

## RESUMEN

### 1.-Diagnostico del área de estudio.

Durante el año 1977 y parte de 1978, la asociación San Jacinto conformada por: La Empresa Nacional de Electricidad (ENDE), la Corporación de Desarrollo Regional de Tarija (CODETAR), y los Servicios Eléctricos de Tarija (SETAR) junto al consorcio internacional de consultoría SOFRELEC de Francia y CONSA de Bolivia, realizan el estudio de factibilidad para la realización de un proyecto de construcción de una presa de embalse denominado “Proyecto Múltiple San Jacinto”

El proyecto considerado está ubicado sobre el río Tolomosa, a 7 Km aproximadamente al Sud-Este de la ciudad de Tarija.

El río Tolomosa tiene sus nacientes en la cordillera de Taxara a 3.500 metros de altura sobre el nivel del mar, aproximadamente.

Las coordenadas del sitio son las siguientes: Latitud Sur: 21° 35´ 45” Longitud Oeste: 64° 43´ 30”.

La precipitación se caracteriza por periodos relativamente cortos de lluvias (Noviembre-Abril), con regímenes de precipitaciones muy variables en cuanto a frecuencia e intensidad y con un periodo largo de estiaje (Mayo-Octubre), periodo en el cual es más notorio el déficit de agua en las subcuencas del Río Santa Ana.

La temperatura media del área del embalse, comunidad de de San Jacinto oscila alrededor de los 17.4° C. con máximas durante el periodo de verano de aproximadamente 39.4°C. En cuanto a las mínimas registradas éstas alcanzan los -8°C. Sobre todo durante el invierno que por las características de la zona la humedad es un factor decisivo para alcanzar estos valores extremos

Los meses con humedad relativa más alta que son: enero, febrero y marzo con valores cercanos a 80% de humedad, mientras que en junio y julio este valor es alrededor del 35%

## **2.- Objetivo.**

Evaluar el uso del agua y el comportamiento hidráulico del embalse “San Jacinto”, utilizando los datos medidos reales luego de 20 años de funcionamiento.

## **3.- Generalidades.**

El embalse “San Jacinto” se encuentra ubicado aproximadamente a 7 Km de la ciudad de Tarija y se encuentra formado por el dique La Tablada, el angosto de San Jacinto donde se encuentra construida la presa de doble curvatura y su principal aportante es el río Tolomosa.

La presa de “San Jacinto” es una bóveda de hormigón de doble curvatura, ubicada en el Angosto de San Jacinto.

La máxima altura es de 44.50 m, y la longitud del coronamiento excede los 100 m.

Las obras hidráulicas de la presa comprenden un vertedero libre con umbral calado a la cota 1882.50 m.s.n.m. y de 900 m<sup>3</sup>/s de capacidad de evacuación cuando se produce la máxima crecida (periodo de retorno de 10000 años) que eleva el nivel del embalse hasta la cota máxima de 1887.00 m.s.n.m.

Dos desagües de fondo con umbral calado a la cota de 1852.50 m.s.n.m. y capaces de evacuar un caudal máximo de 60 m<sup>3</sup>/s, servidos por un juego de dos compuertas, una tipo vagón y otra tipo sector de circunferencia para cada desagüe.

El macizo de la Tablada, que rodea naturalmente el embalse en el lado Este, está constituido de sedimentos lacustres cuaternarios más o menos permeables y erosionables.

El dique de la tablada tiene un volumen total aproximado de 1650 m<sup>3</sup>, una altura máxima de 33 m, y una longitud de 2790 m.

El circuito hidráulico incluye una toma de agua, una galería de conducción de 705 m. de longitud y 2.70 m. de diámetro, una chimenea de equilibrio de 36.36 metros de alto y 6.50 m. de diámetro interior.

Comprende también una galería blindada de 60 metros de longitud y diámetro interior de 2.70 m., una cámara de válvulas y dos tuberías forzadas de 70 m y de 1.60 m. de diámetro interior.

En el sector de la entrada a la planta hidroeléctrica, las dos tuberías forzadas se dividen en cuatro conductos forzados de 1.10 m. de diámetro interior, mismos que después de un corto recorrido, llevan las aguas hacia un número igual de turbinas Francis de eje horizontal.

La planta hidroeléctrica está constituida por un edificio principal, locales técnicos para la central, y un canal de descarga.

