

**2ª REUNIÓN ANUAL DE TRABAJO DEL GET EN AGUAS SUPERFICIALES**

**Consejo de cuenca del Río Santiago**

***Adecuación de la presa El Zapotillo y construcción del  
acueducto Zapotillo-El Salto-La Red-Calderón, para el  
abastecimiento de agua en bloque al AMG***



¿Qué podemos hacer si tenemos una concesión de un caudal de 1 m<sup>3</sup>/s y 1 m de carga?



Volumen anual concesionado  
31,536,000.00 m<sup>3</sup>

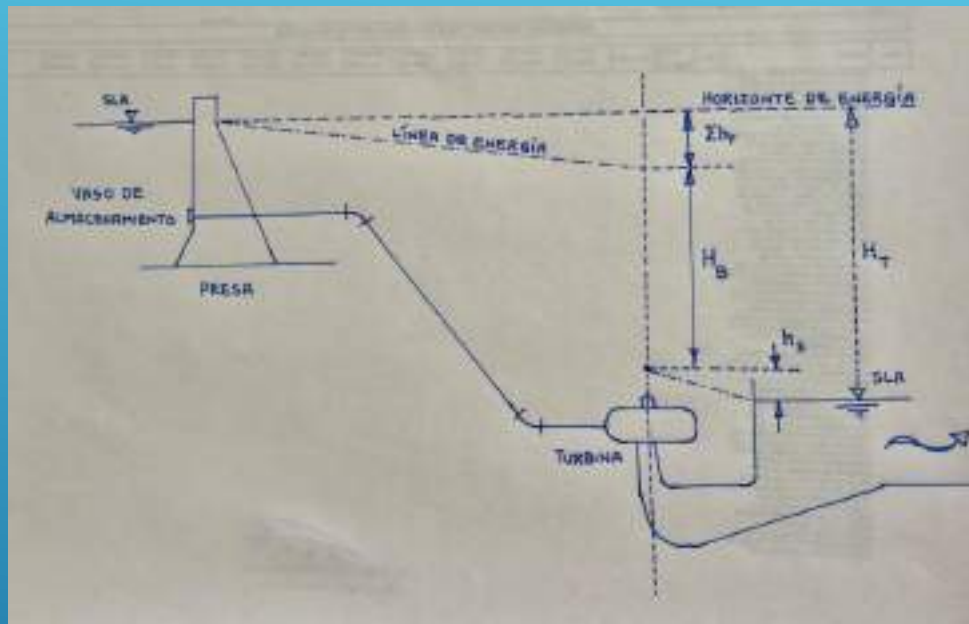
Dotación  
250 litros/habitante/día

Volumen anual requerido por habitante  
91,250.00 litros (91.25 m<sup>3</sup>)



Total de población beneficiada  
345,600.00 habitantes

## Generación de Energía Hidroeléctrica



$$P = \frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}}$$

$$P = \gamma Q H_B = 1000 \text{ kg m/s}$$

$$1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.009807 \text{ kw} \approx 0.01 \text{ kw}$$

$$P = 10 \text{ kw}$$

*durante un año se produce energía por*

$$\text{tiempo} = 365 \times 24 = 8,760 \text{ h}$$

$$\text{Energía hidroeléctrica} = 8,760 \times 10 = 87,600 \text{ kwh}$$

$$\text{Para } H_B = 120 \text{ m y } Q = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ se tiene } \frac{\text{Energía}}{\text{año}} = 309,273,552.20 \text{ kwh}$$

$$\text{Generación nacional } 310 \text{ Gwh} = (310,000 \times 10^6 \text{ wh})$$





**Área Metropolitana de Guadalajara (AMG)**  
**Segunda más poblada de México**  
**con 5,271,034 habitantes (INEGI 2020)**

# Fuentes de abastecimiento para el AMG

|                 |                       |                        |
|-----------------|-----------------------|------------------------|
| Lago de Chapala | 7.6 m <sup>3</sup> /s | 5.48 m <sup>3</sup> /s |
|-----------------|-----------------------|------------------------|

|                |                       |                       |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Presa Calderón | 2.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s |
|----------------|-----------------------|-----------------------|

|                  |                          |  |
|------------------|--------------------------|--|
| Agua subterránea | 3.9577 m <sup>3</sup> /s |  |
|------------------|--------------------------|--|

|       |                           |  |
|-------|---------------------------|--|
| Total | 10.4377 m <sup>3</sup> /s |  |
|-------|---------------------------|--|

## Proyección de la población y demanda de agua potable para el AMG

| Año                               | 2020*     | 2021      | 2022      | 2023      | 2024      | 2025      | 2026      | 2027      | 2028      | 2029      | 2030      | 2045      | 2052      |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Población                         | 5,243,392 | 5,292,855 | 5,341,567 | 5,390,279 | 5,437,902 | 5,484,413 | 5,528,605 | 5,571,720 | 5,613,762 | 5,654,725 | 5,694,503 | 6,165,484 | 6,212,142 |
| Gasto requerido m <sup>3</sup> /s | 12.7444   | 12.8646   | 12.983    | 13.1014   | 13.2171   | 13.3302   | 13.4376   | 13.5424   | 13.6446   | 13.7441   | 13.8408   | 14.9856   | 15.0990   |

### PROBLEMÁTICA ACTUAL

*El crecimiento de la población del AMG, origina una presión sobre el recurso agua, debido a que la demanda del líquido vital estimada para el año 2052 de 15 m<sup>3</sup>/s, rebasa la oferta actual.*

*Se advierte que el caudal de 10.4377 m<sup>3</sup>/s, suministrado al AMG durante el periodo 2014-2022, solamente cubre los requerimientos de 3,607,269 habitantes, por lo que sólo en el año de 2020 representó un déficit de 2.3084 m<sup>3</sup>/s y una población bajo estrés hídrico de aproximadamente 1,636,123 personas.*

*Romper esta tendencia fue la razón por la que se luchó durante 30 años.*

*Con motivo de la pandemia (2021) se decidió construir el Acueducto El Salto-La Red-Calderón.*

*Posteriormente, por iniciativa del gobierno federal, se amplió al sistema Zapotillo- El Salto-La Red-Calderón.*

# Fuentes de agua de la AMG



**Lago de Chapala**  
**Volumen 8,000 hm<sup>3</sup>**  
**Superficie 1,146.60 km<sup>2</sup>**  
**Jalisco 86% Michoacán 16%**

**Pelicanos Borregones, en la Isla de  
Petatán, municipio de Cojumatlán  
De Regules, Michoacán**

**Concesión (CONAGUA) 240 hm<sup>3</sup>**  
**Q = 7.6 m<sup>3</sup>/s**



**Planta de bombeo que alimenta el acueducto Chapala-Guadalajara**

**presa El Salto**  
**Capacidad total 85 hm<sup>3</sup>**



***presa La Red***

**Capacidad total 14.25 hm<sup>3</sup>**



# ***Presa Caldrón***



***Gasto firme 2 m<sup>3</sup>/s***

***Volumen concesionado (CONAGUA) 63. 72 hm<sup>3</sup>***

# Cuenca del Río Verde

| Estado             | Área (km <sup>2</sup> ) |                     | %     |
|--------------------|-------------------------|---------------------|-------|
|                    | Total del estado        | Dentro de Río Verde |       |
| 1. Zacatecas       | 74,479.71               | 3,101.75            | 14.98 |
| 2. Jalisco         | 77,965.89               | 11,617.66           | 56.11 |
| 3. Guanajuato      | 30,339.77               | 1,559.31            | 7.53  |
| 4. Aguascalientes  | 5,558.67                | 4,342.94            | 20.98 |
| 5. San Luis Potosí | 60,499.96               | 83.83               | 0.40  |

A = 20,705 km<sup>2</sup>



## *El Río Verde*



# Río Verde, posibilidad?

Existencias  
Constantes

**D**

1. Gps. Montenegro  
1989  
Abierto de 8:00 A.M. a 8 P.M.

**MAYESA**

25-75-10

## EL INFORMADOR

### DIARIO INDEPENDIENTE

B-200 CARRY ALL 90  
3 puntos  
ENTREGA INMEDIATA

**Jiménez**

TEL.: 19-20-40  
Calz. González Galle 230

AÑO LXXIII  
TOMO CCLXXX

Fundador  
Jesús Álvarez del Castillo V.

GUADALAJARA, JAL., VIERNES 1 DE DICIEMBRE DE 1989

Editor-Director  
Jorge Álvarez del Castillo Z.

Número 25,856

# El Presidente puso en marcha las obras de La Zurda

## Reconoce la URSS los valores de la libertad

Por Gerald NADLER

ROMA, Nov. 30 (UPI).— Italia y la Unión Soviética declararon conjuntamente hoy que el orden internacional futuro deberá estar basado "en los valores universales de libertad, de todas las formas de tolerancia nacional, étnica y religiosa y de pluralismo".

El Presidente soviético Mijail Gorbachov, de visita en Italia, y el Primer Ministro Giulio Andreotti firmaron la declaración conjunta de ocho puntos en una reunión a mediodía en la casa para huéspedes del gobierno Villa Medama.

La declaración resume los principales acuerdos sobre cómo manejar el futuro de Europa después de los dramáticos movimientos de reforma en Europa Oriental, convenidos en los dos días de conversaciones de Gorbachov y los líderes italianos.

La declaración sin duda refleja los puntos de vista que Gorbachov expresó al Presidente George Bush durante su reunión cumbre a bordo de barcos de guerra frente a Malta el sábado y el domingo.

Para subrayar la importancia internacional de la declaración, los líderes la emitieron en inglés, en italiano y en ruso.

"El orden internacional futuro deberá basarse cada vez más en los valores universales de la libertad, de todas las formas de tolerancia nacional, étnica y religiosa y de pluralismo", dice la declaración.

"En muchos países se hace una revisión valiente y profunda de las políticas interior y exterior y sucede un cambio hacia la democracia", dice la declaración. Es necesario que los principios de democracia estén presentes en toda sociedad, junto con el respeto por el



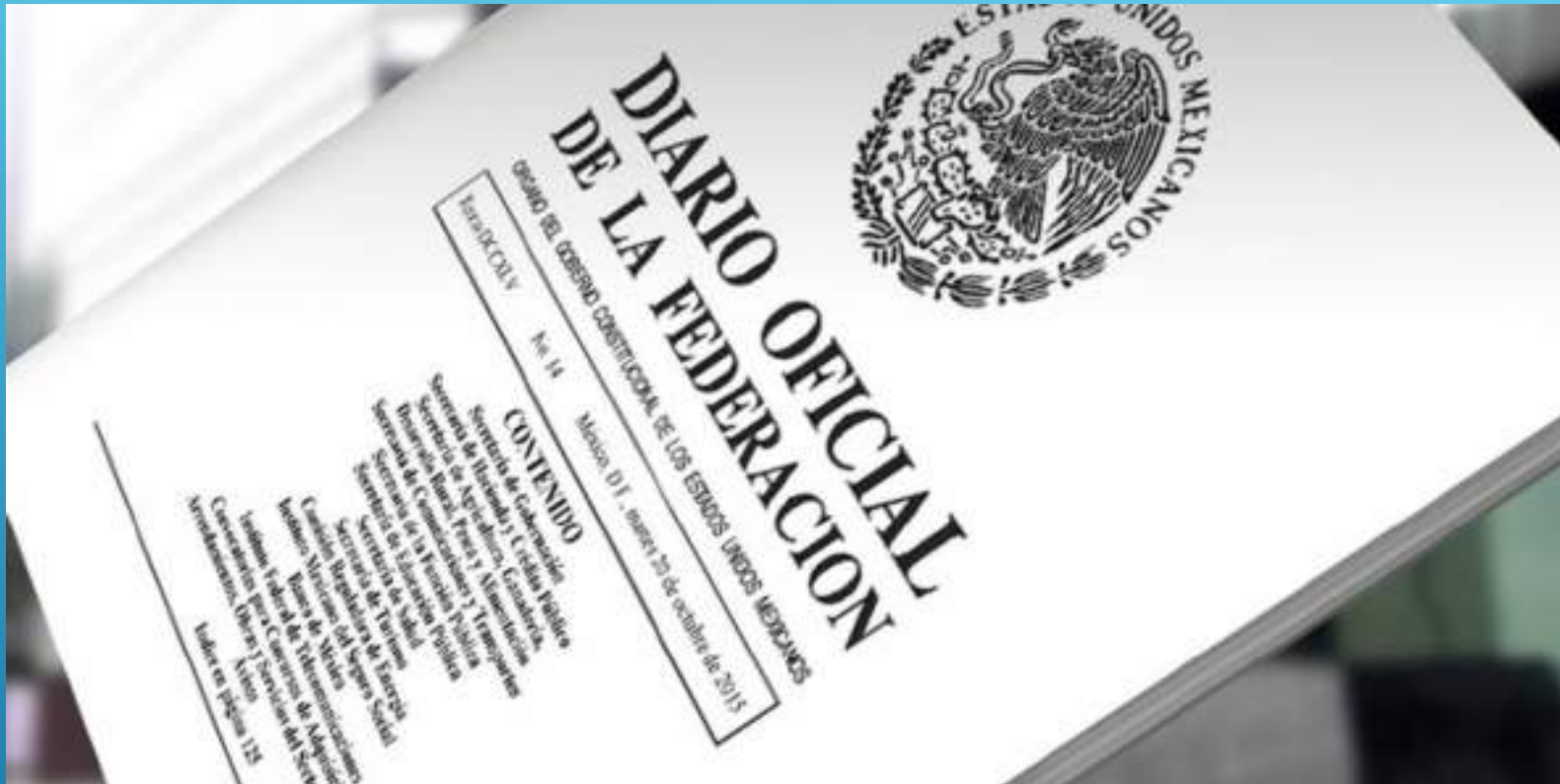
## Tras 40 años de sueños y esperanzas

### Los trabajos no se detendrán hasta que concluyan, ofreció el Lic. Salinas

CAÑADAS DE OBREGÓN, Jal., noviembre 30.— Cuarenta años de anhelos, sueños, quimeras y esperanzas, terminaron hoy aquí al iniciarse la construcción del Sistema Regional de Aprovechamiento de los ríos Verde y Calderón, "La Zurda", en un acto encabezado por el Presidente de la República, Carlos Salinas de Gortari, quien puntualizó que en este proyecto que arranca "no nos vamos a detener hasta concluir" a pesar de su "costo extraordinario" de un billón 850,000 mil millones de pesos, lo que significa la firme promesa de que en un plazo máximo de cinco años la Zona Metropolitana de Guadalajara contará con el agua suficiente que cubra hasta el año 2,005 sus necesidades y en consecuencia disminuir la extracción del Lago de Chapala, vaso que se salvará y no precisamente a "costa de la sed de los habitantes de la capital del Estado".

