir de amortiguador a sobrepresiones y subpresiones, por tal motivo serán instaladas compuertas deslizantes para poder aislar en caso de mantenimiento alguna de las tres unidades. El agua turbinada es regresada al cauce del río por medio de un túnel de desfogue de concreto revestido que finalmente desemboca en un canal de sección trapecial que lleva directamente al río. En la Figura 3.6 se muestra la planta

⁵⁹ Idem

de la localización de la obra de generación y en la Tabla 3.8 que se presentan las características de cada una de las obras que compone la obra de generación.

CONCEPTO	CANTIDAD
OBRA DE TOMA	
Número de conductos	3
Dimensiones del vano (ancho x alto) (m)	5.5 x 7
Elevación del canal de llamada (msnm) (aguas arriba / abajo)	130 / 118.26
Carga hidráulica máxima (m)	58.8
TUBERÍA A PRESION REVESTIDA DE ACERO	
Diámetro interior (m)	7
Longitud de concreto y acero (m)	180.76
Gasto de diseño (m ³ /s)	249.5
CASA DE MAQUINAS SUBTERRANEA	
Potencia total instalada (generadores) (MW)	947.37
GALERIA DE OSCILACIÓN	
Dimensiones (ancho x largo) (m)	16 x 85
Altura máxima al eje de la galería (m)	50.16
Nivel máximo de agua con las tres unidades operando así como vertedor (gasto de diseño 18,155 m ³ /s) (m)	57.46
Nivel sin unidades operando (m)	25
TUNEL DE DESFOGUE DE SECCIÓN PORTAL	
Dimensiones interiores (ancho x alto) (m)	16 x 20.30
Longitud (m)	289.5
CANAL DE DESFOGUE A CIELO ABIERTO	
Longitud (m)	56
Sección trapecial, ancho de base (m)	de 19 a 60

TABLA 3.8: CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PROYECTOS QUE CONFORMAN LA OBRA DE GENERACION DEL P.H. LA PAROTA

(Datos tomados del Proyecto Hidroeléctrico "La Parota")

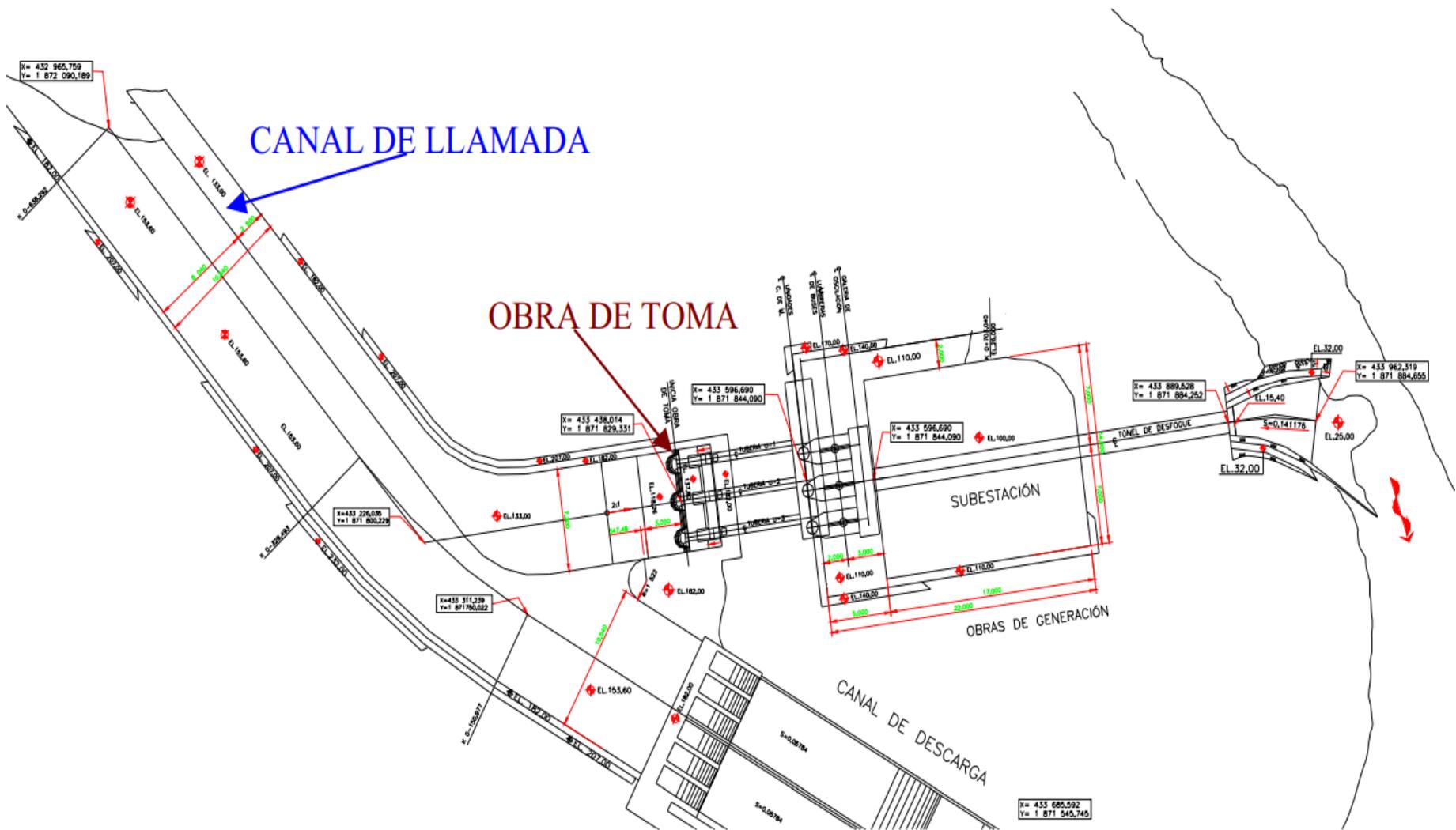


Figura 3.6: PLANTA DE LA LOCALIZACIÓN DE LA OBRA DE TOMA Y CANAL DE LLAMADA PARA LA OBRA DE GENERACIÓN,

Se puede observar el canal de llamada de la obra de excedencias aledaño.
 (Esquema tomado del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”)

La subestación eléctrica se conforma por un conjunto de dispositivos eléctricos, que a su vez forman parte de un sistema eléctrico de potencia, el cual tiene como objetivo la regulación y distribución de la energía eléctrica generada por el movimiento del agua en las turbinas. En este caso la subestación del proyecto se localizará entre la cortina y la obra de excedencias, el área que será usada para su construcción es de 34,520 m². En la Tabla 3.9 se presentan las características de la subestación eléctrica del proyecto.⁶⁰

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA EN EXTERIOR CONVENCIONAL	
CONCEPTO	CANTIDAD
Tensión (kV)	400
Área total de la plataforma de la subestación (m ²)	34,520
Elevación de la plataforma (msnm)	150
Carga hidráulica máxima (m)	58.8

Tabla 3.9: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL P.H. LA PAROTA

(Datos tomados del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”)

Ahora bien, en la Figura 3.7 se presenta el esquema general de que conforman el P.H. La Parota; cabe destacar en que los datos presentados, así como el esquema que se presenta a continuación pertenecen al proyecto original.

⁶⁰ Idem

3.4. ANÁLISIS GENERAL DE LA FACTIBILIDAD DEL P.H. LA PAROTA.

Actualmente México carece de una producción de energías limpias con respecto a países más desarrollados, ya se ha mencionado que la energía hidroeléctrica es una gran alternativa para impulsar el desarrollo de este tipo de tecnologías, no obstante debido a que se trata de infraestructura de gran tamaño, se hacen presente ciertas problemáticas que se deben atender y analizar ya que pueden incluso posponer un proyecto, como es el caso del P.H. La Parota.

La CFE cuenta con estudios significativos y especificaciones de ingeniería básica, basados en estudios de campo en geología, topografía, geofísica, sismotectónica, perforaciones, excavaciones exploratorias, etc. Lo anterior con el fin de obtener información oportuna para sustentar el diseño del proyecto, así como sistemas de contención para las excavaciones a realizar. Asimismo debido a que el proyecto abarca un área considerable, es fundamental conocer la situación en la que se encuentran todos los terrenos involucrados, por lo que el reacomodo de poblados así como la situación ambiental que se esclarece con el estudio de Impacto Ambiental, áreas forestales, uso del agua y expropiación de tierras son temas de gran importancia para la construcción de la obra.

Debido a lo anterior, es muy importante que para la realización de cualquier proyecto se realice un análisis de factibilidad en el cual se consideran tanto el tema económico como el social, así como los obstáculos, retos y beneficios que la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico traerá para la región. A continuación se presenta un análisis general de lo antes mencionado.

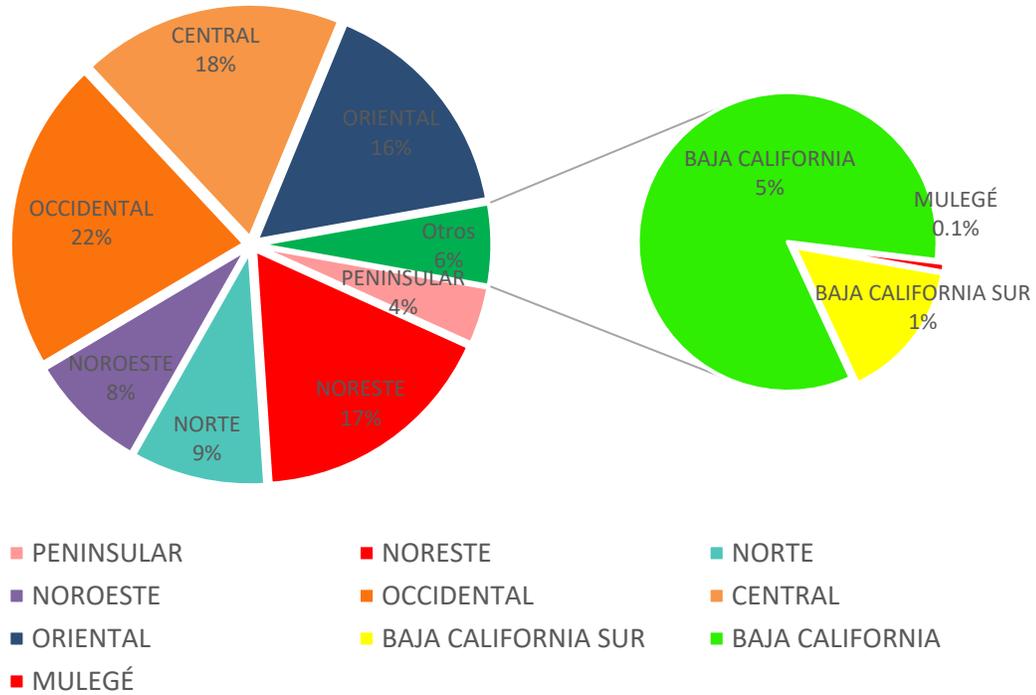
3.4.1. Aportación de energía al Sistema Eléctrico Nacional

En el capítulo anterior se mencionó que la energía hidroeléctrica en México representa la mayor aportación de energía renovable al país debido a la capacidad instalada con la que ya se cuenta actualmente; a pesar de que tecnologías como la solar y la eólica han ido aportando cada vez más generación de electricidad debido a que la inversión inicial en comparación con un proyecto hidroeléctrico resulta

menor, las ventajas que tiene la energía hidroeléctrica a pesar de su alto costo inicial, son redituables durante su operación ya que es un tipo de tecnología estable y segura que puede entrar en operación en el momento en el que se necesite y no depende de un recurso que tenga variaciones en el mercado.

En el Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista (PAMRNT) 2021 – 2035 elaborado por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), se presenta el consumo bruto nacional que fue de 315,968 GWh, este corresponde a la venta del Suministro Básico, Suministro Calificado y de Último Recurso, Autoabastecimiento Remoto, la Importación, pérdidas de electricidad, usos propios del Distribuidor, Transportista y Generadores; también se menciona que debido a la pandemia producida por la contingencia sanitaria por el COVID-19 hubo un decremento en el consumo debido a que muchas actividades productivas tuvieron que suspender labores en todo el país.

El SEN está integrado por el Sistema Interconectado Nacional (SIN) que representa la mayor red eléctrica del país, este se encuentra dividido por siete regiones: Central, Oriental, Occidental, Noroeste, Norte, Noreste y Peninsular; el Sistema Eléctrico de Baja California forma parte del SIN, no obstante se encuentra interconectado con el Sistema Eléctrico Oeste de Estados Unidos de América (Western Electricity Coordinating Council, WECC); por último, Sistema Eléctrico de Baja California Sur así como el Sistema Eléctrico de Mulegé, son sistemas eléctricos que se encuentran eléctricamente aislados del resto de la red nacional. En la Figura 3.4 se muestra el consumo total dividido en las Gerencias de Control Regional (GCR) que componen el SIN, así como los demás Sistemas Eléctricos del país; se puede observar que la GCR que tiene el mayor porcentaje del consumo bruto en el año 2020 del SEN es la Occidental 68,154 GWh, representando el 21.6% del total, y el Sistema eléctrico de Mulegé el que menor participación tiene con solo 159 GWh. En la figura 3.5 se muestra cómo se encuentran divididos los sistemas eléctricos en el territorio nacional.



SISTEMAS	CONSUMO BRUTO (GWh)
Sistema Eléctrico Nacional (SEN)	315,969
Sistema Interconectado Nacional (SIN)	298,150
Baja California	14,938
Baja California Sur	2,722
Mulegé	159

Figura 3.4: CONSUMO BRUTO DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL, 2020

(Elaboración propia con base en los datos tomados del Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista 2021 - 2035)



Figura 3.5: DIVISIÓN DE REGIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

(Elaboración propia con base en los datos del Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista 2021 - 2035)

El consumo de energía eléctrica está altamente correlacionado con el PIB debido a que la electricidad es un insumo importante para llevar a cabo gran parte de las actividades productivas. En el año 2020, se presentó un decremento en este porcentaje el cual fue del 8.2% con respecto al 2019, debido a las acciones que se implementaron por la pandemia causada por el COVID-19, por esa razón el consumo de energía eléctrica se redujo en un 2.8% de acuerdo con datos del PRODESEN. A pesar de esto, la SENER tiene proyecciones de crecimiento del PIB para el periodo de 2021 – 2035 en donde el consumo bruto de energía presenta un incremento considerable debido al aumento de los usuarios finales; se estima que para el año 2035 exista un incremento del consumo bruto del SEN de 480,396 GWh, un incremento del 32% con respecto a lo producido en el 2021.

Como se mencionó en el punto 3.3 del presente capítulo, la capacidad instalada con la que se pretende contar en el proyecto es de 900 MW con 3 unidades de 300 MW cada una para así poder obtener una generación de 1,527 GWh/año en pro de cumplir con las demandas que se requieran en el estado de Guerrero. Para la construcción del embalse del proyecto, es necesario la inundación de la Central Hidroeléctrica Ambrosio Figueroa “La Venta”, la cual cuenta con una producción de 140 GWh/año, siendo del orden del 10% de lo que generará el P.H. La Parota. Asimismo se pretende alcanzar los siguientes beneficios:

- Ayudará a la ampliación del sector energético con respecto al Programa de Obras del Sector eléctrico.
- Suministro de energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional para así satisfacer las demandas crecientes de la región así como la nacional.
- Obtención de energía eléctrica y de calidad para el Corredor Turístico Pacífico Sur.
- La construcción de la central hidroeléctrica será ejecutada tomando en cuenta las problemáticas de carácter ambiental, económico o social así como cualquier otra que se pueda presentar desde sus primeras etapas hasta la operación.

De acuerdo con datos del PRODESEN 2021 – 2035 en México se tiene un total de 12,614 MW de capacidad instalada de energía hidroeléctrica, donde los estados que tienen la mayor parte son Jalisco, Michoacán, Nayarit y Chiapas, este último el que cuenta con la mayor aportación con 4,828 MW en total. En el estado de Guerrero donde se localiza el P.H. La Parota se cuenta con un total de 668 MW actualmente, tan sólo el 5.30% del total de lo aportado por hidroelectricidad en el país, por lo que este proyecto representaría un incremento de más del 100% de lo ya instalado en el estado, aumentando su aportación al 11.60% del total.

Con respecto al Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero para el cumplimiento de las metas de reducción de Gases de Efecto Invernadero en México, se requiere de una planeación en el incremento de la generación de electricidad por fuentes limpias en el Sistema Eléctrico Nacional. La Ley de Transición Energética establecida por el Gobierno Federal señala que el sector eléctrico debe transformarse para que al 2024 un máximo de 65% de la electricidad provenga de combustibles fósiles. Esta meta se ratifica en la Ley General de Cambio Climático que estipula que el 35% de la generación eléctrica provenga de energías limpias y renovables para ese mismo año. Sin embargo, de acuerdo con el PAMRNT dicha meta no será factible alcanzar sino hasta el 2025, debido a que el Gobierno Federal priorizó el apoyo económico a las tecnologías que brindan en este momento la capacidad para satisfacer la demanda máxima y el consumo de energía (como la producida por fuentes fósiles) esto quiere decir Confiabilidad y Continuidad del Suministro Eléctrico, por lo que la transición a las fuentes limpias debe ser de manera gradual para que estas últimas tengan garantizado la confiabilidad de la red eléctrica y así cumplir con las metas establecidas.

3.4.2. Aspecto social para el desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico “La Parota”

La construcción de una central hidroeléctrica representa el uso de un área considerable de terreno para la construcción del embalse de almacenamiento, por

lo que es importante conocer la situación legal de los terrenos que se pretenden utilizar, así como la reubicación de las personas que se encuentren en la zona de influencia del proyecto. Por lo que la aceptación social resulta importante para la continuación de cualquier proyecto.

La zona de influencia del proyecto está conformada por diferentes fracciones de cuatro municipios: Acapulco, Juan R. Escudero, San Marcos y Tecoaapa. El total de los habitantes registrados asciende a 836,403, donde de acuerdo con el estudio demográfico del proyecto se presenta un descenso en el índice poblacional de los últimos años debido al aumento en la emigración de los pobladores hacia otros estados de la República y hacia Estados Unidos de América. Las localidades que más predominan en la región son municipios rurales, sin embargo la mayor parte la población se encuentran establecidas en los municipios urbanos y mixtos ya que de acuerdo con el P.H. La Parota, tan sólo el 22.1% del total se encuentran en las zonas rurales.⁶¹

La zona del proyecto se encuentra dividida en núcleos agrarios donde casi el 50% del total del área pertenece a Acapulco. Las principales actividades productivas de la zona están destinadas básicamente al autoconsumo donde el maíz y la jamaica representan el cultivo principal, así como la actividad ganadera de bovino, aves de corral y el ganado porcino. El alcance de los servicios en las zonas rurales del área de influencia del proyecto es escaso, hay carencias en servicios básicos de salud, una tasa alta de analfabetismo y las vías de comunicación son escasas y deficientes; gracias a esto se refleja un bajo grado de desarrollo y un alto índice de marginación lo cual da indicios del bajo porcentaje de crecimiento poblacional.

Por lo anterior es que el P.H. La Parota representa una gran oportunidad para mejorar la calidad de vida en la región, ya que aportará una derrama económica importante así como diferentes beneficios por todas las obras principales y secundarias que influyan en la realización del proyecto, entre estas se encuentran además de las correspondientes a la central hidroeléctrica, el desarrollo de

⁶¹ Idem

carreteras y puentes que permitirán la comunicación de los poblados ya establecidos así como los nuevos con el municipio de Acapulco, además de la conexión con los principales caminos de la región. Los beneficios que se tendrían por la construcción del P.H. La Parota, entre otros, son los siguientes:

- La capacitación para la construcción de la central hidroeléctrica de técnicos calificados en múltiples disciplinas.
- La creación de más de 5,000 empleos que tendrán una duración de 5 años que es el periodo que se pretende abarcar con la etapa constructiva del proyecto, así como los empleos generados para el mantenimiento y operación de la central terminada.
- Uso del embalse de almacenamiento como atractivo turístico así como vía fluvial para la región.
- Como ya se ha mencionado, se construirán caminos de acceso al proyecto que asimismo permitirá a los poblados tener comunicación entre sí, activando un desarrollo económico que conlleva en proveer servicios básicos a las comunidades creando nuevas actividades económicas y de igual modo fuentes de empleo.
- Aumento en la generación de energía de la región.
- Suministro continuo y garantizado de agua potable para la Ciudad de Acapulco.⁶²

Sin duda el principal impacto a la región causado por el P.H. La Parota será la afectación de las comunidades que residen en la zona que ocupará el embalse, donde viven alrededor de 3,048 personas de 24 localidades que pertenecen a los municipios de esta área. Por lo que la CFE en conjunto con el gobierno del estado de Guerrero, prevé el acomodo de las comunidades mediante un proyecto de planeación que permite la formalización de los convenios del uso de los terrenos; de igual modo se prevé una estrategia para asegurar la preservación de la

⁶² Idem

biodiversidad y sobre todo de las especies endémicas de la región con la creación de un área natural protegida.

Es primordial identificar los principales impactos negativos de la construcción y operación del proyecto para llevar a cabo acciones para compensar y mitigar las afectaciones en su mayoría. A continuación se enlistan algunos de los impactos identificados.

- Inundación de 24 localidades, donde viven 3,048 habitantes aproximadamente.
- Inundación de recursos forestales, que conlleva al impacto en fauna del área que ocupará el embalse (principalmente pequeños mamíferos y reptiles).
- Inundación de aproximadamente 3,500 hectáreas de carácter agropecuario.
- Inundación de 67 km de caminos
- Modificación del régimen del río y mayor probabilidad de erosión en playas aledañas a la desembocadura por el cambio en el transporte y volumen de sedimentos de la presa.

El proceso y las actividades propuestas para la mitigación de los puntos mencionados se centra en rehabilitar las afectaciones causadas por las obras a realizar, pero aún más importante, al no deterioro de otras áreas no contempladas en el proyecto hidroeléctrico. Lo ideal es que exista una vigilancia de la aplicación, evaluación y seguimiento de las medidas así como una evaluación de la viabilidad de las recomendaciones propuestas:

- Medidas de Prevención.
 - I. Evaluación de la factibilidad de tierras para el reacomodo a través del Plan de Desarrollo Integral del Área de Influencia del P.H. La Parota.
 - II. Creación de un Comité de Apoyo Interinstitucional con el objetivo de prevenir afectaciones de la identidad cultural.
 - III. Identificación de zonas posibles a ser inundadas
- Medidas de Compensación.

- I. Reacomodo de poblados.
 - II. Restitución de las actividades productivas (Plan de Desarrollo Integral del Área de Influencia del P.H. La Parota).
 - III. Programa de Conservación de la Biodiversidad en áreas del Cerro Tepehuaje y Las Piñas.
 - IV. Programas de empleo e indemnización oportuna.
- Medidas de Mitigación.
 - I. Explotación equitativa de bancos de material
 - II. Construcción de otros caminos y puentes que sustituirán a los que se perderán por el llenado del embalse (67 km de caminos).
 - III. El régimen de descarga del río será modificado mediante una presa reguladora de cambio de régimen: de 748 m³/s durante 4 horas y 0 durante 20 a descarga continua entre 30 y 403 m³/s.
 - Medidas de Rehabilitación.
 - I. Reforestación en las áreas afectadas temporalmente con el objetivo de rehabilitar la cobertura vegetal y el paisaje;
 - II. Rehabilitación del derecho de vía basada en la normatividad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
 - III. Rehabilitación de bancos de material de roca y arcilla.
 - Medidas de Vigilancia.
 - I. Construcción de obras para el control de la erosión en la zona de obras principales.
 - Recomendaciones
 - I. Creación de un vivero de especies vegetales locales.
 - II. Instrumentación, monitoreo y predicción de precipitaciones extremas y sismicidad.

- III. Estudio para elaborar un programa de ordenamiento ecológico de la zona del embalse.
- IV. Asegurar el pago oportuno de tierras y bienes distintos afectables

Las medidas y recomendaciones antes mencionadas y otras adicionales se han integrado en programas los cuales se recomienda a CFE gestionar y/o ejecutar:

- Programas de Compensación:
 - I. Programa de conservación de la biodiversidad (en los cerros Tepehuaje y Las Piñas).
 - II. Programa de compensación y rehabilitación de la vegetación y recuperación de fauna en las áreas afectadas por las actividades de construcción del P.H. La Parota.
 - III. Plan de aprovechamiento pesquero acuícola.
- Programas de Monitoreo:
 - I. De la salinidad de los suelos en las unidades de relieve cortina abajo.
 - II. Evolución del perfil de la playa en las proximidades de la desembocadura del río Papagayo.
 - III. Del embalse (calidad fisicoquímica del agua)⁶³

No obstante, el proyecto ha sido rechazado por pobladores de las comunidades de la región, ya que este afectará directamente con la vida cotidiana de muchas familias debido a que la mayor parte de ellos son comuneros, ejidatarios y pobladores que viven de la agricultura así como de la ganadería. De igual modo, debido a la inundación para el embalse de almacenamiento de un área considerable conllevaría a graves impactos ambientales, en particular daños irreversibles al ecosistema.

⁶³ Idem

4. ANÁLISIS DEL ESTUDIO HIDROENERGÉTICO DEL P.H. LA PAROTA

Los estudios del aprovechamiento hídrico de la cuenca del Río Papagayo iniciaron desde mediados del siglo XX por parte de la CFE, la cual se encargó de obtener información para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos; las Centrales Hidroeléctricas Colotlipa y La Venta a pesar de aprovechar los escurrimientos de la región, no determinan el proyecto con mayor rentabilidad que se puede construir en la zona. Por lo tanto la CFE se encargó de proponer el P.H. “La Parota”, el cual inició con la construcción de obras secundarias como caminos de acceso a la zona del proyecto, rehabilitación de puentes, etc. en 2003, pero en 2007 suspendiéndose por temas sociales. En la Figura 4.1 se presenta un esquema de la zona donde se localizan los proyectos hidroeléctricos antes mencionados.

No obstante, el P.H. La Parota, no deja de ser una alternativa viable para satisfacer la creciente demanda de electricidad en el país, que a pesar de los impactos que se tendrían en la región por el desarrollo del aprovechamiento hidroeléctrico de gran tamaño, los beneficios del proyecto irían más allá de solo la generación de energía; se potenciaría el desarrollo de actividades recreativas en el embalse, así como la creación de empleos para las poblaciones y oportunidades de inversión que incrementarían la calidad de vida proveyendo de servicios básicos a las comunidades de la zona.

Con la construcción del P.H. La Parota el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) aumentaría su capacidad instalada de energía hidroeléctrica en 900 MW, donde se pretende obtener 1,527 GWh/año, este representaría un incremento importante tanto para el estado de Guerrero, así como para el país en materia de energías limpias y a su vez, un excelente ejemplo para conocer el potencial hídrico de la región. El objetivo de este capítulo es el análisis de los escurrimientos superficiales que son tomados en cuenta para el desarrollo del P.H. La Parota, conocer a detalle la cantidad de energía que se podría generar, así como el dimensionamiento de las obras, por lo que resulta importante información hidrológica de la cuenca a la que pertenece el proyecto.

