

# APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS

## UNIDAD 3

# ETAPAS DE PROGRESO DE EVALUACIÓN TÉCNICA -ECONÓMICA DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

## OBJETIVO:

Introducir las distintas etapas del proyecto civil de un aprovechamiento hidroeléctrico y mencionar lineamientos generales de trabajo a realizarse en cada una de ellas.



# ETAPAS DE DESARROLLO DE UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO

- 1 INVENTARIO:** Esquemas o anteproyectos elementales
- 2 PRE-FACTIBILIDAD:** Anteproyecto preliminar
- 3 FACTIBILIDAD:** Anteproyecto definitivo
- 4 DOCUMENTOS LICITATORIOS:** Proyecto Ejecutivo
- 5 PROYECTO DE DETALLE:** Ingeniería de Detalle (Constructiva)
- 6 PLANOS CONFORME A OBRA Y MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO:** Proyecto Construido

# 1 INVENTARIO (RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS Y ANTECEDENTES)

## DEFINICIONES

Comprende la recopilación de antecedentes locales y regionales para caracterizar la zona del proyecto y la elaboración de estudios de base (geológicos, topográficos e hidrológicos) para conocer las características naturales de los posibles emplazamientos.

## CONCEPTO FUNDAMENTAL

Prevalece la definición de sistema de aprovechamientos como conjuntos funcionales, por sobre la definición de la ubicación precisa de las obras.

## **OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS**

- ✓ Plantear las características generales que tendrá el proyecto, desde el punto de vista de optimizar su funcionamiento dentro de un marco de aprovechamiento global de la cuenca.
- ✓ Determinar las características regionales donde estará emplazado el aprovechamiento.
- ✓ Determinar, de todos los lugares posibles para el emplazamiento, los sitios topo-geológicamente más favorables para su ubicación.
- ✓ Obtener información acerca de la ubicación de posibles yacimientos, fuente de materiales para la construcción de las obras.

## ESTUDIOS E INFORMACIÓN A RECABAR

- ✓ Imágenes satelitales.
- ✓ Fotografías aéreas convencionales
- ✓ Relevamiento geomorfológico
- ✓ Relevamiento geológico regional
- ✓ Relevamiento aero-fotogramétrico.
- ✓ Reconocimiento terrestre y aéreo de los posibles lugares del futuro emplazamiento.
- ✓ Estudios de la cuenca. Estudios hidrológicos (aforos líquidos - solidos).
- ✓ Sismología de la región (sismógrafos) y relevamiento de fallas potencialmente activas.



## **ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO**

Se plantea el proyecto a un nivel de grandes esquemas.

Se determinan grandes montos orientativos de la inversión basados en un dimensionamiento preliminar de las obras.

Se realiza una preselección básica del equipamiento hidro-electro-mecánico basado en métodos estadísticos.

Se establecen condiciones operativas tentativas y un cálculo simple de generación asociada.

## **2 PRE-FACTIBILIDAD**

### **(Formulación de alternativas)**

#### **DEFINICIONES**

Comprende el estudio de una serie de soluciones alternativas de ingeniería para el aprovechamiento, con bases técnicas y económicas acordes a esta etapa inicial del proyecto y a partir del conocimiento de las condiciones locales. La selección de una o varias de ellas serán estudiadas en detalle durante la etapa de factibilidad.

#### **CONCEPTO FUNDAMENTAL**

Lograr un conocimiento geotécnico y topográfico suficiente del emplazamiento como para tener una conclusión adecuada sobre la validez técnico-económica de las alternativas planteadas.

## OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS

- ✓ Formular y analizar una serie de alternativas, para determinar cual es la solución o soluciones más convenientes. Estas alternativas pueden entre otros incluir:
  - Distintos emplazamientos (ejes del cierre)
  - Diferentes proyectos conceptuales de presa.
  - Distintas variantes de estructuras integrantes
  - Distintos tipos de equipamiento y conducciones asociadas