Esta obra, dijo el Mandatario de la Nación en un evento celebrado a la orilla del Río Verde, a unos cuantos metros de donde se construirá la presa y que corresponde al punto conocido como "Boquilla de la Zurda"; "era un sueño o como aquí se dijo, una utopía, en ocasiones una fantasía y siempre una legítima obsesión" pero ahora podrá realizarse porque "en nuestra patria corren nuevos vientos que muestran que cuando sumamos el trabajo de todos...podemos hacer realidad lo que antes fue frustración".

# Decreto de Reserva



Decreto por el que se declara la reserva de las aguas nacionales superficiales en la cuenca del Río Verde, para usos doméstico y público urbano, publicado el 7 de abril de 1995.

## Decreto de Reserva de las aguas superficiales del Río Verde

| Beneficiario de la Reserva | Decreto 1995       | Decreto 1997       |
|----------------------------|--------------------|--------------------|
| Estado de Jalisco          | 384'739,000        | 372'139,000        |
| Estado de Guanajuato       | 119'837,000        | 119'837,000        |
| <b>Total (m³)</b>          | <b>504'576,000</b> | <b>491'976,000</b> |



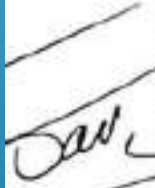
**12'600,000 m³**



# Acuerdo de Coordinación 2005 Jalisco- Guanajuato - CONAGUA

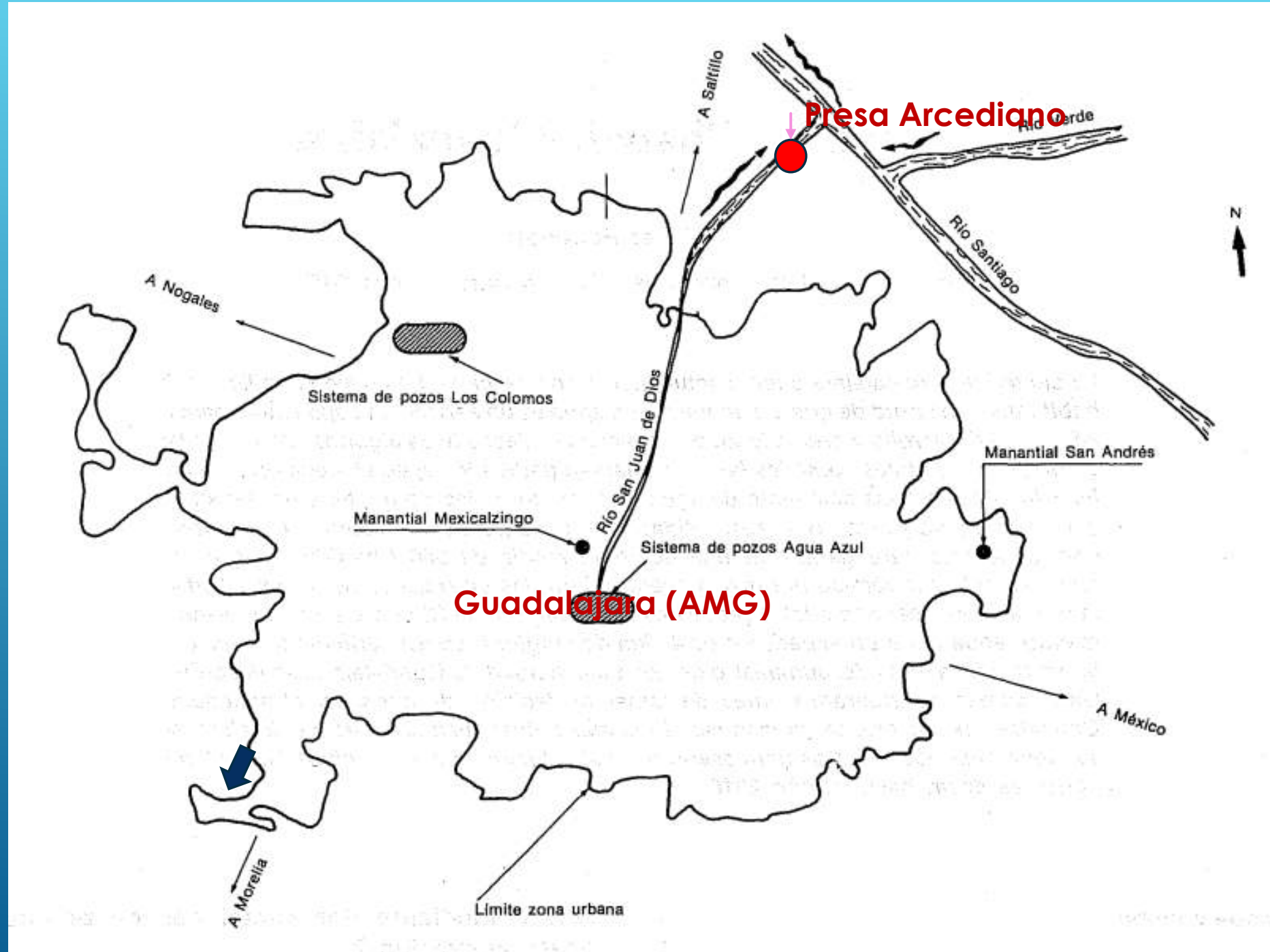
## CLÁUSULAS

**PRIMERA.-** "LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA" Y "LOS ESTADOS" ACUERDAN LLEVAR A CABO UN PROGRAMA ESPECIAL SOBRE LOS USOS Y DISTRIBUCION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE PROPIEDAD NACIONAL DE LA CUENCA DEL RÍO VERDE, CON EL OBJETO DE LOGRAR EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DE LEÓN, GUANAJUATO, LOCALIDADES DE LOS ALTOS DE JALISCO Y ZONA CONURBADA DE GUADALAJARA, A PARTIR DE LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA EN EL RÍO VERDE EN LOS SITIOS ZAPOTILLO Y ARCEDIANO, ESTE ULTIMO UBICADO EN EL RÍO SANTIAGO A 800 METROS AGUAS ABAJO DE LA CONFLUENCIA CON EL RÍO VERDE.

  
**SEGUNDA.-** "LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA" Y LOS ESTADOS DE JALISCO Y GUANAJUATO MANIFIESTAN QUE LLEVAN A CABO CONJUNTAMENTE LOS ESTUDIOS Y PROYECTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA EN EL SITIO EL ZAPOTILLO SOBRE EL RÍO VERDE Y EL ACUEDUCTO EL ZAPOTILLO - LEÓN, GTO., PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DE LEÓN, GUANAJUATO Y LOCALIDADES DE LA ZONA DE LOS ALTOS EN EL ESTADO DE JALISCO, MEDIANTE LA CELEBRACION DE ANEXOS DE EJECUCIÓN Y SUS RESPECTIVOS ANEXOS TÉCNICOS.

  
"LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA" CONJUNTAMENTE CON "EL ESTADO DE JALISCO" LLEVAN A CABO LOS ESTUDIOS Y PROYECTOS DEL SITIO ARCEDIANO, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA ZONA CONURBADA DE GUADALAJARA, MEDIANTE LA CELEBRACION DE ANEXOS DE EJECUCIÓN Y SUS RESPECTIVOS ANEXOS TÉCNICOS.

2001



2009

# Convenio de Coordinación 2007

## Características generales de la presa Zapotillo

| CONCEPTO                      | PROYECTO 2005             | INCREMENTO                | PROYECTO MODIFICADO 2007  |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>PRESA</b>                  |                           |                           |                           |
| Altura de cortina             | 80 m.                     | 25 m.                     | 105 m                     |
| <b>Almacenamiento</b>         | <b>411 hm<sup>3</sup></b> | <b>500 hm<sup>3</sup></b> | <b>911 hm<sup>3</sup></b> |
| Gasto firme                   | 5.6 m <sup>3</sup> /s     | 3.0 m <sup>3</sup> /s     | 8.6 m <sup>3</sup> /s     |
| León                          | 3.8 m <sup>3</sup> /s     |                           | 3.8 m <sup>3</sup> /s     |
| Los Altos                     | 1.8 m <sup>3</sup> /s     |                           | 1.8 m <sup>3</sup> /s     |
| Zona Conurbada de Guadalajara |                           | 3.0 m <sup>3</sup> /s     | 3.0 m <sup>3</sup> /s     |
| Área de embalse               | 2,100 Ha                  | 2,400 Ha                  | 4,500 Ha                  |
| <b>ACUEDUCTO</b>              |                           |                           |                           |
| Longitud de acueducto (100" ) | 140 km                    |                           | 140 km                    |
| Altura de bombeo              | 500 m                     |                           | 500 m                     |

