

**AZUD NIVELADOR SOBRE RIO SALADO TOSTADO
PROVINCIA DE SANTA FÉ
PROYECTO EJECUTIVO**

I MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 INTRODUCCIÓN

En el mes de Junio de 2009, la Cooperativa de Provisión de Agua Potable, Vivienda y Servicios Asistenciales de Tostado y el Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente de la Provincia de Santa Fe, seleccionaron una alternativa de las presentadas en el Informe de Anteproyecto, para el desarrollo del proyecto ejecutivo para la ejecución de un azud obre el río Salado. Obra a implantarse entre la ruta provincial N° 2 y la ruta nacional N° 95.

Objetivos

El objetivo original planteado fue proyectar el emplazamiento del azud sobre el Río Salado y establecer el diseño hidráulico necesario para elevar el pelo de agua y almacenar un volumen de agua suficiente para satisfacer la necesidad de la población aun en épocas de déficit hídricos, con el menor impacto posible sobre el ambiente.

1.2 CRITERIOS DE DISEÑOS

Caracterización de la problemática

La ciudad de Tostado, cabecera del departamento 9 de julio presenta graves problemas de abastecimiento de agua potable, no disponiendo la cantidad necesaria para satisfacer las necesidades de la población. Es decir, no dispone de una cantidad suficiente de agua para su tratamiento y su posterior distribución a los habitantes.

En cuanto a la calidad se encuentra con altos contenidos de sales lo que imposibilita la extracción de agua de napas profundas ya que en estudios realizado a 80 metros de profundidad, se obtuvieron muestras que relevaron la presencia de 32 gramos del por litro de agua, lo que hace imposible tratar el agua para potabilizarla.

El Río Salado no dispone de un caudal constante en el tiempo necesario para satisfacer las necesidades de la población. Esto es debido a que periódicamente se presentan períodos de déficit hídrico y además agrava este problema la extracción de agua para riego que la provincia de Santiago del Estero realiza aguas arriba de esta localidad.

Actualmente existe un azud precario, construido con materiales que no son los ideales para este tipo de obra hidráulica. Por tales motivos se prevé la construcción de un Azud de hormigón, de tal manera de elevar el pelo de agua y almacenar un volumen de agua suficiente para así abastecer la ciudad.

El objetivo es desarrollar un **PROYECTO EJECUTIVO** de la obra propuesta, azud de control del recurso hídrico, con el fin de poder materializar dicha obra.

La construcción de una obra de control y limpieza de su curso principal en este tramo, resultan necesarias para permitir el manejo ordenado de los niveles y los caudales a drenar por el Río Salado correspondiendo a eventos hídricos normales y extraordinarios. Se ha tomado como criterio de diseño en general, de evitar la posible afectación de vidas y bienes en la zona urbana, rurales y a las infraestructuras existentes cercanas a la localidad de Tostado.

Estudios básicos realizados

Estudios topográficos

El objetivo de los trabajos de campo fue el de disponer de una base topográfica acorde con el nivel de detalle requerido en esta etapa de estudios que permitiese avanzar en el nivel de definición de las obras propuestas.

Con tal fin, se realizaron trabajos de relevamiento topográfico en toda la traza planteada de la obra propuesta. (ver anexo específico).

Recorridas de reconocimiento

Previo a la iniciación de los trabajos de campo, se realizaron recorridas de reconocimiento de la zona de relevamientos, conjuntamente con los profesionales encargados de la elaboración de estudios topográficos, geotécnicos y proyectistas, a partir de los cuales se identificaron puntos singulares del trabajo, las trazas y los detalles a tener en cuenta en la implantación de las obras.

Estudios geotécnicos

Se realizaron los estudios geotécnicos necesarios, para poder diseñar apropiadamente cada obra, con los siguientes objetivos, (ver anexo específico).

- Determinación del perfil geotécnico del subsuelo, descripción cualitativa y cuantitativa de los distintos estratos, propiedades físicas y mecánicas.
- Tensiones admisibles para plateas de fundación, en cota según proyecto.
- Sugerencia de tensiones admisibles a cotas de fundación.
- Asentamientos estimados a las cotas de fundación propuestas.
- Características particulares de los suelos de fundación, permeabilidad y erosión.
- Medición de barros en el cauce del río, sobre el eje de proyecto.
- Terraplenes, definición de parámetros de diseño de proyecto.