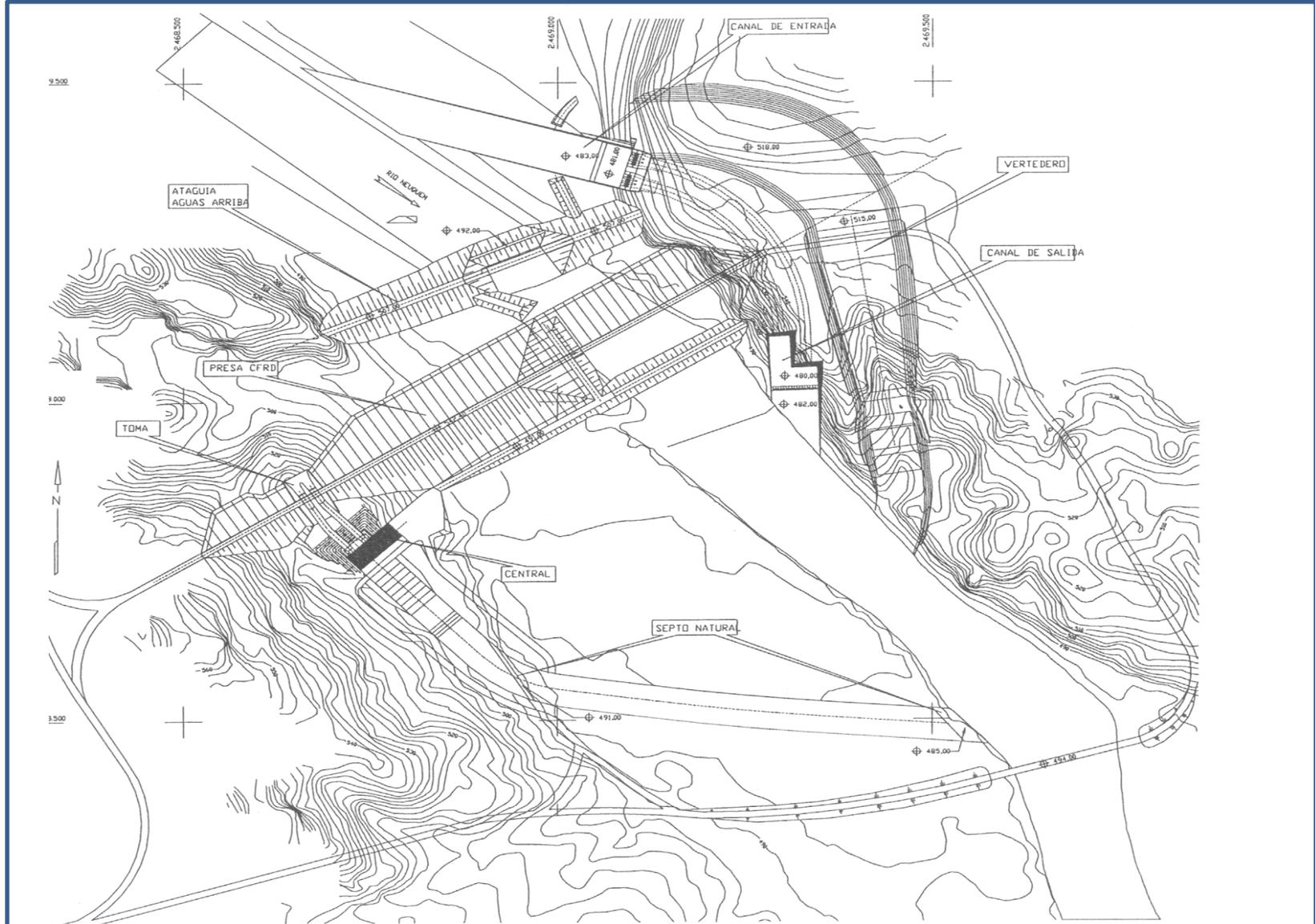
## **ESTUDIOS E INFORMACIÓN A RECABAR**

- ✓ Relevamiento geológico de los posibles lugares de emplazamiento de las obras (extendido a las áreas del embalse que puedan presentar aspectos singulares)
- ✓ Relevamiento topográfico local – Curvas H-S-V.
- ✓ Relevamiento de disponibilidad de materiales para las obras
- ✓ Relevamiento geológico localizado de las áreas geotécnicamente más exigidas por las obras, mediante perforaciones con extracción de testigos y ensayos de permeabilidad (absorción de agua)
- ✓ Selección del equipamiento basado en consultas a fabricantes y pre-dimensionamiento de Casa de Maquinas.