Fuente: Elaborado a partir de Convenio de Coordinación 2007

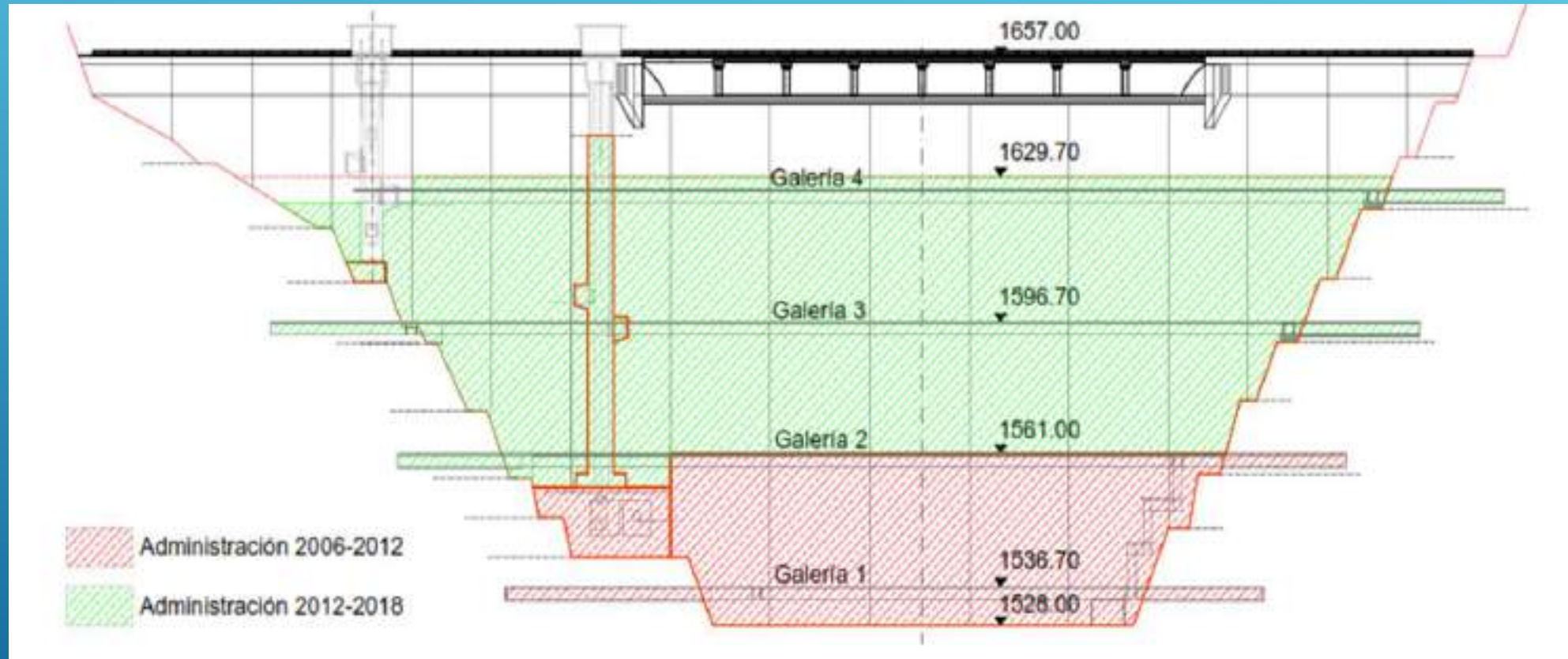


**Proyecto original 80 m de altura**

**Proyecto original 105 m de altura**



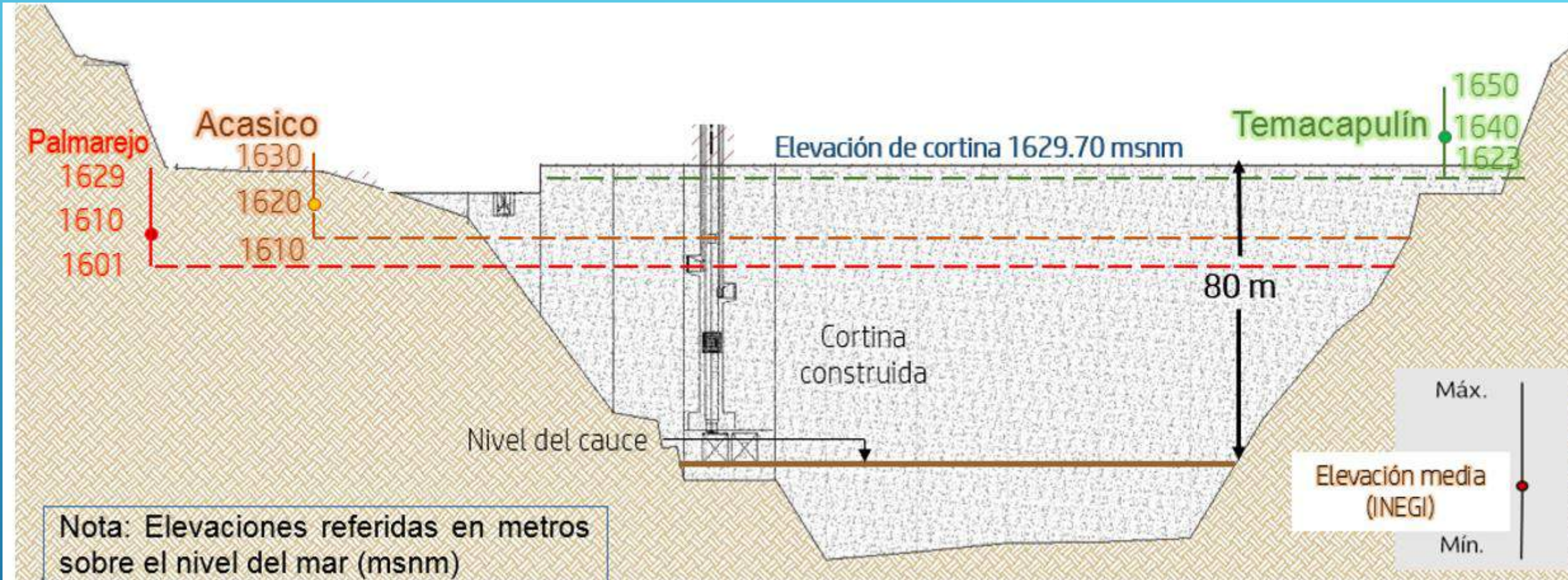
# Construcción Presa Zapotillo



*Presa El Zapotillo*



# Situación de los poblados



| Municipio          | Localidad            | Población Total |
|--------------------|----------------------|-----------------|
|                    |                      | 322             |
| Cañadas de Obregón | Temacapulín (Temaca) | 269             |
| Cañadas de Obregón | Palmarejo            | 0               |
| Mexticacán         | Acasico              | 53              |

# Suspensión Presa Zapotillo



**Septiembre 2014**

La construcción de la cortina de CCR se detuvo el día 03 de Julio de 2014 para no desacatar la sentencia de la SCJN.

# Prospectiva Presa Zapotillo



Para concluir el proyecto Zapotillo a 105 m de altura, se requería resolver la situación jurídica y reponer el convenio que la SCJN declaró nulo.

De concluir a 80 m de altura, se requiere rediseñar la obra de excedencias y la obra de toma, principalmente.

# Características generales de la presa Zapotillo

| CONCEPTO              | PROYECTO ORIGINAL          | PROYECTO INCONCLUSO        | PROYECTO MODIFICADO 2021   |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PRESA                 |                            |                            |                            |
| Elevación (msnm)      | 1630.00                    | 1655                       | 1590                       |
| Altura de cortina     | 80 m.                      | 105 m                      | 40 m                       |
| <b>Almacenamiento</b> | <b>411 hm<sup>3</sup></b>  | <b>911 hm<sup>3</sup></b>  | <b>45.85 m<sup>3</sup></b> |
| Área de embalse       | 2,100 Ha                   | 4,500 Ha                   | 264 Ha                     |
| <b>Gasto firme</b>    | <b>5.6 m<sup>3</sup>/s</b> | <b>8.6 m<sup>3</sup>/s</b> | <b>2.0 m<sup>3</sup>/s</b> |
| León                  | 3.8 m <sup>3</sup> /s      | 3.8 m <sup>3</sup> /s      | 0 m <sup>3</sup> /s        |
| Los Altos             | 1.8 m <sup>3</sup> /s      | 1.8 m <sup>3</sup> /s      | 0 m <sup>3</sup> /s        |
| AMG                   |                            | 3.0 m <sup>3</sup> /s      | 2.0 m <sup>3</sup> /s      |

Fuente: Elaborado a partir de Convenio de Coordinación 2007 y de información CONAGUA

# Monto de inversión elaboración de estudios y construcción de la presa Zapotillo



\$ 6,810.70 mdp



\$ 7,147.52 mdp

Fuente: Montos en mdp a 2022, a partir de información de ACB Registro de Cartera

# Construcción Presa Zapotillo

## Canal de desvío

Longitud 343 m

Ancho Plantilla 17 m

Altura 8 m

Gasto 1,050 m<sup>3</sup>/s

**Trabajos de excavación en proceso y desplante canal.**



**ETAPA 1 – CONSTRUCCIÓN DEL CANAL DE DESVÍO**



**ETAPA 1 – CANAL DE DESVÍO**

# Construcción Presa Zapotillo



**Fecha:** Enero de 2010

**Estructura:** Boquilla

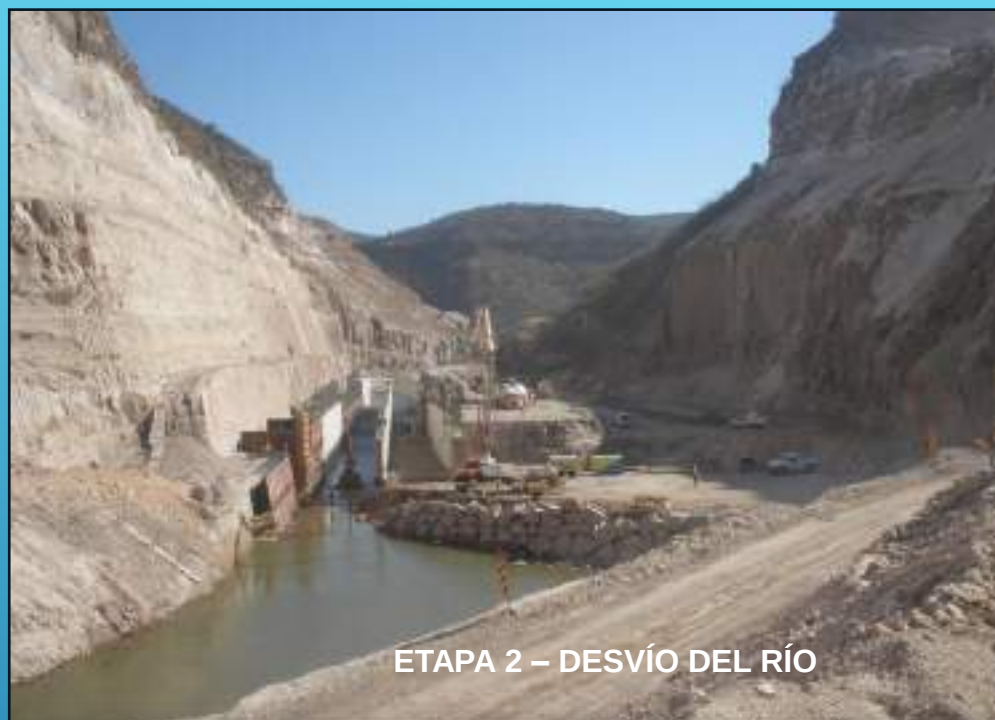
**Descripción:** Vista panorámica de la zona de la Boquilla desde aguas arriba



**Fecha:** Abril de 2012

**Estructura:** Cortina

**Descripción:** Vista panorámica de la construcción de la cortina con concreto compactado con rodillo.



ETAPA 2 – DESVÍO DEL RÍO



ETAPA 3 – DESPLANTE DE CORTINA



ETAPA 4 – COLOCACIÓN CCR CON BANDA



ETAPA 4 – COLOCACIÓN DE CCR CON CAMIONES

# Construcción Presa Zapotillo



- ❖ CCR total colocado en la cortina: 1,339,393 m<sup>3</sup>
- ❖ Mayor producción de CCR en 1 día: 4,242 m<sup>3</sup> (feb-2014)
- ❖ Número máximo de empleados : 1,074 (2013)
- ❖ CCR Faltante para 105 metros: 199,133 m<sup>3</sup>

| Contenido de cemento<br>(kg/m3) | f'c<br>(kg/cm2) |
|---------------------------------|-----------------|
| 150                             | 223             |
| 100                             | 131             |
| 80                              | 89              |



## ***Modelo de la obra de excedencias Escala 1:50***



# Modelo Presa Zapotillo a 80 m

Modelo físico de la presa Zapotillo con las condiciones actuales de la presa en una escala 1:50, en el cuál se hicieron las pruebas para determinar las medidas de protección y amortiguamiento a los efectos del agua sobre la presa y laderas.



**El modelo operando con un gasto equivalente de  
2000 m<sup>3</sup>/s**

Con la finalidad revisar el funcionamiento hidráulico y realizar las modificaciones necesarias para mejorar o rediseñar la obra de excedencias.

# Acuerdo de entendimiento Jalisco-Guanajuato, 2019



Sea cual sea la cantidad de agua que haya disponible, se respetará el siguiente porcentaje:

