

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“REDISEÑO E INSTALACIÓN DE REJAS HIDROMECAÑICAS EN LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DEL MANTARO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

MANTILLA GUTIERREZ JHOEL ALEXANDER

Villa El Salvador
2016

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo:
a Dios, por siempre estar a mi lado;
a mi madre, Francisca Gutiérrez y a mi
hermano Andry Mantilla por brindarme todo
su cariño y hacer todo lo posible para ayudarme
a cumplir con todas mis metas profesionales.

A mi padre por apoyarme de una
u otra manera.

A mi universidad por cobijarme
durante los 5 años de carrera,
a los profesores por compartir
sus conocimientos
y experiencias.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por estar siempre a mi lado,
A mis padres y a mi hermano
por estar siempre a mi lado apoyándome,
celebrando mis triunfos, compartiendo mis alegrías
y soportándome en los momentos difíciles
que me toco pasar en la vida.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se describirán los procedimientos de cálculo utilizados en el rediseño de las rejas hidromecánicas de 13.25 X 2.65 m, de la Central Hidroeléctrica del Mantaro; así mismo, se detallarán los procedimientos de desmontaje y montaje de las rejas, llevada a cabo en el proceso de Purga del año 2014 de la Central Hidroeléctrica del Mantaro.

Los procedimientos de cálculo utilizados para realizar el rediseño de las rejas metálicas se basaron en los lineamientos de las normativas brasileñas NBR 11213 "Rejas de Toma de Agua para Instalaciones Hidráulicas" y NBR 8883-2008 "Cálculo y Fabricación de Compuertas Hidráulicas", los mismos que serán descritos en este trabajo de investigación.

Palabras Clave: Rejas Hidromecánicas, Central hidroeléctrica, Proceso de Purga, Normativa Brasileña.

ABSTRACT

In the present investigation the method of calculation used in the redesign of the metal bars of 13.25 X 2.65 m, of the Mantaro Hydroelectric; Likewise, procedures for removal and installation of the bars held in the process Purge of 2014 Mantaro Hydroelectric detailing.

The calculation procedures used for the redesign of the metal bars were based on the guidelines of the Brazilian regulations NBR11213 - "Water intake grilles for Hydraulic Installations" and NBR 8883-2008 "Design of Hydraulic Gates" will be the same as described in this research paper.

Keywords: metal bars, Hydroelectric; Likewise, process Purge, Brazilian regulations.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
CAPITULO I.....	10
1. PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	10
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.3.1. ESPACIAL	12
1.3.2. TEMPORAL	12
1.3.3. CONCEPTUAL	12
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.4.1. PROBLEMA GENERAL.....	13
1.4.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS	13
1.5. OBJETIVOS	13
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
CAPITULO II.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO Y CONCEPTUAL	14
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	14
2.2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	23
CAPITULO III.....	25
3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	25
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA CASO.....	25

3.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MEJORADO	28
3.3. PROCEDIMIENTOS DE MONTAJE Y DESMONTAJE DE REJAS ...	42
3.3.1. GENERALIDADES	42
3.3.2. TRABAJOS A REALIZAR	42
4. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS.....	46
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	23
Figura 2	23
Figura 3	24
Figura 4	25
Figura 5	28
Figura 6	43
Figura 7	45
Figura 8	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	31
Tabla 2	32
Tabla 3	34

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva el título de “Rediseño e Instalación de Rejas Hidromecánicas en la Central Hidroeléctrica del Mantaro”, para optar por el título de “Ingeniero Mecánico Eléctrico”, presentado por el Bachiller Jhoel Alexander Mantilla Gutiérrez.

Una Presa es la principal obra hidráulica de una Central Hidroeléctrica, la cual es construida para conseguir un salto de agua, desviar caudales y/o almacenar el agua del embalse. Esta Presa para su operación adecuada cuenta con un sistema de limpieza de residuos, el cual está conformado por una(s) reja(s) y una(s) maquina Limpiarrejas que tienen la función de retener y extraer respectivamente los residuos sólidos que se acumulan en el embalse de la Presa. Es esta principal obra hidráulica de una Central Hidroeléctrica en donde se acumula el agua que posteriormente será conducida por medio de la tubería de aducción y la tubería de presión hacia la casa de máquinas; lugar donde se encuentran ubicadas las turbinas y generadores.