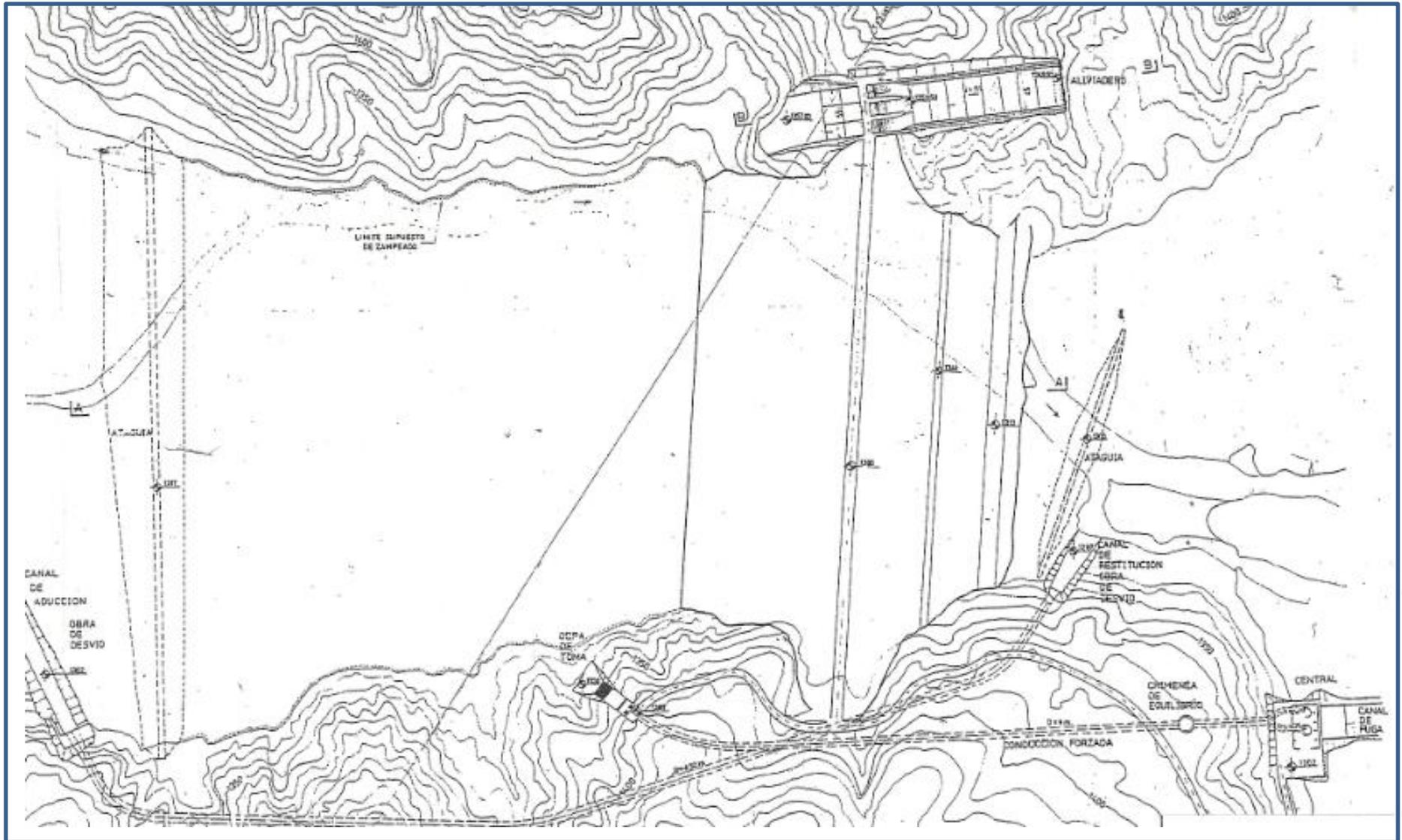
## ESTUDIOS E INFORMACIÓN A RECABAR

- ✓ Perfilajes sobre líneas establecidas, integrando las perforaciones con relevamientos geofísicos (geosísmicos o geoeléctricos)
- ✓ Muestreo y ensayos de identificación de las rocas
- ✓ Ensayos sobre las muestras extraídas
- ✓ Granulometría y características de los agregados
- ✓ Estudios Hidrológicos
- ✓ Estudios Sísmicos

# ETAPA DE PRE-FACTIBILIDAD



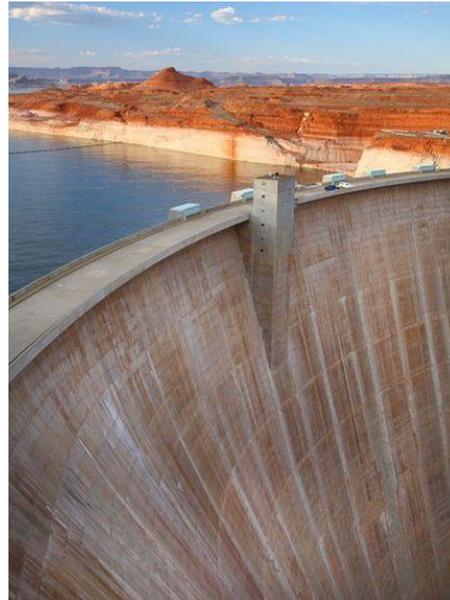
# ETAPA DE PRE-FACTIBILIDAD



# ESTRUCTURAS CONSTITUTIVAS DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

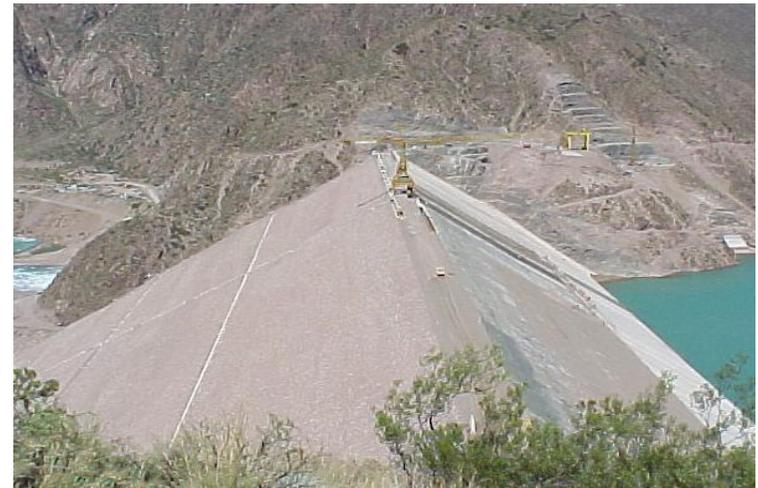
## PRESA

- ✓ De gravedad
- ✓ En arco



## TIPOS DE PRESAS DE GRAVEDAD

- ✓ Materiales sueltos con núcleo impermeable
- ✓ Enrocado (Materiales sueltos filtrante)
- ✓ CFRD ( Concrete-face rock-fill dam)
- ✓ Hormigón convencional
- ✓ HCR ( Hormigón compactado a rodillos)
- ✓ Hormigón de contrafuertes
- ✓ Con pantalla asfáltica



## VERTEDERO

- ✓ De superficie con salto de ski
- ✓ De superficie con cuenco disipador
- ✓ Tipo Morning Glory
- ✓ De profundidad