Realizando 4 (cuatro) perforaciones P-1, P-2, P-3 y P-4 a 15 (quince) metros de profundidad cada una, con ensayo S.P.T. cada metro, con toma de muestras en forma continua (incluye toma de muestras con Moretto en estratos arcillosos).

Estudios hidrológicos e hidráulicos

El objetivo general del estudio en esta etapa es la verificación de los aspectos hidrológicos principales y determinación del funcionamiento de la obra de regulación en el Río Salado.

Una característica relevante del área de aportes es que presenta extensas regiones con muy bajas pendientes e incluso con una característica geomorfológica particular constituida por la presencia de depresiones cerradas que drenan hacia el cauce principales una vez que colman su capacidad y superan los umbrales de desborde que cada una de estas tienen.

En el aspecto hidráulico se efectuó la modelación matemática en el tramo en estudio, que permitió definir los volúmenes de aguas de reserva que proveerá esta obra, la cota de cresta del azud con el fin de evitar influencias negativas en la zona de puentes FFCC, y de las rutas provincial N° 2 y Nacional N° 95. Se analizó el funcionamiento de la obra proyectada y obras de arte existentes.

Además de determinar las condiciones de funcionamiento del azud para los escenarios hídricos extraordinarios que esta obra estará sometida, (ver anexo específico).

1.3 AZUD VERTEADOR DE CAUCE

El azud vertedor, se encuentra ubicado en el cauce del río Salado a unos 135,00 m aguas arriba del puente principal de la ruta nacional N° 95.

Esta ubicación se adoptó teniendo en cuenta las siguientes condiciones.

- Poder obtener la máxima capacidad de embalsado en función de las características morfológicas y topográficas de la zona de implantación de la obra.
- Lograr una mínima afectación a las infraestructuras existentes aguas arriba del cierre propuesto.
- Controlar adecuadamente los caudales a erogar que actuarán sobre el cauce del puente principal existente en la Ruta Nacional N° 95.
- Lograr una traza de cierre adecuado, que nos permita garantizar un control completo de los caudales de aguas que pasaran por esta obra.
- Disponer de un frente de descarga adecuado que garantice el paso de los picos máximos de las crecidas de proyecto.

- Disponer de accesos directos al frente de obra, que nos posibilite su construcción y posterior control.

Obras de Descarga de Cauce

Estas obras se componen de un azud vertedero ubicado en el tramo central del cauce, dos estructuras ubicadas a ambos lados del cuerpo vertedor, destinados a elevadores de peces y descargadores de fondo.

Completan el cuerpo central, los estribos en cada extremo definidos por muros de alas o muros guías.

La longitud del conjunto de estas estructuras, es de aproximadamente de 30,00 m, ocupando íntegramente la sección natural de escurrimiento del cauce.

La cota de cresta vertedora quedo definida en el nivel +71,20 m IGM, siendo la cota del terreno natural en las márgenes próximas al cauce de 70,60m IGM.

Estructura vertedora

La estructura de control, se compone por un vertedero libre de perfil tipo "curvo de cresta ancha" de 11,40 m de longitud transversal a la obra y con cota de cresta 71,20 m I.G.M. Longitudinalmente posee un frente de obra de 25,00 metros que se componen de dos módulos de 12,50m cada uno de ellos.

Su fundación se la ha definido con un perfil quebrado, adoptando un plano de fundación de aguas arriba a cota 67,10 m IGM y un segundo plano de fundación de aguas abajo a cota 66,40 m IGM. Ambos planos, se unen mediante un tercer plano intermedio con pendiente a 45° que ensamblan ambas cotas.

Este perfil de fundación quebrado es adoptado en todo el frente de obras de control, admite el desarrollo del perfil del vertedero en la aducción y en la descarga, garantizando un óptimo funcionamiento hidráulico tanto en su cresta vertedora como en la descarga al cuenco disipador.

Además se logra ensamblar un adecuado perfil hidráulico con las obras de descargador de fondo y de pasajes de peces.

De esta manera se tiene un único frente hidráulico, tanto en el cauce aductor, como en cuenco dissipador.