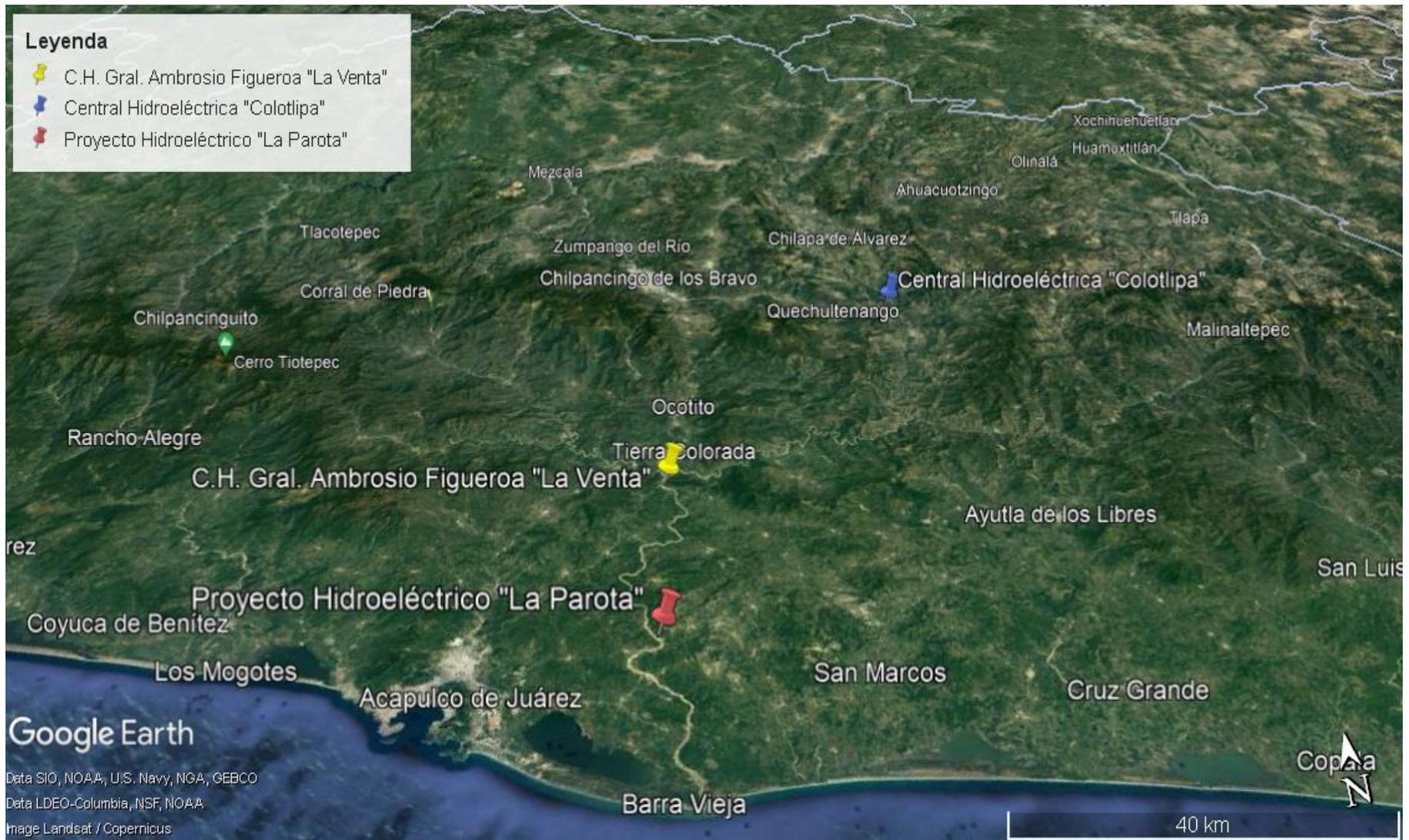


Figura 4.1. UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS “LA VENTA Y “COLOTIPLA”, ASÍ COMO LA PROPUESTA DE LOCALIZACION DEL P.H. “LA PAROTA”

(Esquema obtenido por medio del software Google Earth Pro)

4.1. ANÁLISIS DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO.

La cuenca del Río Papagayo ubicada en el estado de Guerrero forma parte de la Región Hidrológica No. 20 Costa Chica de Guerrero; de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF) del 4 de septiembre de 2017, la cuenca del Río Papagayo hasta la desembocadura en el Océano Pacífico cuenta con un área aproximada de 7,555 km², esta se encuentra subdividida por 6 subcuencas, las cuales se encuentran dentro de los municipios de Chilpancingo, Mochitlán, Quechultenango, Acapulco, San Marcos, Juan R. Escudero y Teconoapa. La corriente se origina en la Sierra Madre del Sur, recibe el nombre de río Petaquillas, recorre el municipio de Chilpancingo recibiendo aportaciones de la presa Cerrito Azul, subsiguiente rumbo al sureste pasa por las poblaciones de Chilpancingo, Petaquillas, Mochitlán, Quechultenango y Colotlipa, en donde se encuentra desarrollada la central hidroeléctrica Colotlipa. Después de la presa, el río cambia su dirección hacia el sur y cambia el nombre a río Azul.⁶⁴

El río Unión, se une a la altura de Caxitepec con el río Azul, continúan hacia el Oeste a través de una garganta muy estrecha por unos 20 km más, donde se incorpora el río Chapalapa que baja directamente de Norte a Sur, desde Mazatlán a Calpantepec, Guerrero. Continúa hacia el Oeste por unos 35 km, conociéndose ya como río Omitlán, donde provenientes de la parte Noroccidental de la cuenca recibe aportaciones del río San Miguel, del río Carrizal y del río Potrero que vienen desde el Oeste, Noroeste y Norte, respectivamente. Al entrar los afluentes ya juntos, este es conocido ya como el río Papagayo. A partir de este punto, el río Papagayo continúa hacia el Sur, recibiendo aportaciones secundarias, de poca importancia, donde de la última aportación hasta su desembocadura, el río corre unos 70 km para verter en el Océano Pacífico.⁶⁵ En la figura 4.2 se muestra el parteaguas de la cuenca y la red de drenaje principal, así como la manera en la que se encuentra subdividida mostrado en la Figura 4.3.

⁶⁴ Fernandez del Castillo Salvador Francisco, **ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL RÍO PAPAGAYO**, Ciudad de México, México, 2013, pp 32.

⁶⁵ **Ibid.**



Figura 4.2. RÍOS QUE COMPONEN LA RED DE DRENAJE PRINCIPAL DE LA CUENCA DEL RÍO PAPAGAYO

(Esquema obtenido del documento "Análisis de flujos de inundación en la cuenca del Río Papagayo, Guerrero", Reyes Soto Fernando.)

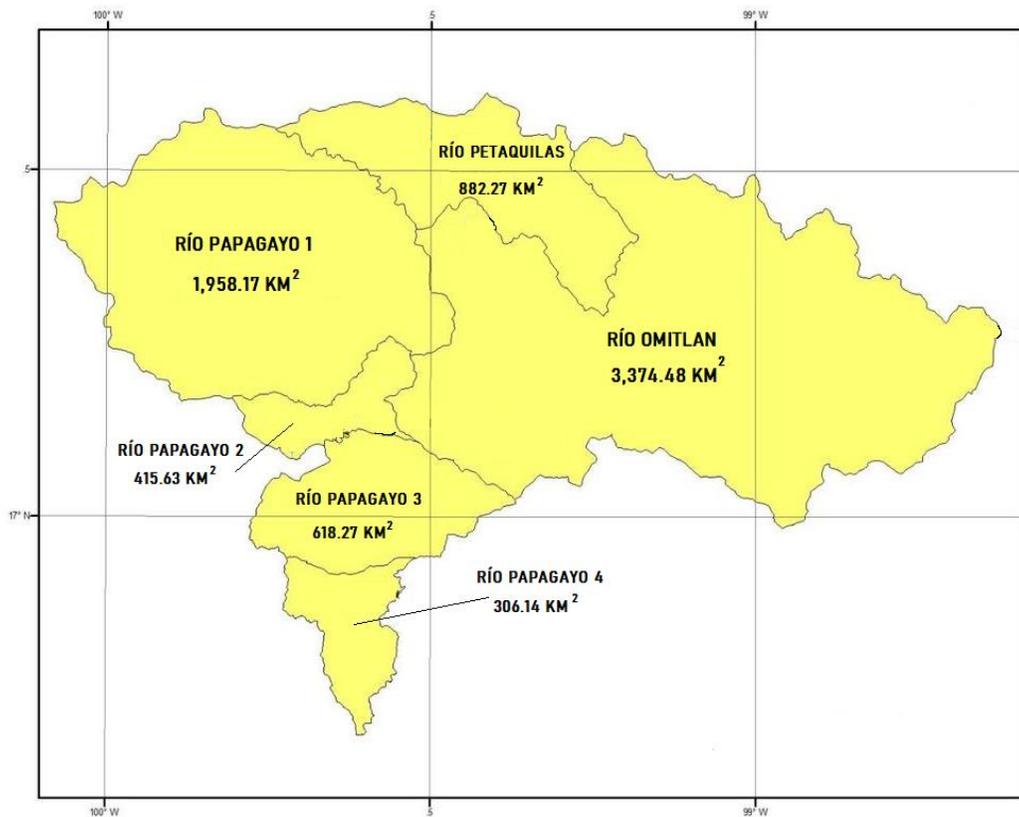


Figura 4.3. ÁREAS DE LAS SUBCUENCAS HIDROLÓGICAS QUE COMPONEN LA CUENCA DEL RÍO PAPAGAYO

(Datos de áreas obtenidos del DOF 04/09/2017)

Es importante realizar un análisis de los posibles escurrimientos de entrada al embalse para el dimensionamiento de las obras de la central hidroeléctrica así como para la operación del embalse y la cantidad energía que se puede generar, por lo que es necesaria la información proveniente de las Estaciones Hidrométricas (E.H.), para que se determine si se puede o no atender las demandas, en la Figura 3.2 del capítulo 3 se presenta un esquema de cómo se encuentran distribuidas en la cuenca del Río Papagayo; a continuación se presenta en las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3 los registros hidrométricos mensuales de la E.H. La Parota, Agua Salada y El Puente que son las consideradas en el proyecto de la base de datos del del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) en un periodo que va desde 1953 hasta 2007.

En las tablas 4.4, 4.5 y 4.6, se muestran los registros de los gastos medios mensuales correspondientes a las estaciones hidrométricas ya antes mencionadas, donde se muestra que durante la temporada de estiaje, específicamente entre los meses de Febrero y Mayo, en la zona del embalse se presentan los menores registros, por otro lado, en época de avenidas entre Agosto y Octubre se presentan los mayores gastos registrados, en las Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran unas gráficas que representan el comportamiento de los gastos medios mensuales registrados en las estaciones hidrométricas, se puede observar que en los meses de estiaje los registros oscilan entre 4 y 31 m³/s, mientras que cuando se presentan las temporada de avenidas los valores varían desde 245 hasta casi 400 m³/s normalmente; no obstante, el comportamiento hidrológico presenta un patrón disperso a lo esperado, por ejemplo, en Septiembre de 1984 se tiene un registro de 1,386 m³/s, un año después se registró tan sólo 271 m³/s; estos datos se muestran en las tablas antes mencionadas⁶⁶

⁶⁶ Comisión Nacional del Agua, **Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)**, México, Fecha de consulta: diciembre 2021. URL: <https://app.conagua.gob.mx/bandas/>

VOLUMEN DE ESCURRIMIENTOS MENSUALES DE LA E.H. "LA PAROTA"
(miles de m³)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m ³]
1962	129789	83789	73009	91409	96530	187429	397707	430020	1148695	978965	325465	203671	4146478
1963	138256	85574	77051	60809	73405	108084	483016	707460	1066859	936422	313571	177087	4227594
1964	127680	86819	70756	52143	66323	166676	643203	657702	1269341	636008	258518	181840	4217009
1965	124048	81466	71173	56746	61616	156250	264975	437050	754601	657947	212474	137636	3015982
1966	101942	79022	76220	70936	76755	169813	396683	657034	908747	735082	253664	145126	3671024
1967	123111	87276	71820	63167	80427	282995	487613	577714	3008890	1425016	381648	169602	6759279
1968	139954	89289	56458	51109	99439	229919	669527	665112	848138	675190	304610	203171	4031916
1969	134523	76768	68299	56418	50932	99320	307414	1048034	1486253	689127	257253	168092	4442433
1970	120096	83248	63073	51848	45835	208949	576461	1240706	2105225	941500	364108	209908	6010957
1971	145330	93806	81737	69180	63167	187661	378156	560391	1198110	856400	270052	172376	4076366
1972	113019	79464	65170	48857	54217	256780	535980	497321	605405	360633	214617	137981	2969444
1973	92835	62425	54864	57585	55897	386814	542939	706492	1877039	1036714	388194	220231	5482029
1974	148694	93141	75127	57502	61992	602207	548985	530064	1847924	547000	258836	150837	4922309
1975	103767	73295	63619	52158	80205	282405	478911	825809	1411861	461293	275488	149777	4258588
1976	93485	62433	51754	40382	38064	153380	269349	294711	415236	1426380	322144	173619	3340937
1977	102560	70545	112015	51961	72729	183339	300025	397782	572318	484184	206005	143101	2696564
1978	98669	65229	57702	46060	58865	250605	701479	559526	839547	656809	271770	176590	3782851
1979	121780	105816	93054	68489	88319	128742	321286	695952	1455666	386061	213579	151267	3830011
1980	163977	98109	80036	64627	69009	125634	310392	832205	909791	590630	296481	182603	3723494
1981	127323	80551	78021	63972	50489	271842	587519	1416724	1641040	1544659	442109	244157	6548406
1982	158855	91938	81804	66191	79574	113175	280817	270631	387176	333720	146483	95031	2105395
1983	68012	55900	52721	36599	38265	94168	411610	345315	745804	453685	221505	137508	2661092
1984	108432	68653	52211	44168	54863	245535	740966	999734	3594586	620006	288645	173690	6991490
1985	124334	76895	64353	51852	57793	245505	514157	942882	703728	502937	252230	146018	3682684
1986	103930	68790	58093	47902	76295	307031	518452	423622	645334	412758	182814	123585	2968606
1987	86041	55134	52300	45171	51220	254408	567212	700440	664069	400569	165837	108320	3150721
1988	75643	54082	46335	40667	38258	311951	634461	1227399	1538438	494037	239077	135458	4835806
1989	106351	67393	60143	50154	52057	354319	443837	724982	1920759	973899	281879	132106	5167879
1990	132028	86711	71842	62752	78805	194486	554774	583632	600826	612835	324095	177820	3480606
1991	123823	78828	64812	59576	42984	202432	395863	451635	585473	890041	275869	163079	3334415
1992	122353	109415	72599	60418	78332	130410	380367	716774	1056759	954202	344184	190935	4216748
1993	136710	93464	72351	57724	59607	312975	1180742	794448	1416702	686448	308674	196373	5316218
1994	122463	80645	70177	63270	49059	136979	213857	419905	495674	558061	229098	130679	2569867
1995	84162	63131	54831	45610	66158	214340	483871	1277598	1082335	604799	240926	153655	4371417
1996	106920	66130	46219	39343	49747	333918	573179	1095257	906424	1314403	279497	187798	4998835
1997	104959	76154	69061	58232	77468	138550	283331	245747	550973	1249086	213788	127664	3195013
1998	104839	67891	60714	47943	45764	119120	335595	566178	1439335	1172278	396604	210490	4566751
1999	142603	83851	64480	43658	36850	229107	589827	886637	1383350	1167437	307169	163184	5098153
2000	116761	79687	71392	59167	89510	369896	335336	708221	1141949	619661	213036	136089	3940705
2001	96621	64800	63340	44937	53395	173362	451820	596678	793757	476289	199524	128097	3142620
2002	104872	68100	60860	48384	59530	196828	378942	315818	707115	637200	967075	212302	3757026
2003	124502	78106	64938	50544	71297	223586	484255	548294	959386	873590	269749	148720	3896967

Tabla 4.1: VOLÚMEN DE ESCURRIMIENTOS MENSUALES EN LA E.H. LA PAROTA
(1962 – 2003) (miles de m³)

(Tabla realizada con datos obtenidos del BANDAS)

VOLUMEN DE ESCURRIMIENTOS MENSUALES DE LA E.H. "AGUA SALADA"													
(miles de m³)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m³]
1968								265418	313064	313017	98451	58361	1048311
1969	36402	21976	19424	13704	11567	30684	118928	422134	524206	267297	82347	44904	1593573
1970	29016	18889	15620	11538	10581	77242	214753	417383	609122	265247	100575	52827	1822793
1971	37710	22980	20092	17149	16283	94306	158387	246611	461616	299603	82035	45032	1501804
1972	30406	20887	16638	13206	17184	66612	185400	160099	221806	116139	63710	41722	953809
1973	26544	13165	12136	15443	12860	213167	249581	276244	710554	295271	134670	73257	2032892
1974	46747	30177	24081	17572	19675	140116	225383	182840	603774	183228	75191	47501	1596285
1975	29520	21210	16114	11019	21305	127872	219280	341177	552643	185637	90079	552783	2168639
1976	34311	22710	16375	13694	13387	61760	95028	95048	166198	648512	100638	63762	1331423
1977	41046	25723	19306	13066	20449	59091	95005	158106	181240	169354	60377	38125	880888
1978	26570	17628	13838	10487	32858	118714	286470	251825	345101	216772	82030	48471	1450764
1979	31242	21984	16590	13566	15822	37695	121161	226775	489523	102447	49809	34186	1160800
1980	53146	27422	18458	15617	15583	42267	112374	317175	274353	164704	87661	67228	1195988
1981	26733	19039	15180	14275	10745	98696	248226	474275	511404	478653	145188	81022	2123436
1982	45205	27922	21108	15101	22898	44490	131934	113264	178488	129435	44768	22880	797493
1983	19278	14005	12238	8386	8629	57060	209115	189544	317852	204024	92702	48065	1180898
1984	37235	23240	15863	10225	14933	127720	331188	345489	1147405	231084	103610	60380	2448372
1985	43742	26323	20573	14415	17246	117236	206972	357258	246120	149982	68510	39895	1308272
1986	26646	16790	12930	10185	2285	120347	178535	163668	251917	163385	64148	36565	1047401
1987	24415	15397	13653	10997	15700	93961	228157	255279	245550	111956	43068	27651	1085784
1988	18635	13245	10940	7811	6305	170711	274097	520740	598649	143025	61683	40908	1866749
1989	28211	16626	13445	9349	8888	54059	14314	214653	609165	305338	85459	45127	1404634
1990	31916	20524	15129	12394	18503	66309	249774	229599	226022	259839	113970	54812	1298791
1991	34483	21315	16513	12065	11029	85706	147216	153780	233001	301965	95702	49993	1162768
1992	37335	42322	20868	15741	24636	48556	175711	218447	358144	377456	121773	69603	1510592
1993	43095	28755	20594	14044	12164	122954	548752	346085	708913	304828	117575	55356	2323115
1994	40107	24260	19060	14383	13717	68408	75883	147107	176091	206323	71022	35659	892020
1995	27014	18990	12509	9414	20492	100154	224009	584838	469445	214980	88369	54735	1824949
1996	36337	21610	16199	11013	14784	210132	263182	465315	284802	594966	115784	65482	2099606
1997	39522	48460	14458	10788	20063	56169	112199	91249	225324	452060	85199	39860	1195351
1998	27686	17945	15270	11293	9754	46561	170502	230263	585963	466578	137168	56205	1775188
1999	45939	26078	19679	14177	14676	86984	210825	334394	439878	391608	105564	58994	1748796
2000	35234	21698	13702	8605	21235	159451	130006	294408	535092	261222	85337	50266	1616256
2001	40928	25586	23203	14604	18608	81691	181345	184300	310478	164091	70088	46863	1161785
2002	39277	21703	14690	8907	17510	79732	156159	124623	383149	268410	543897	97744	1755801
2003	48617	28039	17914	9846	8937	89096	203316	207403	337133	298581	103437	52678	1404997
2004	38370	22429	16067	11815	13942	107965	111266	161853	265067	285267	92422	46518	1172981
2005	40107	22695	18211	11789	10456	53453	251744	208691	287487	251709	71911	48401	1276653
2006	27759	18907	13746	7188	13574	112319	188421	204725	455250	524854	178658	88664	1834065
2007	51926	30145	22956	15148	18251	47554	136175	426738	558801	173621	84957	58329	1624601

Tabla 4.2: VOLÚMEN DE ESCURRIMIENTOS MENSUALES EN LA E.H. AGUA SALADA (1968 – 2007) (miles de m³)

(Tabla realizada con datos obtenidos del BANDAS)

VOLUMEN DE ESCURRIMIENTOS MENSUALES DE LA E.H. "EL PUENTE"
(miles de m³)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m ³]
1953	104517	72115	62596	51189	52916	98425	184482	318046	394512	355978	200007	105233	2000016
1954	93255	74023	69226	66411	91136	206939	450564	425753	761463	926537	225319	137651	3528277
1955	102508	71360	62994	48915	46908	89211	513803	575272	903737	804112	278534	159495	3656849
1956	104311	71915	71009	60569	86759	264426	556690	356545	719555	359053	170624	125143	2946599
1957	82532	59988	56346	48505	47385	105302	164669	288707	385067	298858	128683	91595	1757637
1958	107958	67675	64306	56127	57320	120918	324952	554604	640052	481420	410314	253964	3139610
1959	167030	95414	77898	64539	59927	137530	225677	401704	346421	506420	237377	125381	2445318
1960	86461	64307	56031	46199	51875	56903	159190	220027	367597	334966	237638	108019	1789213
1961	74093	57267	57829	51826	51371	132344	254690	348906	749827	293479	404043	178153	2653828
1962	107801	80086	71586	63053	69618	102869	216710	253258	631184	513113	192666	125554	2427498
1963	93792	70195	69777	58278	66089	79966	245321	431793	558514	604995	185370	116052	2580142
1964	88904	66401	59475	50092	59772	118554	412587	429451	793436	436139	179606	116679	2811096
1965	92462	65190	60115	50816	51083	95025	168709	315665	500406	454493	181044	113504	2148512
1966	85270	64401	64064	56755	65321	102028	256710	440296	634886	496317	192616	120623	2579287
1967	91266	64960	56796	48363	57151	121630	248056	296552	809914	686447	239403	151956	2872494
1968	103055	74902	64467	53166	86287	138352	450834	404522	580866	374182	178572	122818	2632023
1969	89001	61151	60017	48770	45184	71307	165957	573135	781313	440295	223021	130859	2690010
1970	90737	65870	54388	47785	46707	119361	326772	619143	1023926	607649	239760	147794	3389892
1971	98540	69207	65213	58106	55553	86218	195931	318979	526694	478566	176524	113005	2242536
1972	77416	57317	50080	44950	45982	175701	261844	332614	398628	257946	150431	108324	1961233
1973	77251	55649	52436	50898	52685	165896	282536	448145	822566	634959	253583	159104	3055708
1974	105254	73585	68276	57742	59255	424800	421531	424471	937357	400654	174289	125369	3272583
1975	90518	69012	65489	56563	70331	143285	254440	481853	780452	317477	164043	110561	2604024
1976	79980	62734	57317	49609	50525	86736	156624	231784	291547	754096	210418	136082	2167452
1977	89026	63204	56619	47484	54181	121515	183453	256365	365550	284446	136658	103145	1761646
1978	70346	52139	48292	42832	44414	132745	411869	352235	498615	441556	199028	116747	2410818
1979	78351	60669	52254	45372	50555	62965	139389	346817	754447	230930	128877	79766	2030392
1980	79170	51153	45865	41945	44828	71949	192768	458622	515201	361880	172256	120131	2155768
1981	78305	57567	49847	48037	37532	178390	355283	649757	757538	730557	250938	144812	3338563
1982	96172	67133	59092	54181	59338	72351	158604	158877	228243	231180	107300	75635	1368107
1983	55721	48417	46433	34327	35033	59322	277387	228329	531705	289873	153500	98169	1858216
1984	80646	54838	43494	35268	44652	162536	427749	644803	1304986	395842	158579	120355	3473747
1985	88152	57695	51372	43607	46362	129992	286996	561090	441832	323879	170002	112579	2313559
1986	75555	57580	50283	41925	58813	191654	362966	297162	417227	274620	140295	107205	2075285
1987	69610	50266	47885	41190	43289	157393	355699	483718	465627	302579	113847	82345	2213448
1988	62183	46256	38362	33943	33845	117283	405128	692321	883613	345046	160565	106375	2924920
1989	73019	54578	54377	48099	49455	194339	348350	497068	1062705	593828	221528	128709	3326055
1990	90753	71216	61223	61062	67955	115590	280713	343085	371002	365129	222867	150096	2200691
1991	88982	57739	55506	48326	48733	107602	231801	298809	327926	543509	200610	120832	2130375
1992	87940	70899	54100	46924	56797	82019	223170	478735	646703	518054	240920	144807	2651068
1993	90642	63461	54820	49029	47849	158291	546506	410459	586741	378605	218896	142542	2747841
1994	92276	61127	52868	44920	43933	84190	135646	288716	343138	375814	171530	115776	1809934

1995	68731	52140	46405	38406	49535	127967	303413	719883	672970	389755	187797	133436	2790438
1996	91664	65949	60702	54372	57976	146941	310467	566178	602207	642559	198911	132522	2930448
1997	93078	62467	56591	47432	63953	114395	222549	195272	343370	773021	193596	126377	2292101
1998	94470	61302	52705	42458	42009	76697	175028	360994	878687	739587	299597	149835	2973369
1999	103749	63711	56186	45801	46034	101114	265801	450334	894586	752544	214402	118273	3112535
2000	93409	71394	55063	47552	74453	210982	215181	412318	579657	393318	155510	100845	2409682
2002	79273	55556	51123	42714	48746	135282	266597	224450	365628	488419	521668	158979	2438435
2003	94461	60385	47019	34880	35061	135432	352814	420509	667008	661565	217935	125807	2852876
2004	92569	60480	50060	42042	49896	135069	221530	413726	705888	654739	237047	132926	2795973
2005	94651	62389	56324	43528	42880	96690	392964	453730	602208	446990	169880	108017	2570253
2006	81156	58104	53084	47546	54544	126300	266319	381594	698544	767491	365221	187116	3087020
2007	115344	77820	70753	60255	64437	116821	234412	583891	738288	326471	181250	122049	2691792

**Tabla 4.3: VOLÚMEN DE ESCURRIMIENTOS MENSUALES EN LA E.H. EL PUENTE
(1953 – 2007) (miles de m³)**

(Tabla realizada con datos obtenidos del BANDAS)

GASTO MEDIO MENSUAL DE LA E.H. "LA PAROTA"
(m³/s)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m ³ /s]
1962				35.3	36.0	72.3	148.0	161.0	443.0	366.0	126.0	76.0	1463.6
1963	51.6	35.4	28.8	23.5	27.4	42.1	180.0	264.0	412.0	350.0	121.0	66.1	1601.9
1964	47.7	34.7	26.4	20.1	24.8	64.3	240.0	246.0	490.0	237.0	99.7	67.9	1598.6
1965	46.3	33.7	26.6	21.9	23.0	60.3	98.9	163.0	291.0	246.0	82.0	51.4	1144.1
1966	38.1	32.7	28.5	27.4	28.7	65.5	148.0	245.0	351.0	274.0	97.9	54.2	1391.0
1967	46.0	36.1	26.8	24.4	30.0	109.0	182.0	216.0	1161.0	532.0	147.0	63.3	2573.6
1968							250.0	248.0	327.0	252.0	118.0	75.9	1270.9
1969	50.2	31.7	25.5	21.8	19.0	38.3	115.0	391.0	573.0	257.0	99.2	62.8	1684.5
1970	44.8	34.4	23.5	20.0	17.1	80.6	215.0	463.0	812.0	352.0	140.0	78.4	2280.8
1971	54.3	38.8	30.5	26.7	23.6	72.4	141.0	209.0	462.0	320.0	104.0	64.3	1546.6
1972	42.2	31.7	24.3	18.8	20.2	99.1	200.0	186.0	234.0	135.0	82.8	51.5	1125.6
1973	34.7	25.8	20.5	22.2	20.9	149.0	203.0	264.0	724.0	387.0	150.0	82.2	2083.3
1974	55.5	38.5	28.0	22.2	23.1	232.0	205.0	198.0	713.0	204.0	99.9	56.3	1875.5
1975	38.7	30.3	23.8	20.1	29.9	109.0	179.0	308.0	545.0	172.0	106.0	55.9	1617.7
1976	34.9	24.9	19.3	15.6	14.2	59.2	101.0	110.0	160.0	533.0	124.0	64.8	1260.9
1977	38.3	29.2	41.8	20.0	27.2	70.7	112.0	149.0	221.0	181.0	79.5	53.4	1023.1
1978	36.8	27.0	21.5	17.8	22.0	96.7	262.0	209.0	324.0	245.0	105.0	65.9	1432.7
1979	45.5	43.7	34.7	26.4	33.0	49.7	120.0	260.0	544.0	144.0	80.7	56.5	1438.2
1980	61.2	39.2	29.9	24.9	25.8	50.4	116.0	311.0	351.0	221.0	114.0	68.2	1412.6
1981	47.5	33.3	29.1	24.7	18.9	105.0	213.2	529.0	633.0	577.0	171.0	91.2	2472.9
1982	59.3	38.0	30.5	25.5	29.7	43.7	104.9	101.0	149.4	124.6	56.5	35.4	798.6
1983	25.4	23.1	19.7	14.1	14.3	36.3	153.7	128.9	287.7	169.4	85.5	51.3	1009.5
1984	40.5	27.4	19.5	17.0	20.5	94.7	276.7	373.3	1386.8	231.5	111.4	64.9	2664.1
1985	46.4	31.8	24.0	20.0	21.6	94.7	192.0	352.0	271.5	187.8	97.3	54.5	1393.6
1986	38.8	28.4	21.7	18.5	28.5	118.0	194.0	158.0	249.0	151.2	70.5	46.1	1122.7
1987	32.1	22.8	19.5	17.3	19.1	98.2	212.0	262.0	256.0	146.5	64.0	40.4	1189.9
1988	28.2	21.6	17.3	15.7	14.3	120.4	236.9	458.3	593.5	184.5	92.2	50.6	1833.4
1989	39.7	28.5	22.5	19.4	19.4	137.0	165.7	271.0	741.0	349.0	109.0	49.3	1951.5
1990	49.3	35.8	26.8	24.2	29.4	75.0	207.1	217.9	231.8	228.8	125.0	66.4	1317.7
1991	46.2	32.6	24.2	23.0	16.1	78.1	147.8	168.6	225.9	332.3	106.4	60.9	1262.1
1992	45.7	43.7	27.1	23.3	29.3	50.3	142.0	267.6	407.7	356.3	132.8	71.3	1597.0
1993	51.0	38.6	27.0	22.3	22.3	120.7	440.8	296.6	546.6	256.3	119.1	73.3	2014.6
1994	45.7	33.3	26.2	24.4	18.3	52.8	79.8	156.8	191.2	208.4	88.4	48.8	974.1
1995	31.4	26.1	20.5	17.6	24.7	82.7	180.7	477.0	417.6	225.8	93.0	57.4	1654.3
1996	39.9	26.4	17.3	15.2	18.6	128.8	214.0	408.9	349.7	490.7	107.8	70.1	1887.5
1997	39.2	31.5	25.8	22.5	28.9	53.5	105.8	91.8	212.6	466.4	82.5	47.7	1207.9
1998	39.1	28.1	22.7	18.5	17.1	46.0	125.3	211.4	555.3	437.7	153.0	78.6	1732.7
1999	53.2	34.7	24.1	16.8	13.8	88.4	220.2	331.0	533.7	435.9	118.5	60.9	1931.2
2000	43.6	31.8	26.7	22.8	33.4	142.7	125.2	264.4	440.6	231.4	82.2	50.8	1495.5
2001	36.1	26.8	23.7	17.3	19.9	66.9	168.7	222.8	306.2	177.8	77.0	47.8	1191.0
2002	39.1	28.2	22.7	18.7	22.2	75.9	141.5	117.9	272.8	237.9	373.1	79.3	1429.3
2003	46.5	32.3	24.3	19.5	26.6	86.3	180.8	204.7	370.1	326.2	104.1	55.5	1476.8