## TOMA Y CONDUCCIÓN

- ✓ Incorporada a la presa
- ✓ Incorporada a la central
- ✓ Sobre márgenes



## **TOMA Y CONDUCCIÓN**

- ✓ Estructura de toma y túnel/canal
- ✓ Estructura de toma y conducto forzado

## **DESVÍO DE RÍO**

- ✓ Canal
- ✓ Túnel
- ✓ Galería de desvío
- ✓ Vanos rebajados de vertedero



## DESCARGADOR DE FONDO

- ✓ Túnel
- ✓ Estructura específica



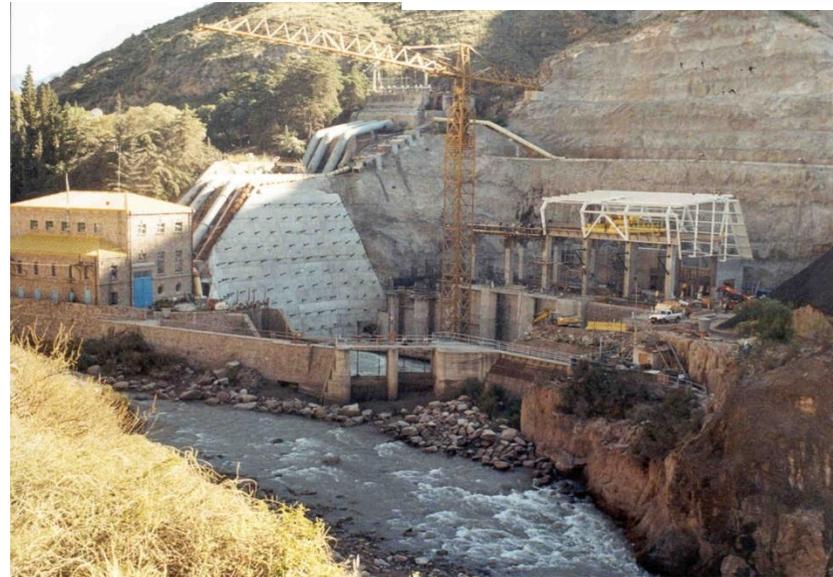
## CHIMENEA DE EQUILIBRIO

- ✓ Estructural
- ✓ En pozo
- ✓ En túnel



## CENTRAL

- ✓ A pie de Presa
- ✓ Anexa a la toma
- ✓ A distancia
- ✓ En caverna



## CENTRAL

- ✓ Selección de tipo de turbina y numero de unidades
- ✓ Selección de equipos principales asociados
- ✓ Circuitos hidráulicos
- ✓ Altura de sumergencia de la unidad
- ✓ Dimensiones de elementos constitutivos del equipamiento que definen las dimensiones de la Central
- ✓ Válvula de guardia
- ✓ Mecanismos de elevación
- ✓ Sistemas mecánicos y eléctricos

## **HOMOGENEIZACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Para poder comparar las distintas alternativas se deben homogeneizar las distintas soluciones técnicas.

### **CRITERIOS UTILIZADOS**

- ✓ Se establecen grandes ítems de cálculos que engloben varios sub-ítems de costo detallado tales como excavaciones, rellenos, hormigones de 1era. y 2da. etapa, perforaciones e inyecciones, etc.
- ✓ Se establecen criterios similares de evaluación para las distintas alternativas y costos similares
- ✓ Las dimensiones adoptadas en esta etapa no llevan en consideración detalles, ni se calculan de manera de cumplir condiciones límites de seguridad.

## **CRITERIOS DE EVALUACIÓN TÉCNICOS**

Se evalúan cualitativamente los siguientes aspectos técnicos:

- ✓ Riesgo hidrológico.
- ✓ Disposición de las obras – facilidad constructiva
- ✓ Disponibilidad de materiales
- ✓ Geología de fundación
- ✓ Cronograma de las obras
- ✓ Evitar soluciones que generen dudas por falta de información

## **CRITERIOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICOS**

Se establecen precios globales para el cómputo considerado. Estos precios surgen generalmente de:

- ✓ Análisis globales específicos para el proyecto
- ✓ Recomendaciones de consultores.
- ✓ Antecedentes de obras similares ejecutadas.
- ✓ Precios de referencia de alguna empresa constructora.

## **SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA O ALTERNATIVAS**

- ✓ No se pretende en esta etapa llegar a determinar el monto total de la inversión, solo determinar cual es la mejor alternativa o alternativas que deberán luego ser estudiadas en detalle.
- ✓ Si se quisiera estimar el precio global del aprovechamiento deberían agregarse los ítems menores e indirectos, los que en general se adicionan como porcentajes de los primeros.
- ✓ Deben tenerse en cuenta también las contingencias o imprevistos asociados a las imprecisiones propias de la generalidad de los cálculos y del conocimiento geológico y topográfico del emplazamiento.

## **INCERTIDUMBRE**

+ - 20%

## **3 FACTIBILIDAD**

### **(ejecución del anteproyecto definitivo)**

#### **DEFINICIONES**

Comprende el estudio de la o las soluciones de ingeniería elegidas en la etapa anterior, para escoger aquella que se transformará en la versión final de la obra a construir. Esta solución, que tiene un desarrollo importante constituye el anteproyecto definitivo de las obras.

#### **CONCEPTO FUNDAMENTAL**

El anteproyecto que surja de esta etapa y que se detallará en sus distintas estructuras constitutivas durante la etapa de proyecto ejecutivo, no deberá sufrir cambios significativos posteriores.