La potencia máxima instalada es de 7.4 MW en dos grupos de 3.7 MW que comprenden cada uno de un alternador de 3.7 MW y dos turbinas Francis de 1837 KW/h de potencia con una altura nominal de 51 metros. Los ejes de las turbinas están ubicados a la cota 1829.85 m.s.n.m. y la restitución está a la cota 1827.00 m.s.n.m. en el extremo aguas debajo de la losa de esta estructura. El salto varía entre los dos extremos de 55.50 m. como máximo y 44.70 m. como mínimo.

La obra de toma de la central hidroeléctrica está compuesta de una torres de hormigón armado de 26.35 m de altura, fundada sobre roca en el nivel 1862.95. En el nivel 1889.30 tiene una plataforma desde donde se comanda el sistema de cierre y apertura de las compuertas y extracción de la rejilla de entrada.

Esta obra se encuentra ubicada a 150 m. aguas arriba del margen izquierda de la presa.

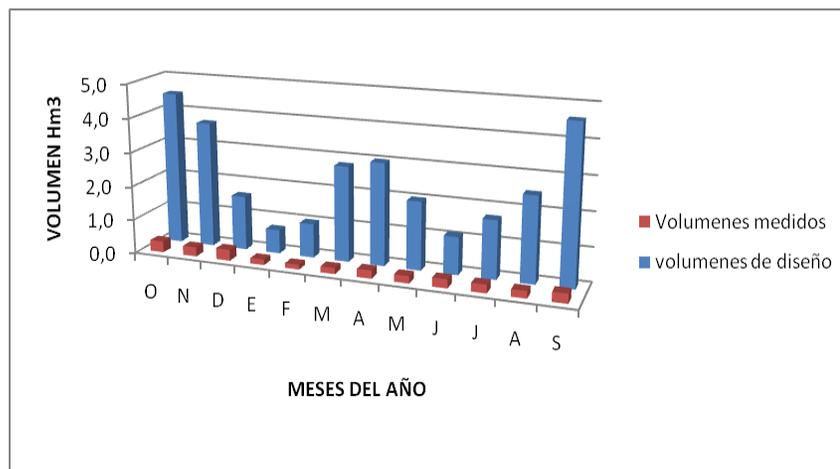
#### 4.- Riego.

Para realizar una evaluación de los volúmenes de irrigación del embalse, se realizará un balance comparativo entre los datos proyectados en el estudio de pre inversión y los datos reales medidos.

Dicho balance es de mucha importancia ya que gracias a él, tendremos una idea de cómo y cuanto de agua se ha utilizado en irrigación, y si dichas cantidades corresponden a las proyecciones realizadas en el estudio de pre inversión.

A continuación se presenta el balance comparativo.

#### Balance Comparativo Mensual



#### Variabilidad Volumétrica en Irrigación

| MESES               | -   | O     | N     | D    | E    | F    | M     | A     | M    | J    | J    | A     | S     |
|---------------------|-----|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|
| <b>PROYECTO</b>     | Hm³ | 4,50  | 3,70  | 1,60 | 0,70 | 1,00 | 2,80  | 3,00  | 2,00 | 1,10 | 1,70 | 2,50  | 4,60  |
| <b>REALES</b>       | Hm³ | 0,33  | 0,27  | 0,33 | 0,16 | 0,14 | 0,18  | 0,24  | 0,21 | 0,26 | 0,25 | 0,21  | 0,28  |
| <b>VARIABILIDAD</b> | -   | 13,83 | 13,58 | 4,92 | 4,29 | 7,18 | 15,79 | 12,55 | 9,38 | 4,29 | 6,85 | 11,85 | 16,29 |

Se puede observar que se presenta una variabilidad máxima producida en el mes de septiembre de 16.29 y una variabilidad mínima en el mes de enero de 4.29, la variabilidad media mensual asciende a 10.07.

Se puede constatar que ya transcurridos 20 años de funcionamiento del embalse correspondiente al 40 % de su vida útil, solo el 27 % (1800 hectáreas de 6387 hectáreas de área de influencia del Proyecto Múltiple “San Jacinto”) de las hectáreas del total de terreno dentro del área de influencia del proyecto son regadas.

La lenta aplicación de los diferentes sistemas de riego se deben mayormente a la falta de financiamiento para la construcción de las diferentes infraestructuras de irrigación, además de inicio retrasado de la construcción de la aducción principal (1991-1994) y como también la lenta construcción de la red de distribución de riego (inicio 1995 inicio de obras en pequeñas escala, y a partir de 1998 con mayor impulso).

