

# CAPITULO VIII

## CONTROLES DE CALIDAD

### 8.1.- CONTROLES DE CALIDAD

Los rodets necesariamente deben someterse a controles de calidad durante su fabricación así como cuando están en servicio, ya sea para confirmar las propiedades mecánicas garantizadas durante su fabricación o para prevenir daños de los mismos en servicio, evitando así daños catastróficos.

Los controles del tipo destructivos solo tienen lugar durante la fabricación o en elementos inservibles con la finalidad de investigar las causas de la falla que los lleve a ese estado.

Los ensayos no destructivos sin embargo entran en acción durante varios estados de la fabricación y también durante las inspecciones de servicio. Durante la fabricación, los ensayos no destructivos permitirán detectar piezas defectuosas y durante el servicio en las plantas revelar defectos, desgaste, etc. antes que la máquina pase a un estado de operación peligroso. Estas inspecciones deben llevarse a cabo por el personal de planta en intervalos regulares o después de alguna ocurrencia extraordinaria.

Dentro de los ensayos no destructivos se tienen:

- 1.- Inspección Visual.
- 2.- Inspección con Tintes Penetrantes.
- 3.- Inspección con Partículas Magnéticas.

- 4.- Inspección con Ultrasonido.
- 5.- Inspección con Radiografía.

## **8.2.- CONTROL DE CALIDAD POSTERIOR A LA COLADA**

Realizado en los hornos de la empresa HIDROSTAL SA se realizaron los 2 tratamientos térmicos, según la norma “ASTM A743/a 743M Table 1 Treatment Requirements Grade Ca6NM”, estos se realizaron para uniformizar y eliminar las tensiones internas del material, esta norma establece:

### **8.2.1.- Tratamiento Térmico de Templado**

Efectuado para darle uniformidad al material, el rodete es calentado hasta 1010°C (1859°F), con una gradiente de 95°C/hora, a esta temperatura se mantiene constante por 3 horas, luego es enfriado rápidamente mediante inyección de aire forzado frío, hasta una temperatura de 565°C a 620°C, el enfriamiento total se realiza con horno abierto y con una gradiente descendente de 30°C/hora.

### **8.2.2.- Tratamiento Térmico de Revenido**

Efectuado para el alivio de tensiones de la estructura interna del rodete, el rodete es calentado hasta 610°C con una gradiente de 50°C/hora a esta temperatura se mantiene constante por 3 horas, luego es enfriado con una gradiente descendente de 40°C/hora.

**Resultado:** Las curvas de los tratamientos realizados por la empresa HIDROSTAL SA se encuentra dentro de lo recomendado por la norma ASTM A743/a 743M Table 1 Treatment Requirements Grade Ca-6NM., la calidad de los tratamientos térmicos realizados al rodete, fueron encontrados aceptables.

## 8.3.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS LUEGO DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS

El rodete construido en una sola pieza, fue sometido a ensayos no destructivos para comprobar la calidad del material del rodete Pélton una vez terminados los tratamientos térmicos estos fueron:

### 8.3.1.- Inspección Visual.

La inspección visual es el primer control de componentes nuevos y también de aquellos durante su servicio. Consiste en revisar la calidad de las superficies, revelando defectos de superpie durante la manufactura y posteriormente en la operación. Su objetivo es detectar defectos superficiales tales como:

- Abrasión ocasionada generalmente por arena y suciedad, las cuales ocasionan un daño mecánico.
- Daños mecánicos: normalmente golpes de piedras que dejan una huella. Estos puntos pueden influir en la resistencia del material por un efecto conocido como concentración de tensiones.
- Daños de fundición: (poros) mayormente por la inclusión de arena de fundición.
- Fisuras: es la más grave y que puede ocasionar fallas en el rodete.

La limitación principal de este método es en cuanto se refiere a la detección de fisuras, pues como es comprensible, la visión humana tiene sus limitaciones.

Para nuestro caso se efectuó al 100% del rodete, después de la colada y al final del proceso, para determinar imperfecciones superficiales, ondulaciones, falta de linealidad, etc.