Tabla 4.4: GASTOS MEDIOS MENSUALES REGISTRADOS EN LA E.H. LA PAROTA
(1962 – 2003) (m³/s)

(Tabla realizada con datos obtenidos del BANDAS)

GASTO MEDIO MENSUAL DE LA E.H. "AGUA SALADA"													
(m³/s)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m³/s]
1968								99.1	121.0	117.0	38.0	21.8	396.9
1969	13.6	9.1	7.3	5.3	4.3	11.8	44.4	158.0	202.0	99.8	31.8	16.8	604.1
1970	10.8	7.8	5.8	4.5	4.0	29.8	80.2	156.0	235.0	99.0	38.8	19.7	691.3
1971	14.1	9.5	7.5	6.6	6.1	36.4	59.1	92.1	178.0	112.0	31.7	16.8	569.9
1972	11.4	8.3	6.2	5.1	6.4	25.7	69.2	59.8	85.6	43.4	24.6	15.6	361.4
1973	9.9	5.4	4.5	6.0	4.8	82.2	93.2	103.0	274.0	148.0	52.0	27.4	810.4
1974	17.5	12.5	9.0	6.8	7.4	54.1	84.1	68.3	233.0	68.4	29.0	17.7	607.7
1975	11.0	8.8	6.0	4.3	8.0	49.3	81.9	127.4	213.2	69.3	34.8	19.7	633.7
1976	12.8	9.1	6.1	5.3	5.0	23.8	35.5	35.5	64.1	242.0	38.8	23.8	501.8
1977	15.3	10.6	7.2	5.0	7.6	22.8	35.5	59.0	69.9	63.2	23.3	14.2	333.7
1978	9.9	7.3	5.2	4.0	12.3	45.8	107.0	94.0	133.0	80.9	31.6	18.1	549.1
1979	11.7	9.1	6.2	5.2	5.9	14.5	45.2	84.7	189.0	37.2	19.2	12.8	440.7
1980	19.8	10.9	6.9	6.0	5.8	16.3	42.0	118.0	106.0	61.5	33.8	25.1	452.1
1981	10.0	7.9	5.7	5.5	4.0	38.1	92.7	177.0	197.0	179.0	56.0	30.3	803.1
1982	16.9	11.5	7.9	5.8	8.6	17.2	49.3	42.3	68.9	48.3	17.3	8.5	302.5
1983	7.2	5.8	4.6	3.2	3.2	22.0	78.1	70.8	123.0	76.2	35.8	17.9	447.8
1984	13.9	9.3	5.9	4.0	5.6	46.3	124.0	129.0	443.0	86.3	40.0	22.5	929.7
1985	16.3	10.9	7.7	5.6	6.4	45.2	77.3	186.1	95.0	56.0	26.4	14.9	547.8
1986	10.0	6.9	4.8	3.9	8.3	46.4	66.7	61.1	97.2	61.0	24.8	13.7	404.9
1987	9.1	6.4	5.1	4.2	5.9	36.3	85.2	95.3	94.7	41.8	16.6	10.3	410.9
1988	7.0	5.3	4.1	3.0	2.4	65.9	133.9	194.4	230.9	56.6	23.8	15.3	742.5
1989	10.5	6.9	5.0	3.6	3.3	20.9	52.4	80.1	235.0	114.0	33.0	16.8	581.5
1990	11.9	8.5	5.7	4.8	6.9	25.6	93.3	85.7	87.2	97.0	44.0	20.5	490.9
1991	12.9	8.8	6.2	4.7	4.1	33.1	55.0	57.4	89.9	112.7	36.9	18.7	440.3
1992	13.9	16.9	7.8	6.1	9.2	18.7	65.6	81.6	138.0	141.0	47.0	26.0	571.8
1993	16.1	11.9	7.7	5.4	4.5	47.4	205.0	129.0	274.0	114.0	45.4	20.7	881.2
1994	15.0	10.0	7.1	5.6	5.1	26.4	28.3	54.9	67.9	77.0	27.4	13.3	338.0
1995	10.1	7.9	4.7	3.6	7.7	38.6	83.6	218.3	181.1	80.3	34.1	20.4	690.4
1996	13.6	15.0	8.6	6.1	4.3	5.5	81.1	98.3	173.7	109.8	222.1	44.7	782.6
1997	14.8	7.6	5.4	4.2	7.5	21.7	41.9	34.1	86.9	168.7	32.9	14.9	440.5
1998	10.3	7.4	5.7	4.4	3.6	18.0	63.7	86.0	226.1	174.2	52.9	21.0	673.3
1999	17.2	10.8	7.4	5.5	5.5	33.6	78.7	124.9	169.7	146.2	40.7	22.0	662.0
2000	13.2	8.7	5.1	3.3	7.9	61.5	48.5	109.9	206.4	97.5	32.9	18.8	613.8
2001	15.3	10.6	8.7	5.6	7.0	31.5	67.7	68.8	119.8	61.3	27.0	17.5	440.7
2002	14.7	9.0	5.5	3.4	6.5	30.8	58.3	46.5	147.8	100.2	209.8	36.5	669.0
2003	18.2	11.6	6.7	3.8	3.3	34.4	75.9	77.4	130.1	111.5	39.9	19.7	532.4
2004	14.3	9.0	6.0	4.6	5.2	41.7	41.5	60.4	102.3	106.5	35.7	17.4	444.5
2005	15.0	9.4	6.8	4.5	3.9	20.6	94.0	77.9	110.9	94.0	27.7	18.1	482.8
2006	10.4	7.8	5.1	2.8	5.1	43.3	70.3	76.4	175.6	196.0	68.9	33.1	694.9
2007	19.4	12.5	8.6	5.8	6.8	18.3	50.8	159.3	215.6	64.8	32.8	21.8	616.6

**Tabla 4.5: GASTOS MEDIOS MENSUALES REGISTRADOS EN LA E.H. AGUA SALADA
(1968 – 2007) (m³/s)**

(Tabla realizada con datos obtenidos del BANDAS)

GASTO MEDIO MENSUAL DE LA E.H. "EL PUENTE"
(m³/s)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m ³ /s]
1953	39.0	29.8	23.4	19.8	19.8	38.0	68.9	118.7	152.2	132.9	77.2	39.3	758.9
1954	34.8	30.6	25.9	25.6	34.0	79.8	168.2	159.0	293.8	345.9	86.9	51.4	1336.0
1955	38.3	29.5	23.5	18.9	17.5	34.4	191.8	214.8	348.7	300.2	107.5	59.6	1384.6
1956	38.9	28.7	26.5	23.4	32.4	102.0	207.8	133.1	277.6	134.1	65.8	46.7	1117.1
1957	30.8	24.8	21.0	18.7	17.7	40.6	61.5	107.8	148.6	111.6	49.7	34.2	666.9
1958	40.3	28.0	24.0	21.7	21.4	46.7	121.3	207.1	246.9	179.7	158.3	94.8	1190.2
1959	62.4	39.4	29.1	24.9	22.4	53.1	84.3	150.0	133.7	189.1	91.6	46.8	926.8
1960	32.3	25.7	20.9	17.8	19.4	22.0	59.4	82.2	141.8	125.1	91.7	40.3	678.5
1961	27.7	25.4	21.6	20.0	19.2	51.1	94.0	130.0	289.0	110.0	156.0	66.5	1010.5
1962	40.2	33.1	26.7	24.3	26.0	39.7	80.9	94.6	244.0	192.0	72.6	46.9	921.0
1963	35.0	29.0	26.1	22.5	24.7	30.9	91.6	161.0	215.0	226.0	71.5	43.3	976.6
1964	33.2	26.5	22.2	19.3	22.3	45.7	154.0	160.0	306.0	163.0	69.3	43.6	1065.1
1965	34.5	26.9	22.4	19.6	19.1	36.7	63.0	118.0	193.0	170.0	69.8	42.4	815.4
1966	31.8	26.6	23.9	21.9	24.4	39.4	95.8	164.0	245.0	185.0	74.3	45.0	977.1
1967	34.1	26.9	21.2	18.7	21.3	46.9	92.6	111.0	312.0	256.0	92.4	56.7	1089.8
1968	38.5	29.9	24.1	20.5	32.2	53.4	168.0	151.0	224.0	140.0	68.9	45.9	996.4
1969	33.2	25.3	22.4	18.8	16.9	27.9	62.0	214.0	301.0	164.0	86.0	48.9	1020.4
1970	33.9	27.2	20.3	18.4	17.4	46.1	122.0	231.0	395.0	226.0	92.5	55.2	1285.0
1971	36.8	28.6	24.3	22.4	20.7	33.3	73.2	119.0	203.0	179.0	68.1	42.2	850.6
1972	28.9	22.9	18.7	17.3	17.2	67.8	97.8	124.0	154.0	96.3	58.0	40.4	743.3
1973	28.2	23.0	19.3	19.6	19.7	64.0	105.0	167.0	317.0	237.0	97.8	59.4	1157.0
1974	39.3	30.4	25.5	22.3	22.1	164.0	157.0	158.0	362.0	150.0	67.2	46.8	1244.6
1975	33.8	28.5	24.5	21.8	26.3	55.3	95.0	180.0	301.0	119.0	63.3	41.3	989.8
1976	29.9	25.0	21.4	19.1	18.9	33.5	58.5	86.5	112.5	281.6	81.2	50.8	818.8
1977	33.2	26.1	21.1	18.3	20.2	46.9	70.0	95.7	141.0	106.0	52.7	40.4	671.6
1978	26.3	21.6	18.0	16.5	16.6	49.3	153.8	131.5	189.0	164.9	76.8	43.6	907.8
1979	29.3	25.1	19.5	17.5	18.9	24.3	52.1	129.5	291.1	86.2	49.7	29.8	772.8
1980	29.6	20.4	17.1	16.8	16.7	27.8	72.0	172.0	198.8	135.1	66.5	44.9	817.6
1981	29.2	23.8	18.6	18.5	14.0	68.8	132.6	242.5	292.2	272.8	96.8	54.1	1264.0
1982	35.9	27.8	22.1	20.9	22.2	27.9	59.2	59.3	88.1	86.3	41.4	28.2	519.2
1983	20.8	20.0	17.3	13.2	13.1	22.9	103.6	85.3	205.1	108.2	59.2	36.7	705.4
1984	30.1	21.9	16.2	13.6	16.7	62.7	159.7	240.7	503.5	147.8	61.2	44.9	1319.1
1985	32.9	23.8	19.2	16.8	17.3	50.2	107.2	209.5	170.5	120.9	65.6	42.0	875.8
1986	28.2	23.8	18.8	16.2	22.0	73.9	135.5	111.0	161.0	102.5	54.1	40.0	787.0
1987	26.0	20.8	17.9	15.9	16.2	60.7	132.8	180.6	179.6	113.0	43.9	30.8	838.1
1988	23.2	18.5	14.3	13.1	12.6	45.3	151.3	258.5	340.9	128.8	62.0	39.7	1108.1
1989	27.3	22.6	20.3	18.6	19.1	75.0	130.0	186.0	410.0	222.0	85.5	48.1	1264.5
1990	33.9	29.4	22.9	23.6	25.4	44.6	104.8	128.1	143.1	136.3	86.0	56.0	834.1
1991	33.2	23.9	20.7	18.6	18.2	41.5	86.5	111.6	126.5	202.9	77.3	45.1	806.1
1992	32.8	28.3	20.2	18.1	21.2	31.6	83.3	178.7	249.5	193.4	93.0	54.1	1004.3
1993	33.8	26.2	20.5	18.9	17.9	61.1	204.0	153.2	226.4	141.4	84.5	53.2	1041.1
1994	34.5	25.3	19.7	17.3	16.4	32.5	50.6	107.8	132.4	140.3	66.2	43.2	686.2

1995	25.7	21.6	17.3	14.8	18.5	49.4	113.3	268.8	259.6	145.5	72.5	49.8	1056.7
1996	34.2	26.3	22.7	21.0	21.7	56.7	115.9	211.4	232.3	239.9	76.7	49.5	1108.3
1997	34.8	25.8	21.1	18.3	23.9	44.1	83.1	72.9	132.5	288.6	74.7	47.2	867.0
1998	35.3	25.3	19.7	16.4	15.7	29.6	65.3	134.8	339.0	276.1	115.6	55.9	1128.7
1999	38.7	26.3	21.0	17.7	17.2	39.0	99.2	168.1	345.1	281.0	82.7	44.2	1180.3
2000	34.9	28.5	20.6	18.4	27.8	81.4	80.3	153.9	223.6	146.9	60.0	37.7	913.9
2002	29.6	23.0	19.1	16.5	18.2	52.2	99.5	83.8	141.1	182.4	201.3	59.4	925.9
2003	35.3	25.0	17.6	13.5	13.1	52.3	131.7	157.0	257.3	247.0	84.1	47.0	1080.7
2004	34.6	24.1	18.7	16.2	18.6	52.1	82.7	154.5	272.3	244.5	91.5	49.6	1059.4
2005	35.3	25.8	21.0	16.8	16.0	37.3	146.7	169.4	232.3	166.9	65.5	40.3	973.5
2006	30.3	24.0	19.8	18.3	20.4	48.7	99.4	142.5	269.5	286.5	140.9	69.9	1170.3
2007	43.1	32.2	26.4	23.2	24.1	45.1	87.5	218.0	284.8	121.9	69.9	45.6	1021.8

Tabla 4.6: GASTOS MEDIOS MENSUALES REGISTRADOS EN LA E.H. EL PUENTE (1953 – 2007) (m³/s)

(Tabla realizada con datos obtenidos del BANDAS)

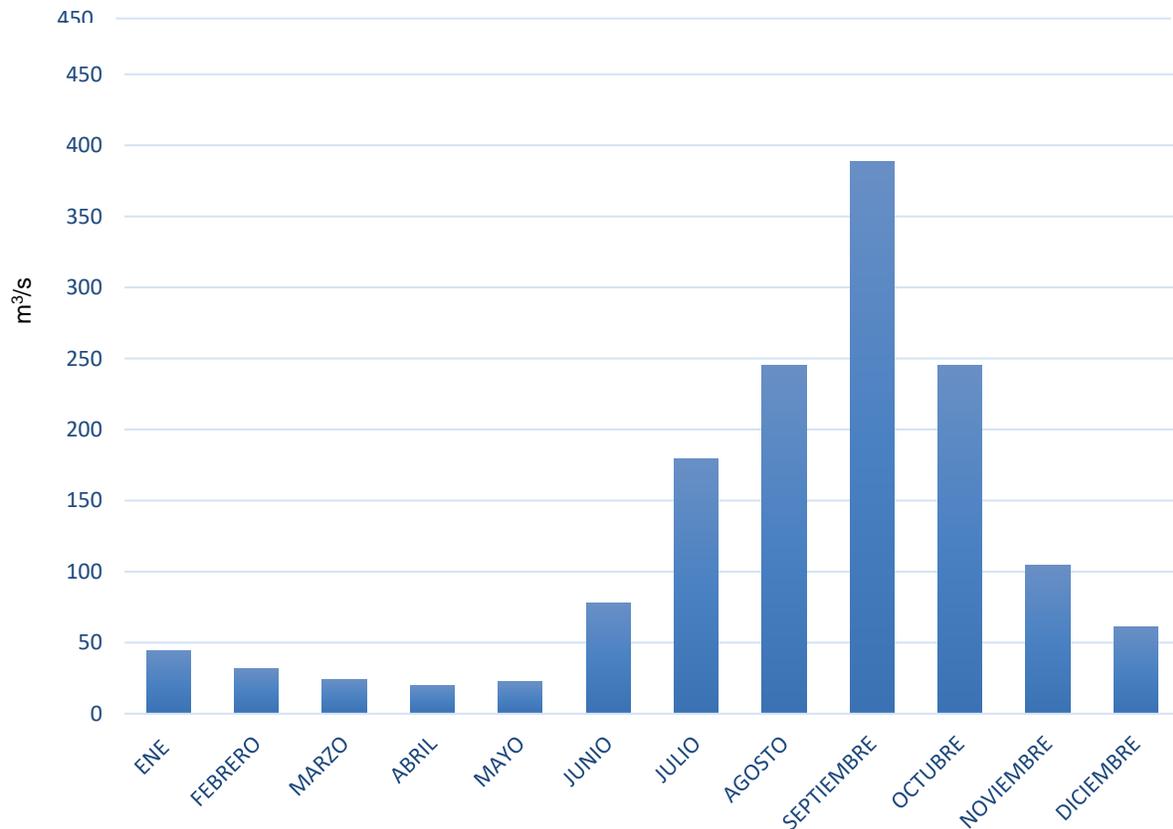


Figura 4.4: GASTOS MEDIOS MENSUALES DE LA E.H. LA PAROTA (1962 – 2003)

(Gráfica realizada con datos obtenidos del BANDAS)

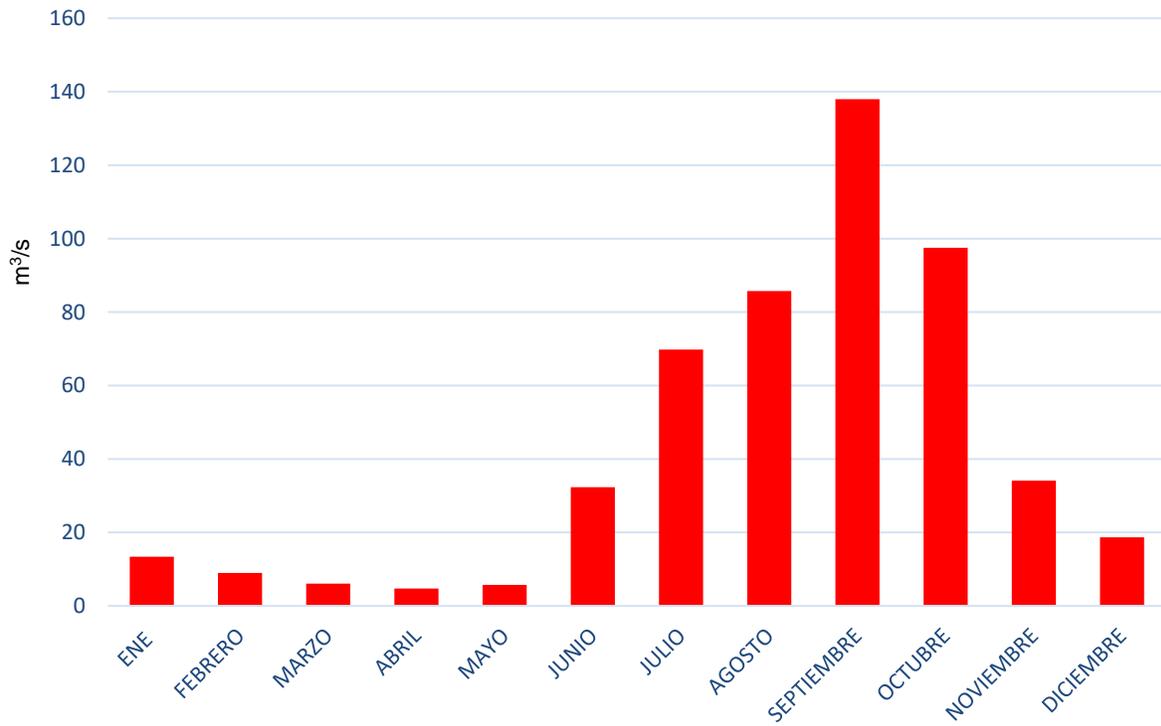


Figura 4.5: GASTOS MEDIOS MENSUALES DE LA E.H. AGUA SALADA (1968 – 2007)

(Gráfica realizada con datos obtenidos del BANDAS)

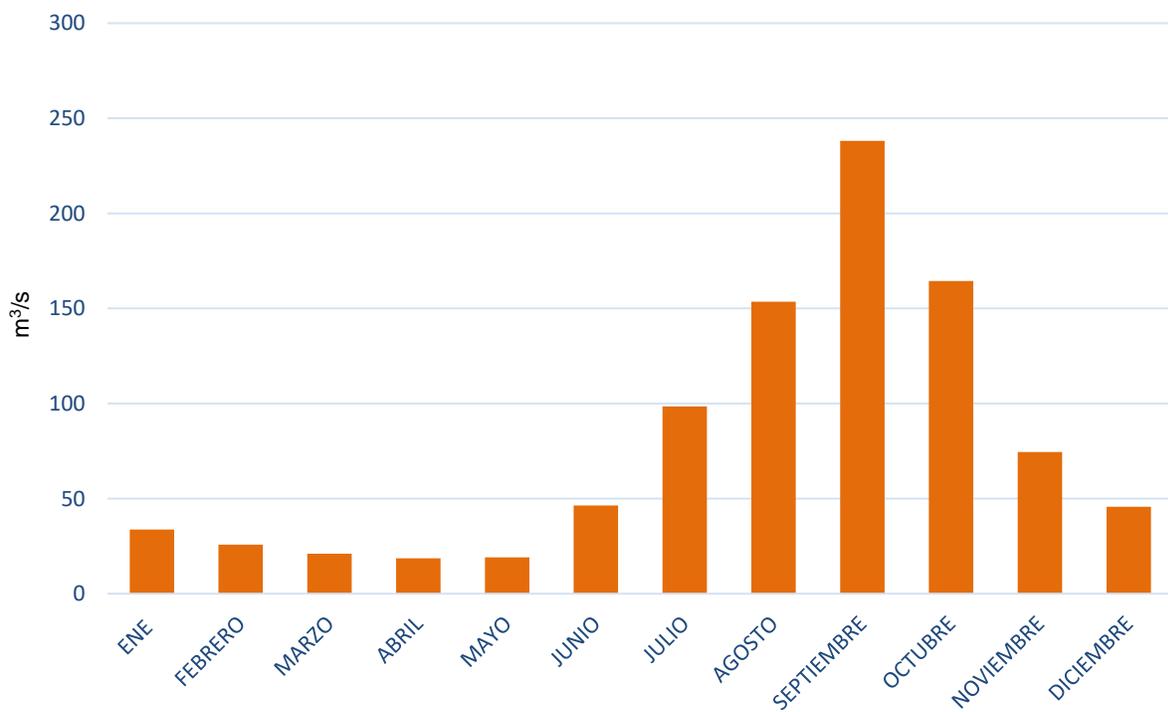


Figura 4.6: GASTOS MEDIOS MENSUALES DE LA E.H. EL PUENTE (1953 – 2007)

(Gráfica realizada con datos obtenidos del BANDAS)

4.1.1. Precipitación

Se sabe que la lluvia es la alimentadora principal dentro de un sistema hidrológico, y esa lluvia al momento de transformarse en escurrimiento da como resultado los gastos máximos instantáneos. Estos gastos son utilizados para el diseño de las obras de desvío y excedencias; sin embargo, para tener confiabilidad de utilizar estos gastos máximos instantáneos, se debe realizar un análisis de precipitación. Lo anterior tiene como finalidad saber si la lluvia que se está generando dentro del sistema hidrológico está aumentando o disminuyendo con respecto al tiempo. En caso de ser cierto lo anterior, implicaría que las condiciones que hacen que la precipitación se transforme en escurrimiento pudiesen cambiar. Por lo tanto, al realizar el análisis de la precipitación puede determinarse si el sistema hidrológico de la cuenca es estable o no, y de esta manera concluir si los gastos máximos registrados son confiables para el diseño de las estructuras de control de la presa así como de su operación. Por lo que, para la obtención de los datos de precipitación y complementación de la información hidrológica, se tomaron en cuenta los registros provenientes de la Estación Climatológica La Parota; en la Figura 4.7 se muestra su ubicación con respecto al P.H. La Parota; asimismo en la Tabla 4.7 son mostrados los registros de precipitación en la estación climatológica.

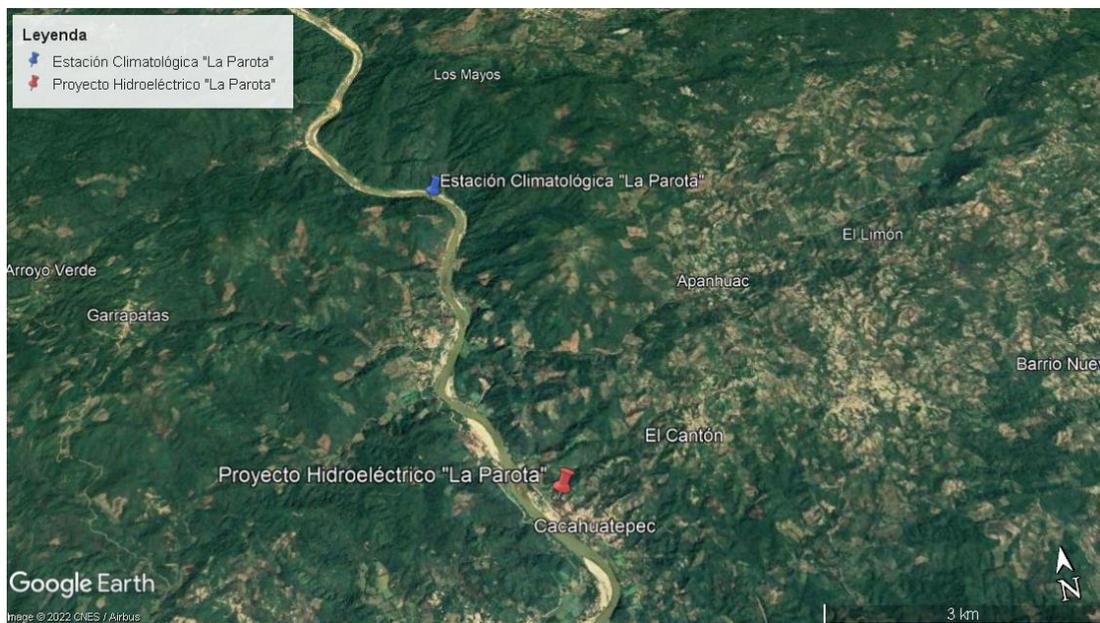


Figura 4.7. UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LA PAROTA CON RESPECTO AL P.H. LA PAROTA

(Esquema obtenido por medio del software Google Earth Pro)

**PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN LA ESTACIÓN
CLIMATOLÓGICA “LA PAROTA” (mm)**

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m³/s]
1962					11.5	292	232.6	204.5	179.4	157.1	20.6	2.3	1,100.00
1963					8.3	153.1	214.7	64	452.9	59.4	1.9		954.3
1964	1.5				4	188	395.2	226	214.3	42.6	9		1,080.60
1965	9.5				0	395.7	65.4	103	180.9	79.6	1.8	1	836.9
1966	6.8			35	69	145	159	234.6	343.8	116.2	0.2	16.7	1,126.30
1967	18.5				0.1	227.1	64.2	319.3	328.8	14.6		2.8	975.4
1968	5		11.7		100.2	195.3	28.2	179.1	295.4	244	38.4	3.7	1,101.00
1969	29.3		14.4		1.3	70.8	232.4	453.1	187.5	84.4		1	1,074.20
1970						212.7	128.7	432.5	329.1	53.3	0.8		1,157.10
1971	1.2			2	24.2	212.8	148.8	177.9	360.1	190.2	0.4		1,117.60
1972				-	1	166.2	314.9	110.3	87.2	15.9	42.6		738.1
1973				57.5	49.9	398.2	109.3	201.1	307.5	181.2	16.6		1,321.30
1974					58.5	391.5	88.1	144.6	464	50.3			1,197.00
1975	1				9.9	313.1	177.8	118.3	262.5	41.4	4		928
1976	0				2	286.7	11.9	80.5	165.3	364.1	66.5	0.1	977.1
1977	16				17.4	70.4	132.7	156.5	208.4	27.3	26.5	6.6	661.8
1978	0	7.5			120	54.5	275.4	130.6	151.8	84.1	44.1	0.3	868.3
1979	0	44			14.7	163.6	298.7	267	352.1	35.9			1,176.00
1980	108			0.4	19.4	36.3	149	216	156.7	128.1		2.2	816.1
1981	12.9		0.1	0	1	136.4	233.1	548.5	217.5	167.9	1.2	0	1,318.60
1982			0	5.7	77.7	73.9	194.7	49.7	221.9	117.6	3.1	1.5	745.8
1983		79.2	45.6		28.3	151	256.2	119.2	263.7	88.5	3.1	4.5	1,039.30
1984	67.3												68.6
1985	1.7				18.2	242.3	248.8	338	48.4	70.1	2.6		970.1
1986			0	17.7	93.7	148.7	35.5	93.7	227.3	7.6	15.9	3.3	643.4
1987			3.7		50.5	232.5	271.7	276.3	80.8	5.5			921
1988						429.3	183.3	581.9	187.9	21.7			1,404.10
1989					1.8	567.8	170.6	300	509.8	55.3	0.2	1.4	1,606.90
1990	0.9				55.2	373	196.8	199	98.8	124.1	6.6	20	1,074.40
1991					1	192.2	61.7	123.4	215.5	114.9	24.4	8.9	742
1992	32.1	26.4		6	4.7	125.8	185	279.1	293.5	158.4	1.3	19.8	1,132.10
1993						202.9	202.8	306.4	227.7	34.3	0.2		974.3
1994					0.5	174.6	75.6	165.1	80	55.1	12.4		563.3
1995		0.7		5.5	3.7	258.3	239.2	239.2	249.3	34.6			1,030.50
1996					26.6	405.8	216.2	455.2	233.7	219.9	10.2	10.4	1,578.00
1997	0.9		0.4		17.2	99.5	105.1	93.8	203.1	385	13.6	43.7	962.3
1998						251.7	484.4	271.3	290.5	188.6	0.5		1,487.00
1999						364.3	374.1	327.1	449.4	139.7	0.6		1,655.20
2000					119	248.1	176	172.7	413.7	36.1		3.3	1,168.90

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
MINIMA	0	0	0	0	0	36.3	11.9	49.7	48.4	5.5	0	0
MAXIMA	108	79.2	45.6	57.5	120	567.8	484.4	581.9	509.8	385	66.5	43.7
MEDIA	8.46	4.26	2.10	3.41	26.59	227.66	187.83	230.48	251.05	105.12	9.46	3.96
DESV. ESTANDAR	21.32	15.174	8.07	11.033	35.56	121.25	103.98	131.36	113.2	90.3	15.41	8.39

	ANUAL	MEDIANA
MINIMA	151.8	12.7
MAXIMA	3049.4	254.1
MEDIA	1060.4	88.4
DESV. ESTANDAR	675.1	56.3

Tabla 4.7: PRECIPITACION MENSUAL EN LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LA PAROTA (1962 – 2000) (mm)

(Tabla realizada con datos obtenidos del siguiente

URL: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>)

4.1.2. Evaporaciones

Otro de los múltiples análisis que se toman en cuenta para el correcto funcionamiento de un embalse es el de la evaporación que se presenta en el sitio; resulta un factor importante debido a que el agua se encuentra superficialmente expuesta a los rayos del sol provocando una disminución en la capacidad de almacenamiento del embalse y en consecuencia, una reducción del nivel de agua en el embalse. No obstante, las condiciones climáticas que provocan la evaporación no son la principal razón que genera de pérdidas en el embalse, las características fisiográficas en el vaso de almacenamiento, así como las políticas de operación tienen más influencia; la evaporación tendrá mayor importancia en el futuro debido al aumento de la temperatura global así como una menor disponibilidad del agua.