Debido a las exigentes condiciones geotécnicas a fundar esta obra, tipo de suelo según informe geotécnico *“arcillas de alta plasticidad color negro (CH-CL), luego aparecen depósitos de limos arcillosos de mediana a baja plasticidad de color gris tonos verduscos y parduscos (CL-ML), son de carácter erosivos y alcanza una profundidad variable aproximada de 6,50 metros. Todos estos estratos se encuentran con una consistencia blanda (N B 4 golpes).”*

Se ha proyectado una base fundante de la obra, consistente en una capa cuyo espesor total es de 0,60m de suelo cemento al 8% (en peso), la que deberá compactarse en capas de 0,20 m hasta lograr la densidad correspondiente al 95% del próctor estándar.

La cota de fundación de esta base se la ha definido a 66,50m IGM en el tramo de aguas arriba, y para el tramo de aguas abajo quedo determinada en al cota 66,00m IGM.

Con el objeto de disminuir los costos de obras, se ha definido un cuerpo vertedor estructural hueco (ver planos), el que será relleno con suelo cemento compactado de las mismas características a las ya mencionadas.

Con este diseño, se logra una obra más liviana, logrando una adecuada transición entre una estructura rígida y su base flexible.

Tal como se observa en el informe geotécnico, ver perforaciones P2 y P3, el proyecto de obra desarrollado (en el cauce) se extrae un manto de suelo del orden de los 4,10 m a 4,60m de potencia.

De esta manera, se logra iniciar la base de fundación de la obra principal en la capa superior de los suelos con un número de golpe superior a 4, donde se inicia el estrato de suelos de mayor densidad, y de mejor respuesta geotécnica.

Descargadores de fondo y elevadores de peces

Con el objeto de controlar adecuadamente los descargadores de fondos, estos han sido ubicados en los extremos del cuerpo vertedor.

La operación de los descargadores, se realiza mediante compuertas planas ubicadas en el coronamiento de la obra y en la sección de aducción de estos. Las maniobras de apertura y cierre de las compuertas se efectúan por sistema manual independiente.

Su conducto de descarga se encuentra ubicado a cota 68,00 m IGM, la embocadura tiene una sección de 0,80m de ancho por 0,75m de alto (sección de compuerta), luego este descargador posee una sección rectangular cuyas dimensiones son de 2,00 m de ancho y 0,75m de alto, la descarga se realiza directamente en el cuenco dissipador.

La compuerta se compone de un escudo en chapa plana rigidizada con un marco de perfiles metálicos tipo "U" Tipo U.P.N. 80 con acero tipo F – 26 o similar, se dispondrá de un sello de goma en todo el borde de su escudo.

Las recatas serán de perfil de chapa doblada que garantice la contención de la compuerta con acero de similar característica.

El mecanismo de izaje será mediante un tornillo sinfín con un volante en su extremo superior, que estará montada en la correspondiente torreta de sujeción.

Debido al tipo de agua que se tiene, todos los elementos y/o componentes metálicos serán protegidos a la corrosión mediante una adecuada capa de galvanizado.

En la misma estructura de hormigón, se ha proyectado en su parte superior, una escala de peces definida por cinco recintos estancos comunicados entre si por vertederos tipo rejas ubicadas en los muros laterales de la estructura.

Por lo tanto esta estructura posee seis escalones vertedores cuya capacidad máxima de descarga en condiciones normales es de 0,25 m³/s por sección vertedora. Esto permite disponer en apocas de estiajes, una descarga permanente de 1,00 m³/s lo que permite mantener un caudal ecológico en el cauce y evitar perdidas de aguas en el azud.

Este tipo de escala, son las apropiadas para estos cursos de aguas permitiendo el paso de los peces sin que estos sufran procesos de estrés por golpes contra las estructuras o por no tener definido un cauce que le permita sortear al frente de obra.

Es sabido que los peces se orientan, por la dirección y la velocidad de las líneas de corrientes, necesitando recintos de descanso en caso de agotamiento de los mismos. Finalmente, se trata de que estos conductos sean lo más natural posible, por ello se han adoptados estructuras a cielo abierto tratando de mantener la luz natural en dicho canal, estos han sido los criterios de diseño de estas escalas para peces.

Además en períodos de crecientes, se prevé que estas estructuras serán sobre pasables sin que sufran alteraciones o roturas. Solo estarán expuestas los mecanismo de izaje de las compuertas, por lo tanto estas deberán encontrarse apropiadamente fijadas a las

estructura civil, y deberán ser observadas y mantenidas adecuadamente luego del paso de cada creciente.