**76%**  
**JALISCO**

**24%**  
**GUANAJUATO**

# Proyecto Río Verde Convenio de Coordinación 2007

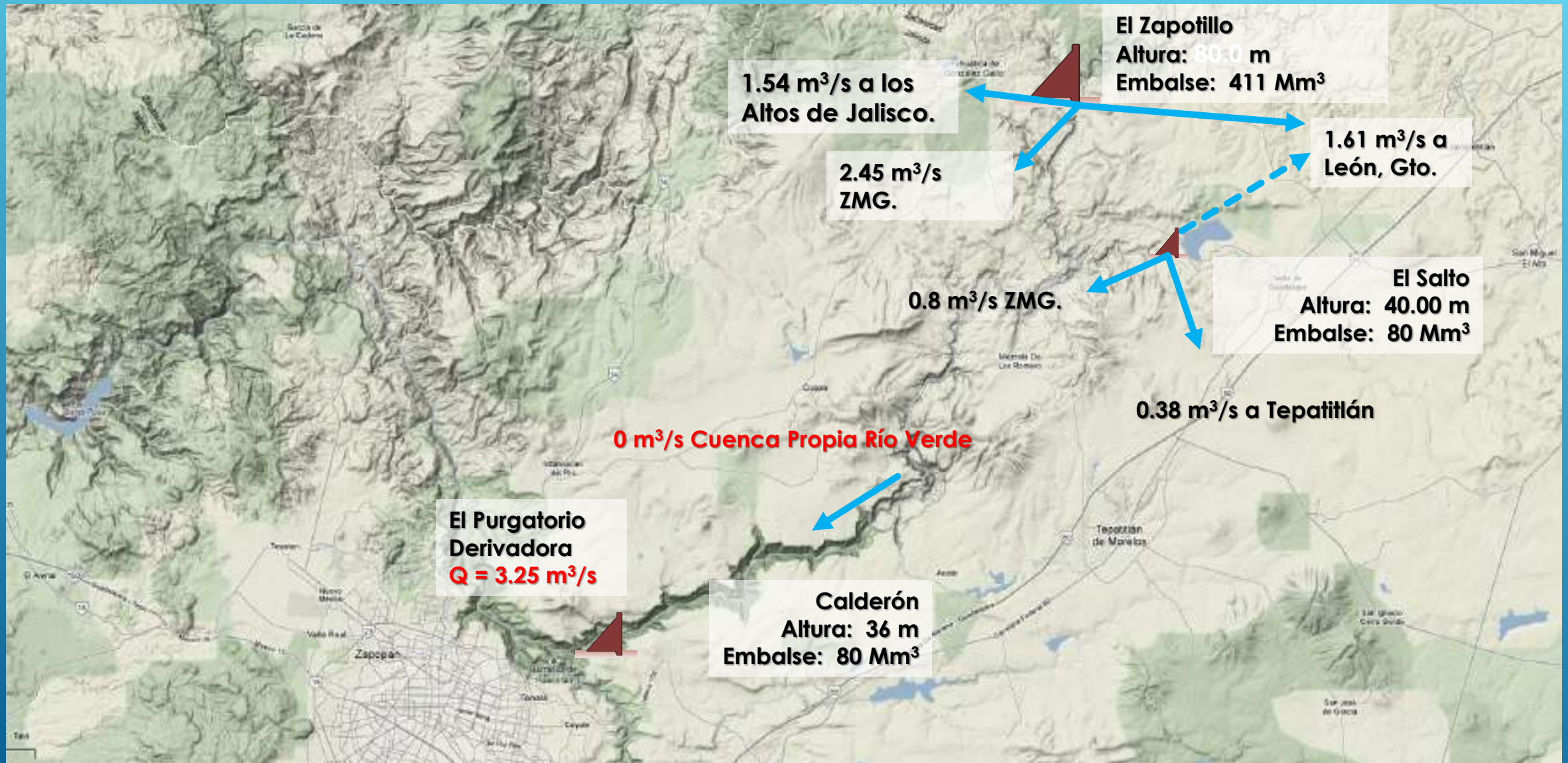
| Proyecto                                            | Situación                          |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------|
| Presa El Salto                                      | Construida                         |
| Presa El Zapotillo                                  | En construcción                    |
| Derivadora y Sistema de Bombeo Purgatorio-Arcediano | Construcción interrumpida          |
| Presa Arcediano – Las Juntas                        | Estudios Geológicos y Anteproyecto |



Fuente: Elaborado a partir de Convenio de Coordinación 2007

# Proyecto Río Verde Acuerdo de Entendimiento Jalisco-Guanajuato 2019

## Escenario Zapotillo a 80 m.



Fuente: Elaborado a partir de Acuerdo de Entendimiento 2019

# Anuncio modificación proyecto Presa Zapotillo, noviembre 2021

105 m

## Premisas:

1. Garantizar la seguridad de los poblados de Palmarejo, Acasico y Temacapulín.
2. Beneficiar a los habitantes de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

## Acciones

- Demoler la cortina de la presa, para habilitar seis ventanas (con una longitud total de 72 metros y una altura de nueve metros), para derivar el agua en exceso y que no se inunden las tres poblaciones.



## ***DETERMINACIÓN DEL GASTO FIRME***

*Se determinó construir seis ventanas vertedoras, 12 m de ancho y 9 m de altura, en la elevación 1,590 m. Lo que permita desalojar un gasto asociado al  $T_r = 10,000$  años, sin inundar las comunidades de Palmarejo, Acasico y Temacapulín.*

### ***Funcionamiento de Vaso***

*Ecuación de Continuidad del Almacenamiento*

$$\frac{dV}{dt} = I - O$$

*En diferencias finitas*

$$\Delta \text{Volumen} = \text{Ingresos} - \text{Salidas}$$

$$\text{Almacenamiento}_{\text{final}} - \text{Almacenamiento}_{\text{inicial}} = \text{Ingresos} - \text{Extracciones}$$

$$\text{Almacenamiento}_{\text{final}} = \text{Almacenamiento}_{\text{inicial}} + \text{Ingresos} - \text{Extracciones}$$

*La curva Elevaciones – Áreas – Capacidades, fue la curva del proyecto 2005*

# Proyecto Río Verde a partir de determinación de gobierno federal 2021

## Escenario Zapotillo a 40 m.



Fuente: Elaboración propia

(antes)

Zapotillo

(ahora)



# Presa Zapotillo modificada 2021

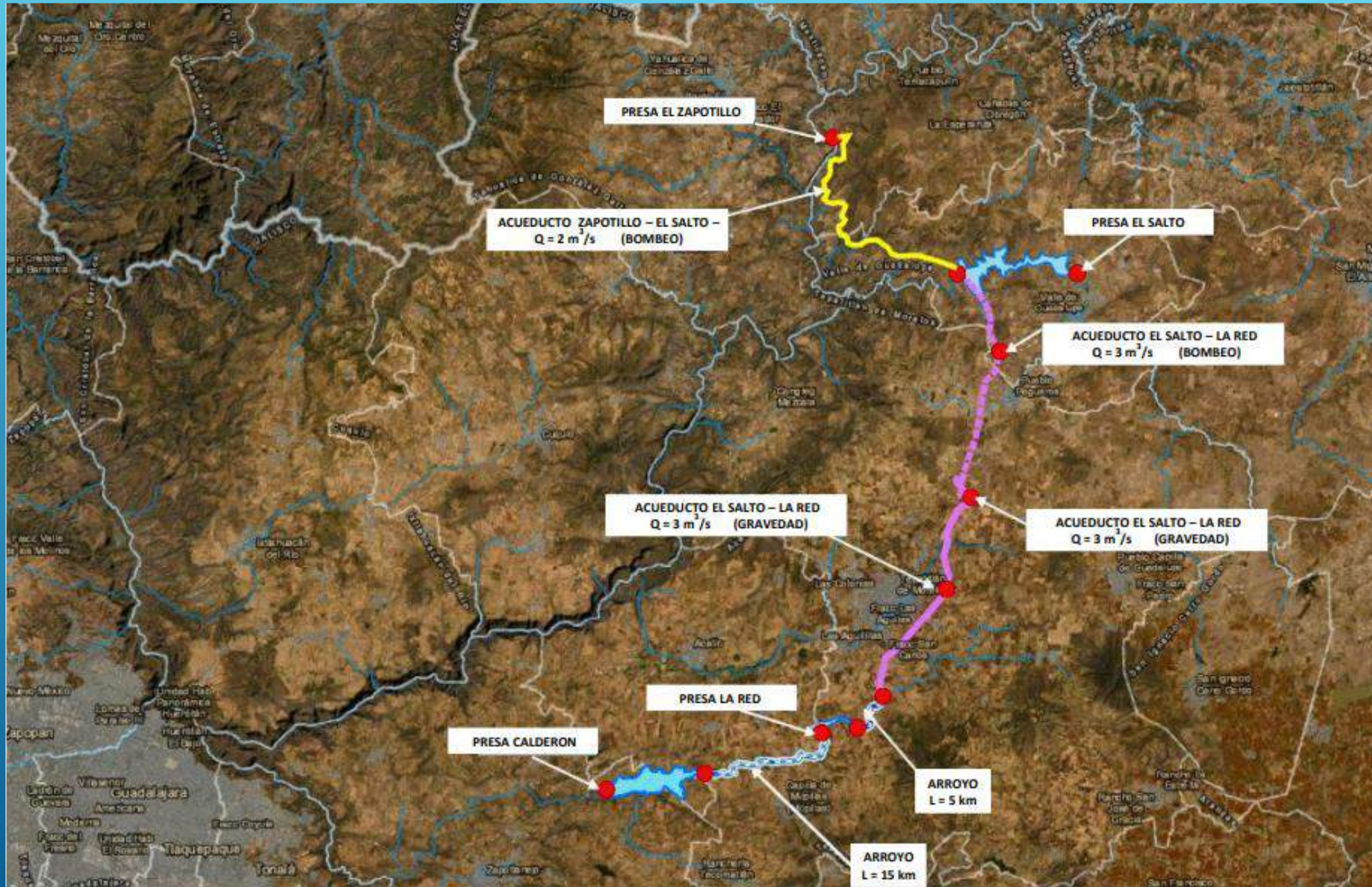


Fuente: CONAGUA, Video presentación 10 de noviembre de 2021.

## ***Presa El Zapotillo (Actualmente)***



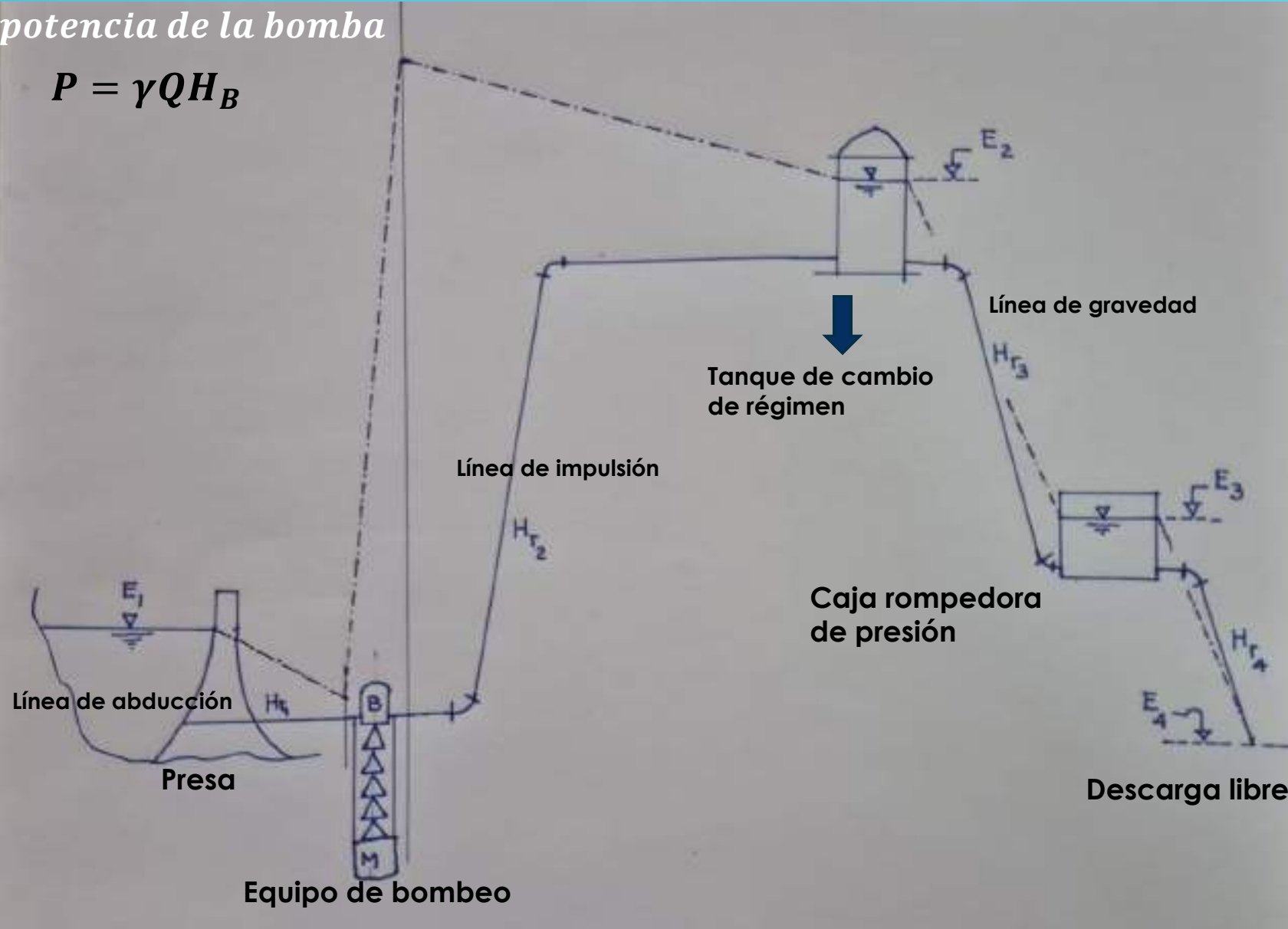
# Acueducto Zapotillo-El Salto-Arroyo Calderón