Así como con la precipitación, los registros de la evaporación en la zona del proyecto son obtenidos mediante la Estación Climatológica La Parota y se presentan en la Tabla 4.8.

**EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL EN LA ESTACIÓN
CLIMATOLÓGICA “LA PAROTA” (mm)**

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m ³ /s]
1962	-	-	-	-	-	-	-	139.9	101.6	118.3	126.8	123.7	610.3
1963	154.4	170.3	224	216.9	234.8	195.9	152.5	182.4	101.5	136.4	127.4	143.2	2,039.70
1964	155.2	183.7		239.7	251.2	158.8	137.8	133	112.8	124.3	119.7	120.8	1,737.00
1965	141.8	164.7	210	215.4	217.4	147.5	165.1	135.1	149.8	123.1	131.5	125.9	1,927.30
1966	148.7	163.4	207.8	207.1	193.6	141.7	135.1	136.4	111.8	107.5	113.2	119.9	1,786.20
1967	122.9	156.1	206.1	218.9	214.1	154	165	160.5	110.7	128.6	123.5	123.1	1,883.50
1968	140.4	155.1	222.6	206.7	206.8	160.6	169	139.2	122.4	117.9	108	129.8	1,878.50
1969	139.4	151.9	195.8	213.9	219.9	180.5	141.3	80.2	106.2	124.8	129.4	120	1,803.30
1970	149.3	150.5	192.8	212	204.1	194.5	139.3	110.4	84.1	116.3	111.1	123.2	1,787.60
1971	128.7	152.6	200.6	206.7	186.2	162	156	126.3	91.1	107.7	107.3	114.8	1,740.00
1972	136	153.4	190.5	205.7	197.6	141.6	150.8	131	127.3	143.4	121.7	149.5	1,848.50
1973	153.7	156.7	198	193.6	200.1	158.6	135.8	135.4	103.1	110.5	116.4	111	1,772.90
1974	139.2	143.8	193.4	213.1	191.9	118.2	166.4	142.4	116.6	134	118.4	119.8	1,797.20
1975	139.9	150.8	199.9	209.2	175.1	147.5	126.1	148.2	106.5	118.6	122.5	128.8	1,773.10
1976	146.5	162.1	209.4	213	210.4	134.1	181.9	153	151.6	103.6	104.5	111.5	1,881.60
1977	129.6	141.7	194.9	216.4	211.5	182.2	188.1	158.4	131.1	131.2	122	129.8	1,936.90
1978	147.4	148.4	206.5	224.7	206.9	161.6	124.2	153.9	109.4	117.8	116.6	120.1	1,837.50
1979	142.2	142.5	204.9	205.6	204.4	168.7	142.3	130	85.6	113.2	106.2	115.1	1,760.70
1980	129.5	134.1	182.2	197.5	208.3	195.4	174.3	110.8	106.9	117.4	111.8	125.8	1,794.00
1981	123.6	163.2	197.9	225.9	209.8	146.7	130.6	107.4	108.5	100.5	98.5	104.1	1,716.70
1982	123.9	147.6	194.6	201.1	180.8	160	171.1	176	116	108.6	106.3	103.8	1,789.80
1983	125.6	128.6	147.1	178.1	161.3	158.9	168.2	164.7	116.1	116.3	101.6	106.9	1,673.40
1984	102.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107.4	113.4	323.6
1985	116.5	140.7	211	198.3	204.9	153.4	152.6	147.2	128.2	114.4	110.2	110.5	1,787.90
1986	120.5	140.2	185.3	187.2	172.7	179.7	193.5	174.9	118.3	110.3	111.3	108.1	1,802.00
1987	122.3	134.8	150.6	184.4	185.3	153.5	128.9	133.5	107.5	134.7	107.2	110.7	1,653.40
1988	134.9	148.4	191.8	182.5	167	156.3	140.4	91.3	79.4	98.9	93.5	88.3	1,572.70
1989	107.9	138.2	168.6	194.5	198	149.5	130.1	121.5	99.1	94.8	81.5	70.9	1,554.60
1990	111.6	131.8	188.1	194.5	173.3	126.8	116.45	-	102.84	-	-	-	1,145.40
1991	107.32	140.55	166.42	195.15	198	156.31	156.79	153.01	100.13	104.55	96.84	99.1	1,674.20
1992	94.97	84.16	178.44	193.71	204.57	145.75	147.95	136.54	119.78	93.12	78.67	97.87	1,575.50
1993	95.92	130.62	183.01	186.93	195.25	141.12	124.67	113.82	96.52	101.65	96.34	93.37	1,559.20
1994		135.03	180.89	198.18	186.33	148.86	164.53	147.72	120.47	104.34	110.52	112.24	1,609.10
1995	118.16	137.28	183.74	191.22	177.89	175.27	150.92	102.07	117.66	88.32	94.01	83.79	1,620.30
1996	94.69	125.35	169.41	192.45	181.08	140.74	125.78	108.22	108.41	87.62	82.45		1,416.20
1997	98.3	128.18	177.29	189.83	183.69	128.69	177.46	173.67	99.38	88.5	70.13	66.91	1,582.00
1998	89.47	111.77	160.3	165.25	157.91	165.87	117.05	141.94	70.48	85.46	69.59	65.62	1,400.70
1999	88.72	115.54	175.17	189.22	200.66	146.69	120.35	111.47	79.12	75.12	76.61	63.2	1,441.90
2000	93.17	126.67	165.09	175.32	150.96	128.9	146.87	119.7	92.53	89.96	64.96	58.58	1,412.70

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
MINIMA	88.72	84.16	147.1	165.25	150.96	118.2	116.45	80.2	70.48	75.12	64.96	58.58
MAXIMA	155.2	183.7	224	239.7	251.2	195.9	193.5	182.4	151.6	143.4	131.5	149.5
MEDIA	124.73	142.98	189.28	201.07	195.23	155.84	149.06	135.97	108.17	110.58	105.14	108.46
DESV. ESTANDAR	20.301	18.109	18.541	15.493	20.77	18.909	20.777	24.099	17.288	16.137	17.635	21.926

	ANUAL	MEDIANA
MINIMA	1220.18	101.68
MAXIMA	2201.60	183.47
MEDIA	1726.51	143.88
DESV. ESTANDAR	229.99	19.17

Tabla 4.8: EVAPORACIÓN MENSUAL EN LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LA PAROTA (1962 – 2000) (mm)

(Tabla realizada con datos obtenidos del siguiente

URL: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>)

Para el proceso de funcionamiento de vaso es necesaria la relación de la evaporación y precipitación, para recabar los valores de las evaporaciones netas, en la que es usada la siguiente expresión para recabar los resultados.

$$E_{neta} = 0.7Evaporación - Precipitación$$

Se presentan los valores obtenidos a continuación en la Tabla 4.9:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Evap.	124.73	142.98	189.28	201.07	195.23	155.84	149.06	135.97	108.17	110.58	105.14	108.46
0.7Evap	87.31	100.09	132.50	140.75	136.66	109.09	104.34	95.18	75.72	77.41	73.60	75.92
Prec.	8.45	4.26	2.11	3.42	26.59	227.66	187.83	230.48	251.05	105.12	9.47	3.97
Evap_{NETA}	78.86	95.82	130.39	137.33	110.07	-118.57	-83.49	-135.30	-175.33	-27.71	64.13	71.95

Tabla 4.9: EVAPORACIÓN NETA MENSUAL EN LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LA PAROTA (1962 – 2000) (mm)

(Tabla realizada con datos obtenidos del siguiente

URL: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>)

4.1.3. Avenidas de diseño.

Para el correcto dimensionamiento de las avenidas de diseño de las obras de desvío y excedencias, es necesario conocer los gastos máximos históricos producto de una avenida y además la distribución de ésta con respecto al tiempo (hidrograma). El P.H. La Parota recibe los escurrimientos del Río Papagayo, dichos registros son sustraídos de las estaciones hidrométricas (ya antes mencionadas), por consiguiente, la formación de sus avenidas corresponde a los eventos extraordinarios suscitados en esta cuenca. Las avenidas de diseño habrán de calcularse para el sitio, propiamente, del P.H. La Parota. En seguida, se hace una descripción de los eventos máximos utilizados para diseñar las avenidas de las obras de desvío y de excedencias.

En la Tabla 4.10 se muestran los registros de la base de información proveniente del BANDAS, con un período de registro 1953 – 2007. Se procederá a utilizar la suma de los gastos máximos registrados en las tres estaciones hidrométricas en su periodo común con la finalidad de determinar las avenidas de diseño para las obras de desvío y excedencias en el sitio del P.H. La Parota. Una vez obtenida la información correspondiente, se realiza el análisis probabilístico de gastos máximos instantáneos, definiendo los caudales asociados a diversos periodos de retorno y con ello, las avenidas de diseño.

GASTOS MÁXIMOS ANUALES (m ³ /s)										
AÑO	E.H. EL PUENTE	E.H. LA PAROTA	E.H. AGUA SALADA	TOTAL		AÑO	E.H. EL PUENTE	E.H. LA PAROTA	E.H. AGUA SALADA	TOTAL
1953	285.46			285.46		1981	821	4447	1913	7181
1954	816.67			816.67		1982	203.57	1324	456	1983.57
1955	639.93			639.93		1983	449	1336	778	2563
1956	594.72			594.72		1984	1148	9238	2097	12483
1957	224.6			224.6		1985	481	1227	533	2241
1958	436			436		1986	467	1579	563	2609
1959	246			246		1987	502	1353	585	2440
1960	637.09			637.09		1988	948	2133	1363	4444
1961	1052			1052		1989	1030	2585	1120	4735
1962	428	1201		1629		1990	256	1445	596	2297
1963	1086	2632		3718		1991	786	1885	445.71	3116.71
1964	521	1888		2409		1992	472	1507	1244	3223
1965	430	921		1351		1993	709	3149	2679	6537
1966	531	659		1190		1994	354	662	890	1906
1967	1325	11653		12978		1995	636	1079	1161	2876
1968	477	767		1244		1996	644	3001	2010	5655
1969	734	2150	661	3545		1997	1072	3925	2461	7458
1970	720	2510	774	4004		1998	688	1710	1083	3481
1971	339	1034	691	2064		1999	590	1511	612	2713
1972	501	1591	1393	3485		2000	756	2110	1143	4009
1973	1151	7333	1302	9786		2001	434	859	473	1766
1974	1591	7521	1232	10344		2002	971	3819	3008	7798
1975	639	1998	619	3256		2003	465	1004	584	2053
1976	1231	5419	2431	9081		2004	514		643	1157
1977	379	1532	575	2486		2005	472		860	1332
1978	475	1460	698	2633		2006	512		1621	2133
1979	682	2140	606	3428		2007	475		1156	1631
1980	425	1760	497	2682						

Tabla 4.10: GASTOS MÁXIMOS ANUALES DE LAS TRES ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DEL P.H. LA PAROTA (1953 – 2007)

(Tabla realizada con datos obtenidos del siguiente URL: <https://app.conagua.gob.mx/bandas>)

Mediante el empleo de los gastos máximos presentados anteriormente, se efectuó un análisis estadístico ante diversas funciones de probabilidad con el cual se

obtuvieron los gastos de diseño para distintos periodos de retorno. A continuación, se presenta en la Figura 4.8 el resumen obtenido de las distintas distribuciones de probabilidad que se emplearon, para así, observar cual es la más cercana con respecto a los datos presentados en la Tabla 4.10.

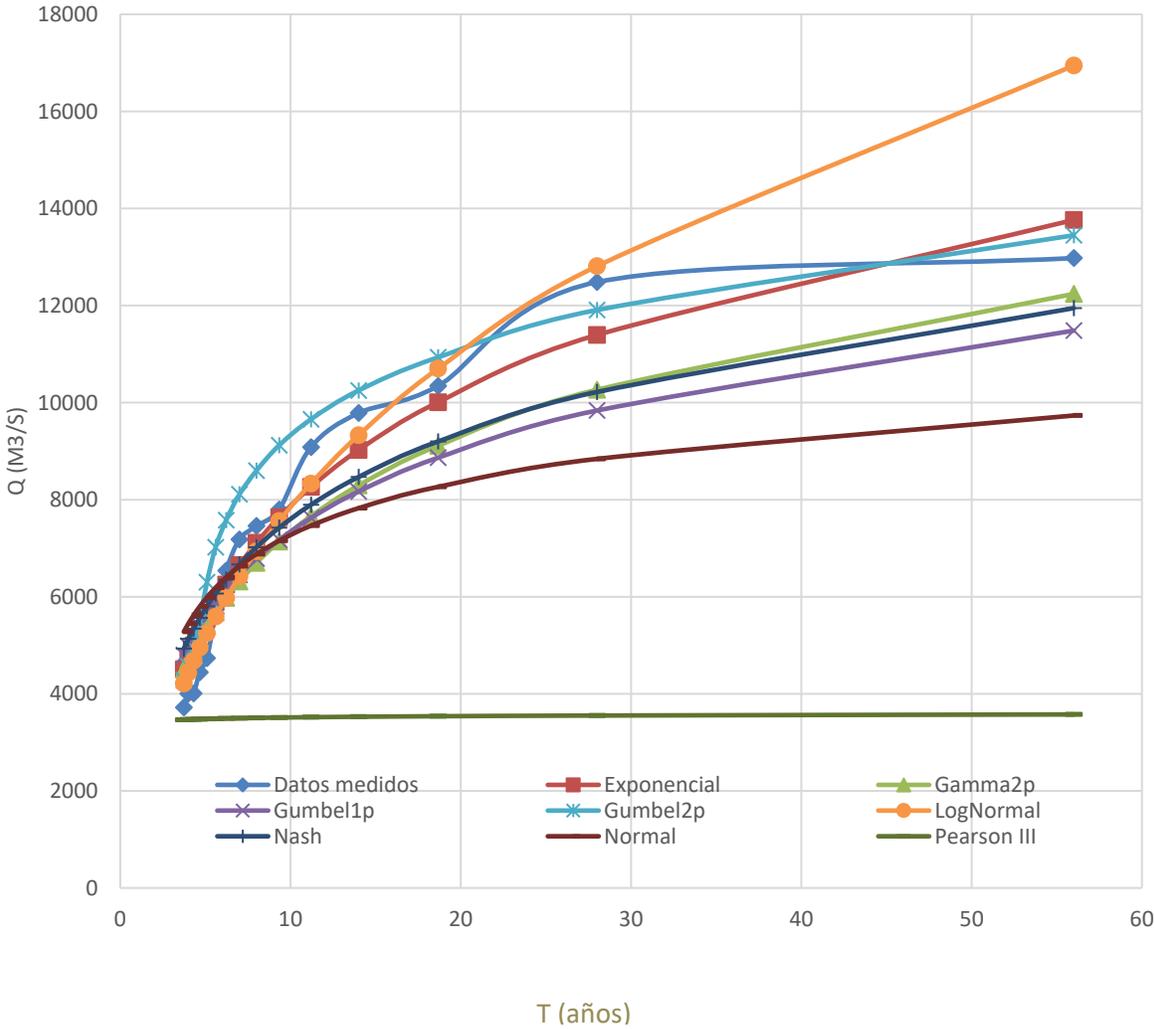


Figura 4.8: GRÁFICO CON LAS DIFERENTES DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD ASOCIADOS A LOS GASTOS MÁXIMOS EN LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE LA PAROTA, EL PUENTE Y AGUA SALADA

(Tabla realizada con datos obtenidos del siguiente URL: <https://app.conagua.gob.mx/bandas>)

De acuerdo con la gráfica anterior, podemos concluir que la distribución que más se apega a los valores presentados en la Tabla 4.10 es la de Doble Gumbel. A

continuación en la Tabla 4.11 se presenta la comparativa para cada periodo de retorno y distribución de probabilidad analizados.

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD ANALIZADAS								
Tr (años)	Exponencial	Gamma2p	Gumbel1p	Gumbel2p	LogNormal	Nash	Normal	Pearson III
2	2370.14	2611.65	2925.31	2807.41	2352.64	495.91	3419.28	3418.90
5	5503.30	5347.13	5583.31	6127.34	5188.49	1087.40	5949.16	3480.93
10	7873.45	7336.09	7343.13	9329.74	7848.06	1479.01	7272.86	3513.66
20	10243.59	9308.24	9031.19	11132.86	11044.28	1854.66	8365.69	3540.83
50	13376.75	11917.17	11216.22	13111.85	16221.22	2340.90	9595.30	3571.56
100	15746.90	13902.15	12853.59	14604.36	20958.43	2705.26	10414.87	3592.13
500	21250.20	18570.18	16637.29	17458.13	35202.48	3547.26	12073.64	3634.00
1000	23620.35	20610.08	18263.96	18109.86	42965.41	3909.24	12711.08	3650.16
5000	29123.65	25420.40	22039.18	20013.42	65568.79	4749.35	14063.19	3684.61
10000	31493.80	27524.49	23664.79	20180.39	77574.06	5111.10	14601.00	3698.37

Tabla 4.11: EVENTOS EXTRAORDINARIOS RELACIONADOS A UN PERIODO DE RETORNO Y DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE LA PAROTA, EL PUENTE Y AGUA SALADA (m³/s)

(Tabla realizada con datos obtenidos del siguiente URL: <https://app.conagua.gob.mx/bandas>)

Para dimensionar las avenidas de diseño para las obras de desvío y de excedencias, es necesario obtener un hidrograma unitario (Figura 4.9) del sitio y mayorarlo al gasto obtenido para el periodo de retorno a utilizar. A continuación en la Tabla 4.12 se presentan los gastos obtenidos del evento máximo ocurrido durante los días del 14 al 18 de septiembre de 2013 de las estaciones hidrométricas Agua Salada y El Puente (la E.H. La Parota salió de operación por lo que no se cuentan con registros de ese año) así como el hidrograma unitario del sitio.

GASTOS MÁXIMOS REGISTRADOS DEL 14 – 8 DE SEPTIEMBRE 2013

FECHA Y HORA	EL PUENTE (m ³ /s)	AGUA SALADA (m ³ /s)	TOTAL (m ³ /s)	Q.E.
14/09/2013 00:00	131.87	115.32	247.19	0.01787
14/09/2013 00:30	133.28	113.64	246.92	0.01785
14/09/2013 01:00	133.28	113.64	246.92	0.01785
14/09/2013 01:30	135.15	115.32	250.47	0.01811
14/09/2013 02:00	137.95	122.05	260.00	0.01880
14/09/2013 02:30	142.63	127.53	270.16	0.01953
14/09/2013 03:00	144.50	127.53	272.03	0.01967
14/09/2013 03:30	143.57	125.42	268.99	0.01945
14/09/2013 04:00	145.90	131.31	277.21	0.02004
14/09/2013 04:30	146.37	138.05	284.42	0.02056
14/09/2013 05:00	148.01	143.10	291.11	0.02105
14/09/2013 05:30	152.92	148.99	301.91	0.02183
14/09/2013 06:00	157.83	161.62	319.45	0.02310
14/09/2013 06:30	164.14	178.45	342.59	0.02477
14/09/2013 07:00	168.35	203.28	371.63	0.02687
14/09/2013 07:30	175.37	236.53	411.90	0.02978
14/09/2013 08:00	182.38	272.73	455.11	0.03290
14/09/2013 08:30	192.67	325.76	518.43	0.03748
14/09/2013 09:00	202.02	370.37	572.39	0.04138
14/09/2013 09:30	213.24	426.77	640.01	0.04627
14/09/2013 10:00	226.34	498.74	725.08	0.05242
14/09/2013 10:30	248.32	576.60	824.92	0.05964
14/09/2013 11:00	269.36	652.36	921.72	0.06664
14/09/2013 11:30	289.00	729.80	1018.80	0.07366
14/09/2013 12:00	321.74	808.92	1130.66	0.08175
14/09/2013 12:30	354.47	898.99	1253.46	0.09063
14/09/2013 13:00	387.21	968.01	1355.22	0.09798
14/09/2013 13:30	404.04	1004.21	1408.25	0.10182
14/09/2013 14:00	432.10	1030.30	1462.40	0.10573
14/09/2013 14:30	453.61	1042.93	1496.54	0.10820
14/09/2013 15:00	448.93	1065.66	1514.59	0.10951
14/09/2013 15:30	454.55	1093.43	1547.98	0.11192
14/09/2013 16:00	470.92	1136.36	1607.28	0.11621
14/09/2013 16:30	487.28	1164.98	1652.26	0.11946
14/09/2013 17:00	503.65	1222.22	1725.87	0.12478
14/09/2013 17:30	524.22	1328.28	1852.50	0.13394
14/09/2013 18:00	570.52	1464.65	2035.17	0.14714
14/09/2013 18:30	604.66	1691.92	2296.58	0.16604
14/09/2013 19:00	667.79	1974.75	2642.54	0.19106
14/09/2013 19:30	701.46	2207.07	2908.53	0.21029
14/09/2013 20:00	785.63	2370.28	3155.91	0.22818
14/09/2013 20:30	850.17	2533.50	3383.67	0.24464
14/09/2013 21:00	857.18	2696.71	3553.89	0.25695
14/09/2013 21:30	924.52	2859.93	3784.45	0.27362
14/09/2013 22:00	928.73	3023.14	3951.87	0.28572
14/09/2013 22:30	994.67	3186.36	4181.03	0.30229
14/09/2013 23:00	1017.12	3349.57	4366.69	0.31572
14/09/2013 23:30	1057.33	3512.79	4570.12	0.33042
15/09/2013 00:00	1132.86	3676.00	4808.86	0.34768
15/09/2013 00:30	1172.84	3839.21	5012.05	0.36238
15/09/2013 01:00	1283.20	4002.43	5285.63	0.38216
15/09/2013 01:30	1168.63	4165.64	5334.27	0.38567
15/09/2013 02:00	1217.73	4328.86	5546.59	0.40102
15/09/2013 02:30	1268.24	4492.07	5760.31	0.41648
15/09/2013 03:00	1320.15	4655.29	5975.44	0.43203
15/09/2013 03:30	1372.05	4818.50	6190.55	0.44758

15/09/2013 04:00	1427.70	4981.72	6409.42	0.46341
15/09/2013 04:30	1486.16	5144.93	6631.09	0.47943
15/09/2013 05:00	1544.61	5308.14	6852.75	0.49546
15/09/2013 05:30	1604.94	5471.36	7076.30	0.51162
15/09/2013 06:00	1666.67	5634.57	7301.24	0.52789
15/09/2013 06:30	1733.07	5797.79	7530.86	0.54449
15/09/2013 07:00	1800.88	5961.00	7761.88	0.56119
15/09/2013 07:30	1870.09	6124.22	7994.31	0.57799
15/09/2013 08:00	1940.24	6287.43	8227.67	0.59487
15/09/2013 08:30	2015.99	6450.65	8466.64	0.61214
15/09/2013 09:00	2094.56	6613.86	8708.42	0.62963
15/09/2013 09:30	2173.12	6777.07	8950.19	0.64711
15/09/2013 10:00	2258.23	6940.29	9198.52	0.66506
15/09/2013 10:30	2346.15	7103.50	9449.65	0.68322
15/09/2013 11:00	2439.68	7266.72	9706.40	0.70178
15/09/2013 11:30	2617.65	7429.93	10047.58	0.72645
15/09/2013 12:00	2711.98	7593.15	10305.13	0.74507
15/09/2013 12:30	2808.97	7756.36	10565.33	0.76388
15/09/2013 13:00	2908.68	7919.58	10828.25	0.78289
15/09/2013 13:30	3011.17	8082.79	11093.96	0.80210
15/09/2013 14:00	3116.52	8246.00	11362.53	0.82152
15/09/2013 14:30	3224.80	8409.22	11634.02	0.84115
15/09/2013 15:00	3336.07	8572.43	11908.50	0.86099
15/09/2013 15:30	3450.40	8735.65	12186.05	0.88106
15/09/2013 16:00	3567.87	8898.86	12466.73	0.90136
15/09/2013 16:30	3688.56	9062.08	12750.64	0.92188
15/09/2013 17:00	3812.54	9225.29	13037.83	0.94265
15/09/2013 17:30	3939.89	9388.51	13328.40	0.96365
15/09/2013 18:00	3983.50	9551.72	13535.22	0.97861
15/09/2013 18:30	4027.10	9519.30	13546.39	0.97942
15/09/2013 19:00	4070.70	9486.87	13557.57	0.98022
15/09/2013 19:30	4376.65	9454.45	13831.10	1.00000
15/09/2013 20:00	4276.32	9422.02	13698.34	0.99040
15/09/2013 20:30	4177.88	9389.60	13567.48	0.98094
15/09/2013 21:00	4081.31	9357.18	13438.49	0.97161
15/09/2013 21:30	3986.58	9324.75	13311.33	0.96242
15/09/2013 22:00	3893.65	9292.33	13185.98	0.95336
15/09/2013 22:30	3802.50	9259.90	13062.40	0.94442
15/09/2013 23:00	3713.09	9227.48	12940.57	0.93561
15/09/2013 23:30	3625.40	9195.06	12820.45	0.92693
16/09/2013 00:00	3539.39	9162.63	12702.02	0.91837
16/09/2013 00:30	3455.04	9130.21	12585.24	0.90992
16/09/2013 01:00	3372.31	9097.78	12470.10	0.90160
16/09/2013 01:30	3291.19	9065.36	12356.55	0.89339
16/09/2013 02:00	3211.65	9032.94	12244.58	0.88529
16/09/2013 02:30	3133.65	9000.51	12134.16	0.87731
16/09/2013 03:00	3057.17	8968.09	12025.26	0.86944
16/09/2013 03:30	2982.19	8935.66	11917.85	0.86167
16/09/2013 04:00	2908.68	8903.24	11811.92	0.85401
16/09/2013 04:30	2836.61	8870.82	11707.43	0.84646
16/09/2013 05:00	2765.96	8838.39	11604.36	0.83900
16/09/2013 05:30	2696.71	8805.97	11502.68	0.83165
16/09/2013 06:00	2628.83	8773.54	11402.38	0.82440
16/09/2013 06:30	2475.68	8741.12	11216.80	0.81098
16/09/2013 07:00	2410.21	8708.70	11118.91	0.80391
16/09/2013 07:30	2342.87	8676.27	11019.14	0.79669
16/09/2013 08:00	2279.74	8643.85	10923.59	0.78978
16/09/2013 08:30	2216.61	8611.42	10828.03	0.78288
16/09/2013 09:00	2159.09	8579.00	10738.09	0.77637
16/09/2013 09:30	2100.17	8546.58	10646.75	0.76977
16/09/2013 10:00	2044.05	8514.15	10558.20	0.76337
16/09/2013 10:30	1988.64	8481.73	10470.37	0.75702
16/09/2013 11:00	1935.09	8449.30	10384.39	0.75080

