

**PROGRAMA DE SEGURIDAD DE PRESAS DE HYDRO-QUEBEC,  
PROVINCIA DE QUEBEC, CANADA**

Autor: Raymond LADET , ingeniero

Empresa: HYDRO-QUÉBEC

Cargo: Ingeniero en seguridad de represas

**DATOS DE LA EMPRESA**

Dirección: 75, boulevard René-Lévesque ouest  
10 ème étage  
Montréal (Québec)  
Canada  
H2Z 1A4

Teléfono: 514- 289 4527

Fax: 514- 289 4599

E-Mail: [ladet.raymond@hydro.qc.ca](mailto:ladet.raymond@hydro.qc.ca)

**PALABRAS-CLAVES:**

Exigencias de la Ley  
Programa de seguridad  
Nivel de consecuencias  
Evaluación de la seguridad  
Sistema informatizado  
Verificación de los aliviaderos  
Diagnóstico del comportamiento

**RESUMEN:**

Desde el año 2001, rige en la Provincia de Québec la Ley sobre la seguridad de las represas. Esta Ley exige de los propietarios una serie de actividades para el mantenimiento y la seguridad de sus represas además de mantener un plan de urgencia y de gestión hidráulica del embalse.

Hydro-Québec mantiene un programa de seguridad de las represas completo desde 20 años.

El artículo presenta el programa de Hydro-Québec en concordancia con la Ley de seguridad de represas de Québec.

## 1. Contexto

Hydro-Québec, empresa pública de la Provincia de Québec, Canadá, es propietaria de 561 represas y figura entre los más importantes productores de energía en norteamérica.

Desde 1985, Hydro-Québec ha desarrollado una política de seguridad de represas que se encuentra ahora dentro de la nueva Ley sobre la seguridad de represas (Ley 2000) de la Provincia de Québec. Esta Ley deriva de la inundación de Saguenay, Provincia de Québec, en 1996 que destruyó cientos de viviendas, puentes, carreteras, líneas de ferrocarril y que causó además la ruptura de la represa de una empresa privada.

Hydro-Québec, a fin de asegurar la protección de sus empleados y de la población, ha desarrollado planes de urgencia internos en todos los campos de actividad y a todos los niveles administrativos de la empresa.

## 2. Instalaciones de producción hidroeléctricas

Las instalaciones de producción de Hydro-Québec incluyen 51 instalaciones hidroeléctricas con una capacidad instalada de 30000 MW y 25 grandes embalses con una capacidad de 175 TWh. Estas instalaciones se encuentran repartidas en cuatro regiones de producción como se muestra en el mapa de la Provincia de Québec (fig. 1).

Actualmente, 5 nuevas instalaciones se encuentran en construcción o en proyecto para una capacidad de 2400 MW.

Figura 1: Mapa de la Provincia de Québec; instalaciones de producción de Hydro-Québec

De acuerdo a la tecnología de construcción de cada época, las instalaciones hidroeléctricas de Hydro-Québec pueden clasificarse en 3 generaciones según la edad de construcción:

- ⇒ la primera generación, construida entre 1900 y 1940, abarca el 16% de las instalaciones;
- ⇒ la segunda generación, construida entre 1941 y 1970, abarca el 22% de las instalaciones. Una de las represas más famosas de la Provincia de Québec de esa generación, Manicouagan 5, es la represa de arcos múltiples y contrafuertes más grande del mundo, con sus 214 m de altura;
- ⇒ la tercera generación, construida a partir de 1971, abarca el 62% de las instalaciones. Esta generación comprende las represas de materiales sueltos del Complejo hidroeléctrico de la Baie James, al norte de la Provincia de Québec.

La figura 2 a continuación, muestra la repartición de las represas según la generación y el tipo de construcción. Más abajo, la tabla 1 muestra la repartición según la altura.

Figura 2: tipos de represas y generación

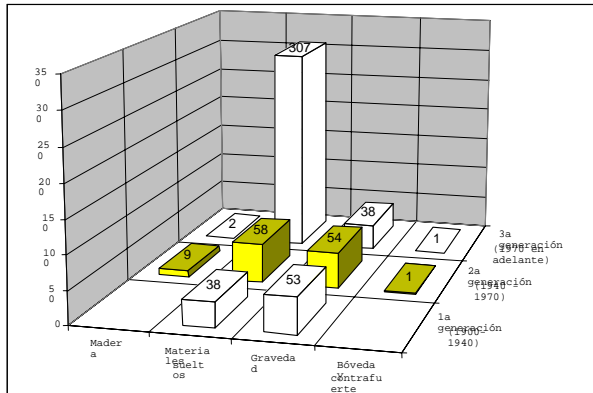


Tabla 1: represas según la altura

Altura de las represas	% de las represas
A < 15 m	65
15 m < A > 30 m	23
30 m < A > 60 m	8
60 m < A > 100 m	2
100 m < A > 150 m	1
150 m < A	1