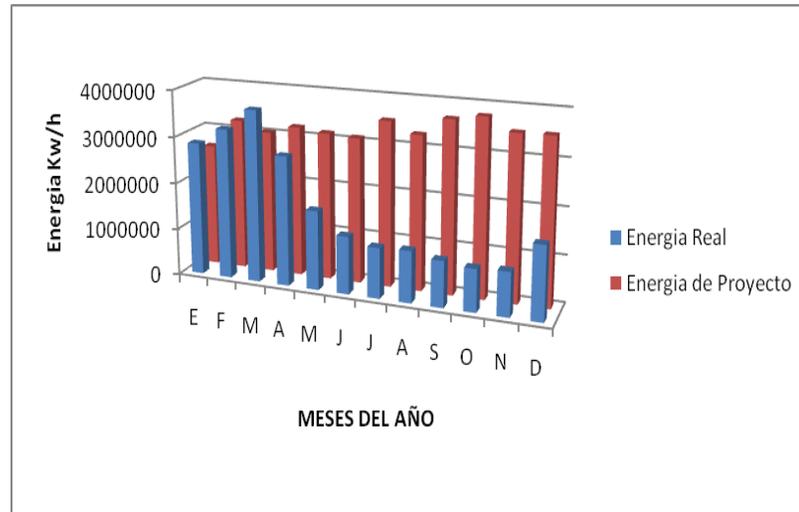
#### **5.-Energía hidroeléctrica.**

La Central Hidroeléctrica San Jacinto forma parte del Sistema de Tarija, está constituida por dos unidades generadoras, cada una de ellas equipadas con dos turbinas tipo Francis de eje horizontal, con una potencia total de 7.4 MW.

De la misma forma que el riego para realizar una evaluación de los volúmenes de agua destinadas a generación de energía hidroeléctrica del embalse, se realizará un balance comparativo entre los datos proyectados en el estudio de pre inversión y los datos reales medidos.

A continuación se presenta el gráfico comparativo de balance de generación de energía.

## Balance Comparativo Mensual



## Variabilidad de Generación Eléctrica Kw/h

| MESES    | REALES<br>KW/h | DISEÑO<br>KW/h | VARIABILIDAD |
|----------|----------------|----------------|--------------|
| -        | -              | -              | -            |
| <b>E</b> | 2855091,98     | 2620000        | 0,92         |
| <b>F</b> | 3212440,07     | 3240000        | 1,01         |
| <b>M</b> | 3677447,13     | 3040000        | 0,83         |
| <b>A</b> | 2771896,25     | 3210000        | 1,16         |
| <b>M</b> | 1690725,04     | 3140000        | 1,86         |
| <b>J</b> | 1228045,80     | 3100000        | 2,52         |
| <b>J</b> | 1076093,38     | 3520000        | 3,27         |
| <b>A</b> | 1099651,14     | 3290000        | 2,99         |
| <b>S</b> | 984625,52      | 3670000        | 3,73         |
| <b>O</b> | 908333,67      | 3780000        | 4,16         |
| <b>N</b> | 940762,67      | 3510000        | 3,73         |
| <b>D</b> | 1570561,88     | 3520000        | 2,24         |

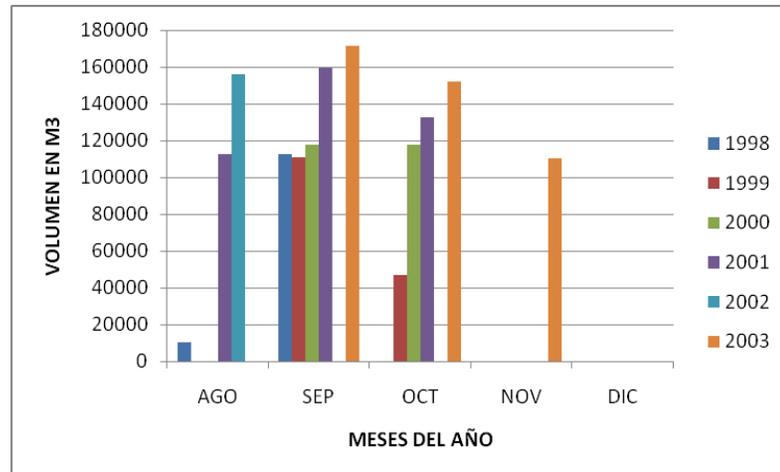
Se obtuvo una variabilidad máxima de 4.16 en el mes de octubre y una variabilidad mínima de 0.83 en el mes de marzo, siendo el promedio de variabilidad mensual de 2.37.

### 6.-Agua potable.

Aunque no es un fin del proyecto, el embalse “San Jacinto”, durante algunos años abasteció de agua a la ciudad de Tarija, ha pedido de Cosaalt.