16/09/2013 11:30	1882.72	8416.88	10299.60	0.74467
16/09/2013 12:00	1833.61	8384.46	10218.07	0.73877
16/09/2013 12:30	1783.11	8352.03	10135.14	0.73278
16/09/2013 13:00	1783.11	8319.61	10102.72	0.73043
16/09/2013 13:30	1769.08	8287.18	10056.26	0.72708
16/09/2013 14:00	1755.05	8254.76	10009.81	0.72372
16/09/2013 14:30	1755.05	8222.34	9977.39	0.72137
16/09/2013 15:00	1755.05	8189.91	9944.96	0.71903
16/09/2013 15:30	1740.09	8157.49	9897.58	0.71560
16/09/2013 16:00	1730.73	8125.06	9855.79	0.71258
16/09/2013 16:30	1716.70	8092.64	9809.34	0.70922
16/09/2013 17:00	1702.68	8060.21	9762.89	0.70587
16/09/2013 17:30	1640.01	8027.79	9667.80	0.69899
16/09/2013 18:00	1577.82	7995.37	9573.19	0.69215
16/09/2013 18:30	1541.81	7962.94	9504.75	0.68720
16/09/2013 19:00	1505.80	7930.52	9436.32	0.68225
16/09/2013 19:30	1471.66	7898.09	9369.75	0.67744
16/09/2013 20:00	1438.46	7865.67	9304.13	0.67270
16/09/2013 20:30	1418.35	7833.25	9251.60	0.66890
16/09/2013 21:00	1401.52	7800.82	9202.34	0.66534
16/09/2013 21:30	1383.28	7768.40	9151.68	0.66167
16/09/2013 22:00	1366.44	7735.97	9102.41	0.65811
16/09/2013 22:30	1349.61	7703.55	9053.16	0.65455
16/09/2013 23:00	1334.18	7671.13	9005.31	0.65109
16/09/2013 23:30	1315.47	7638.70	8954.17	0.64739
17/09/2013 00:00	1298.64	7606.28	8904.92	0.64383
17/09/2013 00:30	1283.20	7573.85	8857.05	0.64037
17/09/2013 01:00	1268.24	7541.43	8809.67	0.63695
17/09/2013 01:30	1252.81	7509.01	8761.82	0.63349
17/09/2013 02:00	1235.50	7476.58	8712.08	0.62989
17/09/2013 02:30	1219.14	7444.16	8663.30	0.62636
17/09/2013 03:00	1203.70	7411.73	8615.43	0.62290
17/09/2013 03:30	1189.21	7379.31	8568.52	0.61951
17/09/2013 04:00	1172.84	7346.89	8519.73	0.61598
17/09/2013 04:30	1157.41	7314.46	8471.87	0.61252
17/09/2013 05:00	1141.98	7282.04	8424.02	0.60906
17/09/2013 05:30	1127.01	7249.61	8376.62	0.60564
17/09/2013 06:00	1128.88	7217.19	8346.07	0.60343
17/09/2013 06:30	1128.88	7184.77	8313.65	0.60108
17/09/2013 07:00	1128.88	7152.34	8281.22	0.59874
17/09/2013 07:30	1047.28	7119.92	8167.20	0.59050
17/09/2013 08:00	968.01	7087.49	8055.50	0.58242
17/09/2013 08:30	968.01	7055.07	8023.08	0.58008
17/09/2013 09:00	968.01	7022.65	7990.66	0.57773
17/09/2013 09:30	968.01	6990.22	7958.23	0.57539
17/09/2013 10:00	968.01	6957.80	7925.81	0.57304
17/09/2013 10:30	952.58	6925.37	7877.95	0.56958
17/09/2013 11:00	935.05	6892.95	7828.00	0.56597
17/09/2013 11:30	935.05	6860.53	7795.58	0.56363
17/09/2013 12:00	935.05	6828.10	7763.15	0.56128
17/09/2013 12:30	927.33	6795.68	7723.01	0.55838
17/09/2013 13:00	918.91	6763.25	7682.16	0.55543
17/09/2013 13:30	903.48	6730.83	7634.31	0.55197
17/09/2013 14:00	886.64	6698.41	7585.05	0.54841
17/09/2013 14:30	886.64	6665.98	7552.62	0.54606
17/09/2013 15:00	886.64	6633.56	7520.20	0.54372
17/09/2013 15:30	869.81	6601.13	7470.94	0.54016
17/09/2013 16:00	855.78	6568.71	7424.49	0.53680
17/09/2013 16:30	847.36	6536.29	7383.65	0.53384
17/09/2013 17:00	839.65	6503.86	7343.51	0.53094
17/09/2013 17:30	831.46	6471.44	7302.90	0.52801
17/09/2013 18:00	824.92	6439.01	7263.93	0.52519
17/09/2013 18:30	824.92	6406.59	7231.51	0.52284

17/09/2013 19:00	824.92	6374.17	7199.09	0.52050
17/09/2013 19:30	823.51	6341.74	7165.25	0.51805
17/09/2013 20:00	822.11	6309.32	7131.43	0.51561
17/09/2013 20:30	820.01	6276.89	7096.90	0.51311
17/09/2013 21:00	817.90	6244.47	7062.37	0.51062
17/09/2013 21:30	816.50	6212.05	7028.55	0.50817
17/09/2013 22:00	815.10	6179.62	6994.72	0.50572
17/09/2013 22:30	813.69	6147.20	6960.89	0.50328
17/09/2013 23:00	812.29	6114.77	6927.06	0.50083
17/09/2013 23:30	810.89	6082.35	6893.24	0.49839
18/09/2013 00:00	809.48	6049.93	6859.41	0.49594

Tabla 4.12: REGISTRO DE GASTOS POR 96 HORAS DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS AGUA SALADA Y EL PUENTE PARA LA OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO DEL SITIO DEL P.H. LA PAROTA.

(Tabla realizada con datos obtenidos del siguiente URL: <https://app.conagua.gob.mx/bandas>)

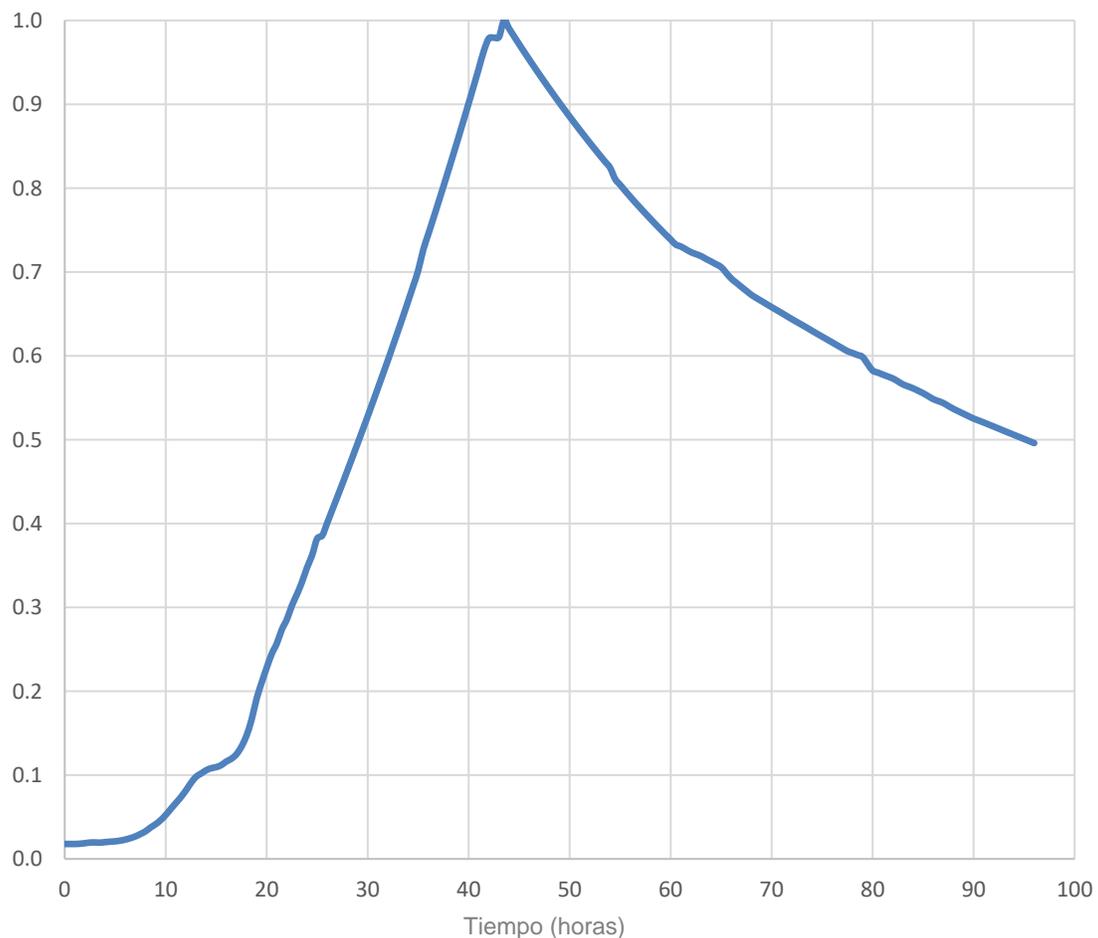


Figura 4.9: HIDROGRAMA UNITARIO DEL SITIO DEL P.H. LA PAROTA CON LOS REGISTROS DE LAS E.H. AGUA SALADA Y EL PUENTE

(Gráfico realizado con datos obtenidos del siguiente URL: <https://app.conagua.gob.mx/bandas>)

Ya con la obtención del hidrograma unitario y la distribución de probabilidad de los gastos máximos al sitio del proyecto, solo queda obtener los hidrogramas de diseño que se muestran en la Figura 4.10 con sus respectivos valores en la Tabla 4.13, así como el volumen de cada avenida en la Tabla 4.14 respectivamente.

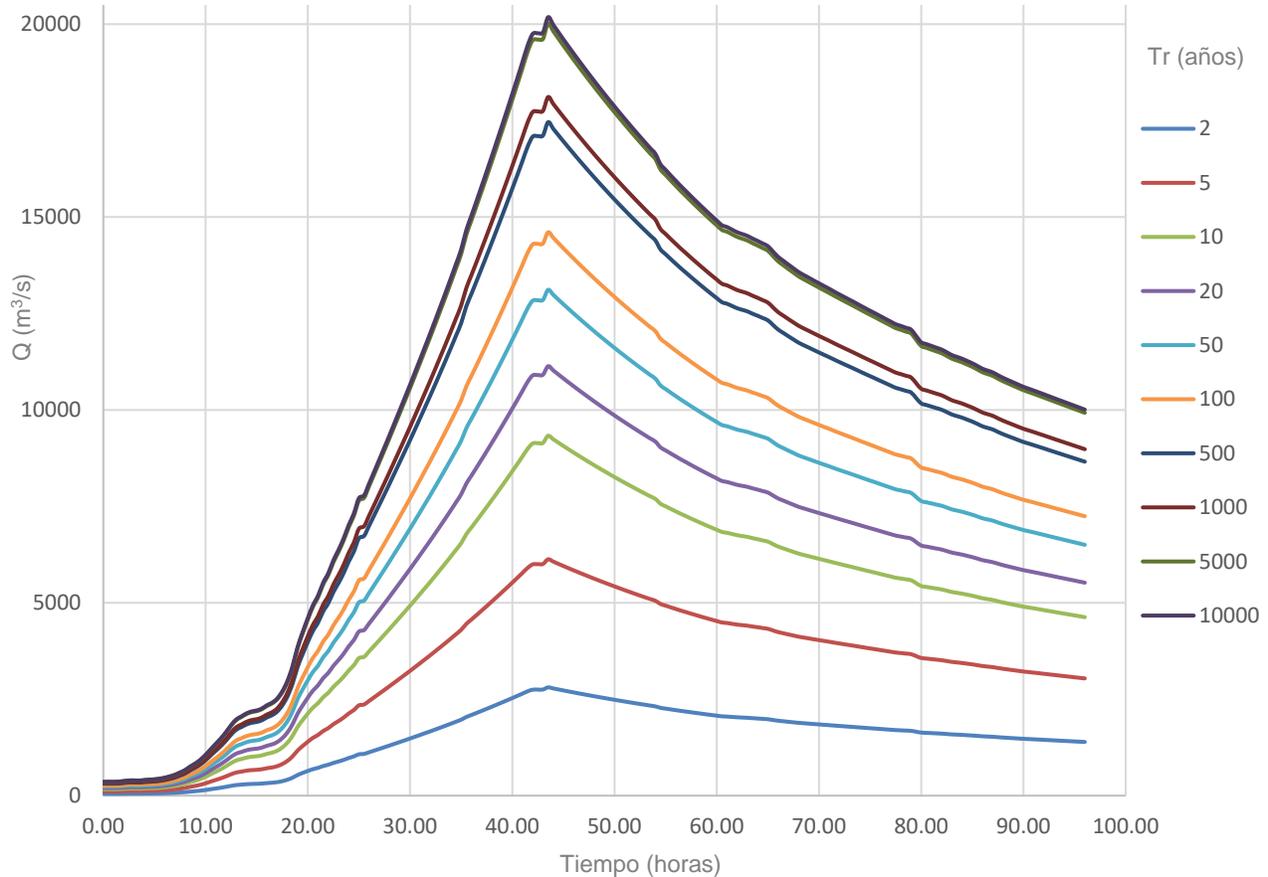


Figura 4.10: HIDROGRAMAS DE DISEÑO CORRESPONDIENTES A CADA PERIODO DE RETORNO DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DOBLE GUMBEL PARA EL SITIO DEL P.H. LA PAROTA

GASTOS ASOCIADOS A CADA HIDROGRAMA DE DISEÑO CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DOBLE GUMBEL (m³/s)

HORA ACUMULADA	Q.E.	PERIODOS DE RETORNO (T)									
		2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
		2807.41	6127.34	9329.74	11132.86	13111.85	14604.36	17458.13	18109.86	20013.42	20180.39
0.0	0.017872	50.17	109.51	166.74	198.97	234.34	261.01	312.01	323.66	357.68	360.66
0.5	0.017853	50.12	109.39	166.56	198.75	234.08	260.72	311.67	323.31	357.29	360.27
1.0	0.017853	50.12	109.39	166.56	198.75	234.08	260.72	311.67	323.31	357.29	360.27
1.5	0.018109	50.84	110.96	168.95	201.61	237.45	264.47	316.15	327.95	362.43	365.45
2.0	0.018798	52.77	115.18	175.38	209.28	246.48	274.54	328.18	340.43	376.22	379.36
2.5	0.019533	54.84	119.68	182.24	217.46	256.11	285.26	341.01	353.74	390.92	394.18
3.0	0.019668	55.22	120.51	183.50	218.96	257.88	287.24	343.37	356.18	393.62	396.91
3.5	0.019448	54.60	119.17	181.45	216.51	255.00	284.03	339.53	352.20	389.22	392.47
4.0	0.020043	56.27	122.81	186.99	223.13	262.79	292.71	349.90	362.97	401.12	404.47
4.5	0.020564	57.73	126.00	191.85	228.93	269.63	300.32	359.01	372.41	411.55	414.99
5.0	0.021047	59.09	128.97	196.37	234.32	275.97	307.39	367.45	381.17	421.23	424.75
5.5	0.021828	61.28	133.75	203.65	243.01	286.21	318.79	381.08	395.31	436.86	440.50
6.0	0.023096	64.84	141.52	215.48	257.13	302.84	337.31	403.22	418.27	462.24	466.10
6.5	0.024770	69.54	151.77	231.09	275.76	324.77	361.74	432.43	448.57	495.72	499.86
7.0	0.026869	75.43	164.64	250.68	299.13	352.30	392.41	469.09	486.60	537.74	542.23
7.5	0.029781	83.61	182.48	277.85	331.54	390.48	434.93	519.92	539.32	596.01	600.99
8.0	0.032905	92.38	201.62	306.99	366.32	431.44	480.55	574.46	595.90	658.54	664.03
8.5	0.037483	105.23	229.67	349.71	417.29	491.47	547.41	654.38	678.81	750.16	756.42
9.0	0.041384	116.18	253.58	386.10	460.73	542.62	604.39	722.49	749.46	828.24	835.15
9.5	0.046273	129.91	283.53	431.72	515.15	606.73	675.79	807.84	838.00	926.09	933.81
10.0	0.052424	147.18	321.22	489.10	583.63	687.37	765.62	915.22	949.39	1049.18	1057.93
10.5	0.059642	167.44	365.45	556.45	663.99	782.02	871.04	1041.24	1080.12	1193.65	1203.61
11.0	0.066641	187.09	408.33	621.74	741.91	873.79	973.25	1163.43	1206.86	1333.72	1344.84
11.5	0.073660	206.79	451.34	687.23	820.05	965.82	1075.76	1285.97	1333.97	1474.19	1486.49
12.0	0.081748	229.50	500.90	762.68	910.08	1071.86	1193.87	1427.16	1480.44	1636.05	1649.70
12.5	0.090626	254.43	555.30	845.52	1008.93	1188.28	1323.54	1582.16	1641.23	1813.74	1828.87
13.0	0.097984	275.08	600.38	914.16	1090.84	1284.75	1430.99	1710.61	1774.47	1960.99	1977.35
13.5	0.101818	285.84	623.87	949.93	1133.52	1335.02	1486.98	1777.55	1843.90	2037.72	2054.72
14.0	0.105733	296.84	647.86	986.46	1177.11	1386.35	1544.16	1845.90	1914.80	2116.07	2133.73
14.5	0.108201	303.77	662.99	1009.49	1204.59	1418.72	1580.21	1888.99	1959.51	2165.47	2183.54
15.0	0.109506	307.43	670.98	1021.66	1219.12	1435.83	1599.27	1911.77	1983.14	2191.59	2209.88
15.5	0.111920	314.21	685.77	1044.19	1245.99	1467.48	1634.52	1953.92	2026.86	2239.91	2258.59
16.0	0.116207	326.24	712.04	1084.18	1293.72	1523.69	1697.14	2028.76	2104.50	2325.71	2345.11
16.5	0.119460	335.37	731.97	1114.53	1329.93	1566.34	1744.64	2085.55	2163.40	2390.80	2410.75
17.0	0.124782	350.31	764.58	1164.18	1389.18	1636.12	1822.36	2178.46	2259.78	2497.31	2518.15
17.5	0.133937	376.02	820.68	1249.60	1491.10	1756.17	1956.07	2338.29	2425.58	2680.54	2702.91
18.0	0.147144	413.10	901.60	1372.82	1638.14	1929.34	2148.95	2568.87	2664.77	2944.86	2969.43
18.5	0.166045	466.16	1017.41	1549.15	1848.55	2177.15	2424.98	2898.83	3007.04	3323.12	3350.85
19.0	0.191058	536.38	1170.68	1782.52	2127.02	2505.12	2790.28	3335.51	3460.03	3823.72	3855.62
19.5	0.210289	590.37	1288.51	1961.94	2341.12	2757.28	3071.14	3671.25	3808.31	4208.60	4243.72
20.0	0.228175	640.58	1398.11	2128.81	2540.24	2991.80	3332.35	3983.51	4132.22	4566.57	4604.66

20.5	0.244642	686.81	1499.01	2282.45	2723.56	3207.71	3572.84	4270.99	4430.43	4896.12	4936.97
21.0	0.256949	721.36	1574.42	2397.27	2860.58	3369.08	3752.58	4485.86	4653.32	5142.44	5185.34
21.5	0.273619	768.16	1676.56	2552.79	3046.16	3587.65	3996.03	4776.87	4955.20	5476.05	5521.73
22.0	0.285724	802.14	1750.73	2665.73	3180.92	3746.37	4172.81	4988.20	5174.41	5718.31	5766.01
22.5	0.302292	848.66	1852.25	2820.30	3365.37	3963.60	4414.78	5277.45	5474.46	6049.89	6100.36
23.0	0.315715	886.34	1934.50	2945.54	3514.81	4139.61	4610.82	5511.80	5717.56	6318.54	6371.26
23.5	0.330423	927.63	2024.62	3082.76	3678.55	4332.46	4825.62	5768.57	5983.92	6612.90	6668.07
24.0	0.347685	976.09	2130.38	3243.81	3870.72	4558.79	5077.71	6069.92	6296.52	6958.36	7016.41
24.5	0.362376	1017.34	2220.40	3380.87	4034.28	4751.42	5292.27	6326.40	6562.57	7252.38	7312.88
25.0	0.382155	1072.87	2341.60	3565.41	4254.48	5010.77	5581.14	6671.72	6920.78	7648.24	7712.04
25.5	0.385672	1082.74	2363.15	3598.22	4293.64	5056.88	5632.50	6733.12	6984.47	7718.62	7783.02
26.0	0.401023	1125.84	2457.21	3741.44	4464.53	5258.15	5856.68	7001.11	7262.47	8025.84	8092.80
26.5	0.416475	1169.22	2551.89	3885.61	4636.56	5460.76	6082.36	7270.88	7542.31	8335.10	8404.63
27.0	0.432029	1212.88	2647.19	4030.72	4809.72	5664.70	6309.51	7542.42	7823.98	8646.38	8718.51
27.5	0.447582	1256.55	2742.49	4175.82	4982.87	5868.63	6536.65	7813.94	8105.64	8957.65	9032.38
28.0	0.463406	1300.97	2839.45	4323.46	5159.03	6076.11	6767.75	8090.20	8392.22	9274.34	9351.71
28.5	0.479433	1345.97	2937.65	4472.99	5337.46	6286.26	7001.82	8370.01	8682.47	9595.10	9675.15
29.0	0.495460	1390.96	3035.85	4622.51	5515.88	6496.40	7235.88	8649.80	8972.71	9915.85	9998.57
29.5	0.511622	1436.34	3134.89	4773.30	5695.82	6708.32	7471.92	8931.97	9265.41	10239.31	10324.74
30.0	0.527886	1481.99	3234.54	4925.04	5876.88	6921.56	7709.44	9215.90	9559.94	10564.80	10652.94
30.5	0.544487	1528.60	3336.26	5079.92	6061.70	7139.24	7951.89	9505.73	9860.59	10897.05	10987.96
31.0	0.561191	1575.49	3438.61	5235.76	6247.65	7358.25	8195.83	9797.33	10163.08	11231.34	11325.04
31.5	0.577995	1622.67	3541.57	5392.54	6434.74	7578.59	8441.25	10090.71	10467.41	11567.66	11664.16
32.0	0.594867	1670.04	3644.96	5549.96	6622.57	7799.82	8687.66	10385.27	10772.96	11905.33	12004.66
32.5	0.612145	1718.54	3750.82	5711.15	6814.92	8026.35	8939.99	10686.90	11085.85	12251.11	12353.32
33.0	0.629626	1767.62	3857.94	5874.24	7009.54	8255.56	9195.29	10992.09	11402.44	12600.97	12706.10
33.5	0.647106	1816.70	3965.04	6037.33	7204.14	8484.77	9450.58	11297.27	11719.00	12950.81	13058.86
34.0	0.665061	1867.10	4075.06	6204.84	7404.02	8720.18	9712.79	11610.71	12044.15	13310.14	13421.18
34.5	0.683218	1918.07	4186.31	6374.24	7606.17	8958.25	9977.96	11927.70	12372.98	13673.52	13787.60
35.0	0.701781	1970.19	4300.05	6547.43	7812.82	9201.65	10249.06	12251.77	12709.15	14045.03	14162.20
35.5	0.726449	2039.44	4451.20	6777.57	8087.45	9525.09	10609.32	12682.43	13155.88	14538.72	14660.01
36.0	0.745069	2091.72	4565.30	6951.30	8294.75	9769.24	10881.26	13007.51	13493.10	14911.39	15035.79
36.5	0.763882	2144.53	4680.57	7126.82	8504.19	10015.91	11156.01	13335.95	13833.80	15287.89	15415.44
37.0	0.782892	2197.90	4797.05	7304.17	8715.82	10265.16	11433.64	13667.82	14178.06	15668.34	15799.06
37.5	0.802103	2251.83	4914.76	7483.41	8929.69	10517.06	11714.20	14003.21	14525.97	16052.82	16186.74
38.0	0.821520	2306.35	5033.74	7664.57	9145.87	10771.65	11997.78	14342.20	14877.61	16441.43	16578.60
38.5	0.841149	2361.45	5154.01	7847.70	9364.39	11029.02	12284.45	14684.89	15233.09	16834.27	16974.71
39.0	0.860994	2417.17	5275.61	8032.85	9585.33	11289.23	12574.28	15031.35	15592.48	17231.44	17375.20
39.5	0.881061	2473.50	5398.57	8220.07	9808.73	11552.35	12867.34	15381.68	15955.89	17633.05	17780.16
40.0	0.901355	2530.48	5522.91	8409.41	10034.66	11818.44	13163.72	15735.97	16323.41	18039.20	18189.70
40.5	0.921882	2588.10	5648.69	8600.91	10263.18	12087.58	13463.50	16094.33	16695.14	18450.01	18603.93
41.0	0.942646	2646.40	5775.92	8794.64	10494.34	12359.84	13766.75	16456.83	17071.19	18865.57	19022.96
41.5	0.963654	2705.38	5904.64	8990.64	10728.23	12635.30	14073.56	16823.60	17451.64	19286.02	19446.92
42.0	0.978607	2747.36	5996.26	9130.15	10894.69	12831.36	14291.94	17084.65	17722.44	19585.28	19748.68
42.5	0.979415	2749.62	6001.22	9137.69	10903.69	12841.95	14303.74	17098.76	17737.07	19601.45	19764.98
43.0	0.980224	2751.89	6006.17	9145.23	10912.69	12852.55	14315.54	17112.87	17751.71	19617.63	19781.29

43.5	1.000000	2807.41	6127.34	9329.74	11132.86	13111.85	14604.36	17458.13	18109.86	20013.42	20180.39
44.0	0.990401	2780.47	6068.53	9240.19	11026.00	12986.00	14464.18	17290.55	17936.03	19821.32	19986.69
44.5	0.980940	2753.90	6010.56	9151.91	10920.67	12861.95	14326.01	17125.38	17764.69	19631.97	19795.75
45.0	0.971614	2727.72	5953.41	9064.90	10816.84	12739.66	14189.81	16962.56	17595.79	19445.32	19607.55
45.5	0.962420	2701.91	5897.08	8979.13	10714.49	12619.12	14055.54	16802.06	17429.30	19261.33	19422.02
46.0	0.953357	2676.47	5841.55	8894.57	10613.59	12500.28	13923.18	16643.83	17265.17	19079.94	19239.12
46.5	0.944423	2651.38	5786.80	8811.22	10514.12	12383.13	13792.69	16487.85	17103.36	18901.13	19058.82
47.0	0.935614	2626.66	5732.83	8729.03	10416.06	12267.64	13664.05	16334.07	16943.83	18724.84	18881.05
47.5	0.926929	2602.27	5679.62	8648.01	10319.37	12153.76	13537.21	16182.45	16786.56	18551.03	18705.79
48.0	0.918367	2578.23	5627.15	8568.12	10224.04	12041.49	13412.16	16032.96	16631.49	18379.66	18532.99
48.5	0.909924	2554.53	5575.42	8489.35	10130.05	11930.79	13288.86	15885.56	16478.59	18210.68	18362.61
49.0	0.901598	2531.16	5524.40	8411.68	10037.37	11821.63	13167.27	15740.22	16327.82	18044.07	18194.61
49.5	0.893389	2508.11	5474.10	8335.09	9945.97	11713.99	13047.38	15596.90	16179.15	17879.77	18028.94
50.0	0.885294	2485.39	5424.50	8259.56	9855.85	11607.84	12929.15	15455.57	16032.54	17717.75	17865.57
50.5	0.877310	2462.97	5375.58	8185.07	9766.96	11503.16	12812.55	15316.19	15887.96	17557.97	17704.45
51.0	0.869436	2440.87	5327.34	8111.61	9679.31	11399.92	12697.56	15178.73	15745.37	17400.39	17545.56
51.5	0.861671	2419.07	5279.75	8039.16	9592.86	11298.10	12584.15	15043.16	15604.73	17244.98	17388.85
52.0	0.854011	2397.56	5232.82	7967.70	9507.59	11197.67	12472.29	14909.44	15466.02	17091.69	17234.28
52.5	0.846457	2376.35	5186.53	7897.22	9423.48	11098.62	12361.96	14777.55	15329.21	16940.49	17081.82
53.0	0.839004	2355.43	5140.87	7827.69	9340.52	11000.90	12253.13	14647.45	15194.25	16791.35	16931.44
53.5	0.831653	2334.79	5095.83	7759.11	9258.68	10904.52	12145.77	14519.11	15061.12	16644.23	16783.08
54.0	0.824401	2314.43	5051.39	7691.45	9177.94	10809.43	12039.86	14392.50	14929.79	16499.09	16636.74
54.5	0.810984	2276.77	4969.18	7566.27	9028.57	10633.50	11843.90	14158.26	14686.80	16230.56	16365.97
55.0	0.803906	2256.90	4925.81	7500.23	8949.77	10540.70	11740.54	14034.69	14558.62	16088.91	16223.14
55.5	0.796693	2236.65	4881.61	7432.94	8869.47	10446.12	11635.20	13908.77	14428.00	15944.55	16077.57
56.0	0.789784	2217.25	4839.28	7368.48	8792.56	10355.54	11534.30	13788.16	14302.88	15806.29	15938.16
56.5	0.782876	2197.86	4796.95	7304.03	8715.64	10264.95	11433.40	13667.54	14177.77	15668.02	15798.74
57.0	0.776373	2179.60	4757.10	7243.35	8643.25	10179.69	11338.43	13554.01	14060.00	15537.87	15667.50
57.5	0.769769	2161.06	4716.64	7181.74	8569.72	10093.09	11241.98	13438.71	13940.40	15405.70	15534.23
58.0	0.763367	2143.09	4677.41	7122.01	8498.45	10009.15	11148.49	13326.95	13824.46	15277.58	15405.04
58.5	0.757016	2125.26	4638.50	7062.76	8427.75	9925.89	11055.74	13216.08	13709.45	15150.48	15276.88
59.0	0.750800	2107.81	4600.41	7004.77	8358.55	9844.38	10964.96	13107.56	13596.88	15026.08	15151.44
59.5	0.744670	2090.60	4562.85	6947.57	8290.30	9764.00	10875.43	13000.53	13485.86	14903.38	15027.72
60.0	0.738775	2074.05	4526.73	6892.57	8224.67	9686.70	10789.33	12897.62	13379.10	14785.41	14908.76
60.5	0.732779	2057.21	4489.99	6836.64	8157.92	9608.09	10701.77	12792.95	13270.52	14665.42	14787.77
61.0	0.730435	2050.63	4475.63	6814.76	8131.83	9577.36	10667.54	12752.02	13228.07	14618.50	14740.46
61.5	0.727076	2041.20	4455.05	6783.43	8094.43	9533.32	10618.49	12693.39	13167.24	14551.28	14672.68
62.0	0.723717	2031.77	4434.47	6752.09	8057.04	9489.28	10569.43	12634.75	13106.42	14484.06	14604.90
62.5	0.721373	2025.19	4420.10	6730.22	8030.94	9458.54	10535.20	12593.82	13063.96	14437.15	14557.59
63.0	0.719029	2018.61	4405.74	6708.35	8004.85	9427.80	10500.96	12552.90	13021.51	14390.23	14510.28
63.5	0.715603	2008.99	4384.75	6676.39	7966.71	9382.88	10450.93	12493.09	12959.47	14321.66	14441.15
64.0	0.712582	2000.51	4366.24	6648.20	7933.07	9343.27	10406.81	12440.35	12904.76	14261.20	14380.18
64.5	0.709223	1991.08	4345.66	6616.87	7895.68	9299.23	10357.76	12381.71	12843.93	14193.98	14312.40
65.0	0.705865	1981.66	4325.08	6585.54	7858.30	9255.20	10308.72	12323.09	12783.12	14126.78	14244.64
65.5	0.698990	1962.35	4282.95	6521.39	7781.76	9165.06	10208.31	12203.06	12658.61	13989.18	14105.89
66.0	0.692149	1943.15	4241.04	6457.57	7705.60	9075.36	10108.40	12083.63	12534.72	13852.28	13967.84