## **OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS**

Para la solución de ingeniería seleccionada desarrollar:

- ✓ Planos del anteproyecto definitivo (plantas y cortes de las estructuras)
- ✓ Memorias Descriptivas y de cálculos
- ✓ Cronograma de los trabajos
- ✓ Obras temporarias y complementarias
- ✓ Metodologías constructivas
- ✓ Cómputos y costeo detallado
- ✓ Condiciones técnico-económicas de funcionamiento de la obra en servicio (simulación operativa)

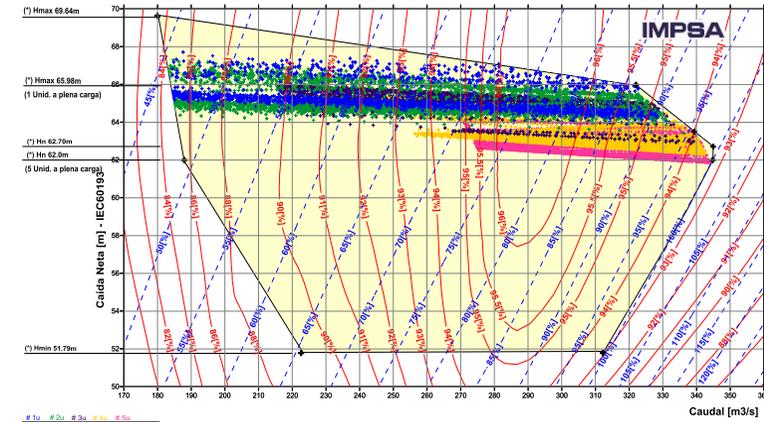
## **ESTUDIOS A EJECUTAR**

Se profundizarán las distintas investigaciones de campo y laboratorio conforme al desarrollo de esta etapa.

- ✓Densificación y complementación de las perforaciones con extracción de testigos y ensayos de permeabilidad.
- ✓Densificación y extensión de las líneas de investigación geofísicas.
- ✓Estudios complementarios (calicatas, pozos de inspección, etc)
- ✓Investigación profunda de los yacimientos.
- ✓Definición del equipamiento hidro-electro-mecánico y performance asociada.

## ESTUDIOS A EJECUTAR

- ✓ Ensayos in situ de suelos y rocas.
- ✓ Amplio programa de ensayos de laboratorio, de suelos y rocas.
- ✓ Ensayos químicos del agua subterránea y de superficie
- ✓ En función de las distintas estructuras componentes, ejecutar aquellos estudios complementarios que sean necesarios.
- ✓ Cálculos detallados de la energía generada por el aprovechamiento



# **EVALUACIÓN ECONÓMICA DETALLADA DEL ANTEPROYECTO DEFINITIVO**

Cálculo del costo detallado de las obras.

## **INFORMACIÓN NECESARIA PARA COSTEAR**

- ✓ Cómputo detallado de cada estructura y del equipamiento hidro-electro-mecánico.
- ✓ Alcance y especificación técnica de cada tarea computada
- ✓ Planos mínimos para cada estructura
- ✓ Cronograma detallado de las obras

## **PASOS A SEGUIR PARA COSTEAR**

- ✓ Seleccionar de banco de datos de obras similares análisis de costos para cada ítem de planilla para poder obtener un listado previo de insumos y sus cantidades para cotizar.
  
- ✓ Evaluar el costo de la mano de obra directa e indirecta, materiales, equipos y subcontratos.
  
- ✓ Revisar los análisis de precios seleccionados adaptándolos al cronograma de las obras y las metodologías constructivas elegidas para el anteproyecto.
  
- ✓ Corregir según las nuevas incidencias las cantidades de los insumos, recotizando los existentes que hallan variado y cotizando los nuevos que hallan aparecido.



- ✓ Cargar las duraciones de cada tarea a costear según el cronograma de las obras, para obtener histogramas de tareas y recursos.
- ✓ Ecuilibrar las cargas de trabajo, revisando el cronograma de las obras (proceso iterativo)
- ✓ Revisión final de los costos de ítems y recursos en función de esta ecualización. Según el tiempo disponible, se analizan las tareas cuyo costo significan un 85% o 90% del costo total de las obras.
- ✓ Cálculo del costo indirecto (aquellos costos de tareas o insumos no aplicados directamente a la ejecución de las obras)
- ✓ Determinación del precio final de la obra
- ✓ Cronogramas de egresos para poder correr el modelo financiero.

## **PROGRAMAS UTILIZADOS**

- ✓ Para el costo directo (programas específicos de costeo, en general son bases de datos de obras de similares características ejecutadas en la zona considerando adecuaciones de costos a las características propias del aprovechamiento)
- ✓ Para el costo indirecto (planillas de cálculo)

## **INCERTIDUMBRE**

+ - 5%

## DEFINICIONES

Comprende el estudio y desarrollo de la ingeniería de las distintas estructuras constitutivas del anteproyecto de las obras, de manera de alcanzar un detalle suficiente para permitir la construcción de las estas.

## CONCEPTO FUNDAMENTAL

Esta etapa no siempre se diferencia claramente de la anterior, pero la ingeniería desarrollada debe ser suficiente para definir con claridad las estructuras y poder construirlas.

## **OBJETIVO**

Profundización del conocimiento general del aprovechamiento, mediante mayor cantidad y calidad de los estudios y ensayos ejecutados, para permitir una mayor precisión y especificación del proyecto.

## **ESTUDIOS E INFORMACIÓN GENERADA**

- ✓ Modelos hidráulicos
- ✓ Memorias descriptivas generales y particulares de cada estructura
- ✓ Memoria técnica con datos de base, hipótesis y memorias de cálculos y cómputos de las obras.