Debido a que en el estudio de pre-inversión no se realizó una proyección de uso de agua embalsada para agua potable, no realizaremos ninguna comparación entre el proyecto y la actualidad como lo estuvimos haciendo, simplemente nos limitaremos a indicar el comportamiento de la dotación de agua a través de los años.

**Dotación Mensual y Anual**



La dotación mensual y anual no presenta ningún comportamiento singular entre año y año, lo que nos puede indicar que el agua del embalse destinada para agua potable ha sido dotada ha pedido de Cosaalt de forma variable en función de sus necesidades de abastecimiento.

## 7.- Sedimentos.

Se pretende realizar una evaluación de la sedimentación en el embalse San Jacinto después de 20 años desde el inicio de operación (1989-2009), con los datos acumulados en este periodo de tiempo y los valores de sedimentos estimados en el estudio de pre-inversión del proyecto.

Para se utilizará las diferentes batimetrías realizadas a lo largo del funcionamiento del embalse y los valores de sedimentos utilizados en el diseño del proyecto.

### Sedimentación Específica

| Periodo                     | Sedimentación Específica m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /año |
|-----------------------------|---|
| Diseño                      | 618,48  |
| 1ra Batimetría<br>1989-1995 | 1692,0  |
| 2da Batimetría<br>1995-2004 | 938,13  |

Ahora si se realiza una comparación de los valores obtenidos anteriormente con el valor de sedimentos obtenido en el estudio (268700 m<sup>3</sup>/año), podemos observar que en la primer y segunda etapa existe un incremento del 270 y 152 % respectivamente.

Si suponemos constantes los valores de sedimentos depositados en el segundo periodo del proyecto y los proyectamos a lo largo de la vida útil del proyecto obtenemos los siguientes valores posibles estimados de sedimentos depositados en el periodo de vida útil del proyecto.

### Proyección de Sedimentos del Embalse “San Jacinto”

| Año  | Volumen de Sedimento |
|------|----------------------|
| -    | Hm <sup>3</sup>      |
| 1989 | 0                    |
| 1995 | 4,1217219            |
| 2004 | 8,2826598            |
| 2010 | 10,7399064           |

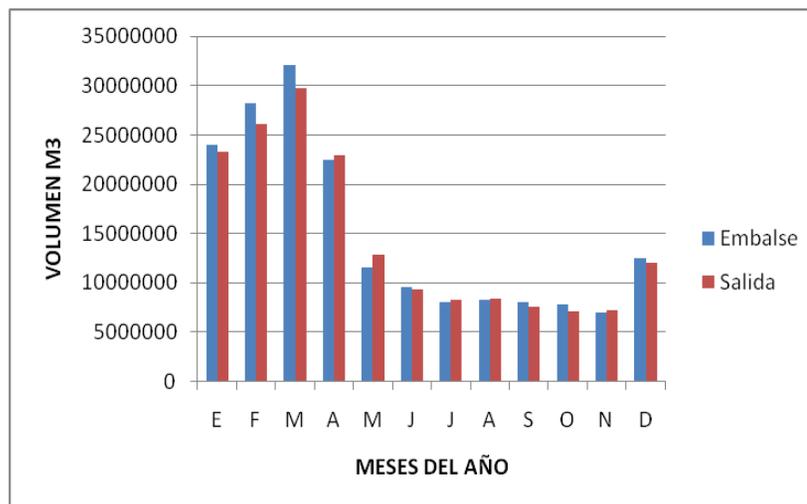
| Año         | Volumen de Sedimento |
|-------------|----------------------|
| 2015        | 12,7876119           |
| <b>2017</b> | <b>13,5</b>          |
| 2020        | 14,8353174           |
| 2040        | 23,0261394           |

Se puede observar manteniendo la sedimentación específica del embalse que para el año 2017 se llegará al volumen muerto proyectado, alcanzando 28 años de vida útil del embalse.

### 8.-Regulación.

La regulación de presas consiste en realizar el balance hídrico entre los volúmenes de aguas que entran gracias al aporte del río y los volúmenes de aguas que salen debido a las demandas reales del proyecto.

#### Balance de regulación mensual.



### Divergencias de regulación.

| Meses del año               | E     | F     | M     | A     | M     | J     | J     | A     | S     | O     | N     | D     |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Volumen Medido Hm3</b>   | 23,33 | 26,08 | 29,74 | 22,93 | 12,85 | 9,38  | 8,24  | 8,41  | 7,61  | 7,06  | 7,27  | 12,00 |
| <b>Volumen Regulado Hm3</b> | 24,03 | 28,17 | 32,12 | 22,48 | 11,56 | 9,57  | 7,99  | 8,32  | 7,99  | 7,76  | 6,98  | 12,48 |
| <b>Divergencia</b>          | 0,971 | 0,926 | 0,926 | 1,020 | 1,111 | 0,980 | 1,031 | 1,010 | 0,952 | 0,909 | 1,042 | 0,962 |

Se puede observar que existe divergencia entre el volumen medido y el volumen regulado.