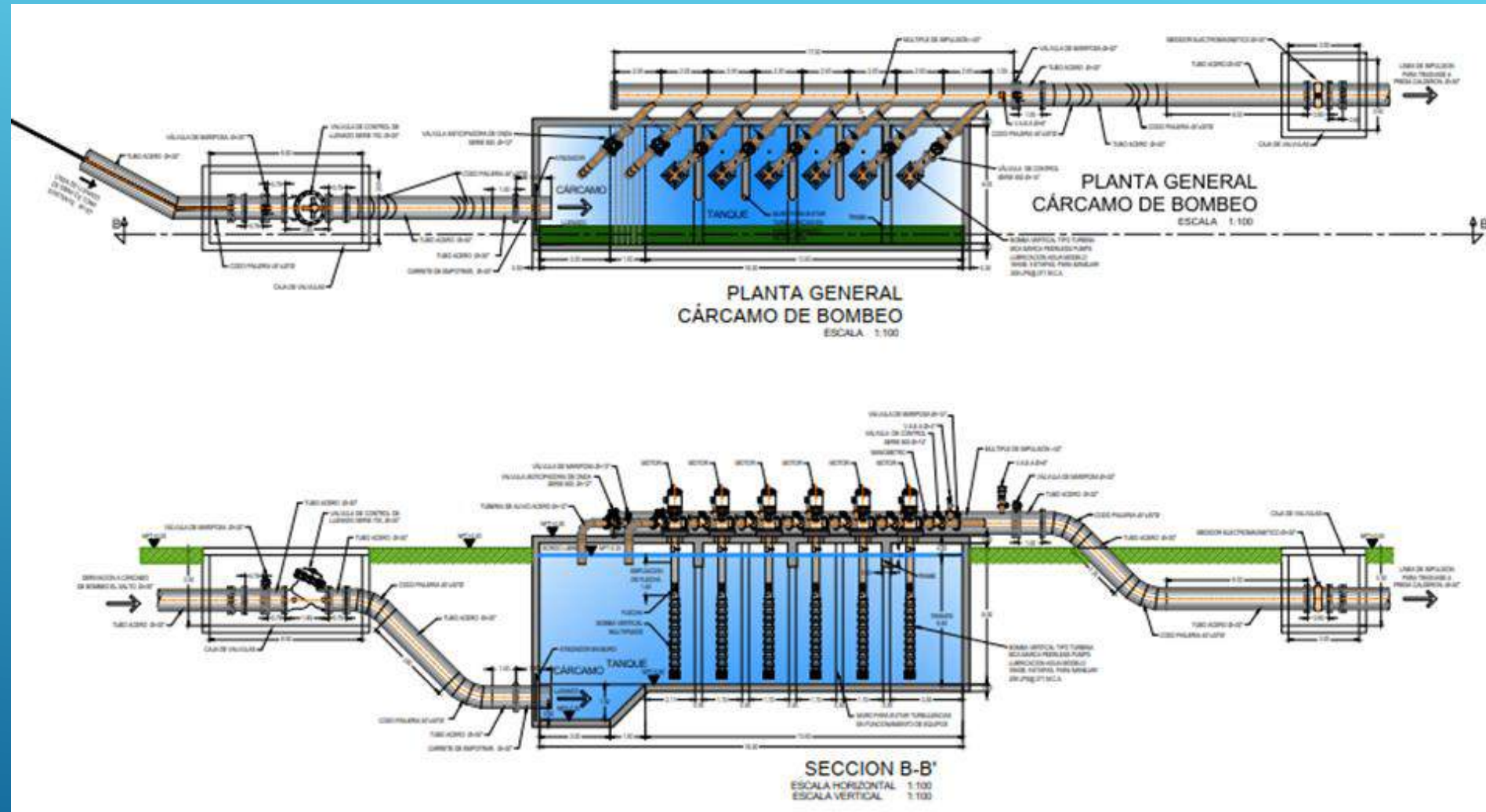
## Flujo Establecido Acueducto El Salto-Arroyo Calderón

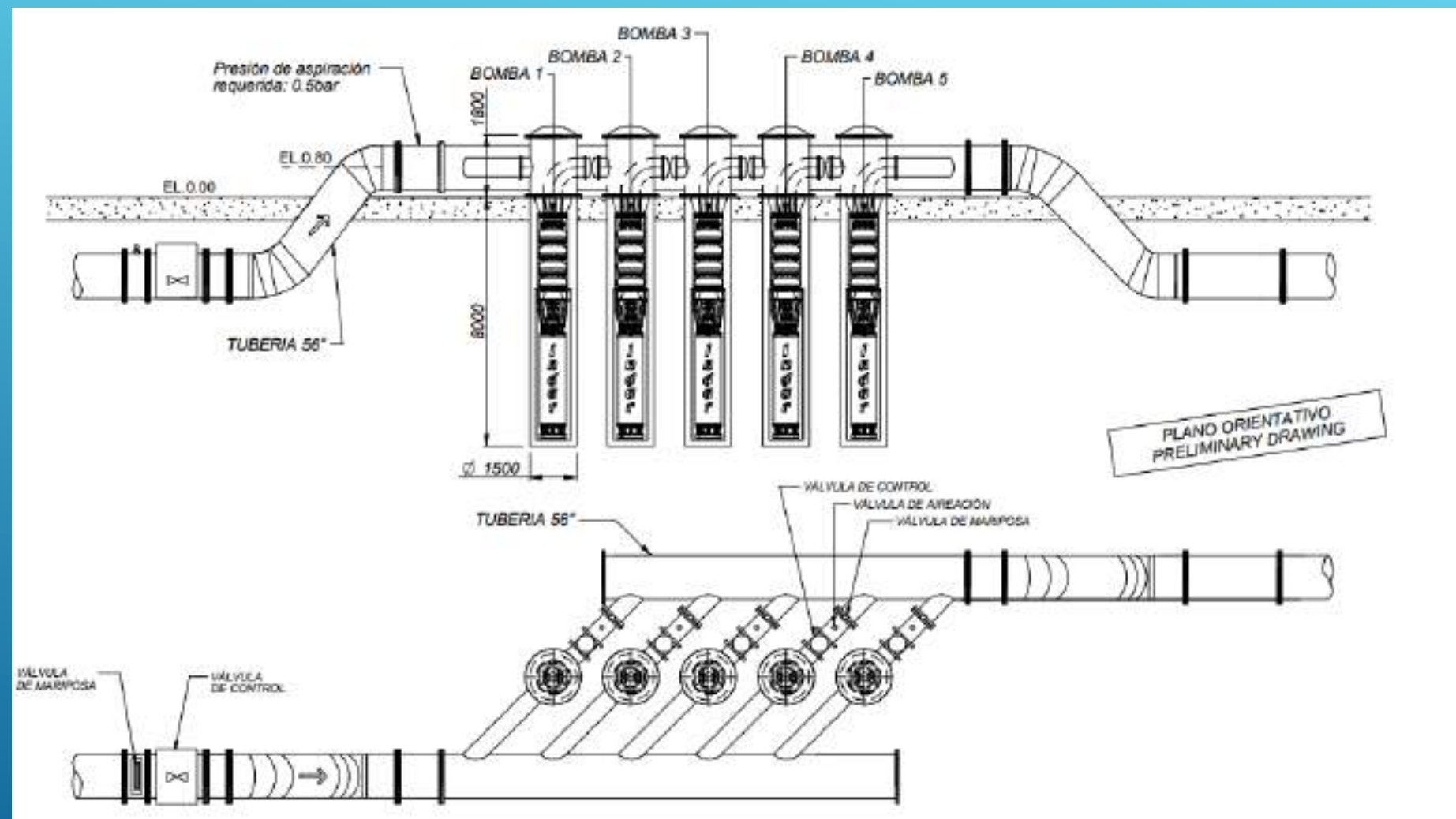
potencia de la bomba

$$P = \gamma Q H_B$$















## *Análisis en Flujo Establecido en el sistema*

### *Ecuación de la Energía*

*entre la presa de El Salto y el Tanque de cambio de Régimen*

$$E_1 - E_2 + H_B = \frac{V_2^2}{2g} + H_{r1} + H_{r2}$$

*entre el Tanque de cambio de Régimen y la caja rompedora de presión*

$$E_2 - E_3 = \frac{V_3^2}{2g} + H_{r3}$$

*entre la caja rompedora de presión y la descarga al arroyo Calderón*

$$E_3 - E_4 = \frac{V_4^2}{2g} + H_{r4}$$

*Sumando*

$$E_1 + H_B = E_4 + \frac{V_4^2}{2g} + \sum h_f + \sum h_L$$

**En la figura anterior...**

*$E_1$  elevación de la SLA en la presa*

*$E_2$  elevación de la SLA en el tanque de cambio de régimen*

*$E_3$  elevación de la SLA en la caja rompedora de presión*

*$E_4$  elevación de la SLA en la descarga al arroyo Calderón*

*$H_{rj}$  Pérdidas de energía [de fricción y locales] en el tubo  $j$  [ $j = 1$  to 4]*