Un sistema de limpieza para una Presa de una Central Hidroeléctrica debe ser diseñado para mantener en las mejores condiciones de limpieza posible los puntos de entrada del agua; estos sistemas son seleccionados de acuerdo a algunos parámetros, tales como: tipos de residuos, profundidad del embalse y tipo de operación. El presente trabajo de investigación está basado en el proyecto de cambio del actual sistema limpiarrejas de la Central Hidroeléctrica Mantaro (C.H. Mantaro), el cual es de operación manual accionada mediante motoreductores y cables de acero. El mismo que será cambiado debido a su ineficacia frente a los residuos que actualmente se acumulan en el embalse, consistentes en su mayoría en residuos plásticos, los cuales difieren de las ramas y desperdicios orgánicos para los que fue diseñado originalmente; por otro lado este sistema cuenta con poco más de 40 años de operación continua, lo cual hace notar los desperfectos ya evidentes debido a su largo tiempo de operación. El nuevo sistema estará compuesto de 4 rejas nuevas de diseño mejorado de 13.25 x 2.65 m y 2 maquinas Limpiarrejas de operación hidráulico con brazos telescópicos.

Este proyecto debido a su complejidad para su instalación será desarrollado en 3 etapas, entre los años 2014, 2015 y 2016, es por ello que en una primera etapa, realizada en el año 2014 se procedió a realizar el rediseño, desmontaje y montaje de una de las rejas hidromecánicas de 13.25 X 2.65 m [3]. Dicha primera etapa será detallada en el presente trabajo de investigación.

La estructura que hemos seguido en este trabajo de investigación se compone de 3 capítulos:

El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo el desarrollo del marco teórico y el tercer capítulo corresponde a la exposición del trabajo caso.

CAPITULO I

1. PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La C.H Mantaro cuenta como parte de sus instalaciones, con una Presa de nombre Tablachaca, donde se embalsa el agua que será conducida posteriormente a la casa de máquinas, para convertir la energía potencial del agua en energía eléctrica. Dentro de la Presa Tablachaca se tiene instalado un sistema de limpieza, el cual tiene la función de retener y extraer los residuos sólidos que se acumulan en el embalse de la Presa, antes del ingreso al Túnel de Aducción. El Sistema ubicado en la Presa Tablachaca cuenta con poco más de 40 años de operación continua y fue diseñado originalmente para recoger ramas, hojas y desperdicios orgánicos, y no, para el tipo de residuos actuales consistentes en plásticos en forma de botellas, bolsas, sacos y láminas, entre otros.

Estos residuos que se acumulan en el embalse de la Presa Tablachaca se mezclan con ramas y tierra formando capas que quedan atoradas en las rejas hidromecánicas de 13.25 X 2.65 m. Estas capas no pueden ser extraídas por la actual maquina limpiarrejas, por lo que con el tiempo estas capas empiezan a sedimentarse en los barrotos de las rejas, lo cual impide el paso normal del agua hacia el túnel de aducción, además de causar constantes atascamientos de la maquina limpiarrejas.

Los actuales residuos acumulados en el embalse de la Presa Tablachaca son provenientes de las localidades y comunidades de La Oroya, Jauja, Concepción, Huancayo entre otras, ubicadas aguas arriba del rio Mantaro.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Durante la mayor parte del año cuando el embalse de la Presa Tablachaca se mantiene cerca de su nivel máximo (2695,00 msnm), el arrastre de residuos del río (especialmente plásticos) es permanente. Estas grandes cantidades de residuos plásticos no pueden ser extraídos eficientemente por la maquina limpiarrejas, por lo cual estos residuos plásticos atraviesan las rejas metálicas y llegan hasta los inyectores (agujas, boquillas, toberas) de las turbinas de la C.H Mantaro causando un desgaste más acelerado de estos equipos. Asimismo genera atoramiento de los sistemas de refrigeración de la central (pozas de agua turbinada e intercambiadores de calor de los grupos generadores y de los transformadores de potencia de los grupos generadores). Por estas razones, el personal de la central debe hacer mantenimientos no programados y en algunos casos se tienen que parar los grupos generadores, lo cual representa una pérdida de generación de energía y consiguientemente pérdidas económicas para la empresa que opera la C.H Mantaro.