Canal de aducción

Aguas arriba de la obra de control, se tiene el canal aductor al azud que debe garantizar una conducción adecuada entre el cauce natural del río y las obras de control.

Con este objetivo, y debido al tipo de suelo que se tiene en el cauce, se ha definido una cota de fondo de 68,00m IGM, siendo la cota de fondo natural de 68,45 mIGM.

Este canal tiene una longitud de 13,25 m y será protegido en toda su sección incluyendo sus taludes laterales, mediante la colocación de mantas flexibles de bloques de hormigón de 0,48x0,21x0,18.

Estas mantas de protección, se apoyaran en una base de suelo cemento compactado en capas de 0,20 m hasta lograr una densidad de 95% del Próctor estándar. Los espesores totales de cada base, se encuentran indicados en los planos específicos.

Las velocidades de escurrimiento de las aguas, pueden ser observadas en las salidas del modelo hidrodinámico ajustado a este proyecto.

Cuenca disipador

Aguas abajo de la obra de control se ha proyectado cuenca disipador a cota 67,20m IGM, que tiene una longitud de 11,40m para luego empalmar con el cauce natural a cota 68,20m IGM. Estará protegido en toda su sección incluyendo sus taludes laterales, mediante la colocación de mantas flexibles de bloques de hormigón de 0,48x0,21x0,18.

Estas mantas de protección, se apoyaran en una base de suelo cemento compactado en capas de 0,20 m hasta lograr una densidad de 95% del Próctor estándar. Los espesores totales de cada base, se encuentran indicados en los planos específicos.

Las velocidades de escurrimiento de las aguas, pueden ser observadas en las salidas del modelo hidrodinámico ajustado a este proyecto.

Debido a los bajos saltos que se desarrollan en cada escenario hídrico, la disipación se realizará en un cuenco ahogado por lo que no se tendrán resaltos hidráulicos totalmente

desarrollados. Las dimensiones adoptadas en este cuenco satisfacen plenamente las velocidades de la masa que pasarán por esta obra.

Según la modelación hidrodinámica se tienen velocidades en cresta de vertedero del orden de los 2,00m/s y en el cuenco del orden de 1,00m/s. Estas serán totalmente controladas por el perfil longitudinal de disipación que se adoptado, permitiendo que la masa de agua ingrese al cauce natural sin procesos erosivos significativos.

Solo se prevé colocar una protección de fondo y de margen del cauce, en la zona del puente principal de la Ruta Nacional N° 95 que se encuentra aguas abajo del azud.

La superficie total a proteger es de 30,00m por 30,00 m tomando como centro del área el centro del puente.

Esta protección se realizará mediante la colocación de mantas flexibles de bloques de hormigón de 0,48x0,21x0,18. Las que será apoyadas en una base de suelo cemento compactado en capas de 0,20 m hasta lograr una densidad de 95% del Próctor estándar, siendo el espesores total de la base a compactar de 0,60 m.

Muros Guías

Con el objeto de completar el diseño frontal de las obras de descarga, se han proyectados los muros guías de aguas arriba y de aguas abajo. Estos permiten estabilizar las laderas del cauce en contacto con la obra de control.

Su diseño estructural son de tipo "L" y deberán contener los empujes de los suelos en reposo que se encuentran en los laterales a esta obra, garantizando un adecuado cierre de los cauces de aducción de descarga de la obra frontal, a la vez que permitirá definir en su coronamiento el inicio de los umbrales laterales de descarga, completando la configuración general de esta obra.

Estos tendrán un coronamiento a cota 71,20m, y estaban fundados, los de aguas arriba a cota 67,10 m y los de aguas abajo a cota 66,40m.

1.4 OBRAS DE DESCARGA LATERALES

Con el objeto de lograr controlar los niveles operativos del azud agua arriba del mismo, además de garantizar el paso de los máximos picos de crecidas, en cada ladera del

cauce y dando continuidad a un único frente de descarga hidráulica, se han proyectado dos umbrales vertedores en las márgenes.

Cada umbral vertedor se conforma de tres zonas, la primera ubicada en la aducción o al ingreso del umbral vertedor, definida en un ancho de 46,00m de longitud en el frente de descarga por 7,00m de ancho, siendo su cota superior de 70,60m IGM. Toda esta superficie será protegida mediante mantas flexibles de bloques de hormigón de 0,40m x 0,40m x 0,18 m de alto.