66.5	0.687202	1929.26	4210.72	6411.41	7650.52	9010.49	10036.14	11997.25	12445.12	13753.25	13867.99
67.0	0.682254	1915.37	4180.40	6365.25	7595.43	8945.61	9963.88	11910.87	12355.52	13654.23	13768.14
67.5	0.677441	1901.86	4150.91	6320.35	7541.85	8882.51	9893.60	11826.85	12268.36	13557.91	13671.02
68.0	0.672696	1888.54	4121.84	6276.08	7489.03	8820.30	9824.30	11744.02	12182.43	13462.96	13575.27
68.5	0.668898	1877.87	4098.57	6240.64	7446.75	8770.49	9768.83	11677.71	12113.65	13386.94	13498.62
69.0	0.665337	1867.88	4076.75	6207.42	7407.10	8723.80	9716.82	11615.54	12049.16	13315.67	13426.76
69.5	0.661674	1857.59	4054.30	6173.24	7366.32	8675.77	9663.33	11551.59	11982.82	13242.36	13352.84
70.0	0.658112	1847.59	4032.48	6140.01	7326.67	8629.07	9611.31	11489.40	11918.32	13171.07	13280.96
70.5	0.654551	1837.60	4010.66	6106.79	7287.02	8582.38	9559.30	11427.23	11853.82	13099.80	13209.09
71.0	0.651091	1827.88	3989.46	6074.51	7248.50	8537.01	9508.77	11366.83	11791.17	13030.56	13139.27
71.5	0.647394	1817.50	3966.81	6040.02	7207.35	8488.54	9454.78	11302.29	11724.21	12956.57	13064.66
72.0	0.643833	1807.51	3944.99	6006.79	7167.70	8441.84	9402.77	11240.12	11659.72	12885.30	12992.80
72.5	0.640372	1797.79	3923.78	5974.51	7129.17	8396.47	9352.23	11179.70	11597.05	12816.04	12922.96
73.0	0.636946	1788.17	3902.79	5942.54	7091.03	8351.55	9302.20	11119.89	11535.01	12747.48	12853.83
73.5	0.633487	1778.46	3881.59	5910.26	7052.52	8306.18	9251.67	11059.49	11472.35	12678.23	12784.01
74.0	0.629891	1768.36	3859.56	5876.72	7012.48	8259.04	9199.15	10996.71	11407.23	12606.27	12711.44
74.5	0.626364	1758.46	3837.95	5843.81	6973.22	8212.79	9147.64	10935.14	11343.36	12535.68	12640.26
75.0	0.622903	1748.75	3816.74	5811.52	6934.69	8167.41	9097.10	10874.72	11280.68	12466.42	12570.43
75.5	0.619511	1739.22	3795.96	5779.88	6896.93	8122.94	9047.57	10815.50	11219.26	12398.54	12501.97
76.0	0.615983	1729.32	3774.34	5746.96	6857.65	8076.68	8996.04	10753.91	11155.37	12327.93	12430.78
76.5	0.612523	1719.61	3753.14	5714.68	6819.13	8031.32	8945.52	10693.51	11092.71	12258.69	12360.96
77.0	0.609064	1709.89	3731.94	5682.40	6780.62	7985.95	8894.99	10633.11	11030.05	12189.44	12291.14
77.5	0.605637	1700.27	3710.95	5650.43	6742.47	7941.02	8844.94	10573.28	10968.00	12120.87	12221.99
78.0	0.603428	1694.07	3697.41	5629.82	6717.87	7912.06	8812.68	10534.72	10927.99	12076.65	12177.41
78.5	0.601084	1687.49	3683.05	5607.95	6691.78	7881.32	8778.44	10493.79	10885.54	12029.74	12130.10
79.0	0.598739	1680.91	3668.68	5586.08	6665.68	7850.58	8744.21	10452.86	10843.08	11982.82	12082.79
79.5	0.590495	1657.76	3618.17	5509.17	6573.90	7742.49	8623.81	10308.94	10693.78	11817.83	11916.42
80.0	0.582420	1635.09	3568.69	5433.82	6483.99	7636.60	8505.87	10167.95	10547.54	11656.21	11753.45
80.5	0.580075	1628.51	3554.32	5411.95	6457.90	7605.86	8471.63	10127.03	10505.08	11609.29	11706.15
81.0	0.577731	1621.93	3539.96	5390.08	6431.80	7575.13	8437.40	10086.10	10462.63	11562.37	11658.84
81.5	0.575387	1615.35	3525.59	5368.21	6405.70	7544.39	8403.16	10045.17	10420.17	11515.46	11611.53
82.0	0.573042	1608.77	3511.23	5346.34	6379.60	7513.65	8368.92	10004.25	10377.72	11468.54	11564.22
82.5	0.569583	1599.05	3490.03	5314.06	6341.08	7468.28	8318.39	9943.84	10315.06	11399.30	11494.40
83.0	0.565971	1588.91	3467.90	5280.36	6300.87	7420.93	8265.65	9880.79	10249.65	11327.01	11421.51
83.5	0.563627	1582.33	3453.53	5258.49	6274.77	7390.19	8231.41	9839.86	10207.20	11280.10	11374.20
84.0	0.561282	1575.75	3439.17	5236.62	6248.68	7359.45	8197.17	9798.94	10164.74	11233.18	11326.89
84.5	0.558380	1567.60	3421.39	5209.54	6216.36	7321.40	8154.78	9748.27	10112.18	11175.09	11268.32
85.0	0.555427	1559.31	3403.29	5181.99	6183.49	7282.68	8111.66	9696.71	10058.70	11115.99	11208.73
85.5	0.551967	1549.60	3382.09	5149.71	6144.97	7237.31	8061.13	9636.31	9996.04	11046.75	11138.91
86.0	0.548405	1539.60	3360.27	5116.48	6105.32	7190.61	8009.11	9574.13	9931.54	10975.46	11067.03
86.5	0.546061	1533.02	3345.90	5094.60	6079.22	7159.87	7974.87	9533.20	9889.08	10928.54	11019.72
87.0	0.543717	1526.44	3331.54	5072.73	6053.12	7129.13	7940.63	9492.27	9846.63	10881.63	10972.41
87.5	0.540155	1516.44	3309.72	5039.51	6013.47	7082.44	7888.63	9430.10	9782.14	10810.36	10900.55
88.0	0.536797	1507.01	3289.14	5008.17	5976.08	7038.40	7839.58	9371.47	9721.31	10743.14	10832.77
88.5	0.533844	1498.72	3271.04	4980.62	5943.21	6999.68	7796.45	9319.91	9667.83	10684.04	10773.17
89.0	0.530942	1490.57	3253.26	4953.55	5910.90	6961.63	7754.07	9269.25	9615.28	10625.97	10714.62

89.5	0.528006	1482.33	3235.27	4926.15	5878.21	6923.13	7711.19	9217.99	9562.10	10567.20	10655.36
90.0	0.525188	1474.42	3218.01	4899.87	5846.85	6886.19	7670.04	9168.81	9511.09	10510.82	10598.51
90.5	0.522844	1467.84	3203.65	4878.00	5820.75	6855.46	7635.81	9127.88	9468.63	10463.90	10551.20
91.0	0.520500	1461.26	3189.28	4856.13	5794.65	6824.72	7601.57	9086.95	9426.18	10416.98	10503.89
91.5	0.518054	1454.39	3174.29	4833.30	5767.42	6792.64	7565.84	9044.25	9381.88	10368.03	10454.52
92.0	0.515608	1447.53	3159.31	4810.49	5740.19	6760.58	7530.13	9001.55	9337.59	10319.08	10405.17
92.5	0.513112	1440.52	3144.01	4787.20	5712.40	6727.85	7493.68	8957.97	9292.38	10269.13	10354.80
93.0	0.510615	1433.51	3128.72	4763.91	5684.61	6695.11	7457.21	8914.38	9247.17	10219.16	10304.41
93.5	0.508170	1426.64	3113.73	4741.09	5657.38	6663.05	7421.50	8871.69	9202.88	10170.21	10255.06
94.0	0.505724	1419.78	3098.75	4718.27	5630.15	6630.98	7385.78	8829.00	9158.59	10121.27	10205.71
94.5	0.503278	1412.91	3083.76	4695.45	5602.92	6598.91	7350.05	8786.29	9114.29	10072.31	10156.34
95.0	0.500832	1406.04	3068.77	4672.64	5575.70	6566.84	7314.34	8743.60	9070.00	10023.37	10106.99
95.5	0.498387	1399.18	3053.79	4649.82	5548.47	6534.78	7278.62	8700.90	9025.72	9974.43	10057.64
96.0	0.495941	1392.31	3038.80	4627.00	5521.24	6502.70	7242.90	8658.19	8981.41	9925.47	10008.28

Tabla 4.13: GASTOS CORRESPONDIENTES A CADA PERIODO DE RETORNO DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DOBLE GUMBEL PARA EL SITIO DEL P.H. LA PAROTA

Tr (años)	Volumen (hm ³)
2	520.79
5	1136.65
10	1730.71
20	2065.19
50	2432.31
100	2709.17
500	3238.56
1000	3359.46
5000	3712.58
10000	3743.55

Tabla 4.14: VOLÚMENES CORRESPONDIENTES A CADA PERIODO DE RETORNO DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DOBLE GUMBEL PARA EL SITIO DEL P.H. LA PAROTA

4.2. CURVA ELEVACIONES – ÁREA – CAPACIDADES

Considerando las particularidades estacionales de los ríos en el país, esto es, escurrimientos escasos en la temporada de estiaje y caudalosos en avenidas, las centrales hidroeléctricas requieren disponer de embalses con capacidad de almacenamiento suficiente para aprovechar en un alto porcentaje los volúmenes de escurrimiento anual.

Las curvas que se consideraron para este análisis van desde la elevación 18 msnm que es donde se desplanta la cortina hasta la elevación 182 msnm donde se encuentra el NAME (más 2 metros de bordo libre. Para el cálculo de esta curva, se hizo uso de tres softwares; como primer punto, se localizó el polígono del embalse en Google Earth Pro (Figura 4.11), posteriormente dichos datos se asociaron al software Global Mapper (Figura 4.12) para generar las curvas de nivel de la zona y por último AutoCAD Civil 3D (Figura 4.13), con el cual se obtuvieron los volúmenes y áreas aproximadas correspondientes al embalse, siendo conformada la curva Elevaciones – Áreas – Capacidades (EAC), la cual se presenta gráficamente en la Figura 4.14 y los datos de esta en la Tabla 4.15.

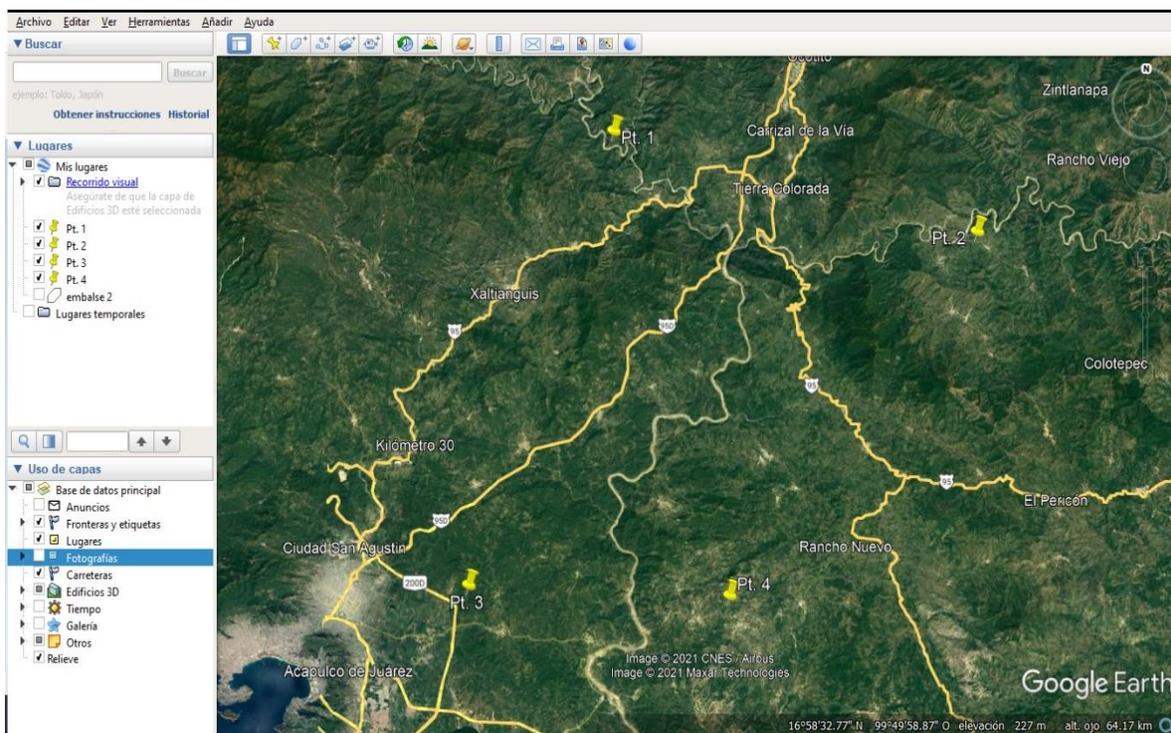


Figura 4.11: LOCALIZACIÓN DEL POLÍGONO DEL EMBALSE POR MEDIO DEL SOFTWARE GOOGLE EARTH PRO

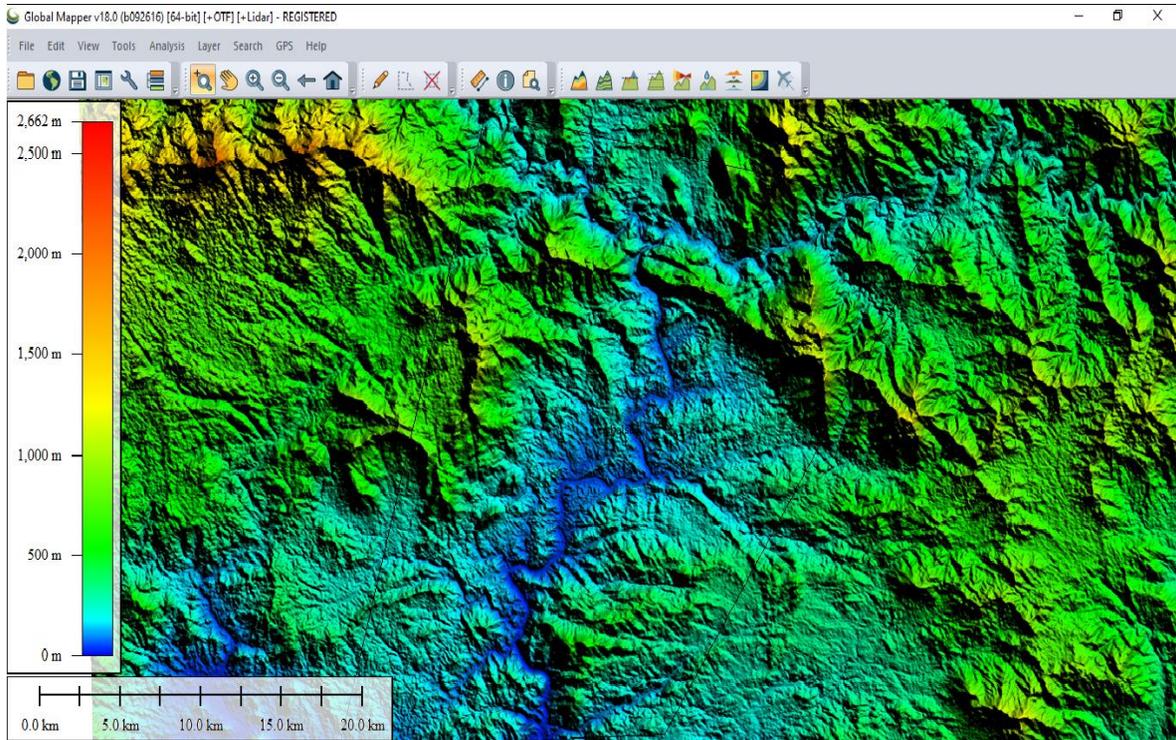


Figura 4.12: GENERACION DE DATOS DE ELEVACIONES CON AYUDA DEL SOFTWARE GLOBAL MAPPER V.18

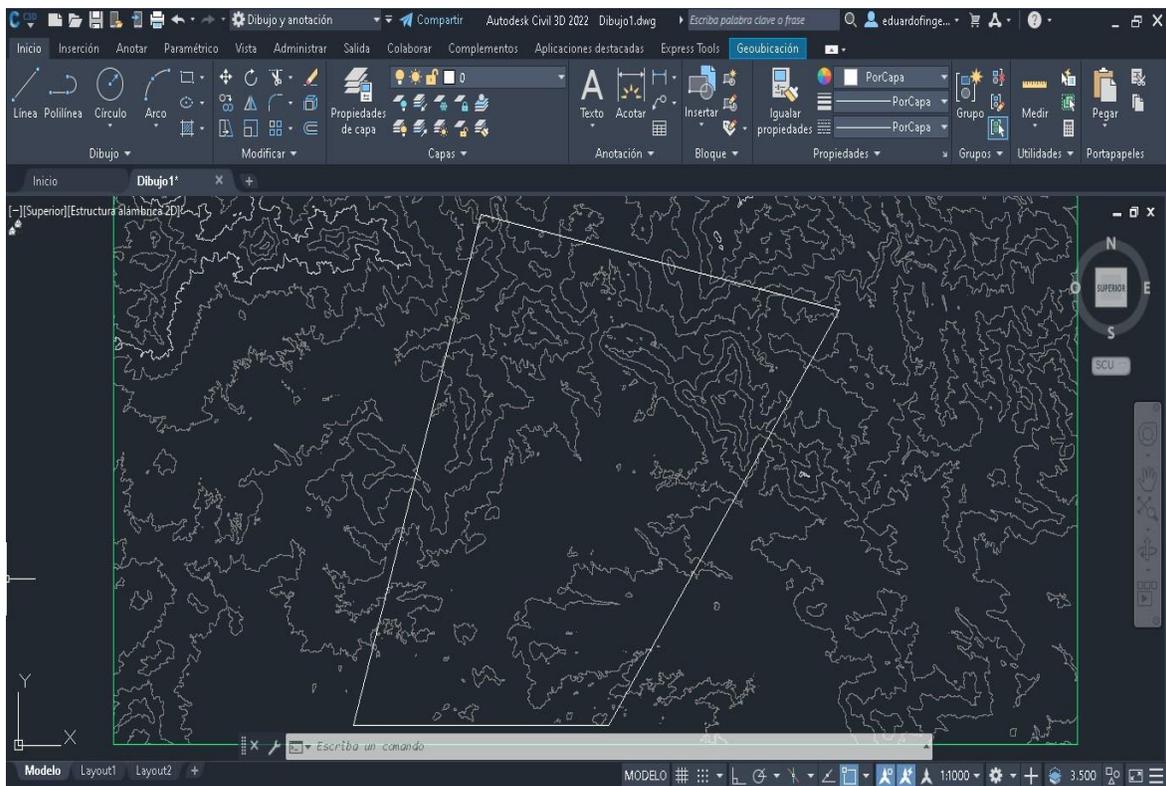


Figura 4.13: ANÁLISIS DE ÁREAS POR CURVAS DE NIVEL EN EL SITIO DEL EMBALSE DEL P.H. LA PAROTA CON AYUDA DEL SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D

CURVA ELEVACIÓN – ÁREAS - CAPACIDADES		
Elevación (msnm)	Áreas (km²)	Volumen (Hm³)
18	0.00	0
23	0.06	0.28
28	0.44	2.48
33	1.28	8.86
38	2.42	20.96
43	3.68	39.36
48	5.01	64.38
53	6.61	97.42
58	8.67	140.79
63	11.09	196.23
68	13.53	263.90
73	16.21	344.97
78	19.14	440.65
83	22.13	551.32
88	25.32	677.93
93	28.73	821.60
98	32.53	984.24
103	36.80	1168.24
108	41.51	1375.77
113	46.57	1608.62
118	52.02	1868.70
123	58.13	2159.37
128	65.31	2485.92
133	73.24	2852.10
138	81.38	3259.00
143	89.92	3708.61
148	99.06	4203.91
153	108.66	4747.18
158	118.61	5340.24
163	128.71	5983.78
168	138.94	6678.46
173	149.59	7426.39
178	160.54	8229.12
183	171.69	9087.55
188	182.92	10002.13
193	194.16	10972.93
198	205.60	12000.93

Tabla 4.15: ÁREAS Y CAPACIDADES A CADA ELEVACION DEL SITIO DEL EMBALSE PARA EL P.H. LA PAROTA GENERADO CON EL SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D

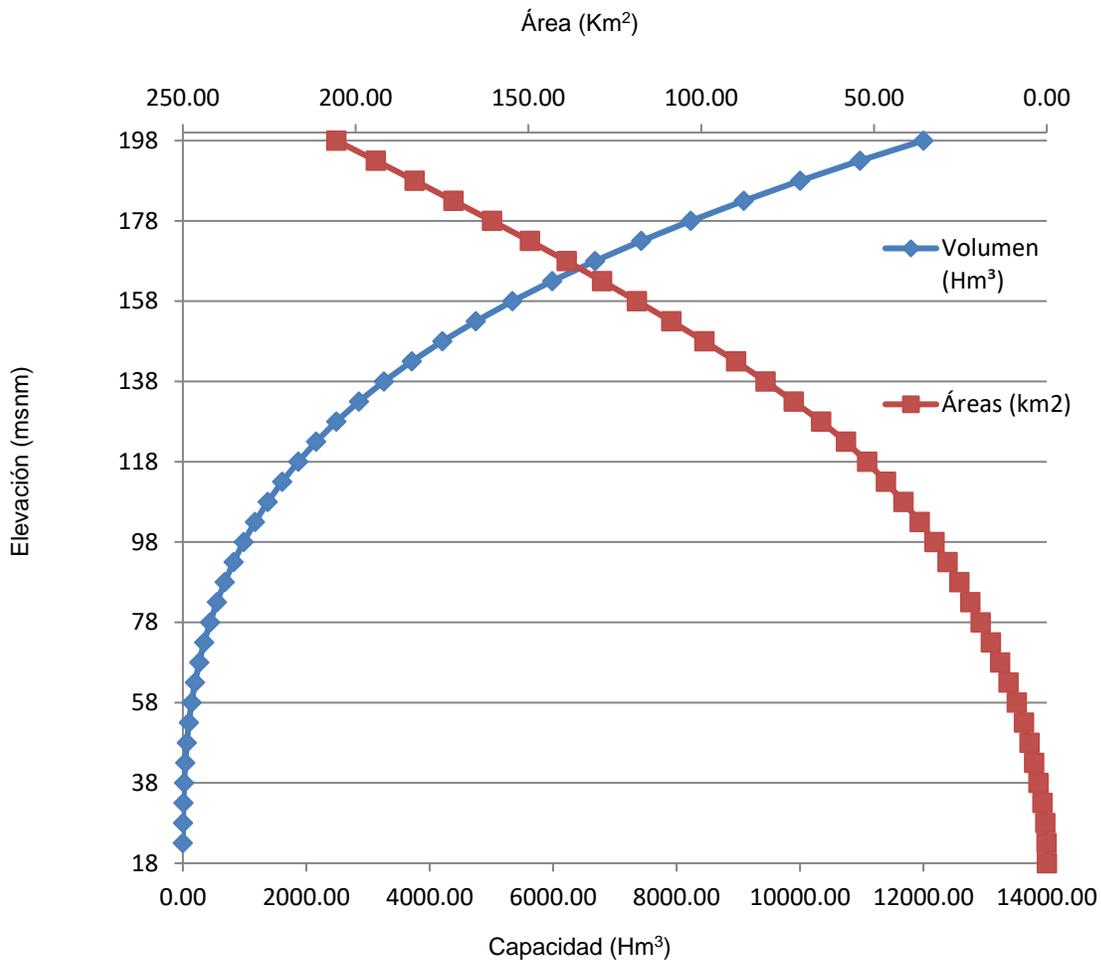


Figura 4.14: CURVA ELEVACIONES – ÁREAS – CAPACIDADES DEL EMBALSE CORRESPONDIENTE AL P.H. LA PAROTA

4.3. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA ÓPTIMA

Todo proyecto hidroeléctrico debe de estar basado en estudios que sustenten la viabilidad y el correcto funcionamiento para la generación de electricidad. Estos estudios se basan en los datos hidrológicos de la cuenca, los equipos a utilizar, (tomando en cuenta el sistema eléctrico al que se abastecerá, y las especificaciones del proyecto), las características del embalse, así como aspectos económicos, ambientales y de ingeniería; por lo que resulta importante contar con la información necesaria para que con base en una metodología de prefactibilidad pueda ser analizadas las diferentes alternativas y por consiguiente, se elija la mejor opción para su instalación y operación.

El funcionamiento de vaso es uno de los métodos usados para determinar las características de un proyecto hidroenergético en cuanto a la capacidad útil más conveniente, la generación anual esperada, evaporación y volumen derramado, así como el gasto medio turbinado, carga neta, entre algunos otros aspectos. A continuación, se presenta el análisis efectuado a la propuesta de 900 MW de capacidad instalada que se menciona en el proyecto original.

4.3.1. Funcionamiento de Vaso

En el capítulo 2 se mencionó que el principal objetivo de un embalse es retener los volúmenes de agua provenientes de los escurrimientos generados por el río, presas situadas aguas arriba y de la precipitación directa en el vaso para su aprovechamiento hidráulico, ya sea para el control de avenidas, abastecimiento de agua, generación de energía eléctrica, etc.; es por eso que existe la necesidad de estudiar el comportamiento que tendrá el embalse durante su funcionamiento con respecto a las aportaciones que intervienen en el escurrimiento que llegan directo a él, además de los volúmenes de salida que se presenten para determinar una política de operación que contemple estos factores hidrológicos y asimismo los sociales, económicos y ambientales.

Se han propuesto diferentes métodos para el cálculo del volumen de un embalse para cubrir una demanda, entre ellas se encuentra el estudio de funcionamiento de un vaso, el cual es un método que por medio de información estadística nos ayuda a estimar los volúmenes almacenados que se presenten en un futuro en función de las características fisiográficas e hidrológicas de la cuenca del proyecto. Para llevar a cabo la simulación, son necesarios registros históricos de las estaciones hidrométricas y climatológicas que se encuentran en la zona del embalse.

Para la simulación de funcionamiento de vaso se hace uso de la ecuación de continuidad mostrada en el capítulo 2; en este proceso se usan intervalos de tiempo que varían con respecto al tamaño del embalse, por ejemplo, en embalses muy grandes donde la capacidad de regulación es anual, son usados intervalos mayores

de hasta un año, mientras que si son vasos de poca capacidad el intervalo puede ser de una semana o hasta de un día, normalmente la variación se toma de un mes.

Anteriormente se indicó que las entradas al vaso de almacenamiento provienen principalmente del escurrimiento del río, precipitación directa en el vaso, entradas por otras cuencas, etc., mientras que las salidas del embalse se encuentran formadas principalmente por los volúmenes extraídos para satisfacer las demandas requeridas dependiendo de la finalidad del embalse, así como las pérdidas ocasionadas por evaporación, infiltración y derrames a través de la obra de excedencias. De tal modo que la ecuación de continuidad se desarrolla de la siguiente manera:

$$E_{CP} + E_T + V_{LL} - V_{DEM} - V_{EVA} - V_{INF} - V_{DER} = \Delta V$$

donde:

- E_{CP} escurrimientos generados por la cuenca propia.
- E_T entradas por transferencia.
- V_{LL} volumen de lluvia en el vaso.
- V_{DEM} volumen extraído para satisfacer la demanda.
- V_{EVA} volumen evaporado.
- V_{INF} volumen infiltrado en el vaso.
- V_{DER} volumen derramado.

- Entradas al vaso

Los registros de los escurrimientos generados en la cuenca propia (E_{CP}), son obtenidos de manera directa por medio de las estaciones hidrométricas y climatológicas que se encuentran en la zona del embalse. No obstante, en algunos casos no se cuentan con estaciones sobre el mismo río del cual se reciben las aportaciones al embalse, por lo que es necesaria la extrapolación de registros provenientes de las estaciones más próximas a la localización del vaso.