3. Resumen de las exigencias de la Ley de la Provincia de Québec

Las represas de más de 1 m de altura están regidas por la *Ley de la seguridad de represas de la Provincia de Québec*, vigente desde 2001. Según la altura y el volumen del embalse, el reglamento precisa exigencias particulares para las represas:

- ⇒ represas de 1 m de altura y capacidad de embalse de 1 000 000 de m<sup>3</sup> o más;
- ⇒ represas de 2,5 m. de altura y capacidad de embalse de 30 000 m<sup>3</sup> o más;
- ⇒ represas de de 7,5 m de altura sin tener en cuenta la capacidad de embalse.

Dependiendo de sus características (edad, tipos y construcción), del grado de consecuencias en caso de ruptura e, igualmente de la avenida de

seguridad, las represas se clasifican en cinco clases A, B, C, D y E. La clase E corresponde a una represa de nivel mínimo de consecuencias.

La tabla 2 que sigue muestra la avenida de seguridad según el nivel de consecuencias.

Tabla 2: nivel de consecuencias y avenida de seguridad

Niveles de consecuencias (territorio afectado por la ruptura de la represa)	Avenida de seguridad
Mínimo o bajo	1:100 años
Medio o importante	1:1 000 años
Muy importante	1:10 000 años o ½ AMP
Considerable	AMP <sup>(1)</sup>

Nota: (1) AMP (*Avenida Maxima Probable*)

La Ley exige la realización de inspecciones, la evaluación de la seguridad y el mantenimiento de las represas, así como la mantención de planes de urgencia y de gestión de las operaciones hidráulicas.

Además, la Ley exige un Registro de cada represa para consignar los acontecimientos importantes, las acciones de mantenimiento, las inspecciones, etc.

La frecuencia de las inspecciones es normativa y depende de la clasificación (A;B;C;D;E) de las represas.

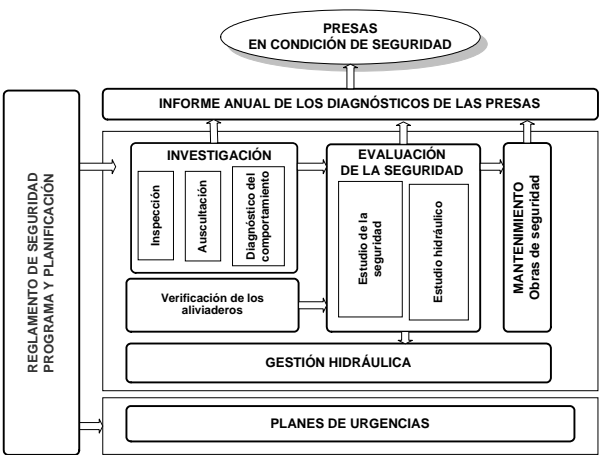
Un propietario de cinco represas o más, como Hydro-Québec, puede hacer reconocer su propio programa de seguridad por el Ministerio. Así, Hydro-Québec está habilitado para utilizar su propio programa de seguridad que presentamos a continuación.

4. Programa de seguridad de represas de Hydro-Québec

El programa de seguridad de represas de Hydro-Québec en vigencia, es el fruto de 20 años de experiencia que se traducen en un reglamento interno que tiene en cuenta las mejores prácticas internacionales en la materia.

El programa de seguridad de represas está esquematizado en la figura 3 siguiente:

Figura 3: proceso de seguridad



Esta figura representa la relación de las diferentes actividades del programa de seguridad.

4.1 Vigilancia

La vigilancia de represas comprende 3 actividades complementarias:

- ⇒ inspección,
- ⇒ auscultación,
- ⇒ diagnóstico del comportamiento de la represa.

La frecuencia mínima de cada actividad depende de la clasificación de la represa en cuanto a sus características y del grado de consecuencias en caso de ruptura.

4.2 Inspección

La inspección permite detectar cualquier fenómeno anormal en la represa antes de que se vuelva peligroso para la seguridad.

Cada fenómeno es descrito en un vocabulario normalizado al alcance de todo el personal técnico.