- ✓ Planos generales y particulares por cada estructura (plantas, cortes, detalles, planos de armadura, etc.)
- ✓ Documentación necesaria para el desarrollo del proyecto ejecutivo electromecánico.
- ✓ Diseño detallado de los sistemas auxiliares.
- ✓ Complementación de los estudios de base tales como topografía, geología, sismicidad, geotecnia, etc.
- ✓ Diseño del sistema de auscultación, incluyendo la telemedición, el procesamiento de datos y la microgeodesia.
- ✓ Nómima de normas, reglamentos, códigos, etc, empleados y su justificación eventual (en general serán de aplicación las especificaciones técnicas del pliego y la oferta)

- ✓ Metodologías constructivas de las obras
- ✓ Planos de las obras temporarias y complementarias
- ✓ Planos generales de las obras electromecánicas.

## **INCERTIDUMBRE**

+ - 3 % (Depende del grado de profundidad de las investigaciones)

## DEFINICIONES

Comprende la ejecución de todos los planos de detalles constructivos para poder materializar en obra el proyecto ejecutivo.

## CONCEPTO FUNDAMENTAL

Esta etapa que coincide con la ejecución de las obras, es la que permite una mayor extensión y profundización de los estudios, dada la disponibilidad de equipos y personal especializado y el reducido costo de estos estudios frente a la ejecución misma de las obras. Sin embargo estos estudios no se orientan a modificar el proyecto sino a la obtención de mayor información para la ejecución de los planos constructivos.

## **OBJETIVO**

Desarrollo de la ingeniería constructiva, en la medida que se avanza con las obras, adaptando el proyecto ejecutivo a las condiciones reales que surgen de la ejecución de los trabajos.

## **ESTUDIOS E INFORMACIÓN GENERADA**

- ✓Memorias constructivas particulares
- ✓Planos de encofrados
- ✓Planillas de corte y doblado
- ✓Planos de replanteo de las estructuras particulares

- ✓ Planos de excavaciones, fortificaciones y rellenos
  
- ✓ Planos de perforaciones e inyecciones
  
- ✓ Planos de hormigón, etapas de hormigonado, juntas, insertos, premoldeados, etc.
  
- ✓ Planos de instrumentación y memorias de colocación de instrumentos
  
- ✓ Planos de ductos y equipos electromecánicos
  
- ✓ Planos de sistemas auxiliares
  
- ✓ Planos de secuencia de montaje, etc

## **EVALUACIÓN TÉCNICA**

Además de la ingeniería de detalle que efectúe el proyectista, el constructor civil tiene una oficina técnica en obra para ejecutar la ingeniería constructiva.

Cantidad de planos involucrados hasta esta etapa: aproximadamente 2000 (aprovechamiento de mediana escala)

## **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Se efectúa por parte del contratista civil el acompañamiento de costos de obra, como forma de asegurarse el cumplimiento del presupuesto.

Se utilizan programas específicos de seguimiento de costos.

# 6 PLANOS CONFORME A OBRA Y MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

## **OBJETIVO**

Dejar registro del proyecto final de obra construido

## **DOCUMENTACIÓN INVOLUCRADA**

El Concesionario es responsable de ejecutar, completar y mantener en la obra como mínimo, los siguientes documentos de referencia correspondientes al Aprovechamiento Hidroeléctrico.