Dependiendo de la información disponible y de donde provenga, esta será afectada por un factor que toma en cuenta el volumen de precipitación sobre los vasos, el área de las cuencas, el intervalo de registro, etc.

Este factor se calcula de la siguiente manera:

1. Si se cuenta con un gran intervalo de registro por parte de las estaciones hidrométricas, así como la información de las avenidas que se presentan directamente en el vaso, el factor “F” se calcula de la siguiente manera:

$$F = \frac{V_{llcp}}{V_{lle}}$$

donde:

V_{llcp} volumen de precipitación en la superficie de la cuenca propia, durante el intervalo de tiempo Δt .

V_{lle} volumen de precipitación directa sobre la cuenca asociada a la estación hidrométrica correspondiente, durante el intervalo Δt .

2. Si no se cuenta con información pluviométrica suficiente por parte de las estaciones hidrométricas, el factor es calculado como se muestra a continuación:

$$F = \frac{A_{cp}}{A_e}$$

donde:

A_{cp} área de cuenca propia

A_e área de cuenca correspondiente a la estación hidrométrica.

Por lo tanto las entradas por cuenca propia serán calculadas de la siguiente manera:

$$E_{CP} = F_1V_{e1} + F_2V_{e2} + F_3V_{e3} \dots F_nV_{en}$$

donde:

- F_i factor de corrección para la estación i .
- V_{e_i} volumen de escurrimiento registrado en la estación i .
- n número de estaciones hidrométricas consideradas.

Los ingresos de escurrimientos por transferencias (E_T) son originados de descargas de presas aguas arriba o de la transferencia desde otras cuencas a la que se encuentra en análisis para su aprovechamiento hidráulico.

El volumen de lluvia que se presenta directamente en el vaso (V_{LL}) se calcula mediante la altura de precipitación (hp) registrada en el intervalo de tiempo Δt , la cual debe ser multiplicada por el área de la superficie libre del vaso (\bar{A}) durante el mismo intervalo, esta área es obtenida directamente de la curva Elevaciones – Áreas – Capacidades, calculada mediante registros topográficos de la zona, por lo que se presenta la siguiente expresión referida a lo anterior:

$$V_{LL} = hp (\bar{A})$$

- Salidas del vaso

Las principales descargas del embalse se encuentran en función del propósito del aprovechamiento hidráulico, ya sea generación de energía, control de avenidas, riego, etc., por lo que el volumen extraído para satisfacer la demanda (V_{DEM}), se puede expresar de manera mensual, anual o dependiendo de la política de operación impuesta para satisfacer las demandas.

Se ha mencionado de la capacidad de una central hidroeléctrica para entrar y salir de operación con respecto a las demandas que se presenten, y así cubrir lo que las centrales a base de combustibles fósiles no son capaces de abastecer, no obstante, para que un proyecto resulte factible se deben realizar evaluaciones para

seleccionar el volumen adecuado con respecto a la demanda requerida que concuerde con los propósitos y características del aprovechamiento.

Para el cálculo de este volumen se deben considerar al menos tres escenarios a evaluar:

1. Cuando la extracción del gasto para satisfacer las demandas se presenta de manera constante durante todo el periodo del estudio, se determina usando la siguiente expresión:

$$E = 9.81 Q \bar{H} \eta \Delta t$$

donde:

E	energía generada en el intervalo Δt , en GW
η	eficiencia de la turbina.
Δt	intervalo de tiempo, s
Q	gasto de extracción, en m ³ /s
\bar{H}	nivel medio en el intervalo, en m.

2. Se considera una extracción variable tomando en cuenta que las aportaciones al vaso se ven reducidas en época de estiaje, por lo que con el objetivo de generar mayor energía cuando se presente la temporada de avenidas, se deben establecer políticas que cumplan la función de fijar los volúmenes extraídos para cada intervalo de tiempo.
3. Para la simulación de funcionamiento de vaso, en esta consideración se fija un valor de potencia instalada constante, para que con ayuda de la siguiente expresión se obtenga el volumen que se deberá extraer para cumplir:

$$V = \frac{P \Delta t}{9.81 \bar{H} \eta}$$

donde:

V	volumen extraído en el intervalo, en m ³
---	---

El volumen evaporado (V_{EVA}) se obtiene de estaciones climatológicas localizadas en la zona del embalse, esta es medida multiplicando la lámina evaporada de un evaporímetro ($EVAP$) en un intervalo de tiempo Δt , por el área del embalse (\bar{A}), se define por la siguiente expresión:

$$V_{EVA} = EVAP (\bar{A})$$

Para el cálculo de la lámina evaporada, los registros obtenidos de la estación climatológica en la zona del embalse deben ser afectados por un factor de corrección, el cual se encuentra en función de las características del evaporímetro, y en algunas ocasiones de las condiciones meteorológicas que se presenten. Dichos factores son presentados en tablas y graficas específicas para cada equipo a utilizar.

El valor del volumen infiltrado (V_{INF}) resulta no ser tan significativo en comparación con los antes ya mencionados y en algunas ocasiones no es tomado en cuenta. No obstante, existen casos donde las características geológicas del embalse requieran un estudio en específico el cual determine el grado de infiltración y brinde elementos para su medición.

Las entradas que llegan al vaso en algunas ocasiones alcanzan niveles superiores al NAMO, lo que pone en riesgo la infraestructura del embalse. Es así como resulta necesaria la descarga de estos volúmenes sobrantes por medio de la obra de excedencias. El registro de los volúmenes derramados (V_{DER}) se realiza de manera directa mientras el embalse se encuentre en funcionamiento, sin embargo cuando se encuentre en etapa de diseño, este será resultado de la simulación la cual, (como ya se mencionó anteriormente) depende de los niveles característicos y una política de operación que se encuentre en función de los objetivos del aprovechamiento hidráulico.

Una vez que se encuentra en operación la presa, es necesaria la contabilidad de los términos que conforman la ecuación de continuidad, por lo que el procedimiento es realizado de la siguiente forma:

- Es importante tomar el registro de las entradas al embalse como las transferencias de otras cuencas y los escurrimientos generados en la misma cuenca. Por lo que se deben tomar los valores registrados por las estaciones de la zona del embalse. En caso de no contar con alguna ya se explicó anteriormente el procedimiento para indicar el volumen estimado con respecto al área faltante.
- Se presentan los volúmenes de lluvia sobre el embalse, donde se debe calcular el área media de la superficie libre del agua al inicio y al final del intervalo mediante la siguiente expresión:

$$\bar{A} = 0.50 (A_i + A_f)$$

donde:

A_i área del embalse al inicio del intervalo, m²

A_f área del embalse al final del intervalo, m²

- Una vez obtenido todos los registros de los ingresos al embalse, se realiza la suma de estos tres.
- Se indica el volumen entregado para satisfacer la demanda
- Se procede al cálculo de las salidas del embalse; el valor del volumen evaporado y el volumen derramado, si es el caso de que exista algún valor.
- Los valores de la curva Elevación – Áreas – Capacidades del embalse deben ser presentados en esta parte de la contabilidad con respecto al periodo analizado.
- Se calcula la variación del volumen almacenado con respecto al periodo de análisis.
- Se realiza una comparación de la ecuación de continuidad mostrada anteriormente con el volumen calculado al final del periodo.

Ciertos términos presentados dependen de la última simulación realizada en el periodo; otros dependen de la elevación y el área del embalse al final del intervalo, por lo anterior resulta necesaria la solución de un conjunto de ecuaciones que se

relacionen entre sí, por lo que la ecuación de continuidad presentada anteriormente para cada periodo de tiempo se desglosa de la siguiente manera respecto al planteamiento operativo de la CFE:

$$V_{t+1} = V_i + X_i - S_i + \bar{P}_{i,i+1}$$

$$V_{min} \leq V_{i+1} \leq V_{NAMO}$$

donde:

V_{t+1} volúmenes almacenados al final y al principio del intervalo de tiempo Δt .

X_i volumen que ingresa al vaso durante el intervalo Δt que no dependen del área y nivel. (E_{CP}, E_T)

S_i salidas del embalse para satisfacer la demanda durante el intervalo Δt . (V_{DEM})

$\bar{P}_{t,i+1}$ términos que dependen del nivel y área media en el vaso durante el intervalo Δt . (V_{LL}, V_{EVA}, V_{INF})

V_{min} volumen mínimo aceptable en el vaso (NAMINO).

V_{NAMO} volumen correspondiente al NAMO.

Se sigue el siguiente procedimiento para la simulación de funcionamiento del vaso:

- La simulación inicia seleccionando una elevación inicial (generalmente se inicia en el NAMO) en un periodo de tiempo (que normalmente es cada mes) con sus valores correspondientes del volumen almacenado y área de la superficie libre del embalse; con ayuda del volumen de entradas y las descargas en función de la demanda, es que se obtiene una primera aproximación al volumen final, representado por la siguiente expresión, donde con el super índice se indica que se trata de un valor n-ésimo:

$$V_{t+1}^1 = V_i + X_i - S_i$$

- Una vez obtenido la aproximación al volumen final en el paso anterior, con los valores seleccionados de h_{t+1} y A_{t+1} y se procede a determinar los

valores de elevación y área del embalse medios (\bar{h} y \bar{A} respectivamente), expresados de la siguiente manera:

$$\bar{h} = 0.50 (h_t + h_{t+1})$$

$$\bar{A} = 0.50 (A_t + A_{t+1})$$

- A continuación, se realiza una nueva aproximación del volumen al final del intervalo Δt , considerando en esta ocasión los volúmenes que dependen directamente del nivel y área de la superficie libre del embalse, donde la ecuación del volumen final queda desglosada de la siguiente manera:

$$V_{t+1}^2 = V_i + X_i - S_i + (V_{LL}(\bar{A}) - V_{EVA}(\bar{A}) - V_{INF}(\bar{A}))$$

- Si el volumen anterior calculado V_{i+1}^2 no es similar a V_{i+1}^1 se repite de nuevo el procedimiento desde el cálculo de \bar{h} y \bar{A} , hasta que se cumpla $V_{i+1}^n \approx V_{i+1}^{n+1}$, donde se recomienda seguir con el siguiente criterio de semejanza:

$$|V_{t+1}^{n+1} - V_{t+1}^n| \leq \frac{V_{NAMO}}{100}$$

- Una vez calculado el resultado del volumen final en ese periodo, se compara con el V_{min} y V_{NAMO} ; si el valor de $V_{t+1} > V_{NAMO}$, se toma el registro de un volumen derramado que es igual a la diferencia de estos mismos ($V_{t+1} - V_{NAMO}$) y se considera: $V_{t+1} = V_{NAMO}$; por otro lado si $V_{t+1} < V_{min}$, se registra un déficit igual a la diferencia de estos ($V_{t+1} - V_{min}$) y se considera: $V_{t+1} = V_{min}$. Posterior, se continua con el calculo para el siguiente periodo de tiempo desde el cálculo del primer volumen hasta el último.

Con respecto al último volumen almacenado el proceso finalizar determinando si se presenta un déficit en el vaso donde se muestra si este es menor al NAMINO o si se presentan derrames donde el nivel sea mayor al NAMO.

4.3.2. Potencia media

El funcionamiento de vaso determina los datos energéticos de la corriente que abastecerá al sistema eléctrico, donde los resultados como la capacidad útil, gasto medio aprovechado, volumen medio anual derramado, evaporación media anual, y la generación media anual esperada son los que determinarán las características energéticas del proyecto hidroeléctrico.

La generación media anual es indispensable para conocer la potencia instalada de una central hidroeléctrica en donde esta debe al menos cumplir con el 95% de la generación media anual, es decir, se establece que tendrá un déficit de la misma, de tan solo 5% en todo el periodo. Anteriormente el diseño de un proyecto hidroeléctrico se inclinaba a ser clasificado como plantas de pico o punta, en donde las centrales operan generalmente durante las horas donde se tiene una mayor demanda de energía en el sistema eléctrico y no todo el tiempo. No obstante, actualmente se pueden presentar centrales de base que son las que suministran energía de forma continua.

La potencia media se encuentra en función de la generación de electricidad media anual promediada, entre el número de horas de un año, representada por la siguiente expresión:

$$P_{med} = \frac{\text{Generación Media Anual } GWh}{\text{Horas del año } h}$$

Asimismo, la potencia media se puede obtener por medio de los datos obtenidos en la simulación de funcionamiento de vaso que se define con la siguiente expresión:

$$P_{med} = \eta \gamma Q_m H_n \left(\frac{9.81}{1000} \right) kW$$

donde:

γ peso volumétrico del agua, kgf/m^3

Q_m	gasto medio turbinado, m ³ /s
H_n	carga neta, m
η	eficiencia total del conjunto turbogenerador, %

La expresión anterior se encuentra en función de las características del aprovechamiento hidráulico, donde el gasto medio aprovechado y la carga neta son el resultado de las simulaciones realizadas. Esta última es producto del planteamiento de la ecuación de la energía del vaso de almacenamiento al desfogue, considerando la carga estática, pérdidas de energía y la carga de velocidad.

Con los valores de potencia media calculados es que se selecciona el tipo y cantidad de turbinas que se usaran en el proyecto hidroeléctrico para cumplir con los objetivos de este mismo.

El factor de planta es una indicación del uso de la capacidad de la central en el tiempo y resulta definido por el cociente entre la potencia media (generalmente anual) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período (capacidad instalada).

$$f.p. = \frac{\text{Potencia Media}}{\text{Capacidad Instalada}}$$

Un factor de planta que se encuentre por debajo de un valor de 0.4 define a una central hidroeléctrica de pico, mientras que si es mayor de 0.4 se denomina completamente de base.

4.3.3. Simulación de funcionamiento de vaso para el P.H. “La Parota”

Los estudios previos para el dimensionamiento de un embalse se encargan de definir el potencial hidrológico del río con el que abastecerá al sistema hidroeléctrico. En el presente capítulo, se han presentado las características hidrológicas donde se localiza el embalse del P.H. “La Parota”, las cuales por medio de la simulación

de funcionamiento de vaso se definirá la política de operación del embalse, así como la cantidad de energía producida.

En el proyecto original se menciona que con respecto a los estudios realizados la potencia instalada óptima es de 900 MW. A continuación, se presenta un análisis de dicha potencia así como de 300 y 600 MW, con el fin de observar el comportamiento del embalse y obtener la energía generada.

Para la simulación de funcionamiento de vaso se hace uso del software “Funcionamiento de Vasos en Visual Basic 2005”⁶⁷. Para el uso del software se tendrán que llenar los datos referentes a la matriz de escurrimiento, la curva Elevaciones – Áreas – Capacidades, así como las evaporaciones netas del embalse.

En la primera ventana se requieren datos con respecto a los niveles de operación del embalse, la eficiencia en el sistema se ingresa la considerada en el proyecto original de 98%, así como la demanda inicial para la generación de energía y el gasto ecológico a emplear. El gasto ecológico es considerado debido a que en los últimos años ha incrementado las preocupaciones con respecto al impacto ambiental, por lo que resulta importante considerarlo para la preservación del ecosistema. En este caso son considerados distintos porcentajes con respecto al estudio de impacto ambiental. Este porcentaje se restará de la matriz de escurrimientos correspondiente al periodo de tiempo analizado. En el proyecto original se menciona que se debe considerar de 10 a 30 m³/s durante la etapa de llenado, en este caso serán considerados 10 hm³ como valor constante a ingresar en el software. A continuación, se presentan los datos ingresados en el programa en la Figura 4.15:

⁶⁷ Huerta Loera Sadoth Fabián, **Funcionamiento de Vasos**, UNAM, México, 2010.

Datos de entrada

Almacenamiento: embalse2

Intervalo del Funcionamiento: Mensual

Namo: 175 msnm Constante

Namino: 143 msnm Constante

Nivel Inicial en el Vaso: 175 msnm

Constante Nivel en el Desfogue: 18 msnm

Eficiencia en el Sistema: 98 %

Carga de Diseño: 150 m Ajuste de Carga

Volumen Demanda Inicial: 20 Hm³ Constante

Déficit en el Sistema: 5 %

Constante Volumen Ecológico: 10 Hm³

Constante Volumen Comprometido: 0 Hm³

Matriz de Escurremientos

Matriz de Escurremientos

Almacenamiento: embalse2

Año Inicial: 1953

Matriz de Escurremientos Hm³

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
▶	104.5	72.1	62.6	51.2	52.9	98.4
	93.3	74.0	69.2	66.4	91.1	206.1
	102.5	71.4	63.0	48.9	46.9	89.2
	104.3	71.9	71.0	60.6	86.8	264.4
	82.5	60.0	56.3	48.5	47.4	105.1
	108.0	67.7	64.3	56.1	57.3	120.1
	167.0	95.4	77.9	64.5	59.9	137.1
	86.5	64.3	56.0	46.2	51.9	56.9
	74.1	57.3	57.8	51.8	51.4	132.1
	143.8	117.0	108.8	100.5	106.9	139.1
	137.7	95.9	95.2	74.8	88.6	113.1
	118.0	81.9	70.8	55.7	71.2	165.1
	121.5	80.5	72.0	58.0	50.3	125.1

Curva EAC

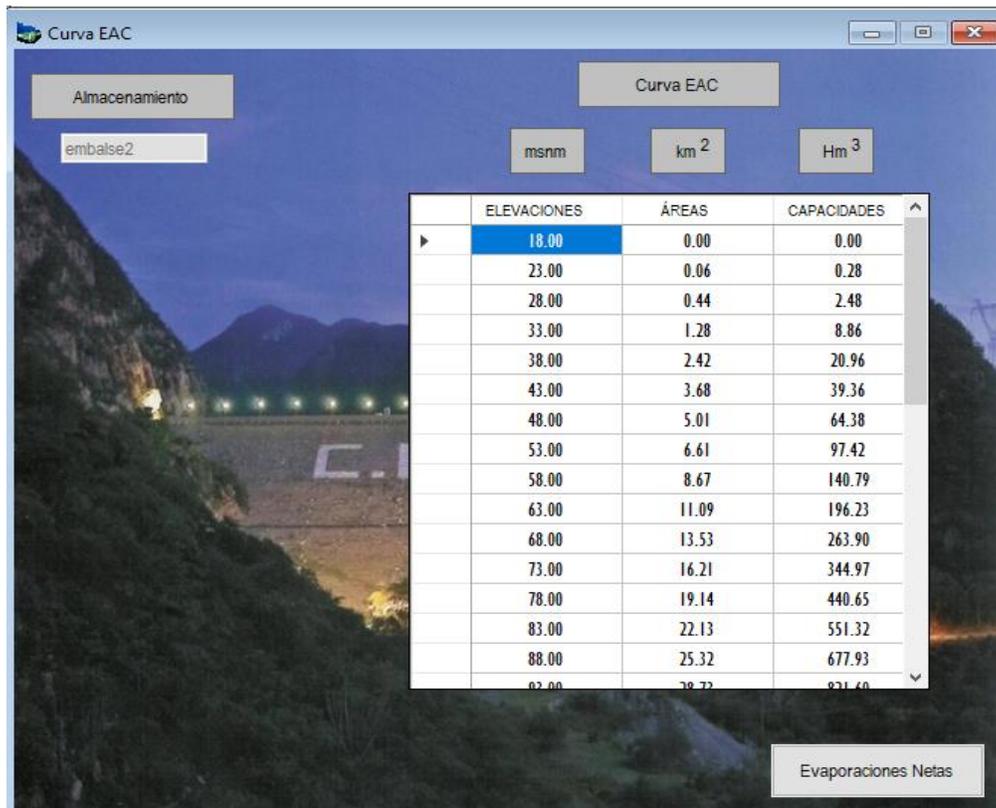


Figura 4.15: DATOS INGRESADOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VASO DEL P.H. LA PAROTA CON UNA CAPACIDAD INSTALADA DE 900 MW

Los datos ingresados al software que se pueden observar en la Figura 4.15, corresponden a datos que se encuentran en el proyecto original como son los niveles de operación (NAMO, NAMINO), déficit del sistema, demandas y gasto ecológico, los restantes fueron obtenidos directamente de las fuentes de información correspondiente a cada uno (BANDAS, INEGI, CONAGUA, SEMARNAT, etc.), mostrados anteriormente en el presente capítulo.

En el caso específico de la matriz de escurrimientos ingresada en el software para la simulación del funcionamiento de vaso, fue necesaria la correlación de los datos de las estaciones Agua Salada y El Puente en relación con los de La Parota para completar el periodo de análisis hasta el año 2007; los datos de la nueva matriz de escurrimientos en hm^3 (como se ingresa en el software) se presentan a continuación:

**VOLUMEN DE ESCURRIMIENTOS CON DATOS CORRELACIONADOS ESTACIONES
HIDROMÉTRICAS AGUA SALADA Y EL PUENTE CON RESPECTO A LA PAROTA (hm³)**

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL [m ³]
1953	104.52	72.12	62.60	51.19	52.92	98.43	184.48	318.05	394.51	355.98	200.01	105.23	2000.02
1954	93.26	74.02	69.23	66.41	91.14	206.94	450.56	425.75	761.46	926.54	225.32	137.65	3528.28
1955	102.51	71.36	62.99	48.92	46.91	89.21	513.80	575.27	903.74	804.11	278.53	159.50	3656.85
1956	104.31	71.92	71.01	60.57	86.76	264.43	556.69	356.55	719.56	359.05	170.62	125.14	2946.60
1957	82.53	59.99	56.35	48.51	47.39	105.30	164.67	288.71	385.07	298.86	128.68	91.60	1757.64
1958	107.96	67.68	64.31	56.13	57.32	120.92	324.95	554.60	640.05	481.42	410.31	253.96	3139.61
1959	167.03	95.41	77.90	64.54	59.93	137.53	225.68	401.70	346.42	506.42	237.38	125.38	2445.32
1960	86.46	64.31	56.03	46.20	51.88	56.90	159.19	220.03	367.60	334.97	237.64	108.02	1789.21
1961	74.09	57.27	57.83	51.83	51.37	132.34	254.69	348.91	749.83	293.48	404.04	178.15	2653.83
1962	143.77	116.98	108.76	100.52	106.86	139.00	249.03	284.35	649.62	535.50	225.79	160.92	2821.09
1963	137.68	95.90	95.16	74.80	88.63	113.20	405.96	736.11	960.47	1042.77	299.82	177.09	4227.61
1964	118.03	81.89	70.77	55.71	71.25	165.64	637.76	664.84	1249.29	675.58	263.67	162.63	4217.06
1965	121.47	80.50	72.88	58.91	59.31	125.32	236.01	456.77	734.28	665.31	254.54	153.08	3018.39
1966	112.75	81.66	81.16	70.27	83.03	137.71	368.14	641.63	931.51	725.08	272.66	165.41	3670.99
1967	123.11	87.28	71.82	63.17	80.43	283.00	487.61	577.71	3008.89	1425.02	381.65	169.60	6759.28
1968	139.18	111.97	101.88	90.96	122.97	173.29	475.31	687.07	903.56	703.75	307.32	214.69	4031.95
1969	113.55	66.69	62.61	43.80	37.46	87.60	290.30	1077.62	1421.47	758.79	313.00	169.36	4442.28
1970	103.57	59.38	40.75	27.26	24.69	200.61	636.18	1261.27	2014.56	1054.64	382.12	205.69	6010.69
1971	133.65	82.05	73.99	62.22	58.22	185.49	389.01	636.40	1131.41	885.33	276.87	159.16	4073.81
1972	107.29	76.55	64.64	55.75	60.95	246.83	459.47	506.65	639.17	383.56	217.60	151.10	2969.57
1973	72.47	30.48	25.39	27.52	26.56	402.85	586.54	817.31	1787.94	1064.36	413.88	226.77	5482.07
1974	114.07	57.77	44.45	24.56	28.78	595.98	691.68	645.46	1735.32	618.11	227.83	138.42	4922.44
1975	84.94	55.95	47.57	33.94	57.32	231.85	428.79	768.39	1264.27	457.36	215.29	613.14	4258.81
1976	96.02	66.35	54.26	43.57	44.19	131.21	237.34	314.69	449.37	1421.44	298.46	184.04	3340.93
1977	130.32	87.24	73.62	57.52	72.27	183.24	285.71	428.15	566.71	469.33	200.45	142.05	2696.61
1978	92.03	65.08	57.50	48.75	72.53	245.43	689.00	595.42	833.30	649.29	274.81	159.82	3782.96
1979	119.45	87.98	71.85	60.28	68.97	109.01	295.76	661.40	1444.40	380.83	200.15	124.54	3624.61
1980	147.37	87.80	72.01	64.51	67.67	127.31	338.93	860.60	875.85	584.38	288.80	208.38	3723.62
1981	94.77	58.15	43.24	39.74	21.66	316.35	736.75	1407.13	1593.76	1516.83	469.66	250.34	6548.38
1982	138.80	95.37	81.44	71.20	83.35	115.79	278.65	261.40	387.59	344.36	148.82	98.61	2105.40
1983	76.56	64.77	61.25	46.29	47.18	115.36	462.39	398.04	802.79	469.32	237.08	143.35	2924.40
1984	108.43	68.65	52.21	44.17	54.86	245.54	740.97	999.73	3594.59	620.01	288.65	173.69	6991.49
1985	129.60	79.64	67.04	52.52	58.35	249.93	507.38	950.18	709.79	486.40	240.84	151.07	3682.74
1986	97.05	70.57	59.96	49.40	57.95	296.63	514.95	438.21	636.38	416.50	194.31	136.59	2968.51
1987	90.34	63.35	59.42	50.52	56.99	240.10	556.61	704.29	677.81	395.44	150.21	105.55	3150.63
1988	76.80	54.97	44.52	36.79	35.15	288.99	689.69	1236.44	1512.16	493.91	221.65	144.88	4835.96
1989	96.92	62.72	58.87	47.05	48.07	264.56	394.72	792.33	1886.04	1005.85	331.30	179.63	5168.04
1990	117.91	86.40	70.72	67.77	81.02	178.26	533.44	576.43	601.23	629.71	336.13	201.71	3480.74
1991	118.03	71.01	63.57	51.25	50.59	191.97	388.58	466.47	581.17	882.42	301.02	168.17	3334.28
1992	115.94	103.13	62.47	49.40	69.34	121.58	406.76	723.82	1050.84	934.63	368.30	210.69	4216.90
1993	129.22	84.12	65.86	52.46	49.13	289.48	1173.82	805.84	1391.53	726.41	349.48	198.93	5316.28
1994	124.78	79.51	66.55	54.39	52.80	144.25	201.01	417.05	497.39	557.98	230.89	143.13	2569.74

1995	83.08	59.12	47.23	36.43	58.05	211.95	503.32	1260.02	1102.02	578.58	258.72	173.06	4371.58
1996	101.10	57.28	45.73	33.25	41.25	349.30	583.96	1080.03	923.48	1303.27	303.38	176.95	4998.98
1997	103.26	80.91	39.78	26.55	53.16	142.42	311.76	262.02	553.05	1230.05	254.05	137.96	3194.97
1998	112.05	69.93	58.87	44.91	42.96	113.14	331.32	572.52	1429.85	1176.12	420.87	194.39	4566.93
1999	154.62	91.25	76.52	59.71	60.49	195.25	500.48	826.42	1407.99	1206.66	334.75	183.79	5097.92
2000	117.83	81.63	56.87	44.03	84.28	363.97	338.27	706.31	1121.68	653.19	232.05	140.70	3940.81
2002	111.64	70.40	64.00	40.88	51.64	221.22	489.11	497.06	836.25	442.73	190.03	127.60	3142.58
2003	104.82	67.59	57.27	44.47	57.67	191.80	379.12	312.68	673.10	680.36	958.74	229.41	3757.02
2004	130.98	80.96	59.47	40.98	40.31	205.51	508.96	574.65	918.94	878.68	294.13	163.38	3896.94
2005	130.94	82.91	66.13	53.86	63.84	243.03	332.80	575.58	970.95	940.01	329.47	179.44	3968.95
2006	134.76	85.08	74.53	55.32	53.34	150.14	644.71	662.42	889.70	698.70	241.79	156.42	3846.91
2007	108.91	77.01	66.83	54.73	68.12	238.62	454.74	586.32	1153.79	1292.35	543.88	275.78	4921.08

Tabla 4.16: MATRIZ DE ESCURRIMIENTOS CON DATOS CORRELACIONADOS INGRESADA AL SOFTWARE DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS AGUA SALADA Y EL PUENTE CON RESPECTO A LA PAROTA (1953 – 2007) (hm³)

Una vez ingresado al software los datos anteriores, se procede a realizar la simulación para distintas potencias instaladas, incluyendo la que se propone en el proyecto original de 900 MW, con el fin de realizar una comparación y observar el comportamiento del embalse y la energía producida en relación con el incremento de la potencia. En la Figura 4.16, se muestra un gráfico que representa la generación de energía total, firme y secundaria, así como el valor del factor de planta correspondiente a cada potencia instalada para el proyecto hidroeléctrico.

Se puede observar que una potencia de 300 MW en comparación con la propuesta del proyecto original de 900 MW, no presentan mucha diferencia en relación con el total de energía generada, ya que este valor se mantiene con muy pocas variaciones, casi de manera constante con la mayoría de las propuestas de potencias instalables; partiendo de lo anterior, una potencia entre los 300 y 400 MW se puede concluir que tiene casi el mismo aprovechamiento energético que potencias mayores como la que es propuesta en el proyecto.