Existen 6 categorías de inspección:

- ⇒ **de reconocimiento**, para detectar los fenómenos más visibles
- ⇒ **regular**
- ⇒ **estatutaria**, hecha cada año por el ingeniero civil de la represa
- ⇒ **de seguridad** (1 cada 10 años), efectuada por un equipo multidisciplinario
- ⇒ **particular**, por un elemento predeterminado
- ⇒ **especial**, después de un terremoto, avenida extrema, tempestad, efectuada según las siguientes estipulaciones:

1. Terremoto	Magnitud Richter	Distancia entre la represa y el epicentro
	4	< 25 km
	5	< 50 km
	6	< 80 km
	7	< 125 km
	8	< 200 km
2. Avenida		1 /100 años o más
3. Tempestad		Viento de 100 km/h o más sobre el embalse

4.3 Auscultación

La auscultación permite medir diversos parámetros físicos mediante instrumentos instalados dentro del cuerpo de la obra y de los cimientos de la represa. La auscultación efectuada a una frecuencia normalizada, permite medir todos los parámetros físicos sobre el comportamiento de la represa, incluyendo las medidas topográficas de los eventuales movimientos de la represa.

Es importante, sin embargo, la emisión de un juicio crítico sobre la precisión de los valores físicos medidos. Es por eso que Hydro-Québec se ha dotado de un manual de procedimientos a fin de documentar todas las instrucciones necesarias conformes a los procedimientos de toma de lecturas de campo, procesamiento y reporte de datos e información.

Figura 4: personal técnico durante la medida de piezómetros eléctricos en una represa



#### 4.4 Verificación de los aliviaderos

Según el congreso 2000 de la CIGB/ICOLD, 22 % de las rupturas de represas se deben a mal funcionamiento de los aliviaderos. Por eso, la verificación de los aliviaderos es de primera importancia para asegurar la seguridad de las represas.

Hydro-Québec cuenta con unos 80 aliviaderos de diferentes tipos construidos desde 1900.

Los ingenieros, tanto civil como mecánico o eléctrico evalúan el estado de los aliviaderos, de acuerdo a 3 tipos de inspección normalizada :

- ⇒ **inspección regular** ( 1 por año) permite verificar el estado de las conexiones eléctricas de los sistemas mecánicos o eléctricos
- ⇒ **inspección limitada** comprende el examen de ciertos componentes que necesitan la realización de trabajos menores de mantención, tales como la lubricación, limpieza y ajuste. ( 1 al año o cada 5 años según el nivel de riesgo)
- ⇒ **inspección de previsión** (1 cada 15 años) con apertura de la compuerta y medidas de los esfuerzos (eléctrico y mecánico).

#### 4.5 Estudio de la evaluación de la seguridad

Desde 1985, Hydro-Québec efectúa una evaluación de las represas según una frecuencia normalizada. Así, la mayor parte de las represas de Hydro-Québec han pasado ya por lo menos dos ciclos de evaluaciones.

Según la *Ley de la seguridad de las represas de la provincia de Québec*, los resultados de los estudios de evaluación deben ser presentados también al Ministerio correspondiente.

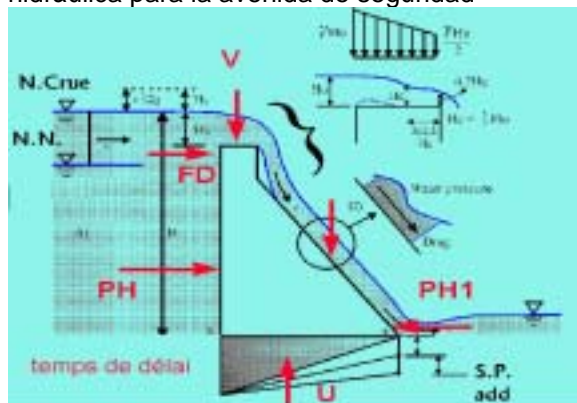
La frecuencia de estudio de nuestro programa de seguridad es de 12 años.

Los estudios de la evaluación son llevados a cabo por un equipo multidisciplinario compuesto de ingenieros civiles, geólogos e hidráulicos.

Para verificar la avenida de seguridad de la represa, un estudio hidráulico y uno de ruptura de represa son necesarios por cada avenida recurrente de 1/100 años hasta la AMP.

Los mapas de inundaciones son utilizados para la preparación de los planes de urgencia y la gestión de la operación de urgencia.