Debido a la poca eficacia de este sistema de limpieza, producto del actual tipo de basura que se acumula en el embalse de la Presa Tablachaca y, sumado a los más de 40 años de operación continua que lleva este sistema, se vio la necesidad obligatoria de realizar un mejoramiento y/o cambio del sistema actual, de manera que

pueda operar bajo las condiciones actuales y que además pueda ofrecer mejores prestaciones que el sistema actual.

Las alternativas analizadas consistieron en: rehabilitación de rejas y maquina limpiarrejas, incremento del número de maquinas limpiarrejas, cambio total del sistema limpiarrejas por uno hidráulico de brazos articulados y/o hidráulicos de brazos telescópicos y/o multirastrillo. Luego de realizada la evaluación de estas alternativas se optó por un cambio total del sistema. El sistema seleccionado es del tipo hidráulico con brazos telescópicos automático y manual, el cual considera instalar 2 maquinas limpiarrejas una para cada dos naves y un nuevo juego de rejas de diseño mejorado (4 und).

La instalación de este nuevo sistema de limpieza, debido a su complejidad será desarrollado entre los años 2014, 2015 y 2016, es por ello que en una primera etapa, realizada en el año 2014 se procedió a realizar el rediseño, desmontaje y montaje de una de las rejas metálicas de 13.25 X 2.65 m. Dicha primera etapa será detallada en el presente trabajo de investigación.

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. ESPACIAL

El diseño se desarrollo en la Presa Tablachaca, principal obra hidráulica de la C.H Mantaro, ubicada en la localidad de Quichuas, distrito de Colcabamba, provincia de Tayacaja en el departamento de Huancavelica.

1.3.2. TEMPORAL

Para realizar el trabajo de investigación se dispuso de 4 meses, con dedicación a tiempo parcial, en promedio de unas 6 horas por semana.

1.3.3. CONCEPTUAL

No se cuentan con los planos As Built de los detalles constructivos de las guías, fijaciones y anclajes de la reja a la estructura civil, los cuales datan de la

década de los 70. Esto debido a que fueron extraviados, motivo por el cual, para el rediseño, desmontaje y montaje de las rejas metálicas solo se contarán con planos generales.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo es la retención y extracción de los residuos sólidos que se acumulan en el embalse de la Presa Tablachaca?

1.4.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS

- El diseño de las rejas ubicadas en la Presa Tablachaca, es inadecuado para el actual tipo de residuos que se acumulan en el embalse.
- El atoramiento de las rejas metálicas son producto de la antigüedad y obsolescencia del sistema de limpieza.
- El atoramiento de residuos en las rejas causa el atascamiento de la maquina limpiarrejas.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Mejorar la retención y extracción de residuos sólidos que se acumulan en el embalse de la Presa Tablachaca.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Rediseñar las rejas ubicadas en la Presa Tablachaca de la C.H Mantaro.
- Reducir el número de elementos horizontales para reducir el número de puntos de acumulación de residuos.

CAPITULO II

2. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la Obra Toma de la Presa Tablachaca se cuenta con cuatro canales (A, B, C y D) y en la entrada de cada una de ellas se tienen instaladas rejas de 13.25 X 2.65 m, para evitar el paso de residuos al túnel de aducción. Para la limpieza de estas rejas se opera una maquina limpiarrejas cuyo diseño original no contempló recoger el tipo de basura actual consistente en: plásticos en forma de botellas, bolsas, sacos y láminas entre otros; los que producen atoramiento en las rejas, desgaste en los componentes de las turbinas y problemas en los sistemas de enfriamiento de la C.H Mantaro.