No obstante, el comportamiento del factor de planta referente al incremento de la potencia instalable y la energía total entregada debe ser considerado para la selección de la potencia a instalar. El factor de planta se encuentra en función de la potencia media y, como se vio anteriormente, la potencia media está en función de

la generación media anual y el número de horas en las que operará el equipo, esto quiere decir que aunque una potencia instalada de 300 MW arroje una generación total, similar a una capacidad de 900 MW, el factor de planta resulta mayor en la primera alternativa debido a que la operación de los equipos requiere mayor número de horas a lo largo del día para cumplir con la energía total. En la Tabla 4.17 se presentan los valores correspondientes al gráfico de la Figura 4.16 donde se muestra el comportamiento del sistema hidroeléctrico con respecto al incremento de la potencia instalada.

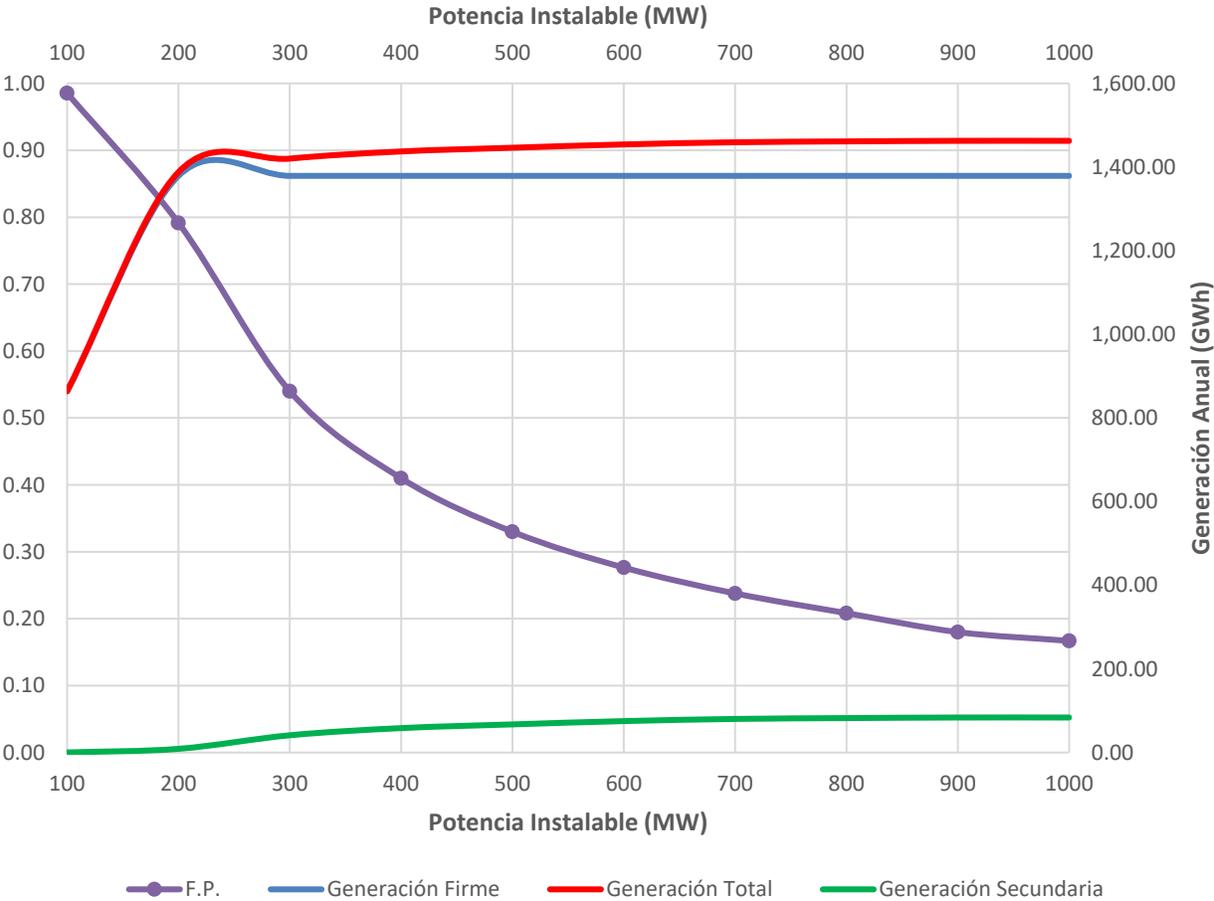


Figura 4.16: GRÁFICO DE DIFERENTES POTENCIAS INSTALABLES VS LA GENERACIÓN ANUAL TOTAL

(Gráfico realizado con datos obtenidos de la simulación de funcionamiento de vaso en el software "Funcionamiento de Vasos en Visual Basic 2005")

RESUMEN GENERAL DE LA SIMULACIÓN PARA DISTINTAS POTENCIAS INSTALADAS										
Potencia Instalable [Mw]	Potencia Media [Mw]	Número de Horas [h]	Carga Bruta de Diseño [m]	Demanda mensual [Hm ³]	Volumen turbinado [Hm ³]	Generación media anual [GWh]			F.P.	Déficit [%]
						Firme	Secundaria	Total		
100	98.54	23.65	156.49	182.76	2,083.91	863.65	0.18	863.83	0.99	5
200	158.31	19.00	147	314.35	3,604.82	1,378.83	8.87	1,387.70	0.79	5
300	162.00	12.96	147	314.36	3,682.05	1,378.84	41.24	1,420.08	0.54	5
400	163.96	9.84	147	314.20	3,722.96	1,378.83	58.40	1,437.24	0.41	5
500	164.97	7.92	147	314.32	3,744.06	1,378.83	67.25	1,446.08	0.33	5
600	165.86	6.63	147	314.35	3,762.87	1,378.83	75.14	1,453.97	0.28	5
700	166.46	5.71	147	314.36	3,775.28	1,378.85	80.30	1,459.16	0.24	5
800	166.69	5.00	147	314.51	3,780.22	1,378.83	82.41	1,461.24	0.21	5
900	166.84	4.45	147	314.36	3,783.38	1,378.85	83.71	1,462.56	0.19	5
1000	166.85	4.00	147	314.21	3,783.41	1,378.84	83.73	1,462.58	0.17	5

Tabla 4.17: RESUMEN GENERAL DE LA SIMULACION PARA DISTINTAS POTENCIAS INSTALADAS.

(Datos obtenidos de la simulación de funcionamiento de vaso en el software "Funcionamiento de Vasos en Visual Basic 2005")

4.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS CON RESPECTO AL PROYECTO ORIGINAL.

Para poder realizar el procedimiento que nos lleva a obtener la energía anual generada, se tuvo que recabar la información necesaria para efectuar dicho análisis; los eventos hidrológicos antes presentados fueron obtenidos directamente de su fuente de información, y analizados de manera propia.

Existen variaciones en los datos obtenidos con respecto a los analizados en el proyecto original, debido a las fuentes de información de donde se obtienen, ya que las curvas de nivel de la zona también pueden ser conseguidas mediante la plataforma de INEGI, así como los procedimientos usados para analizar la información. No obstante, los valores obtenidos mediante el método usado no difieren mucho de los del proyecto, a continuación, en la Tabla 4.18 se muestra una comparativa de los valores del volumen y área del embalse obtenidos para las cotas

118 y 143 msnm, así como el error relativo obtenido en comparación con los datos del proyecto original.

	PROYECTO ORIGINAL	DATOS OBTENIDOS	DIFERENCIA %
ELEVACIÓN (msnm)	118	118	-
ÁREA (km²)	48.89	52.02	6.40
VOLUMEN (Hm³)	1,543.76	1,868.70	21.05
ELEVACIÓN (msnm)	143	143	-
ÁREA (km²)	80.54	89.92	11.65
VOLUMEN (Hm³)	3,134.19	3,708.610	18.33

Tabla 4.18: COMPARATIVA DE LA VALORES CORRESPONDIENTES A LA CURVA ELEVACIONES – ÁREAS – CAPACIDADES DEL P.H. LA PAROTA CON LA OBTENIDA MEDIANTE EL USO DE LOS SOFTWARES

El objetivo original del P.H. La Parota era aumentar la generación anual de la región con respecto a la Central Hidroeléctrica “La Venta” que actualmente se encuentra en la zona y produce tan solo 140 GWh/año, por lo que de acuerdo con el proyecto, se obtendría un beneficio de 1,387 GWh/año gracias a la generación obtenida por la instalación de 3 unidades de potencia de 300 MW cada una, es decir se obtiene una generación media anual de 1,527 GWh/año con una capacidad instalada de 900 MW en total. Sin embargo, con las simulaciones realizadas para diferentes potencias instaladas se pudo observar en la Figura 4.16 que una capacidad de 400 MW en comparación con la de 900 MW propuesta por el proyecto original generan casi la misma cantidad de energía, a diferencia de la generación secundaria que si se presenta un cambio pero que tiene afectaciones mínimas en el valor de la generación total de energía producida.

Como se puede observar en la Tabla 4.17 las potencias de menor capacidad requieren una mayor cantidad de horas en operación lo que genera un incremento en el valor del factor de planta; para las centras hidroeléctricas que trabajan como tipo punta, se instala una mayor potencia para operar solo durante las horas de alta demanda. Por otro lado, si se tiene una menor capacidad instalada el factor de

planta aumenta, lo que conlleva a la operación mucho más tiempo, lo que la convertiría en una central de tipo base.

El valor del factor de planta se encuentra relacionado con los volúmenes descargados producto de la operación del P.H. La Parota; estos causan un cambio en el escurrimiento del río aguas abajo de la presa, por lo que resulta fundamental conocer y determinar cuáles son los efectos ambientales que se pueden ocasionar y como mitigarlos. El estudio de impacto ambiental contiene análisis del oleaje (debido a su desembocadura al mar), hidrodinámica y transporte de sedimentos que proponen de manera preliminar un gasto ecológico que ayuda a que la zona no sufra cambios significativos.

La propuesta de la potencia de 900 MW para el P.H. La Parota tendrá un comportamiento de la central de generación tipo punta, que de acuerdo con el estudio de impacto ambiental del proyecto, las descargas producto de la operación con esta potencia instalada generará afectaciones ambientales importantes debido al gran volumen de agua que es liberado en un periodo muy corto de tiempo. Como medida de mitigación para esta problemática, se plantea la construcción de una presa de cambio de régimen aguas abajo del sitio previsto para la cortina del P.H. La Parota, que permita contener el volumen de agua descargado, para posteriormente liberarlo de forma gradual a lo largo del día, manteniendo un gasto controlado en el río y asimismo disminuir los efectos que la descarga tendría sobre el ecosistema.

El proyecto contempla que la operación de la central hidroeléctrica con una potencia instalada de 900 MW se lleve a cabo durante 4 horas diarias teniendo un volumen descargado de 748 m³/s aproximadamente; la simulación mostrada en el presente trabajo para la misma capacidad considera una operación de 4.45 horas y un gasto de 648 m³/s (3,783.4 Hm³ anuales), factor de planta de 0.19 y derrames por excedencias principalmente presentados en la época de lluvias. Si comparamos con la simulación realizada correspondiente a una capacidad de 300 MW se obtuvo una operación de casi 13 horas descargando un gasto de 216.22 m³/s (3,682.05 hm³ anuales) y un factor de planta de 0.54; ambas potencias instaladas con un

aprovechamiento energético similar, cuyos valores se pueden observar en la Tabla 4.19.

COMPARATIVA DE POTENCIAS INSTALADAS										
Potencia Instalable [Mw]	Potencia Media [Mw]	Número de Horas [h]	Carga Bruta de Diseño [m]	Demanda mensual [Hm ³]	Volumen turbinado [Hm ³]	Generación media anual [GWh]			F.P.	Déficit [%]
						Firme	Secundaria	Total		
300	162.00	12.96	147	314.36	3,682.05	1,378.84	41.24	1,420.08	0.54	5
900	166.84	4.45	147	314.36	3,783.38	1,378.85	83.71	1,462.56	0.19	5

Tabla 4.19: COMPARATIVA DE POTENCIAS INSTALADAS

(Datos obtenidos de la simulación de funcionamiento de vaso en el software "Funcionamiento de Vasos en Visual Basic 2005")

Para la elección de una propuesta de potencia instalada es muy importante el análisis del factor de planta, este se encuentra en función de la demanda que tiene el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Por consiguiente, en la Figura 4.17 se presenta la curva de demanda pronosticada de la región Oriental (que es a donde se incorporaría la energía generada por el P.H La Parota), donde se muestra el comportamiento de la energía requerida a lo largo del día y así observar la demanda horaria anual del área para la elección de un factor de planta adecuado.

Sistema Sistema Interconectado Nacional

Región Oriental

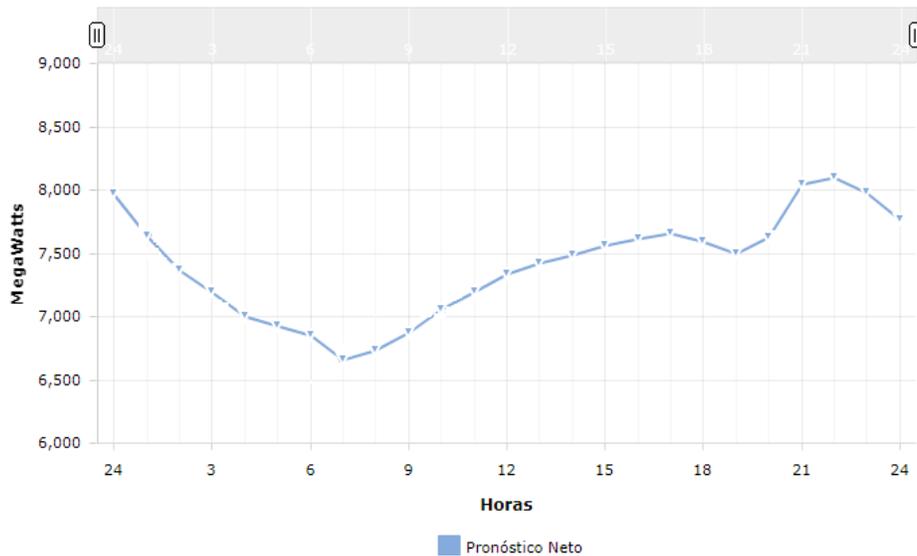


Figura 4.17: CURVA TÍPICA DE DEMANDA HORARIA ANUAL

(Gráfico emitido por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)
URL: <https://www.cenace.gob.mx/graficademanda.aspx>)

Los servicios públicos, emergencias, alumbrado son actividades esenciales que son requeridas a lo largo del día, no obstante, de acuerdo con el gráfico anterior, en la zona Oriental se presenta un incremento gradual a partir de las 7 horas donde comienzan las actividades industriales, comerciales, etc. Al finalizar la jornada laboral se inicia el pico de máxima demanda energética en la región iniciando entre las 19 y 20 horas, donde se tiene ausencia de luz natural y el inicio de actividades nocturnas que requieren luz artificial, finalizando a las 24 horas donde desciende la demanda de electricidad. Por lo anterior, es necesaria la selección de un factor de planta que mantenga en constante operación a la central a lo largo del día y no solo durante el periodo tan corto de alta demanda que se tiene en la región, por lo que un comportamiento de tipo base con un valor arriba de 0.4 como se indicó anteriormente en el subtema 4.2.2, es lo recomendable para el dimensionamiento del proyecto hidroeléctrico.

El estudio hidrológico del P.H. La Parota menciona que el Río Papagayo tiene un gasto medio anual de 139.10; la descarga por la Central Hidroeléctrica con una potencia instalada de 900 MW genera 648 m³/s (3,783.38 hm³) en poco más de 4

horas, lo cual representa un cambio drástico del régimen del río a la desembocadura con el mar. Si bien, este volumen no tiene mucha diferencia en relación con el descargado con 300 MW, la operación de la central con esta potencia se lleva a cabo en un periodo de tiempo más largo lo que conlleva a que el régimen del río no tenga un cambio considerable y así evitar la construcción de estructuras de control de las descargas de la misma presa. Gracias al análisis anterior, podemos concluir que en caso de que el valor del factor de planta se encuentre más cerca de la unidad, las descargas al río se encontrarán más apegadas a su comportamiento natural, por otro lado, mientras mantenga una operación de tipo punta, pueden llegar a ser necesarias estructuras que regulen las descargas para evitar afectaciones ambientales.

Asimismo, una capacidad de 300 MW además de reducir en dos terceras partes la capacidad instalada propuesta originalmente generando casi la misma cantidad de energía, es económicamente más factible. Lo anterior debido a que al modificar el tamaño de las unidades, esto genera, para el caso de la potencia instalada de 300 MW, que el tamaño de la casa de máquinas sea reducido, del mismo modo las obras como la grúa viajera, por mencionar alguna otra. Por lo anterior reducir la potencia instalada a tres turbinas de 100 MW, reduce los costos de maquinaria, mano de obra, instalaciones, etc., sin verse afectada sustancialmente la producción de energía.

Por lo anterior, una capacidad instalada de 300 MW genera aproximadamente la misma cantidad de energía, es económicamente mayor factible y con menores afectaciones ambientales aguas abajo debido a la descarga de un volumen de agua considerablemente menor en un periodo de tiempo más largo. Por esta razón, resulta una mejor alternativa, ya que no requiere de obras adicionales que regulen las descargas (como la presa cambio de régimen) que se tienen hacia el río y se reducen costos en su construcción y mantenimiento.

La energía hidroeléctrica tiene la capacidad de dar la potencia requerida en un sistema en el momento que se necesite y no solamente en horas de alta demanda. Por lo que la tendencia a proyectos hidroeléctricos que se comporten como una

planta tipo base, cada vez resulta más factible debido a los aprovechamientos similares en comparación con grandes potencias instaladas y el poco daño ambiental aguas abajo que representa.

CONCLUSIONES

La demanda de generación de energía eléctrica en el mundo ha ido creciendo a través de los años debido al aumento de la población e industrias, siendo las fuentes fósiles los principales productores de energía. No obstante, a partir de los últimos años, se ha llegado a la conclusión de que la oferta de energía eléctrica debe cambiar desde su actual dependencia de los hidrocarburos hacia aplicaciones energéticas más sustentables, lo que implica el aprovechamiento de la variedad de fuentes de energía renovables que existen en el mundo.

México se ha constituido históricamente por la dependencia de sus combustibles fósiles, estos seguirán representando la mayor parte de la generación de energía que se incorpora al Sistema Eléctrico Nacional, no obstante es importante que se comience con una transición hacia energías renovables con el fin de una reducción de contaminantes, no ser dependiente de un solo tipo de generación y continuar con el desarrollo de tecnologías sustentables. Para el desarrollo de las energías renovables se cuenta con algunos mecanismos legales como la Ley General de Cambio Climático (LGCC), Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), entre otras, así como los planes y programas como el Plan Nacional de Desarrollo (PND) y el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) donde se analiza con detalle las metas fijadas y lo alcanzado en materia energética, así como una serie de lineamientos y normas derivados de los anteriores.

La generación hidroeléctrica se ha convertido en una de las mejores opciones para la producción de energía por fuentes renovables. Aunque la construcción y operación de estos proyectos no se encuentra libre de afectaciones sociales y medioambientales, esta se ha constituido como una de las tecnologías que mayor energía limpia generan, con la gran ventaja de un alto manejo de sus recursos, bajos costos de operación y mantenimiento, amplio ciclo de vida y con la capacidad de competir con otras fuentes de generación de energía.

Conocer el potencial hidroeléctrico de una región es importante para el desarrollo de proyectos de esta índole. En su estudio se analiza la gestión sostenible del medio ambiente y los recursos, también se determina el aprovechamiento que se obtiene por medio de simulaciones directamente en la zona donde se plantean desplantar los proyectos y así determinar y proponer un diseño óptimo con respecto a las características de la región.

Se presentó el caso del P.H. “La Parota”, que debido a su diseño para aprovechar los escurrimientos del río Papagayo para la generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, control de avenidas, riego para zonas agrícolas y actividades recreativas es que resulta interesante su análisis y claro ejemplo del potencial de la región.

Es importante conocer el comportamiento del río durante la ocurrencia de las avenidas, ya que no solo basta con definir el gasto máximo sino también el volumen que se va a presentar. La respuesta de la cuenca está definida por un hidrograma de un periodo de tiempo donde se presenta una escala dependiendo del gasto pico conocido como hidrograma adimensional, con el cual para los gastos posibles es factible calcular el volumen escurrido y su relación con el tiempo lo que es de mucha utilidad para el dimensionamiento de las obras civiles que componen la central.

Para su análisis fue necesaria la ayuda de registros históricos del río recabados por las estaciones hidrométricas localizadas en la zona del embalse, dichos datos parten desde el año 1953 hasta el 2007, donde debido a la falta de información en algunas de estas estaciones se tuvo que realizar una correlación de datos para ajustar los datos recabados y obtener un análisis más certero; el análisis de frecuencia realizado en el presente documento es esencial ya que permite ajustar cada dato máximo del registro histórico a una serie de funciones de distribución estadística determinada, y así obtener gastos para diferentes periodos de retorno que son esenciales para el diseño de las obras que componen el proyecto hidroeléctrico. Los resultados obtenidos deben ser analizados de manera que se encuentren las mejores soluciones para cada estructura, que cumplan con las

condiciones de seguridad, y eficiencia ambiental dentro del rango de costos al que está condicionado cualquier proyecto.

La simulación del funcionamiento de vaso fue esencial para observar el comportamiento del embalse, este puede ser empleado para diversos propósitos, como el control de avenida, el abastecimiento de agua potable, la generación de electricidad, etc. Los Proyectos Hidroeléctricos son sustentados por los resultados de la simulación del funcionamiento de vaso; para realizar la simulación es muy común ya contar previamente con los niveles de operación del proyecto donde son contemplados conceptos como la sustentabilidad, diseño y construcción, por lo que el objetivo de este mismo, es obtener la cantidad de energía firme a 95% (con respecto a recomendaciones de la Comisión Federal de Electricidad), esto quiere decir que las simulaciones deben ser teniendo en cuenta un déficit del 5%.

El proyecto original del P.H. La Parota tiene considerado una potencia instalada de tres turbinadas con 300 MW cada una (900 MW en total) para que, de acuerdo con el análisis, se obtenga una generación cercana a los 1,527 GWh. En el presente documento se realizaron diferentes simulaciones de funcionamiento de vaso para distintas potencias instaladas con el fin de observar el comportamiento del embalse, y así poder elegir la mejor alternativa.

En la Figura 4.16 se observó que desde una potencia instalada de 200 MW, la generación obtenida no tiene mucha diferencia con respecto a la obtenida con 900 MW, sin embargo, la cantidad de horas en operación de las turbinas y el gasto descargado producto de esta misma operación es lo que se diferencia en cada una de estas, siendo más visible por el valor del factor de planta.

Es importante la preservación de las condiciones ambientales aguas abajo de la presa, es por eso por lo que la potencia instalada de 900 MW propuesta en el proyecto original requiere la construcción de una Presa Cambio de Régimen (PCR), debido a la descarga de grandes volúmenes de agua en periodos de tiempo bastante cortos, ya que el sistema hidroeléctrico se encuentra basado en una operación de tipo punta con un factor de planta de 0.17. El objetivo de la PCR será

asemejar los gastos descargados por la central al comportamiento natural del río reduciendo los posibles daños por cambios en los escurrimientos.

No obstante, en las simulaciones realizadas se observó que con una potencia instalada de 300 MW, la generación obtenida no tiene mucha diferencia en comparación con la de 900 MW, el comportamiento de este sistema se encuentra basado en un tipo base, con periodos de tiempo de operación más largos y volúmenes descargados más apegados al comportamiento natural del río; el factor de planta obtenido de 0.54 nos deduce que entre más este apegado este valor a la unidad, las descargas producto de la operación de la central serán parecidas en comparación con las del río. En conclusión se optó por la elección de esta potencia instalada, proponiendo 3 unidades de 100 MW cada una, trabajando casi 13 horas al día descargando 217 m³/s, ya que con dicha potencia la construcción de una PCR es totalmente innecesaria, así como la adquisición de equipos de mayor capacidad lo que genera una reducción de costos de construcción para el proyecto sin daños ambientales por su operación.

Como resultado del presente análisis también es posible tener conocimiento del comportamiento del río no solo para el dimensionamiento de las estructuras que componen la central hidroeléctrica, sino que además permite realizar pronósticos de escurrimientos de entradas al vaso, de precipitaciones en la zona, para así definir los niveles de almacenamiento de la presa, controlar las extracciones y descargas con el propósito de no perder el nivel requerido para la correcta operación de la central. La información obtenida para el presente análisis es lo suficientemente confiable para que los resultados sean acordes con lo esperado, estos resultados constituyen el punto de partida para el diseño conceptual de la central encontrando la mejor alternativa con respecto a las problemáticas presentadas presentando algo diferente a lo propuesto originalmente.

Por lo anterior, este proyecto representa una oportunidad de aprovechamiento de los recursos hídricos de la región muy importante debido a la gran generación de energía eléctrica que se aportaría al Sistema Eléctrico Nacional, el gran

almacenamiento que se pretende para distintos usos y así una gran alternativa para iniciar con la transición hacia un modelo energético más sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

- RAMOS-GUTIÉRREZ, L.J. & MONTENEGRO-FRAGOSO, **Las centrales hidroeléctricas en México: pasado, presente y futuro**. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. III, No. 2
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, **Bases para un Centro Mexicano en Innovación de Energía Hidroeléctrica. CEMIE-Hidro. Primera parte: Infraestructura Hidroeléctrica Actual**, Primera edición. 2017
- Alianza Mexicana contra el fracking, **¿Qué es el Fracking?**, [En línea]: <https://www.nofrackingmexico.org/que-es-el-fracking/>
- International Energy Agency IEA, **MONTHLY ELECTRICITY STATISTICS: OVERVIEW**, [En línea]: <https://www.iea.org/reports/monthly-electricity-statistics-overview/data-explorer>
- ENERDATA, [En línea]: <https://datos.enerdata.net>
- Marín Quemada José María, **EL FUTURO DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES**, Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED, 2014.
- Secretaría de Energía, SENER, **PROGRAMA DE DESARROLLO DEL SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL (PRODESEN) 2021 – 2035**
- International Institute for Sustainable Development, **Más allá de los combustibles fósiles: Transición fiscal en México**, México
- International Energy Agency IEA, **RENEWABLE ENERGY STATISTICS 2021**, [En línea]: <https://irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>
- U.S. Energy Information Administration, **EIA: las energías renovables proporcionarán casi la mitad de la electricidad mundial para 2050**, [En línea]: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41533>)
- Mora Pérez Sergio, **DESARROLLO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO PARA 2024, A TRAVÉS DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE, EN EL MARCO DEL MERCADO ELÉCTRICO**, UNAM, México, 2018

- Diario Oficial de la Federación, **LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO**, [En línea]:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/16482/ley_general_de_cambio_climatico.pdf
- Secretaría de Energía, **PROSPECTIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES (2012 – 2026)**
- Diario Oficial de la Federación (DOF), **LEY DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA**, [En línea]: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- Diario Oficial de la Federación (DOF), **LEY DE AGUAS NACIONALES**, [En línea]: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf
- Barajas, N., V. Aguilar, V. Morales, D. Vázquez, E. Bastida, J. Bezaury-Creel, O. Calahorra, J. Capitaine, J. P. García, F. Inguanzo, M. Higner, H. Jiménez, E. Martín, V. Morales, J. Opperman, P. Petry, H. Rodríguez, L. Sotomayor, R. Tharme, J. F. Torres, J. Touval, y L. Vázquez. **PLANEACIÓN TEMPRANA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS SUSTENTABLES: MARCO METODOLÓGICO Y CASO PILOTO EN LA CUENCA DEL RÍO COATZACOALCOS**, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y The Nature Conservancy. México. 2014
- CONAGUA, **IDENTIFICACIÓN DE RESERVAS POTENCIALES DE AGUA PARA EL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO**, MÉXICO, 2011
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), **PROGRAMA NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS 2020 – 2024**, México, 2020
- CONAGUA, **VEDAS, RESERVAS Y REGLAMENTOS DE AGUAS NACIONALES SUPERFICIALES**, [En línea]:
<https://www.gob.mx/conagua/documentos/vedas-reservas-y-reglamentos-de-aguas-nacionales-superficiales>
- AGUA.ORG.MX, **CUENCAS HIDROGRÁFICAS**, [En línea]:
<https://agua.org.mx/que-es-una-cuenca/>

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, “**ATLAS DEL AGUA EN MÉXICO 2016**”
- SEMARNAT, **INFORME DEL MEDIO AMBIENTE, 2020** [En línea]: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>)
- Dr. Humberto Marengo Mogollón, **OBRAS DE DESVÍO EN PROYECTOS HIDRÁULICOS, ASPECTOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**, noviembre 2019
- Francisco Aparicio, **FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGIA DE SUPERFICIE**. México 1992
- Comisión Federal de Electricidad, **PROYECTO HIDROELÉCTRICO “LA PAROTA”**, [En línea]: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2004/12GE2004H0014.pdf>, 2004
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, **Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrológica del Río Papagayo**, México, 2014
- Comisión Nacional del Agua, **Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)**, México, Fecha de consulta: diciembre 2021. URL: <https://app.conagua.gob.mx/bandas/>
- Fernández del Castillo Salvador Francisco, **ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL RÍO PAPAGAYO**, Ciudad de México, México, 2013, pp 32.
- Huerta Loera Sadoth Fabián, **FUNCIONAMIENTO DE VASOS**, Ciudad de México, México, 2010
- Comisión Federal de Electricidad, **MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES**, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Hidrotecnia.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, **Bases para un Centro Mexicano en Innovación de Energía Hidroeléctrica. CEMIE-Hidro. 2da Parte: Posibilidades de Desarrollo Hidroeléctrico en México**, Primera edición. 2018