Una segunda zona donde queda materializado el umbral vertedor a cota 71,30 m IGM, cuyas dimensiones en planta son, de 46,00m de longitud en el de frente de descarga por 16,00m de ancho, que será protegida en toda su superficie mediante mantas flexibles de bloques de hormigón de 0,48m x 0,21m x 0,18 m de alto.

De los 46,00 m de frente tratado, solo 36,50 metros conforma el umbral vertedor, y los 9,50m restantes dan inicio al estribo del terraplén de cierre lateral a cota 73,50 m IGM.

La tercera zona queda ubicada aguas abajo del umbral vertedor, mantenido un ancho total de 46,00m de frente, con un ancho de 19,00 m, su cota superior queda definida a de 70,60m IGM. Toda esta superficie será protegida mediante mantas flexibles de bloques de hormigón de 0,48m x 0,21m x 0,18 m de alto.

Para materializar este umbral, se deberá realizar previamente el siguiente tratamiento:

- Extracción del suelo vegetal en una superficie de 46,00m de longitud en el de frente de descarga por 42,00m de ancho, en cada margen.
- En dicha superficie, se definió una base de suelo de suelo cemento compactado en capas de 0,20 m, al 8% en peso con una densidad del 95 % del próctor estándar, hasta alcanzar las cotas de colocación de protecciones o de inicio de terraplén de cierre lateral.

1.5 CIERRES LATERALES

Consta de dos terraplenes laterales, uno ubicado en la margen norte del valle de inundación, el otro se desarrolla por la margen sur del mismo valle de inundación.

La función principal de los cierres, es dar capacidad de manejo a los caudales erogados hacia aguas abajo y mantener los niveles aguas arriba del azud, en cotas que no afecten

a la infraestructura existente. Las cotas de coronamiento al igual que las de vertedero, han sido determinadas y verificadas en el modelo hidrodinámico desarrollado.

La obra de cierres laterales, se compone de terraplenes de materiales sueltos cohesivos existente en la zona de obra.

La protección del talud mojado de aguas arriba, del talud de aguas abajo y pie de terraplenes, tendrán una protección conformada por una cobertura vegetal debidamente seleccionada por adaptación y persistencia al lugar de emplazamiento.

Cierre lateral norte

Traza

Este cierre, se inicia en el extremo umbral vertedor de dicha margen, con una traza de planta curva desarrollando un arco de 27,00m de longitud con radio de 30,00m.

Luego continúa con una traza recta de 61,10 m con una dirección suroeste a noreste.

Al final del tramo recto, empalma con una curva cuyo un arco tiene una longitud de 30,65m y un radio de 30,00m.

Finalmente se continúa con un tramo recto con dirección oeste-este, hasta interceptar con el terraplén de la ruta Nacional N° 95. Este tramo al eje de la ruta, pose una longitud de 99,00 m, en este trayecto cruza el canal de descarga existente ubicado al oeste de la citada ruta.

Al norte de la traza descrita, se encuentra ubicada una alcantarilla que cruza de oeste a este a la Ruta N° 95 y da continuidad a la descarga del canal interceptado.

Perfil adoptado

El perfil adoptado tiene en toda su longitud una cota de coronamiento de 73,50m IGM, con un ancho de 4,00 m.

Los taludes de aguas arriba y de aguas abajo, poseen una pendiente de 1V:2,5H, hasta la intercepción con el terreno natural, cuyas cotas han sido relevadas con los estudios topográficos, (ver perfiles topográficos).

La altura máxima de este terraplén es de 2,40m, por lo tanto sus taludes no presentan inconvenientes tanto para su construcción como para su estabilidad posterior, los taludes de la Ruta Nacional N° 95, son mayores a los proyectados en esta oportunidad.

El terraplén se construirá con suelo cohesivo existente y seleccionado en el lugar.

Para su cimentación, se deberá extraer en toda la superficie de contacto con el suelo natural todo el suelo vegetal incluyendo los suelos extremadamente blandos existentes. Debido a ello se prevé extraer en toda esta superficie, una capa cuyo espesor medio esperado es de 0,40m.

Luego en la superficie libre de suelo inapropiado, se construirá la base del terraplén de 0,60 m de altura, en capas de 0,20m de suelo cemento compactados al 95 % del próctor estándar, con un contenido de cemento del orden del 10% en peso, y se deberán seguir con las recomendaciones de los estudios geotécnicos realizados.