*$H_B$  Carga dinámica de bombeo*

*$\frac{V^2}{2g}$  Carga de velocidad [pérdida o disponible, según sea el caso]*

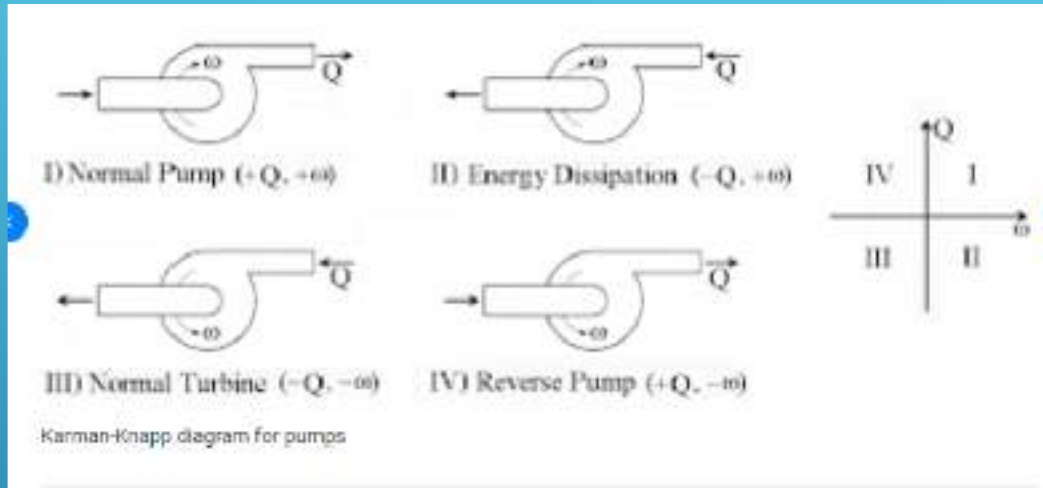
**Desarrollo**

*del concepto de gasto*

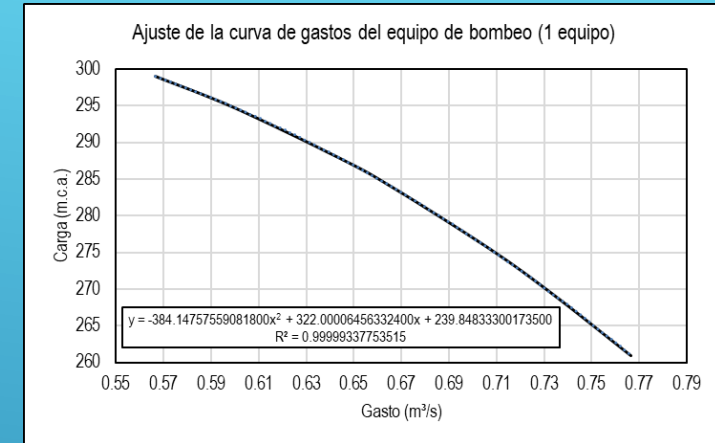
$$\frac{V^2}{2g} = \frac{Q^2}{2gA^2}$$

# Modelo matemático de la bomba

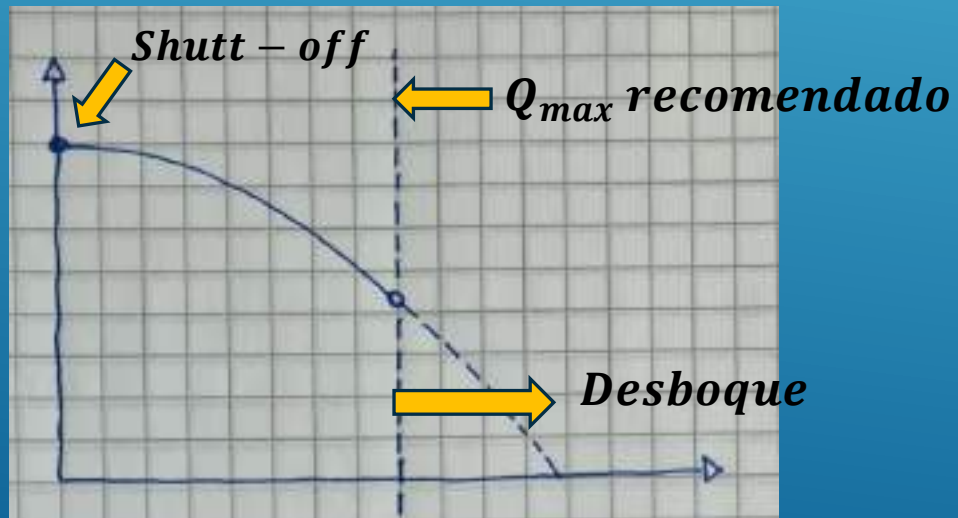
## Curva característica



| Datos | Q(lpm) | Rh (%) | NPSH(m) | h (m) | p (kW) |
|-------|--------|--------|---------|-------|--------|
| 1     | 0      | 0.0    | 2.7     | 345.2 | 1336.1 |
| 2     | 2000   | 8.0    | 2.8     | 341.5 | 1397.8 |
| 3     | 4000   | 15.8   | 2.9     | 337.8 | 1413.5 |
| 4     | 6000   | 22.9   | 3.0     | 334.1 | 1433.7 |
| 5     | 8000   | 29.7   | 3.0     | 330.7 | 1458.7 |
| 6     | 10000  | 36.3   | 3.0     | 327.5 | 1488.8 |
| 7     | 12000  | 41.8   | 3.1     | 324.7 | 1523.8 |
| 8     | 14000  | 47.2   | 3.1     | 322.1 | 1563.1 |
| 9     | 16000  | 52.1   | 3.2     | 319.8 | 1606.7 |
| 10    | 18000  | 56.6   | 3.4     | 317.8 | 1653.8 |
| 11    | 20000  | 60.8   | 3.6     | 315.9 | 1703.7 |
| 12    | 22000  | 64.4   | 3.7     | 314.1 | 1755.7 |
| 13    | 24000  | 67.7   | 4.0     | 312.3 | 1808.9 |
| 14    | 26000  | 70.8   | 4.2     | 310.3 | 1862.4 |
| 15    | 28000  | 73.6   | 4.6     | 308.1 | 1915.5 |
| 16    | 30000  | 76.2   | 4.9     | 305.8 | 1967.2 |
| 17    | 32000  | 78.5   | 5.3     | 303.6 | 2016.8 |
| 18    | 34000  | 80.5   | 5.8     | 299.0 | 2063.5 |
| 19    | 36000  | 82.3   | 6.2     | 294.7 | 2106.8 |
| 20    | 38000  | 84.3   | 6.8     | 287.7 | 2158.1 |
| 21    | 40000  | 85.1   | 7.2     | 283.8 | 2181.5 |
| 22    | 42400  | 86.1   | 7.9     | 275.6 | 2218.0 |
| 23    | 44000  | 86.6   | 8.3     | 269.4 | 2239.0 |
| 24    | 46000  | 86.8   | 8.9     | 260.9 | 2261.7 |
| 25    | 48000  | 86.6   | 9.5     | 251.6 | 2281.1 |
| 26    | 50880  | 85.5   | 10.4    | 236.3 | 2305.0 |
| 27    | 52500  | 84.8   | 10.6    | 230.7 | 2313.8 |
| 28    | 54000  | 83.1   | 11.5    | 219.4 | 2329.8 |



Carga  
dinámica  
total



Gasto

Mediante un proceso de ajuste  
por mínimos cuadrados

$$H_B = 239.84 + 322Q^2 - 384.1476Q^3$$

$$H_B = a_0 + a_1Q^2 + a_3Q^3$$

## Pérdidas por fricción

para  $j = 1$  to 4

$$h_{f_j} = f_j \frac{L_j}{D_j} \frac{V_j^2}{2g}$$

$$h_{f_j} = f_j \frac{L_1}{D_1} \frac{Q^2}{2gA_j^2}$$

$$h_{f_1} = \hat{K}_{f_j} Q^2$$

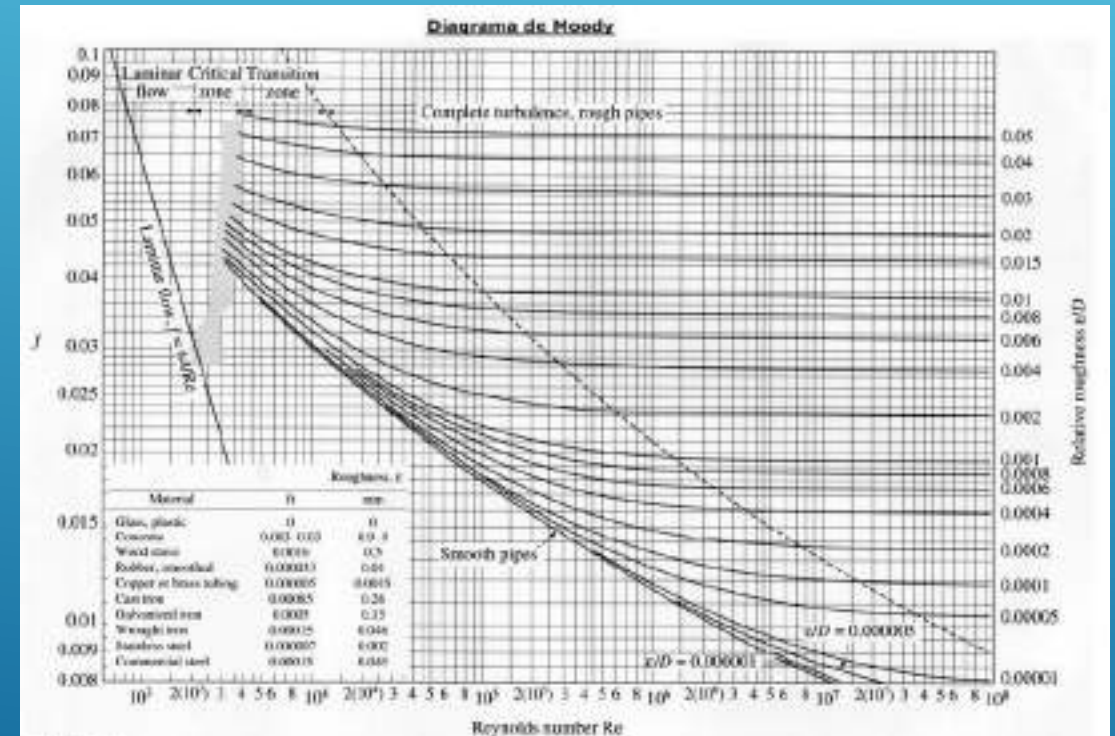
$$\hat{K}_{f_j} = \frac{f_j L_j}{2gD_j A_j^2}$$

## de igual manera, las pérdidas locales

$$h_{L_i} = K_{L_i} \frac{V_i^2}{2g} = K_{L_i} \frac{Q^2}{2gA_i^2}$$

$$h_{L_i} = \hat{K}_i Q^2$$

$$\hat{K}_i = \frac{K_{L_1}}{2gA_i^2}$$



***Finalmente***

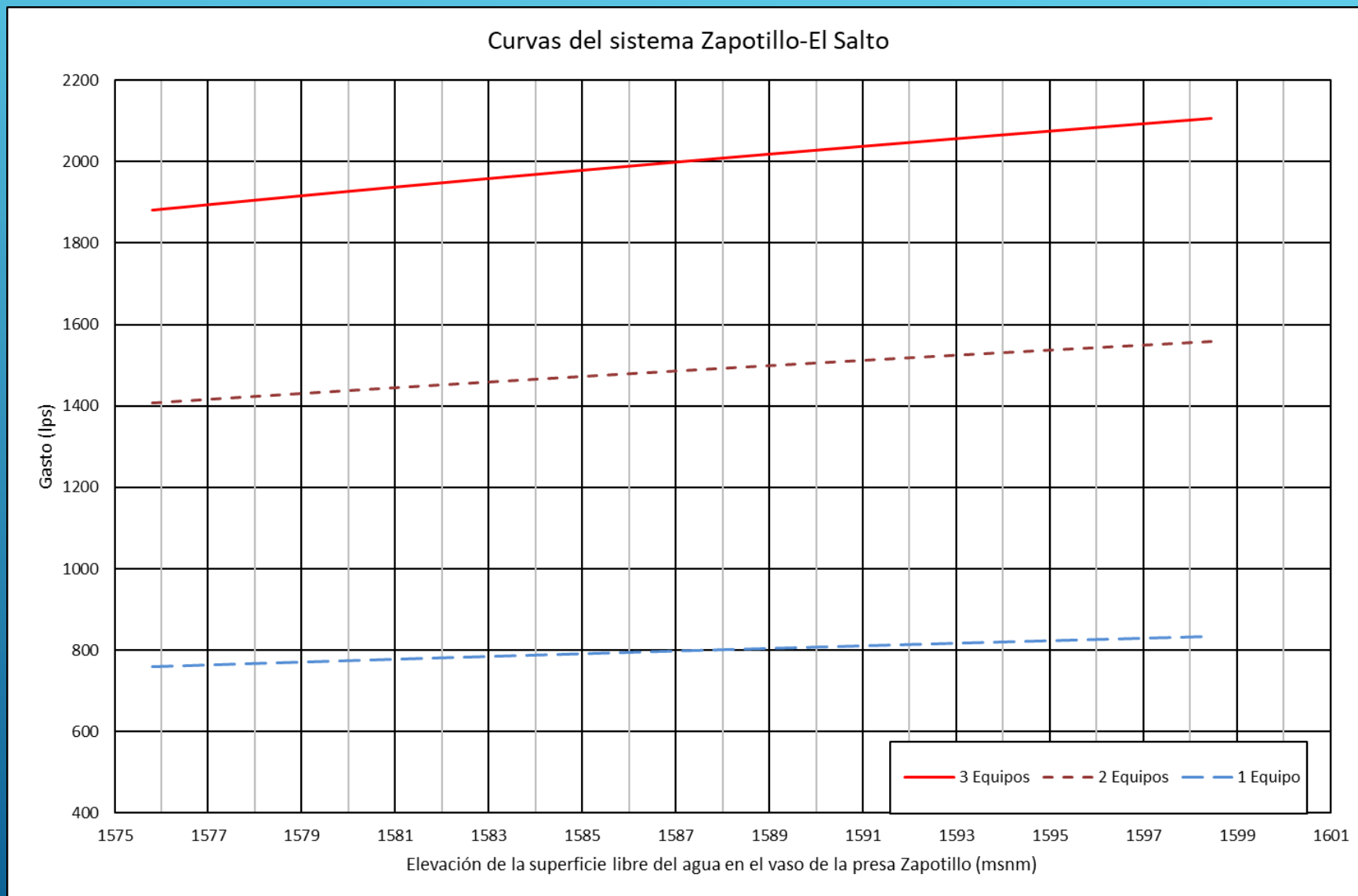
***se propone  $E_1$***

$$\mathbf{NAMINO} \leq E_1 \leq \mathbf{NAME}$$

$$E_1 + a_0 + a_1 Q^2 - a_2 Q^3 - E_4 - \frac{Q^2}{2gA_4^2} - \sum_{i=1}^n h_L - \sum_{j=1}^4 h_f = 0$$

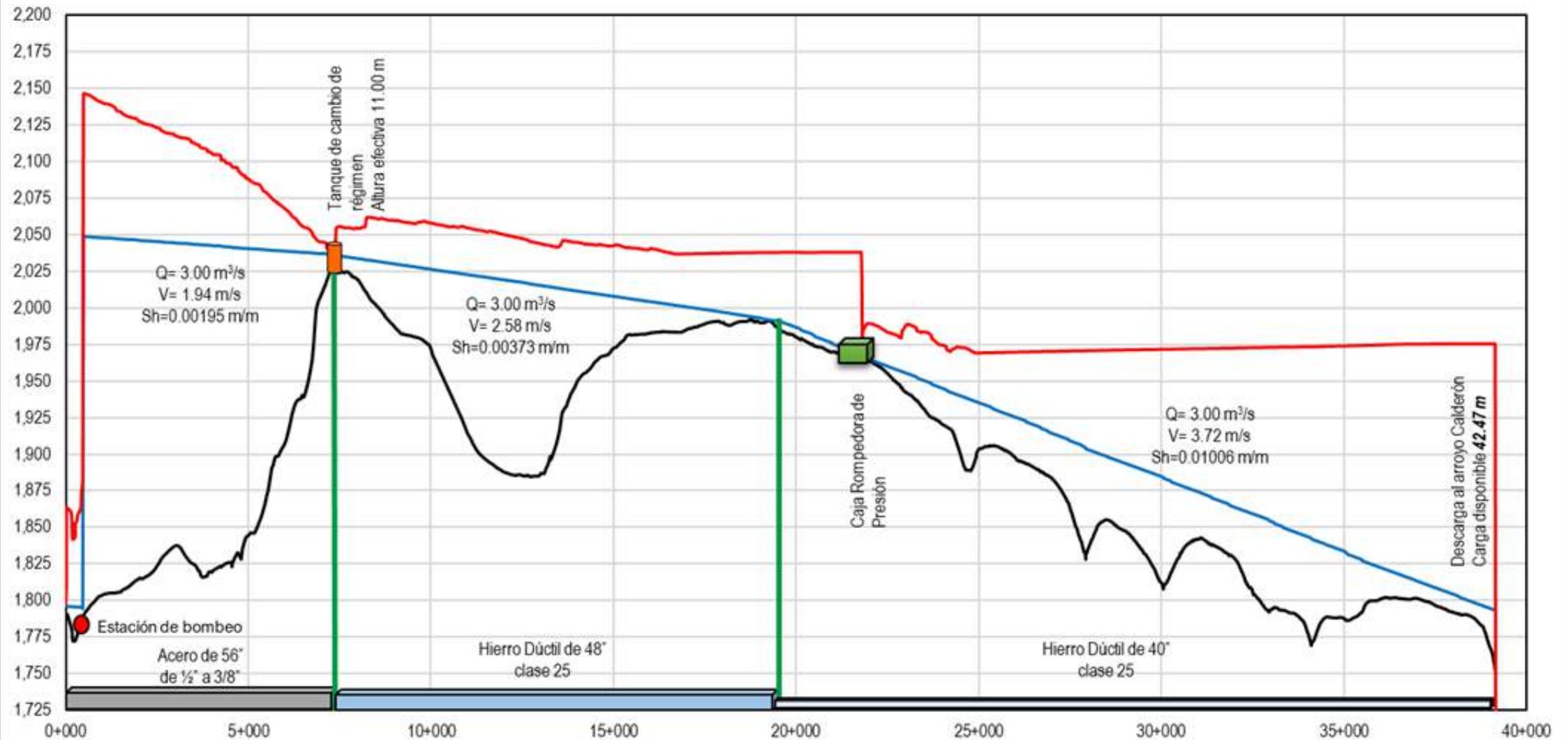
***con  $Q$  se determinan los niveles  $E_2$  y  $E_3$***