La propuesta de solución al problema constituye el reemplazo del equipo existente por uno moderno y adecuado a las actuales condiciones del material sólido flotante que llega al embalse. Las empresas fabricantes de estos sistemas son en su mayoría del exterior debido a la complejidad y especialidad que se necesita para el

diseño y fabricación de estos equipos, es por ello que al citar proyectos de similares características, se han tomado como referencias instalaciones de países del exterior, tales como:

La Central Hidroeléctrica Gelsa ubicada en el Rio Ebro – Zaragoza adquirió en el año 2012 un limpiarrejas automático manual de brazos articulados.

La Empresa Eléctrica Quito (EEQ) propietaria de las centrales hidroeléctricas de Guangopolo y Cumbayá ubicada en el país de Quito, Ecuador, adquirió en septiembre del 2014 dos sistemas limpiarrejas del tipo hidráulico, con el fin de mejorar la eficiencia y seguridad del suministro en la generación de energía eléctrica.

La Central Hidroeléctrica “El Cortijo” de España cuenta con la existencia de un limpiarrejas de Cables, el cual está pendiente de sustitución por uno Hidráulico.

En el Complejo Hidroeléctrico de Régua, “Río Douro (Duro)” en Portugal en el año 2012 se instaló un limpiarrejas hidráulico, el cual hasta el momento funciona perfectamente.

2.2. MARCO TEÓRICO

a) Centrales Hidroeléctricas:

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que permiten aprovechar la energía potencial gravitatoria (masa a una cierta altura) contenida en el agua de los ríos, al convertirla en energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas acopladas a generadores eléctricos. Las centrales hidroeléctricas producen energía eléctrica a partir de la energía potencial o gravitatoria (masa a una cierta altura) contenida en el agua de los ríos, mediante equipo turbina-generador.

Los elementos más característicos de una central son la presa, los conductos de agua, la sala de máquinas, los transformadores y el parque de distribución.

La presa

Es una construcción, normalmente de hormigón, que se alza sobre el suelo del río y perpendicular a su dirección, con la finalidad de retener el agua, para

evarla a un nivel suficiente y formar un embalse. Dependiendo de las características de elevación y de su emplazamiento, se escogerá entre una configuración u otra.

Conductos de Agua

Las presas tienen unas compuertas que permiten regular el caudal y están protegidas por un enrejado metálico para evitar la entrada de elementos sólidos. Pero las presas, también cumplen la función de regular el caudal de los ríos, por tanto, deben ser capaces de permitir la evacuación del agua sin necesidad de que pase por las turbinas. Para esto utiliza unos rebosadores equipados con compuertas, y a pie de presa se construyen unos elementos amortiguadores de la energía adquirida por el agua cuando cae. En la parte más honda de la presa, están los desagües, que permiten el vaciado de todo el embalse a fin de realizar diferentes tareas.

La sala de máquinas

Es donde están situadas las máquinas motrices de la central. En función de la altura del salto y del caudal de agua se utilizan diferentes tipos de turbinas. Las más importantes son las: Pelton, Francis y Kaplan.

Parque de distribución

La tensión obtenida es igual o inferior a 20kV. Con los transformadores se eleva a la tensión adecuada para su transporte. En el parque de distribución, la central se conecta a la red de transporte. Este transporte se realiza mediante las líneas de alta tensión.

La mayoría de las centrales están interconectadas a través de la red de transporte, por tanto, han de estar sincronizadas para tal que sus aportaciones de energía sean compatibles.

b) Limite Elástico de Materiales:

El límite elástico, también denominado límite de elasticidad, es la tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Si se aplican tensiones superiores a este límite, el material experimenta deformaciones permanentes y no recupera su forma original al retirar las cargas. En general, un material sometido a tensiones inferiores a su límite de elasticidad es deformado temporalmente de acuerdo con la ley de Hooke.