El resto del terraplén se construirá con la misma metodología pero con un contenido de cemento del 8% en peso.

Cierre lateral sur

Traza

Este cierre, se inicia en el extremo umbral vertedor de dicha margen, con una traza de recta con dirección norte sur y de longitud con radio de 196,00m.

Luego continúa con una traza en curva, cuyo un arco tiene una longitud de 21,35m y un radio de 15,00m, empalmando con el camino de ingreso a predio existente.

Finalmente se continúa con un tramo recto con dirección oeste-este, hasta interceptar con el terraplén de la ruta Nacional N° 95. Este tramo al eje de la ruta, pose una longitud de 80,60 m, este trayecto se desarrolla sobre el camino de ingreso a predio existente.

Perfil adoptado

El perfil adoptado tiene en toda su longitud una cota de coronamiento de 73,50m IGM, con un ancho de 4,00 m.

Los taludes de aguas arriba y de aguas abajo, poseen una pendiente de 1V:2,5H, hasta la intercepción con el terreno natural, cuyas cotas han sido relevadas con los estudios topográficos, (ver perfiles topográficos).

Las condiciones geotécnica de los materiales y la ejecución de este terraplén son similares al del cierre norte.

Protección de cauce del puente principal de Ruta Nacional N° 95

Debido a las altas velocidades de agua debajo del puente principal determinadas por el modelo hidrodinámico, se adopto proyectar una protección completa del mismo.

Esta protección cubrirá una superficie de 30,00 m por 30,00 m coincidiendo el centro de la misma con el centro del puente.

Estará conformada en primer lugar por una regularización del fondo y de las márgenes del cauce con el fin de poder implantar las protecciones proyectadas.

Toda esta superficie será protegida mediante mantas flexibles de bloques de hormigón adheridos a un geotextil tejido mediante rulos (loops) que quedan anclados al hormigón, y apoyada sobre una manta de geotextil no tejido que cumple la función de filtro. Dichos bloques de hormigón se deberán construir con cementos (ARS) o apropiados al tipo de aguas existente en el lugar, los bloques tendrán las siguientes 0,48m x 0,21m x 0,18 m de alto.

II MEMORIA TÉCNICA

II.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y DISEÑO DE LA OBRA DE CONTROL

Introducción

En este informe se presentan las observaciones al diseño de Obra de Control a implantarse en el cauce del Río Salado en la localidad de Tostado.

Tratamiento de fundación

En todas las obras de hormigón, se adopta la sugerencia propuesta en el informe geotécnico, de fundar en un manto de suelo cemento.

En este caso, se propone adoptar el manto con un espesor de 0,60 m a compactarse en capas de 0,20 m.

Mantas de Protección

Debido al tipo de suelo y a la calidad de las aguas que se encuentran en la zona, se propone mantas flexibles con bloques de hormigón adheridos a un geotextil tejido

mediante rulos (loops) que quedan anclados al hormigón, y apoyada sobre una manta de geotextil no tejido que cumple la función de filtro. Dichos bloques de hormigón se deberán construir con cementos (ARS) o apropiados frente a las sales existentes.

Hormigones

En todos los hormigones a realizar, se emplearán cemento (ARS) o apropiados frente a las sales existentes, con el objeto de garantizar la durabilidad y estabilidad de los mismos, debiendo cumplir las normas vigentes del CIRSOC.

Aceros para estructuras

En todas las estructuras de hormigones a realizar, se emplearán armaduras con acero tipo ADN 420, con el objeto de garantizar la durabilidad y estabilidad de los mismos, debiendo cumplir las normas vigentes del CIRSOC.

METODOLOGÍA DE DISEÑO Y CÁLCULO

a) Verificación de Estabilidad Global de las Obras

Para el correcto dimensionamiento de las obras, se realizó un análisis de estabilidad global de las mismas. Este consiste en la determinación de los coeficientes de seguridad de cada estructura completa o de sus partes frente al volcamiento, deslizamiento y flotación.

Determinación de Parámetros de Estabilidad de la Obra de Control

- Seguridad al Vuelco

El coeficiente de seguridad al vuelco γ_v se define como:

$$\gamma_v = M_e / M_v$$

donde :

M_e = Suma de los momentos de las fuerzas estabilizantes

M_v = Suma de los momentos de las fuerzas volcantes

Para definir un momento como estabilizante o volcante se considerarán las fuerzas totales y no sus componentes.