Figura 5: ejemplo del estudio de la estabilidad hidráulica para la avenida de seguridad



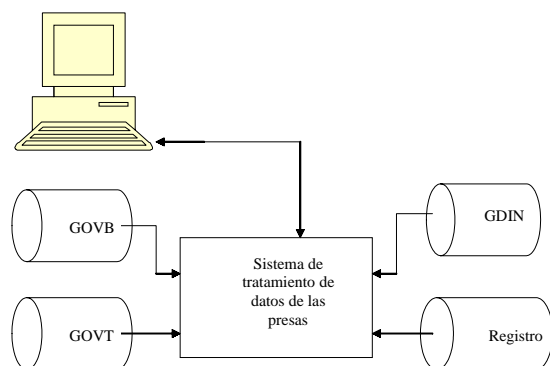
#### 5. Sistema informatizado de tratamiento de datos de seguridad de las presas (TDSP)

Como mencionamos antes, la Ley exige un registro de cada represa para consignar los acontecimientos importantes, las inspecciones, etc. Desde hace 15 años, Hydro-Québec ha diseñado su propio sistema computarizado de tratamiento de los datos de seguridad de las represas (acrónimo francés TDSB para *traitement des données de sécurité des barrages*) operado en servidores SUN. Este sistema está instalado en cada Dirección de Producción así como en la oficina central de Montreal.

El sistema TDSP recoge las informaciones sobre cada represa, tales como el nombre, ubicación geográfica, tipo, datos físicos, año de construcción, trabajos de mantenimiento, etc. Como se muestra a la figura 6, el sistema comprende principalmente:

- ⇒ 2 módulos para registrar las observaciones visuales de las inspecciones; GOVB para las represas de hormigón y GOVT para las represas de materiales sueltos;
- ⇒ un módulo para la gestión de datos instrumentales GDIN;
- ⇒ un módulo llamado Registro que contiene todos los acontecimientos históricos desde la construcción de las represas, tales como:
  - ⇒ fenómenos naturales: terremotos, avenidas, tempestades, vientos extremos
  - ⇒ inspecciones, auscultaciones
  - ⇒ trabajos de mantenimiento
  - ⇒ fechas de los estudios de seguridad
  - ⇒ aperturas de los aliviaderos
  - ⇒ otros

Figura 6: arquitectura del sistema de tratamiento de datos de las represas (TDSP)



## 6. Mantenimiento

El mantenimiento es una actividad importante en lo que respecta a la seguridad de las represas. Esta actividad empieza con un conocimiento actualizado sobre el comportamiento de la represa y su estado.

Por eso, el ingeniero efectúa durante todo el año el seguimiento del comportamiento de las represas llevando a cabo las inspecciones estipuladas. Luego de éstas, y de acuerdo al análisis de los datos recogidos, el ingeniero emite al final del año un diagnóstico del estado de las represas y las recomendaciones de trabajos de mantenimiento.

El diagnóstico anual permite la planificación de inversiones necesarias al mantenimiento de la represa.

El diagnóstico se efectúa en un sistema informatizado como muestra la figura 7, conectado con los sistemas de tratamiento de datos de las represas (TDSP), los sistemas de gestión hidráulica y, lo más importante, con el sistema MAXIMO, el cual contiene los costos de la investigación y del mantenimiento.

El mantenimiento de la represa incluye dos tipos de obras mayores:

- ⇒ obras de mantenimiento regular planificado anualmente, tales como la limpieza de drenajes, mantenimiento de instrumentos, etc.
- ⇒ obras de seguridad :
  - prioritarias
  - preventivas

Figura 7: arquitectura del sistema de diagnóstico de las represas

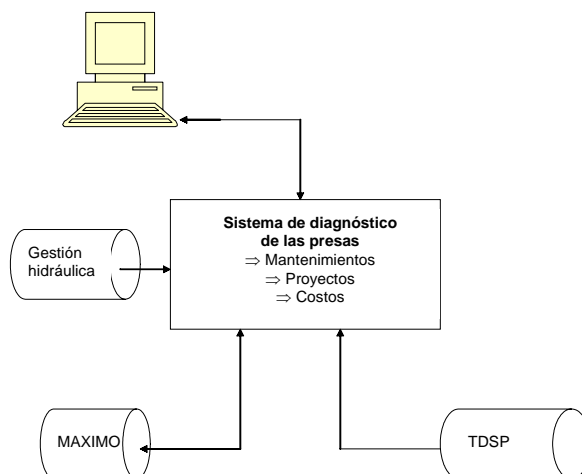


Figura 8: Ejemplo de obras de seguridad: rehabilitación de la escollera (embalse Caniapiscau, represa de materiales sueltos de 55 m de altura y de 3300 m de longitud de coronación)