Los materiales sometidos a tensiones superiores a su límite de elasticidad tienen un comportamiento plástico. Si las tensiones ejercidas continúan aumentando el material alcanza su punto de fractura. El límite elástico marca, por tanto, el paso del campo elástico a la zona de fluencia. Más formalmente, esto comporta que en una situación de tensión uniaxial, el límite elástico es la tensión admisible a partir de la cual se entra en la superficie de fluencia del material.

c) Vibración:

Movimiento vibratorio o vibración es la variación o cambio de configuración de un sistema en relación al tiempo, en torno a una posición de equilibrio estable, su característica fundamental es que es periódico, siendo frecuente el movimiento armónico simple, por lo que este movimiento adquiere una singular importancia en los estudios vibratorios.

Los sistemas mecánicos al ser sometidos a la acción de fuerzas variables con el tiempo, principalmente periódicas, responden variando sus estados de equilibrio y, como consecuencia, presentan cambios de configuración que perturban su normal funcionamiento, presentan molestias al personal que los maneja y acortan la vida útil de los mecanismos.

Clasificación de Vibraciones

Las vibraciones son libres cuando no existen fuerzas o acciones exteriores directamente aplicadas al sistema a lo largo del tiempo.

Las vibraciones son forzadas cuando existen acciones o excitaciones directamente aplicadas al sistema a lo largo del tiempo, además de las fuerzas o momentos internos.

Tanto las vibraciones libres como las forzadas pueden subdividirse, dependiendo de la existencia o no de fuerzas resistentes que amortiguan el movimiento vibratorio, en: Sin amortiguamiento. No existe resistencia pasiva al movimiento del sistema. Con amortiguamiento. Existen resistencias pasivas al movimiento del sistema, es decir, fuerzas o momentos disipativos que amortiguan el movimiento vibracional.

d) Propiedades de los fluidos.

Densidad

Se define como la masa por unidad de volumen. Sus unidades en el sistema internacional son [kg/m³]. Para un fluido homogéneo, la densidad no varía de un punto a otro y puede definirse simplemente mediante

$$P = m / V$$

Peso específico

El peso específico se define como el peso por unidad de volumen. En el sistema internacional sus unidades son [N/m³]. Para un fluido homogéneo

$$\gamma = mg/V = \rho g$$

Volumen específico

Se denomina volumen específico al volumen ocupado por la unidad de masa. Para un fluido homogéneo se define como

$$v = V/m = 1/\rho$$

e) Dinámica de fluidos:

La dinámica de fluidos estudia los fluidos en movimiento, y es una de las ramas más complejas de la mecánica. Aunque cada gota de fluido cumple con las

leyes del movimiento de Newton las ecuaciones que describen el movimiento del fluido pueden ser extremadamente complejas. En muchos casos prácticos, sin embargo el comportamiento del fluido se puede representar por modelos ideales sencillos que permiten un análisis detallado.

Vórtice

Es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas. Un vórtice puede tener flujos circulares o rotatorios que poseen vorticidad. En dinámica de fluidos, el movimiento de un fluido puede decirse que es vorticial si el fluido se mueve alrededor de un círculo o si tiende a una espiral alrededor de un eje. Tal movimiento también se denomina Solenoidal.

Vorticidad

Se define como la circulación por unidad de área en un punto del flujo. Matemáticamente se define como:

$$\vec{\omega} = \nabla \times \vec{u}$$

∇ : Operador nabra

\vec{u} : Velocidad del fluido

Pérdidas de Carga en Rejillas de Limpieza

A la entrada de la toma de agua y en la cámara de carga, a la entrada de la tubería forzada, suele instalarse una rejilla para impedir el paso de la broza. El agua al atravesar la rejilla, genera una turbulencia que se traduce en una pérdida de carga.