Se verificará que el coeficiente de seguridad sea en cada caso mayor o igual que los valores mínimos que se establecen a continuación:

Hipótesis de Carga γ_V mín

GRUPO 1 1,30

GRUPO 2 1,30 a 1,50

GRUPO 3 1,10 a 1,20

- Seguridad al Deslizamiento

Resistencia al corte en la superficie de cálculo

$$\gamma_D = \{(\Sigma V - U) \times \text{tg } \Phi + C \times A\} / \Sigma H$$

ΣV : Sumatoria de cargas verticales

ΣH : Sumatoria de todas las fuerzas horizontales

$\text{tg } \Phi$: Coeficiente de fricción de los materiales en el plano considerado

U : Esfuerzos de subpresión sobre el plano de cálculo

C : Coeficiente de cohesión de los materiales en el plano considerado

A : Sección efectiva de cálculo para el plano considerado

Los coeficientes de seguridad mínimos según normas son:

Hipótesis de Carga γ_D mín

GRUPO 1 1,10

GRUPO 2 1,30

GRUPO 3 1,10

- Seguridad a la Flotación

El coeficiente de seguridad respecto a la flotación γ_F queda definido por:

$$\gamma_F = \Sigma V / U$$

La nomenclatura empleada es la ya indicada.

Los coeficientes de seguridad mínimos según normas son:

Hipótesis de Carga γ_F min

GRUPO 1 1,30

GRUPO 2 1,30

GRUPO 3 1,10

b) Diseño y Cálculos de las Estructuras

Para el cálculo estructural se utilizó los métodos y normas del "CIRSOC" y se tuvo en cuenta para el análisis y el diseño, las acciones debidas a los siguientes tipos de solicitaciones: permanentes, variables y accidentales. Estos esfuerzos, también son empleados para la "Verificación de Estabilidad Global de las Obras".

Cargas

Para determinar las cargas nominales de diseño, las combinaciones de cargas y los factores de carga, se emplearon las normas tales como ASME, ASTM, USBR, ANSI, ACI, DIN y el manual de diseño de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad de México.

Acciones

Se compone de todo agente externo o inherente a la estructura y/o a su funcionamiento, cuyos efectos en una estructura puedan hacer que alcance un estado límite.

Acciones Permanentes

Son aquellas que obran permanentemente en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo.

Pueden ser provocadas por la carga muerta debida al relleno, carga muerta debida al peso propio, al de piezas especiales y al fluido en condición normal de operación, empuje estático de tierras o líquidos, deformaciones y desplazamientos impuestos.

Acciones Variables

Son aquellas que actúan sobre la estructura con una intensidad variable en el tiempo. Tales como sobrecargas, cargas de construcción, temperatura, contracciones, y cargas que no tienen carácter permanente, cargas hidráulicas, cargas de tránsito, etc.

Acciones Accidentales

Estas no se deben al funcionamiento propio de la estructura, y pueden alcanzar valores significativos durante lapsos breves, tales como sismo, viento e incendios.

Análisis estructural

Se realizarán los cálculos estructurales de detalle necesarios para la construcción de las obras hidráulicas desarrollada al nivel de Diseño Final.

La metodología a seguir será:

- a) Cálculo de las cargas actuantes: permanentes, variables, accidentales, extraordinarias, gravitatorias, hidráulicas, etc.
- b) Hipótesis de cargas y sus combinaciones.
- c) Análisis de Estabilidad (flotación, deslizamiento, vuelco)
- d) Cálculo de las tensiones en terreno de fundación.
- e) Cálculos estáticos, verificaciones de secciones críticas, dimensionado de las estructuras, con planilla de distribución de armaduras.

a) Cargas

Cargas gravitatorias: En estas cargas se tiene en cuenta el peso propio de las estructuras resistentes así como también el peso de todas las partes, que sin ser

resistentes son solidarias a las mismas cumpliendo otras funciones, como ser: revestimiento, aislación, protección, cerramiento, equipos e instalaciones fijas, etc.

Siguiendo los criterios de máxima seguridad que imponen la consideración de estas cargas en cada caso, se tomará para cada obra hidráulica, el peso específico según el uso y la función de cada estructura, y del material que la compone.