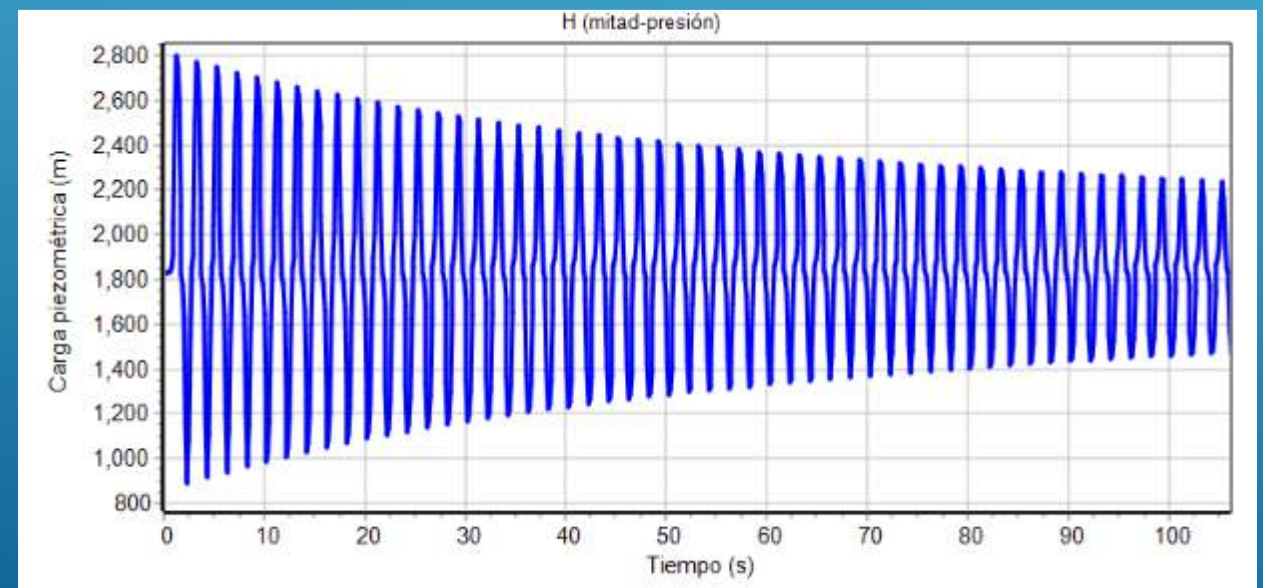
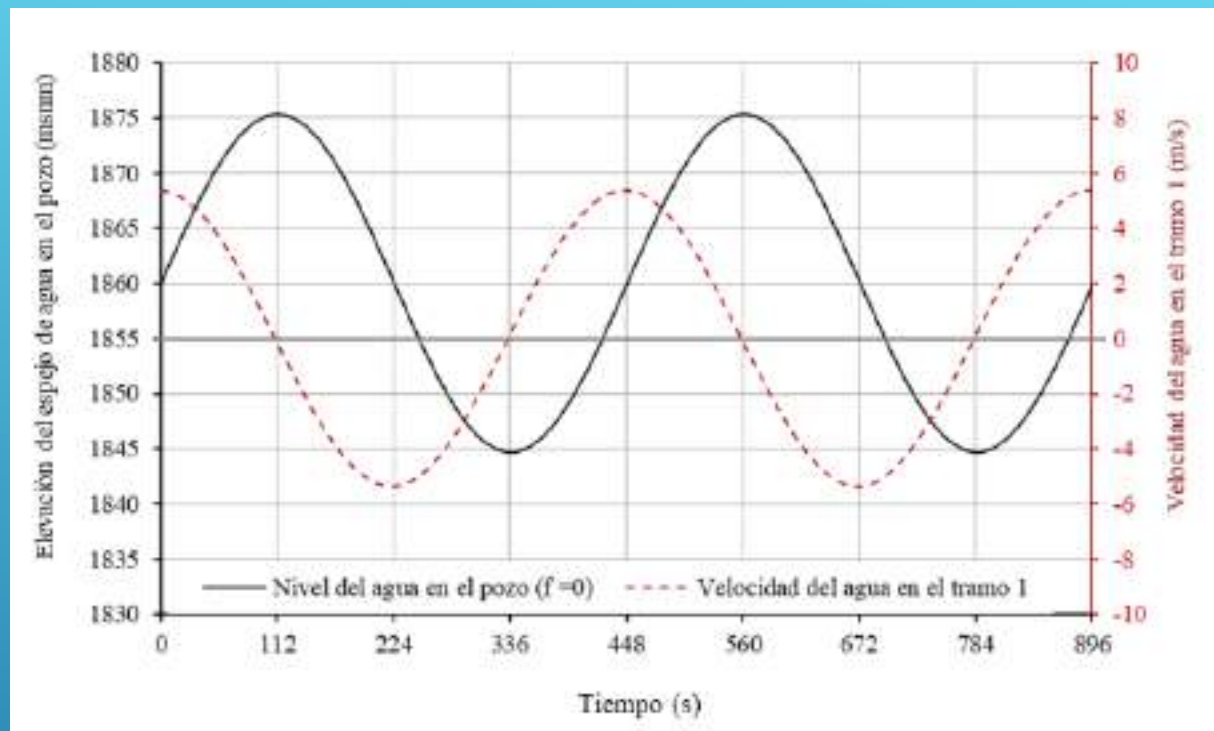
## Análisis en flujo establecido



## Acueducto El Salto-Descarga Arroyo Calderón

Perfil hidráulico del acueducto





## ***Modelo Matemático del Flujo Transitorio***

***[Representación matemática del fenómeno físico]***

***Sistema de ecuaciones diferenciales parciales hiperbólicas  
casi lineales con 2 variables dependientes (H y V)  
en función de 2 variables independientes (x, t)***

### ***Ecuación Dinámica***

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{fV|V|}{2D} = 0$$

### ***Ecuación de continuidad***

$$V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - V \sin \alpha = 0$$

$$a = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + \frac{KD}{Ee} C_1}}$$

## 2 EDP por 4 EDT

$C^+$

$$\frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f|V|}{2D} - \frac{g}{a} V \sin \alpha = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = V + a$$

$C^-$

$$-\frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f|V|}{2D} + \frac{g}{a} V \sin \alpha = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = V - a$$

## En términos de diferencias finitas

### Ecuaciones de compatibilidad

$$H_P + BQ_P - C_P = 0$$

$$H_P - BQ_P - C_M = 0$$

$$C_P = H_R + BQ_R \left\{ 1 - \frac{f|Q_R|}{2AD} \Delta t + \frac{\Delta t}{BA} \sin \alpha \right\} = 0$$

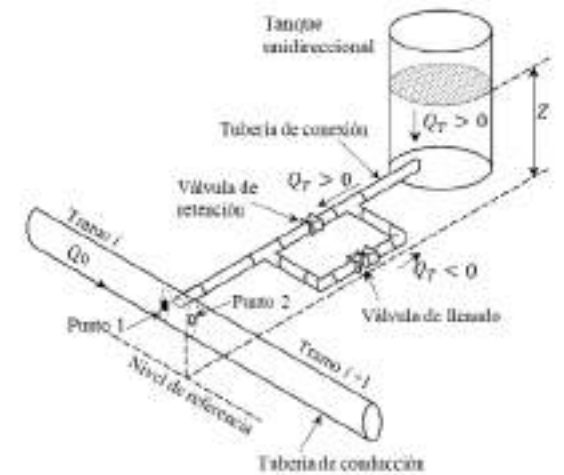
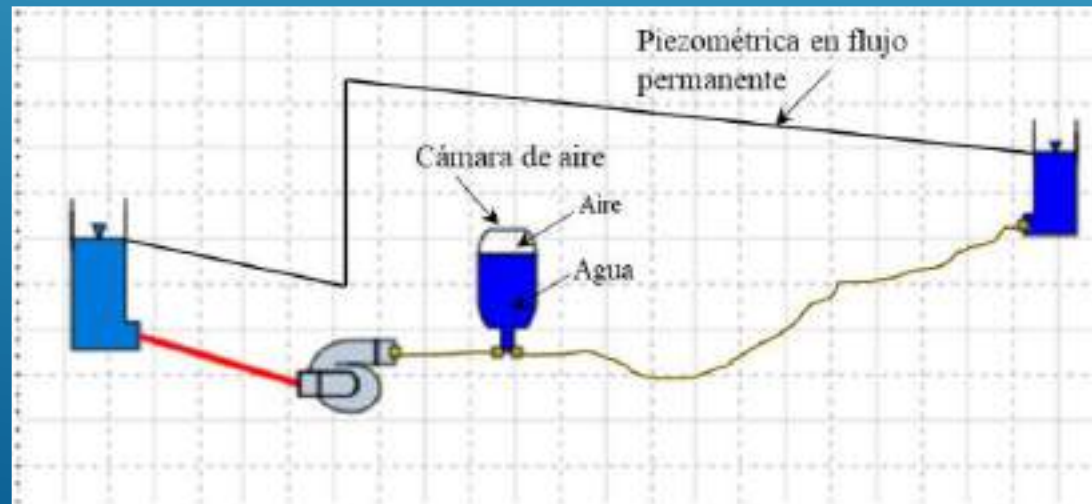
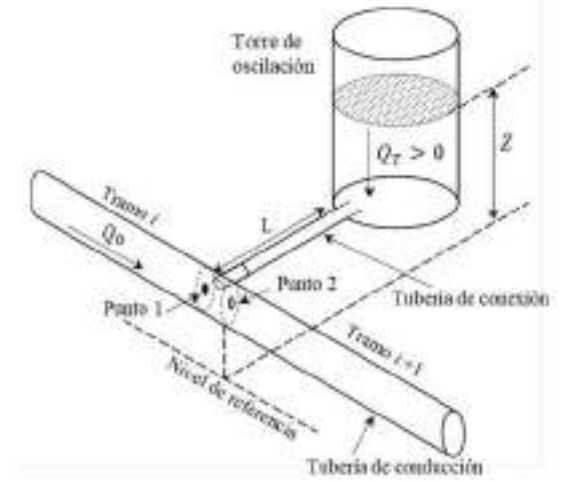
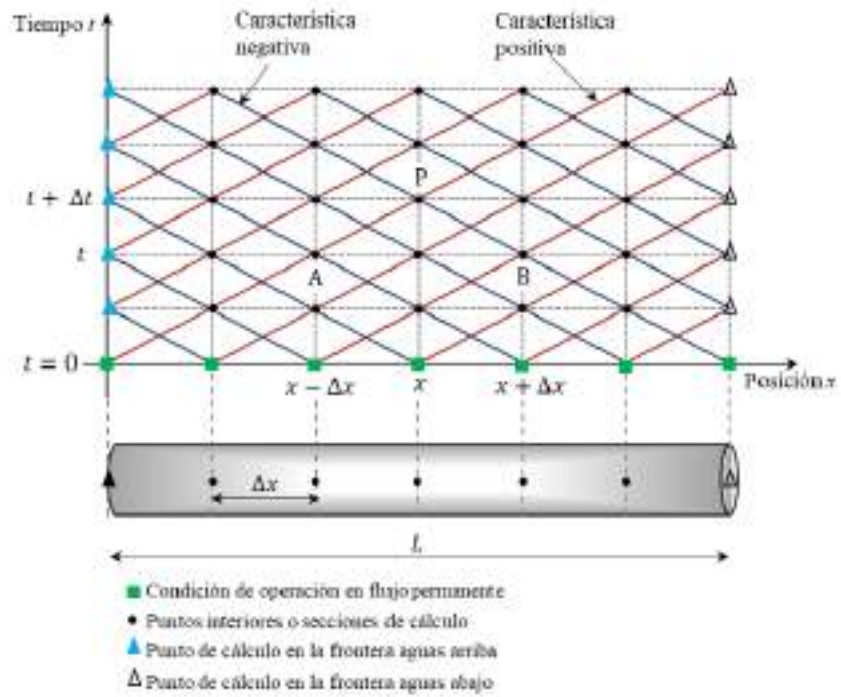
$$C_M = H_S - BQ_S \left\{ 1 - \frac{f|Q_S|}{2AD} \Delta t + \frac{\Delta t}{BA} \sin \alpha \right\} = 0$$

de donde:

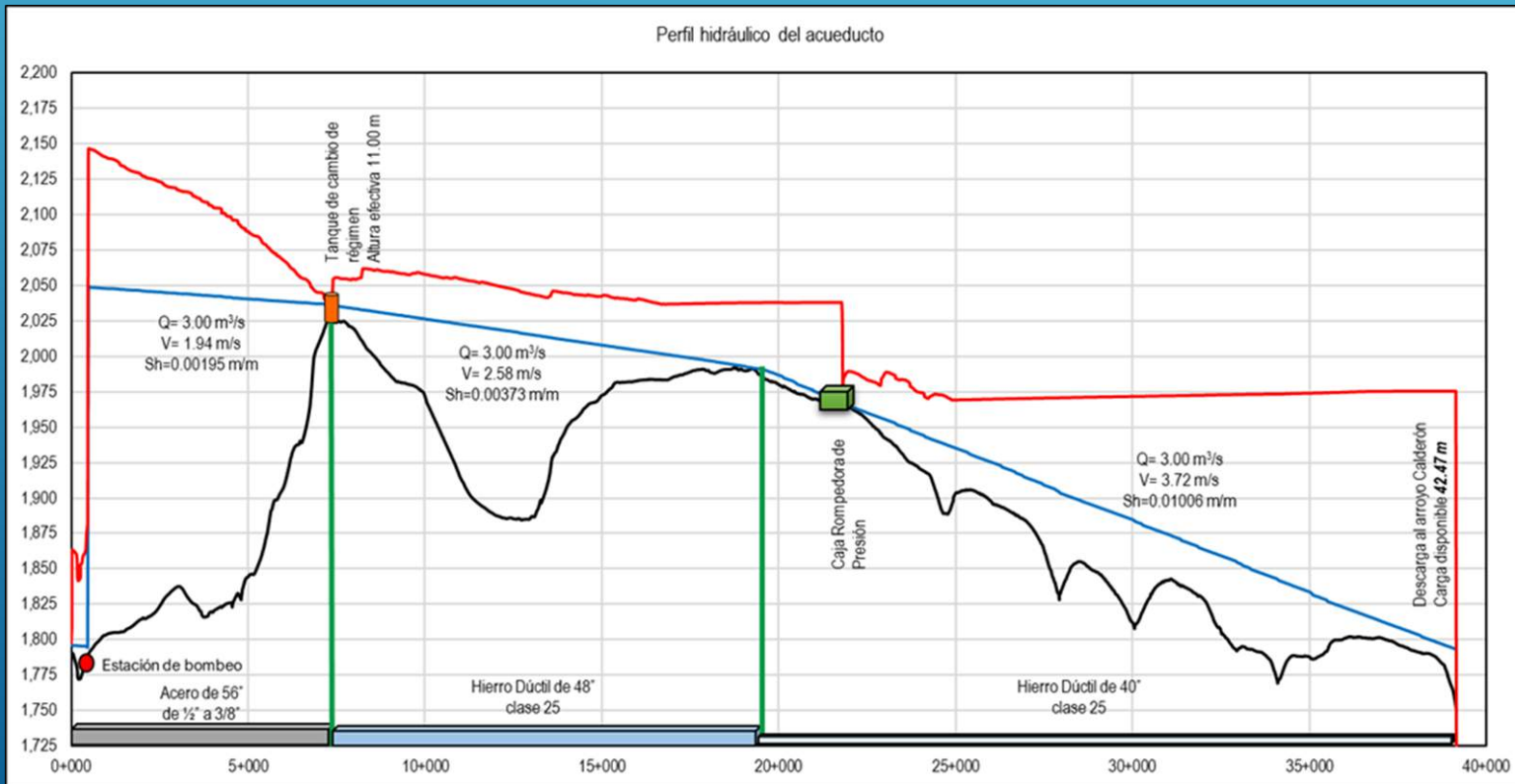
$$H_P = \frac{C_P + C_M}{B} \qquad B = \frac{a}{gA}$$

$$Q_P = \frac{C_P - C_M}{B} \qquad Q_P = \frac{H_P - C_M}{2B}$$

## Malla Característica



# Software Bentley HAMMER-V8i



# Acueducto Zapotillo-El Salto



Comisión Estatal del  
**Agua Jalisco**

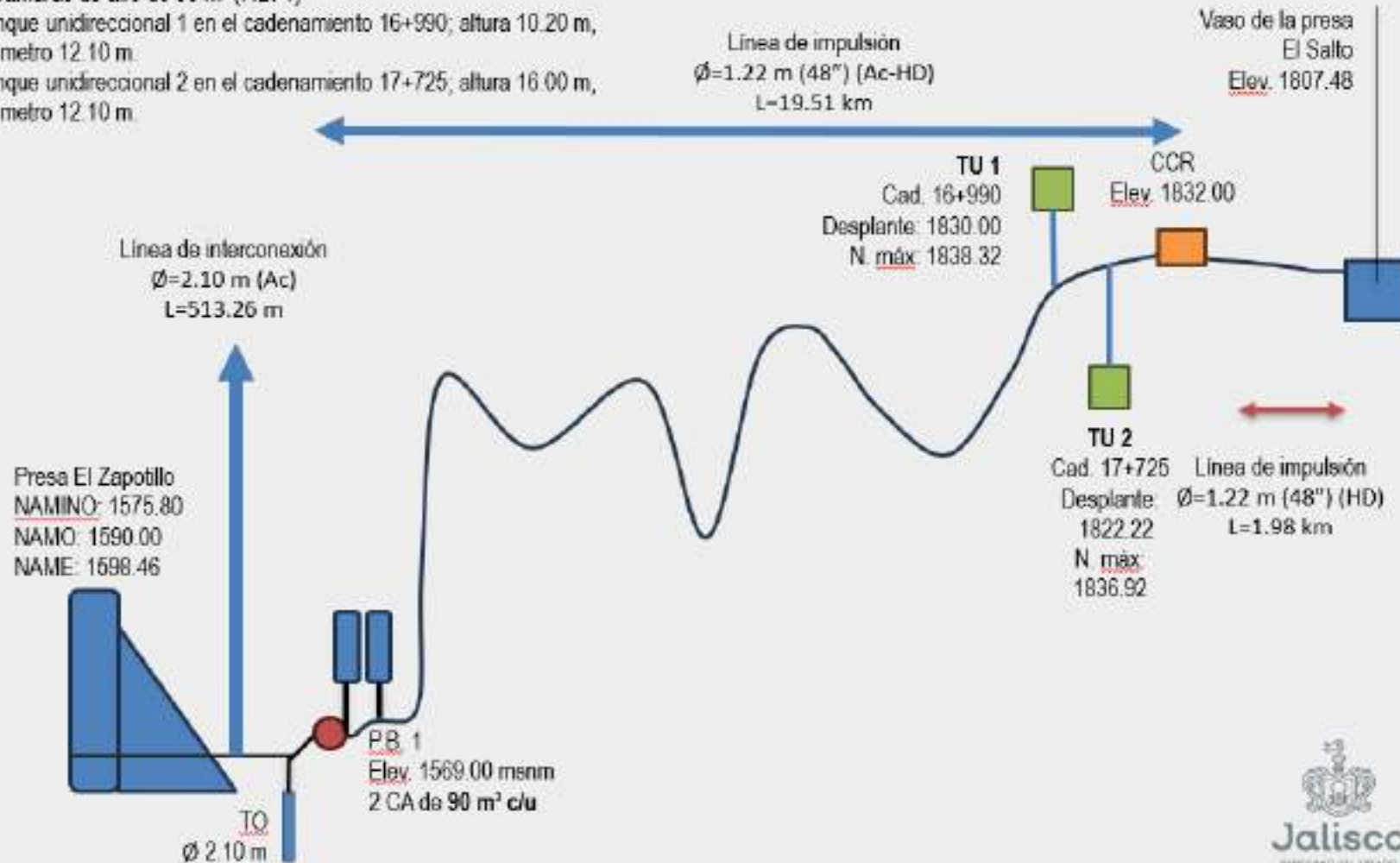
Dispositivos:

Torre de oscilación en la línea de interconexión.

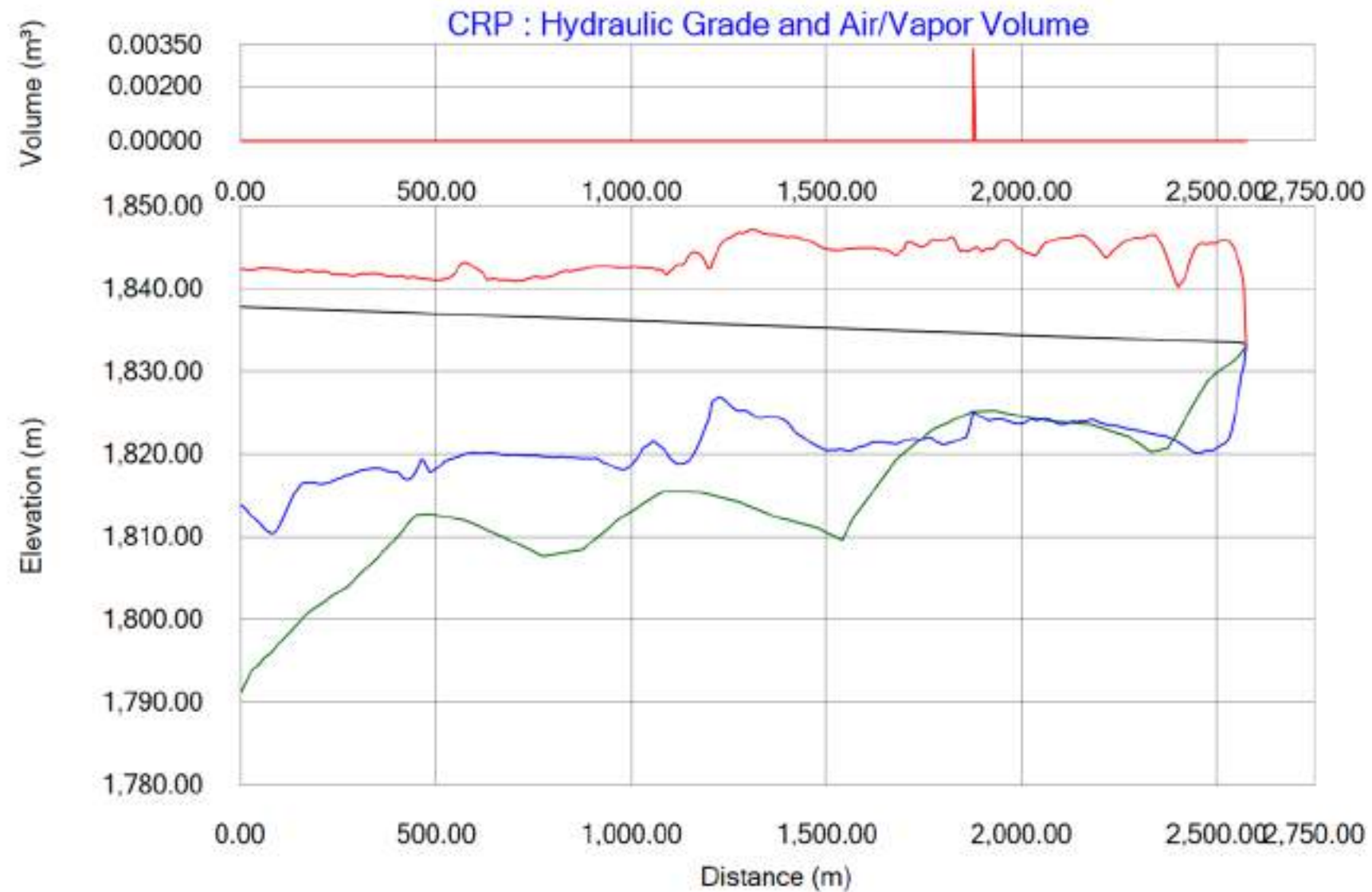
2 Cámaras de aire de 90 m<sup>3</sup> (P.B. 1)

Tanque unidireccional 1 en el cadenamiento 16+990; altura 10.20 m, diámetro 12.10 m.

Tanque unidireccional 2 en el cadenamiento 17+725; altura 16.00 m, diámetro 12.10 m.



## Flujo transitorio Zapotillo-El Salto



**Gracias por su atención**