## 7. Gestión hidráulica

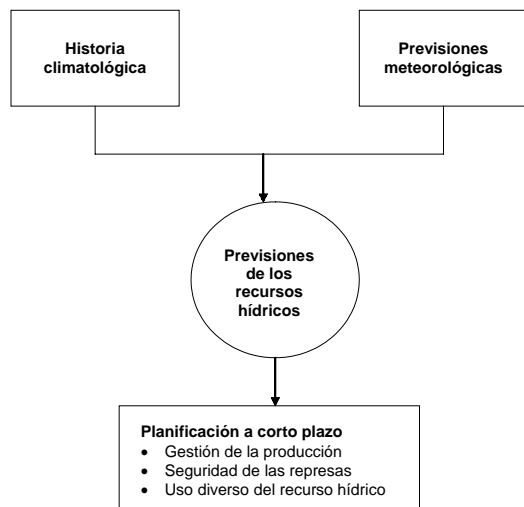
La Ley exige un plan de gestión hidráulica para cada instalación de producción hidroeléctrica. Este plan debe ser entregado a la municipalidad donde se encuentra la represa.

Las reglas de gestión hidráulica para los embalses son establecidas considerando en todo tiempo la seguridad de las represas. Así, las medidas de seguridad de la represa son tomadas en cuenta para la gestión del nivel de los embalses.

Hydro-Québec dispone de equipos de ingenieros especialistas en los campos de hidrología e hidráulica para la gestión y la previsión de los

recursos hídricos como se muestra en la figura 8 siguiente.

Figura 8: previsión de los recursos hídricos a corto plazo



## 8. Planes de urgencia

Igualmente, la Ley 2000 exige la mantención de un plan de medidas de urgencia para cada represa. Además, un resumen de este plan debe ser entregado a la municipalidad donde se encuentra la represa.

Ya que la empresa depende de recursos hídricos, la planificación de medidas de urgencia corresponde ante todo a riesgos naturales, tales como inundaciones, terremotos, y condiciones meteorológicas extremas.

Hydro-Québec ha creado su propio sistema de detección a distancia y de gestión de las bases de datos resultantes.

En ciertas represas y estructuras hidráulicas, se han instalado cerca o al interior de las estructuras, dispositivos de alarma tales como medidores de flujo, calibradores de nivel de agua, etc. En los casos de las estructuras más importantes, muchos de estos instrumentos son automatizados y programados para emitir señales de aviso a los operadores y al personal de seguridad de la represa cuando los niveles críticos son sobrepasados.

En los últimos años Hydro-Québec ha ganado experiencia operacional real en el manejo de situaciones de urgencia ante eventos tales como la inundación de Saguenay en 1996 y la tempestad de hielo de 1998.

La planificación de las medidas de urgencia se refiere a la gestión de los riesgos mostrada a la figura 9.

Figura 9: ciclo de gestión de los riesgos



Hydro-Québec ha elaborado planes y facilidades de manejo de crisis para todos los campos de sus operaciones. Éstos, combinados con su plan corporativo, permiten una gestión global en caso de urgencias mayores. Debido a su dependencia de recursos hídricos, las actividades de seguridad y de gestión de represas son conceptos fundamentales en la planificación de las medidas de urgencia.

La formación para la planificación de medidas de urgencia se efectúa a todos los niveles en Hydro-Québec. Una gran parte de esta formación se presenta en forma de ejercicios de simulación que son evaluados con posterioridad y refinados para optimizar los tiempos de respuesta y los procedimientos.

## 9. Conclusiones

Desde 1985, Hydro-Québec tiene un programa de seguridad de represas bien estructurado que es reconocido del gobierno de la Provincia de Québec. Además, Hydro-Québec ha realizado siempre los estudios de seguridad y de ruptura de represa para hacer los mapas de inundación necesarios a la preparación de los planes de urgencia. Igualmente, estos mapas han sido siempre entregados a la municipalidad correspondiente.

## 10. Lecciones aprendidas

La nueva Ley de la seguridad de represas (Ley 2000) de la Provincia de Québec deriva de la inundación de Saguenay en 1996. Esta Ley tiene por objetivo reglamentar la explotación de las represas, las actividades de vigilancia y de mantenimiento de pequeñas empresas privadas, las cuales no se dotaban de programas de seguridad antes de la existencia de la Ley 2000. Así, la Ley 2000 deberá permitir una mayor seguridad para la población y el medio ambiente de la Provincia de Québec.

## 11. Recomendaciones

El diagnóstico anual de las represas permite mantener un conocimiento actualizado de las obras sobre :

- ⇒ el comportamiento y el estado de la represa;
- ⇒ la seguridad de la represa;
- ⇒ la planificación de inversiones necesarias al mantenimiento de la represa.

### Referencia:

1. Province du Québec, Canada; Loi sur la sécurité des barrages (2000, chapitre 9).
2. Hydro-Québec, Réglementation du domaine Sécurité des barrages.