Cargas hidráulicas: Se analizará la totalidad de las cargas ejercidas sobre las estructuras por el agua en reposo o en escurrimiento, consistentes en empujes y subpresiones.

Empujes: Los empujes hidrostáticos se determinarán por integración de los correspondientes diagramas de presiones. Las intensidades de las presiones a considerar son las que surgirán de los correspondientes niveles de agua según las condiciones de funcionamiento normal o excepcional con que se opere.

Subpresión: Se considerará que la subpresión actúa sobre el 100% del área de la sección analizada.

La intensidad de la subpresión en cada punto en condiciones normales y excepcionales será establecida para cada sector de la obra, de acuerdo a las peculiaridades de la misma, y a los niveles de agua externos que se encuentre.

Empuje de Suelos: Son los debidos a las presiones laterales estáticas ejercidas sobre las estructuras por suelos naturales, terraplenes, rellenos, etc.

Se obtendrán a partir de las teorías tradicionales de la Mecánica de los Suelos tomando en cuenta los parámetros resistentes de los materiales considerados y las condiciones de deformabilidad de la estructura.

Sobrecargas: Están formadas por todas aquellas cargas que por su carácter no permanente actúan en circunstancias especiales, o durante determinados períodos o en

las etapas de construcción, funcionamiento o mantenimiento de las obras, incluyendo fundamentalmente el peso de equipos de obras y demás elementos móviles, cuyos valores son estimativos y se obtienen por comparación con elementos similares ya usados en proyectos anteriores.

b) Hipótesis de carga

Las hipótesis de carga a tener en cuenta en el análisis de la estabilidad de las estructuras se obtendrán considerando las combinaciones posibles de las cargas elementales. Se clasifican primariamente en los siguientes grupos:

GRUPO 1: Hipótesis de carga para condiciones de cargas permanentes.

GRUPO 2: Hipótesis de carga para condiciones de operación normal.

GRUPO 3: Hipótesis de carga para condiciones extraordinarias.

c) Análisis de la estabilidad

Estos análisis permitirán asegurar que las obras no corren peligro tanto sea por exceso de carga sobre el terreno de fundación (riesgo de asentamiento y/o aplastamiento) ó de presiones negativas sobre el mismo (riesgo de levantamiento).

El análisis de la estabilidad consistirá en la determinación de los coeficientes de seguridad de cada estructura completa o de sus partes frente al vuelco, deslizamiento y flotación, como así también la obtención de las tensiones normales en la superficie de contacto entre la estructura y el suelo de fundación, o bien en las juntas constructivas.

d) Cálculo de las Tensiones en el Terreno de Fundación

Serán determinadas, considerando las estructuras apoyadas sobre un medio elástico sin posibilidades de desarrollar tensiones de tracción. En general las estructuras a diseñar, serán consideradas elásticas con apoyos simulados por resortes distribuidos adecuadamente con el objeto de minimizar posibles distorsiones de valores de

reacciones y consecuentemente los volúmenes de tensiones de fundación tendrán una distribución según la capacidad de deformación del conjunto suelo estructura.

Las máximas tensiones de compresión deberán ser inferiores a las admisibles que serán determinadas de acuerdo a los parámetros resistentes de los materiales de la fundación.

e) Cálculos estáticos

Tienen el objeto de asegurar que los elementos aislados que componen el modelo estructural tengan las dimensiones convenientemente elegidas, y que los materiales que los constituyen no sufran tensiones excesivas bajo la acción de las cargas y sobrecargas.

Estos cálculos consisten en verificar que las tensiones de trabajo de los materiales (hormigón, acero, etc.) sean inferiores a los límites admisibles.

Los cálculos estáticos serán efectuados con las obras perfectamente definidas. Dado que, al contrario de lo que ocurre en los cálculos de estabilidad global, las variaciones que pueden producirse en lo que concierne al diseño y dimensiones de las obras hidráulicas, ejercerán una incidencia sensible sobre los resultados a obtener.

Para la determinación de todos los esfuerzos de, tensiones, sollicitaciones, deformaciones, etc, de cada estructura, se empleará el programa de amplia difusión en nuestro país para cálculo de estructuras Pplanw y Eplanw.

c) Software

Estructurales: Pplanw y Eplanw.

Software de base compuesto por:

Procesadores de texto

Planillas electrónicas

CAD – 2000