**Resultado:** las diferentes imperfecciones halladas, fueron eliminadas durante el proceso de rectificado.



*Figura N° 18: Inspección Visual al Rodete Pelton después de Colada.*

### 8.3.2.- Inspección con Radiografía.

La inspección radiográfica es aplicada para la detección de defectos internos, entonces, la inspección radiográfica puede ser considerada como un método de investigación para determinar la calidad de los aceros fundidos.

Generalmente, este método puede ser aplicado para la inspección de toda clase de fundiciones de acero, salvo que espesores importantes, la geometría o la falta de accesibilidad a ciertas zonas lo impidan.

Para nuestro caso el tipo de control es Gammagrafía al 100% de los cuellos de las cazoletas del rodete. El equipo de gammagrafía empleado fue el de Fuente de Iridio-192 radioisótopos. Marca Tech – Ops, modelo 660 actividad 25 Curies.

- La técnica empleada es de Pared Simple-Vista Simple, distancia y longitud de la película 8". Se tomaron 19 placas. El criterio de aceptación fueron la Norma ASME: sección V. Art. 7 y 4; la CCH 70-3

Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines y  
la ASTM 03.03 Nondestructive Testing.

**Resultado:** el informe entregado por la empresa Control Service Group SAC indica que las placas radiográficas muestran un material continuo sin defectos internos.



*Figura N° 19: Inspección con Radiografía.*

### **8.3.3.- Inspección con Partículas Magnéticas.**

Los rodetes Pélton están con frecuencia a sufrir daños como la erosión por arena, los deterioros producidos por sustancias solidas que se encuentran en el agua y por grietas de fatiga. Estos deterioros y desgastes reducen la potencia hidráulica y la disponibilidad de las turbinas. Las grietas de fatiga, producidas por pequeños desperfectos del material localizados inmediatamente debajo de la superficie del rodete (que no pueden ser detectados por una inspección con tintes penetrantes), se consideran los deterioros más peligrosos.

La inspección con partículas magnéticas permite la detección y localización de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en los materiales ferromagnéticos. Las discontinuidades subsuperficiales capaces de ser detectadas por este proceso son aquellas que se encuentran hasta 2mm por debajo de la superficie, dependiendo esto de ciertas condiciones de magnetización y de la experiencia de las personas que los realizan.

Para nuestro caso se efectuó al 100% del rodete, después de la colada, teniendo mayor cuidado en los cuellos de las cazoletas con en los nervios centrales. Fue realizado con partículas fluorescentes en medio húmedo. Equipo utilizado:

- Yugo Magnético
- Luz Negra
- Partículas Magnéticas Fluorescentes
- 

Las normas de aceptación fueron: ASTM E 709-80 Standard Practice for Magnetic Particle Examination y ASME E-144.

**Resultado:** El control realizado no arrojó rajaduras que comprometan al rodete, solo poros superficiales en la zona del nervio central, las mismas que fueron eliminados durante el proceso de esmerilado.



*Figura N° 20: Inspección con Partículas Magnéticas después de la Fundición.*

#### **8.4.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DURANTE LOS PROCESOS DE RECTIFICADO, PULIDO y ACABADO.**

Los controles se realizaron en los talleres durante todo el proceso de rectificación y pulido del rodete.

Todos los controles realizados se encuentran dentro de la norma técnica internacional de calidad **CCH 70-3**. Los Ensayos no destructivos que se efectuaron fueron:

##### **8.4.1.- Inspección con Tintes Penetrantes.**

El ensayo no destructivo por tintes penetrantes es uno de los más usados por su sencilla aplicación. Esta prueba tiene como objetivo la detección de defectos

abiertos en la superficie de las piezas. El método es aplicable tanto a férreos como no férreos.

El examen por líquidos penetrantes depende fundamentalmente de aquellas propiedades de los líquidos que les comuniquen un determinado poder humectante, suficiente para mojar la superficie del sólido u objeto sometido a examen al tiempo que les permitan fluir sobre ella formando una película razonablemente continua y uniforme, así como una facultad o poder de penetración que les faculten para introducirse en la discontinuidad abierta a la superficie.

Para nuestro caso se efectuó al 100% del rodete, durante el proceso de esmerilado y al final del proceso, para verificar porosidades y rajaduras superficiales, el criterio de aceptación será los contemplados por la norma internacional para centrales PT70-3.

- Clase I, sección cuello, nervio central, filo de ataque y zona de acoplamiento.
- Clase II, cazoleta interna
- Clase III, zonas externas.