De todas maneras el balance de regulación es de índole demostrativo cumpliendo su objetivo de que los valores obtenidos de las sumatorias mensuales de volúmenes de salida del embalse corresponden a una variación que ocurre en el volumen útil debido a la operación del embalse.

Una buena operación anual del embalse requiere el uso de toda la altura de la presa que corresponde al volumen útil, ya que al no regularse todo el volumen la altura sobrante corresponderá a un volumen de agua desperdiciada.

| <b>AÑO</b> | <b>VALORES HISTORICOS MINIMOS m.s.n.m.</b> | <b>ALTURA NO REGULADA m</b> | <b>VOLUMENE NO REGULADO Hm3</b> |
|------------|--|-----------------------------|---------------------------------|
| 1989       | 1875,42                                    | 2,64                        | 7,00                            |
| 1993       | 1873,80                                    | 1,02                        | 2,60                            |
| 1995       | 1873,80                                    | 1,02                        | 2,60                            |
| 1996       | 1873,64                                    | 0,86                        | 2,08                            |
| 1997       | 1874,45                                    | 1,67                        | 1,56                            |
| 1998       | 1873,79                                    | 1,01                        | 2,60                            |
| 1999       | 1875,14                                    | 2,36                        | 6,42                            |
| 2002       | 1876,60                                    | 3,82                        | 10,65                           |
| 2004       | 1875,77                                    | 2,99                        | 8,17                            |
| 2006       | 1875,19                                    | 2,41                        | 6,43                            |
| 2007       | 1875,08                                    | 2,30                        | 5,86                            |
| 2008       | 1880,28                                    | 7,50                        | 26,37                           |
| 2009       | 1876,29                                    | 3,51                        | 6,99                            |

Obteniéndose un volumen total no regulado de 89.33 Hm<sup>3</sup>.

## 9.-Laminación.

Se llama laminación de crecidas al fenómeno que se produce entre el almacenamiento y el caudal de salida por el vertedero para una crecida determinada en el proyecto, mientras sea válida la hipótesis de que el pelo de agua se mantiene horizontal.

La importancia de la laminación es tal que el caudal evacuado durante la crecida del proyecto considerada (caudal punta de 3500 m<sup>3</sup>/s) es del orden de 900 m<sup>3</sup>/s para un vertedero con umbral libre de 40 metros de longitud como ya se había mencionado.

El análisis de laminación corresponde a los valores de volumen expulsado por el vertedero de excedencias, el cual será analizado sin la presas inflables y con la implementación de dichas presas.

- Sin presas inflables.

### Volúmenes Históricos Sin Presas Inflables

| AÑO  | VOLUMEN VERTIDO (m <sup>3</sup> ) | Nº VECES DE VOLUMEN UTIL |
|------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1989 | 41150322                          | 1,00                     |
| 1990 | 40576159                          | 0,99                     |
| 1991 | 107321859                         | 2,62                     |
| 1992 | 20768156                          | 0,51                     |
| 1993 | 43936981                          | 1,07                     |
| 1994 | 40263721                          | 0,98                     |
| 1995 | 42069873                          | 1,03                     |

- Con presas inflables.

### Volúmenes Históricos Con Presas Inflables

| <b>Año</b> | <b>VOLUMEN VERTIDO</b> | <b>Nº VECES DE VOLUMEN UTIL</b> |
|------------|------------------------|---------------------------------|
| 1996       | 4502365                | 0,09                            |
| 1997       | 6852369                | 0,14                            |
| 1998       | 6825914                | 0,14                            |
| 1999       | 22236598               | 0,45                            |
| 2000       | 17896532               | 0,36                            |
| 2001       | 17365896               | 0,35                            |
| 2002       | 21589631               | 0,44                            |
| 2003       | 65987231               | 1,33                            |
| 2004       | 22456983               | 0,45                            |
| 2005       | 37698456               | 0,76                            |
| 2006       | 22459157               | 0,45                            |
| 2007       | 21569874               | 0,44                            |
| 2008       | 40963159               | 0,83                            |
| 2009       | 21658974               | 0,44                            |

Se observa un descenso considerable de volumen de agua vertida después de la implementación de las presas inflables.