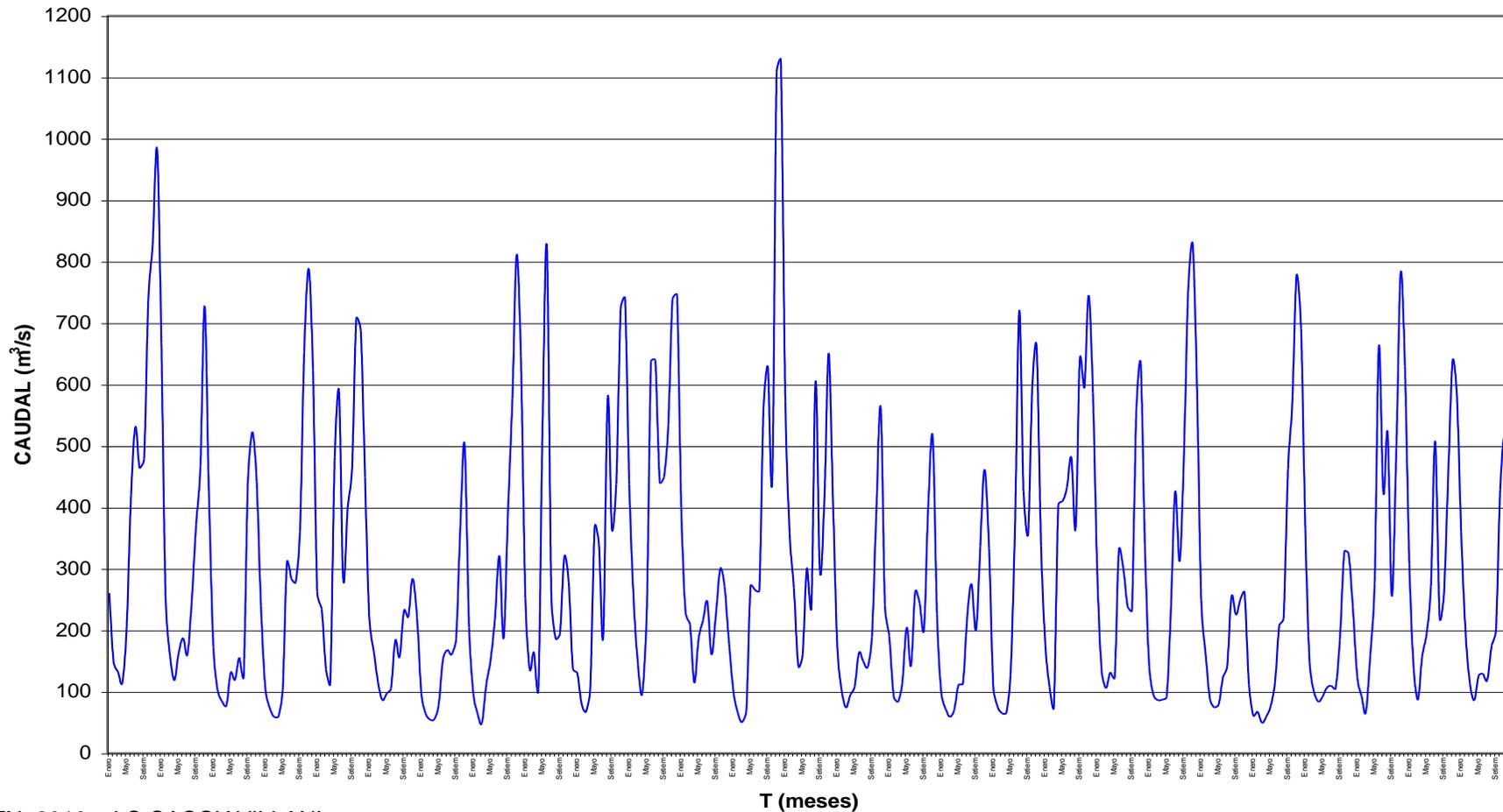


- ✓ Memoria técnica sobre el diseño, construcción y operación inicial de las obras civiles
- ✓ Memoria técnica sobre el diseño, fabricación, montaje, protocolos y operación inicial de las obras electromecánicas
- ✓ Manual de operación y mantenimiento de las Obras Civiles y Electromecánicas
- ✓ Manual de Auscultación
- ✓ Manual de inspecciones de la Presa, Embalse y Obras auxiliares
- ✓ Planos de referencia de las obras civiles y electromecánicas, con las modificaciones constructivas (planos conforme a obra)
- ✓ Registros de todos los instrumentos de auscultación de la presa, embalse y obras auxiliares, micro-geodesia (previos y posteriores al llenado)

- ✓ Registros de todos los incidentes y medidas que sobrepasen el carácter de mantenimiento normal
  
- ✓ Manual del plan de acción durante emergencias (PADE)
  
- ✓ Toda la documentación referente a la auscultación de las obras y planes de acción durante emergencias, el Concesionario deberá remitirlas al organismo de seguridad correspondiente (en Argentina la ORSEP) .