**Resultado:** en el control final no se encontraron discontinuidades lineales ni poros, encontrándose dentro de los criterios aceptables por la norma PT 70-3.



*Figura N° 21: Inspección con Tintes Penetrantes luego del Pulido Final.*

#### **8.4.2.- Inspección con Partículas Magnéticas.**

Al igual que en la prueba realizada al rodete salido de la colada, se efectuó esta prueba al 100% del rodete., después de acabado los trabajos de rectificación, pulido y acabado del rodete, teniendo mayor cuidado en los cuellos de las cazoletas con en los nervios centrales. Fue realizado con partículas fluorescentes en medio húmedo. Equipo utilizado fue:

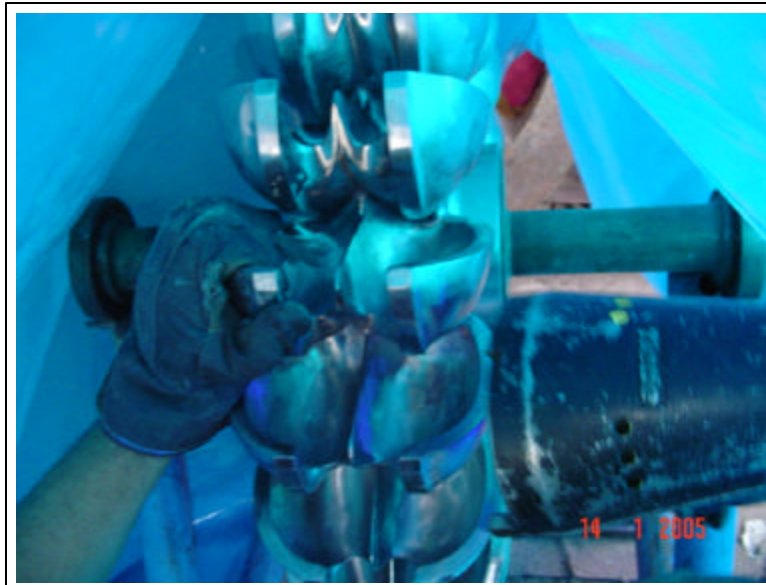
- Yugo Magnético
- Luz Negra
- Partículas Magnéticas Fluorescentes
- 

Las normas de aceptación fueron: ASTM E 709-80 Standard Practice for Magnetic Particle Examination, ASME E-144 y la Norma CCH 70-3.

Los criterios de aceptación fueron:

- Clase I, sección cuello de cazoleta, nervio central, filo de ataque y la zona de acoplamiento.
- Clase II. Cazoleta interna.
- Clase III, zonas externas
- 

**Resultado:** En los controles realizados no se encontraron discontinuidades lineales ni poros.



*Figura N° 22: Inspección con Partículas Magnéticas luego del Pulido Final.*

#### **8.4.3.- Control de Dureza.**

Se efectuó al 100% de los cazoletas del rodete., con el fin de asegurar la calidad de los tratamientos térmicos. El instrumento utilizado para el control es un medidor de dureza Marca Krautkramer, de energía de impacto de aproximadamente 12 Nxmm. La unidad de control es en HB, se controlaron en

38 puntos del rodete. Los criterios de aceptación están regidas a la calidad del material acero G X5 Cr Ni 13-4 (270HB – 310HB)

**Resultado:** Los controles fueron realizados dieron como resultado una dureza promedio de 303HB, el cual se encuentra dentro de los márgenes característicos del acero G X5 Cr Ni 13-4.



*Figura N° 23: Control de Dureza del rodete Pelton.*

#### 8.4.4.- Balanceo Dinámico.

Lo realiza la Empresa IMABSA INGENIERIA DE MANTENIMIENTO;  
ANALISIS Y BALANCEOS SA, el equipo utilizado es una balancadora Serie  
IRD; modelo B-50; capacidad 2300Kg

**Resultado:** El desbalance del rodete queda en:

- Plano izquierdo 2 gramos a 294°
- Plano derecho 3 gramos a 214°
- Este desbalance residual se encuentra dentro de los márgenes aceptables por la norma ISO 1940.



*Figura N° 24: Control de Balanceo Dinámico.*