# CURVA DE CAUDALES CRONOLÓGICOS

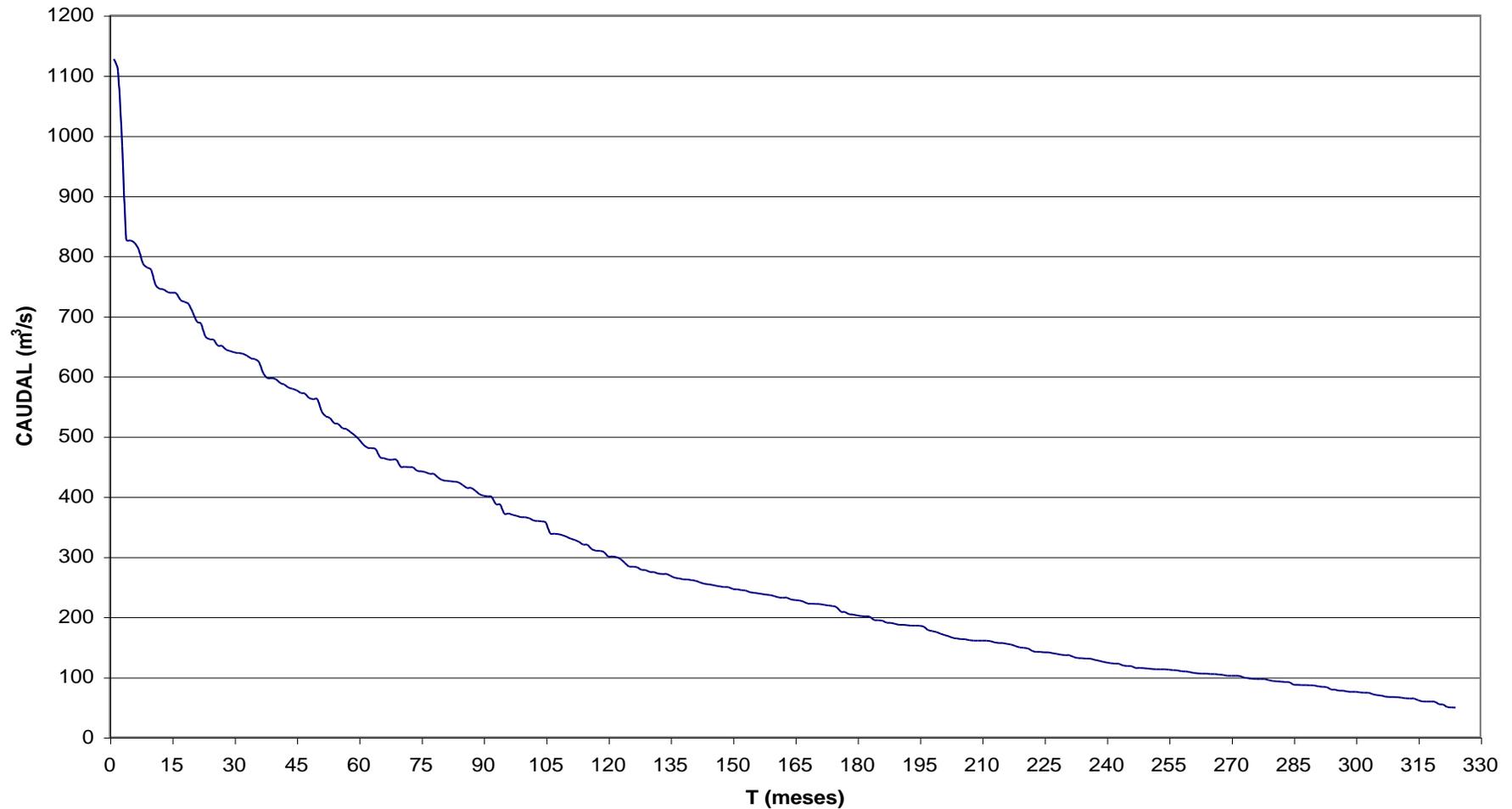
## CHIHUIDO CAUDALES MEDIOS MENSUALES APORTE - CRONOLÓGICO 1941-1967



# CURVA DE CAUDALES CLASIFICADOS

## CHIHUIDO

CAUDALES MEDIOS MENSUALES  
APORTES CLASIFICADOS 1941-1967





## CURVA DE CAUDALES CLASIFICADOS

**Caudal promedio mensual interanual.** Es la media de los caudales medios mensuales para un mes dado, durante un período de  $n$  años.

**Caudal medio anual.** Es la media de los caudales promedios diarios durante un año.

**Caudal máximo instantáneo anual.** Es el máximo caudal que se presenta en un año determinado. Para su determinación, es necesario que la estación de aforo tenga limnógrafo.

**Caudal medio mensual;** Se calcula hallando para cada mes la media aritmética de los caudales promedios diarios.

**Caudal mínimo anual.** Es el menor caudal que se presenta durante un año determinado.

# CURVA DE DURACION DE CAUDALES

La curva de duración es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado.

Es una gráfica que tiene el caudal,  $Q$ , como ordenada, y el número de días del año (generalmente expresados en % de tiempo) en que ese caudal,  $Q$ , es excedido o igualado, como abscisa.

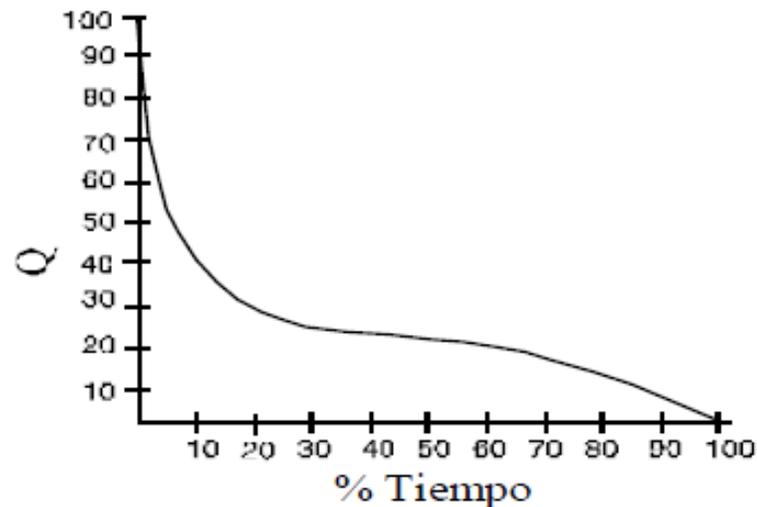
La ordenada  $Q$  para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del flujo en un año promedio, que espera que sea excedido o igualado un porcentaje,  $P$ , del tiempo.

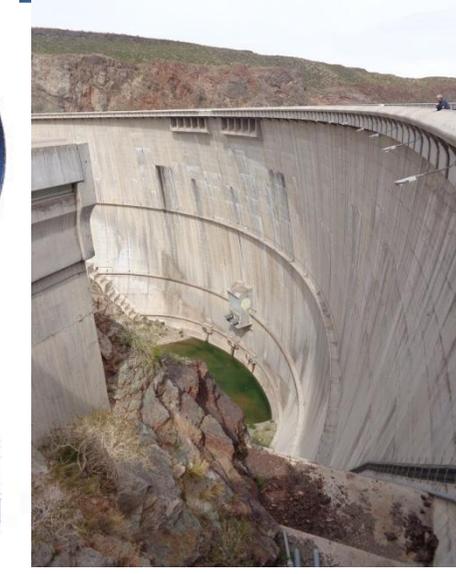
$$P = \frac{m}{N} \times 100$$

# CURVA DE DURACION DE CAUDALES

Las curvas de duración se usan en la planeación de recursos hidráulicos, para evaluar el potencial hidroeléctrico de un río, para estudios de control de inundaciones, en el diseño de sistemas de drenaje, para calcular las cargas de sedimento, comparar cuencas cuando se desea trasladar registros de caudal y la estimación del caudal ecológico (un criterio es el caudal que corresponde al 10% de probabilidad de no excedencia).

- Mínimo Absoluto
- Mínimo Característico (Q95%)
- Semipermanente (Q50%)
- Máximo Característico (Q5%)
- Máximo Absoluto





# APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS

## UNIDAD 3