2.2.1. BASES TEORICAS

a) Tensiones Admisibles de Materiales:

Caso de carga normal: $0,67 \cdot \sigma_e$

Caso de carga ocasional $0,75 \cdot \sigma_e$

Siendo:

oe: Límite elástico del material.

b) Flecha Máxima:

$$f < L/300$$

Siendo:

f: flecha máxima

L: luz existente entre apoyos

c) Carga debida al impacto de cuerpos en suspensión:

$$F = \frac{mv^2}{t}$$

Siendo:

m: Masa

v: Velocidad

t: Tiempo

d) Velocidad del fluido

$$v = \frac{Q}{A_{\text{Neta}}}$$

Siendo:

v: Velocidad

Q: Caudal

A_{Neta}: Área Neta

e) Vibraciones

$$f_{\text{trans}} = \frac{Mx_{\text{trans}}}{H^2} \sqrt{\frac{E}{\mu + \frac{b}{s}\mu'}}$$

$$f_{long} = \frac{Mx l_{long}}{H^2} \sqrt{\frac{E}{\mu}}$$

$$l_{trans} = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{(s^2 \times h)/12}{s \times h}}$$

$$l_{long} = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{(s^2 \times h)/12}{s \times h}}$$

Siendo:

f_v : frecuencia de formación de vórtices.

f_{trans} : frecuencia fundamental de vibración de la barra en dirección transversal al flujo.

f_{long} : frecuencia fundamental de vibración de la barra en dirección longitudinal al flujo.

l_{trans} : radio de giro de la sección de la barra en relación al eje paralelo a la dirección de flujo.

l_{long} : radio de giro de la sección de la barra en relación al eje perpendicular a la dirección de flujo

H: distancia entre separadores de barras

E: módulo de elasticidad del material de la barra

μ : Masa específica del material de la barra

μ' : masa específica del fluido

s: espesor de la barra

h: ancho de la sección de la barra

b: luz libre entre barras

M: factor de fijación de las barras, que toma los siguientes valores:

- 3,57 para barras empotradas
- 2,568 para barras semi-empotradas
- 1,57 para barras articuladas

f) Frecuencia de Formación de Vórtices

$$f_{vtrans} = \frac{STxv}{s}$$

$$f_{vlong} = 2x \frac{STxv}{s}$$

Siendo:

ST: número de Strouhal que depende de la sección de las barras y de la concentración de barras $(b+s)/s$.

v: Velocidad del Flujo.

s: Espesor de Barra Vertical

g) Pérdidas de Carga

$$\Delta p = k_b \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \cos \alpha$$

Siendo:

Kb: coeficiente de barra que toma los siguientes valores:

- 2,42 para barras de sección rectangular.
- 1,67 para barras de sección rectangular con los cantos redondeados.
- 1,79 para barras de sección circular.

s: espesor de la barra.

b: luz libre entre barras.

v: velocidad del flujo considerando una obstrucción de la reja de 25%.

g: aceleración de la gravedad.

a: ángulo de inclinación respecto de la vertical.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

a) Proyecto

El proyecto es la unidad operativa de los planes. Los planes se materializan en los proyectos, y se expresa como medio para la solución de los problemas.

b) Presa:

Es toda estructura que actúa como barrera, interrumpiendo la libre circulación del agua a través de sus cauces normales, dependiendo su configuración de la orografía del lugar de asentamiento, se construyen con dos fines principales: Obtener una elevación del nivel de agua, para formar un salto y el otro crear un depósito, de grandes dimensiones, para almacenar el agua y regular la utilización de la misma.

c) Embalse:

La función del embalse consiste en encauzar el agua para una adecuada utilización según las necesidades. Para retener el agua en el embalse, es preciso construir al menos una presa, que caracteriza al embalse.

d) Proceso de Purga:

Se denomina proceso de Purga al proceso por el cual el nivel del embalse de una Presa de una central hidroeléctrica es disminuido hasta niveles en los cuales la central deja de generar energía eléctrica. El objetivo de este proceso es eliminar los bancos de sedimentos acumulados en las estructuras hidráulicas de la presa y con ello recuperar el volumen útil en el embalse.

e) Rejillas Filtradoras:

Elemento cuyo objetivo es el de retener los elementos sólidos que puede transportar el agua, para evitar dañar las conducciones hidráulicas y los alabes de la turbina hidráulica.

f) Vórtices:

Un vórtice es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas. Como vórtice puede considerarse cualquier tipo de flujo circular o rotatorio que posee vorticidad. La vorticidad es un concepto matemático usado en dinámica de fluidos que se puede relacionar con la cantidad de circulación o rotación de un fluido. La vorticidad se define como la circulación por unidad de área en un punto del flujo.

g) Limite Elástico:

Es el valor mínimo de tensión requerida para producir en un cuerpo una deformación permanente. Por debajo del límite elástico, la materia vuelve a su longitud original al ser retirada la fuerza deformante.

h) Masa específica:

Magnitud que mide la masa de una sustancia en relación con su volumen. Empleando el sistema Internacional (SI), en la que la definición de la unidad de masa se ha hecho a partir de una unidad de volumen de agua, la masa específica coincide con la densidad.

CAPITULO III

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA CASO

Presa Tablachaca

La Presa Tablachaca forma parte del sistema de captación de la C.H Mantaro e inició su operación en el año 1973, con un volumen inicial de 16 millones de m³, siendo actualmente el volumen útil de equilibrio para operación de 7 millones de m³. La Presa cuenta con tres principales estructuras civiles denominadas: Desarenador, Obra Toma y Obra Pretoma.

Para preservar el volumen útil del embalse de la Presa y evitar su colmatación, se deben efectuar purgas anuales del embalse durante las épocas de avenidas, ya que es en esta época en los que se logra alcanzar caudales superiores a los 400 m³/s, los cuales son necesarios para desplazar los bancos de sedimentos. Este proceso consiste en descender el nivel del embalse desde la cota 2695 msnm

(cota de operación normal) hasta la 2676 msnm (cota de purga). A continuación en la figura 1 se muestra una vista panorámica de la Presa Tablachaca.



Figura 1: Vista panorámica de la Presa Tablachaca

En el Anexo 1 se muestra el esquema hidraulico de la Presa Tablachaca

Obra Toma

La estructura civil de la obra toma está compuesta por cuatro naves (A, B, C y D) y cuenta con un sistema Limpiarrejas, el cual está compuesto a la vez, por un conjunto de 4 rejas metálicas de 13.2 x 2.6 m, que tienen la función de evitar el paso de residuos sólidos hacia el túnel de aducción, y una cuchara limpiarrejas que se encarga de extraer los residuos atrapados en las rejas. A continuación en la figura 2 se muestra la estructura civil de la obra toma sobre la cual está ubicada la cuchara limpiarrejas.



Figura 2: Obra Toma

Rejas Metálicas

A continuación se indican las especificaciones que tienen cada una de las rejas de la Obra Toma de la Presa Tablachaca:

Longitud de la reja	:	13 250 mm
Ancho	:	2 650 mm
Inclinación respecto de la vertical	:	18°
Carga de agua punto inferior de la reja	:	22.4 m.c.a
Carga de agua punto superior de la reja	:	35 m.c.a
Luz libre entre lamas	:	50 mm
Caudal nominal	:	25m ³ /s

En el Anexo 2 se muestra un plano general con datos de las fijaciones y detalles de la rejas metálicas.

Las rejas actualmente presentan problemas por motivos tales como: rotura de guías, desalineamiento de barras y colmatación de residuos plásticos y ramas, tal como se muestran en las figuras 3 y 4.



Figura 3: Barras de reja rotas y desalineadas



Figura 4: Reja colmatadas con residuos plásticos y ramas

3.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MEJORADO

a) Construcción de la Reja

La reja se fabricará en dos módulos:

Módulo inferior, con $L = 5900\text{mm}$, y cinco vigas de apoyo.

Módulo superior, con $L = 7350\text{mm}$, y seis vigas de apoyo.

La reja estará compuesta por barras rectangulares con los cantos redondeados de dimensiones 100 mm (largo) por 10 mm (espesor) y se mantendrá el paso libre existente entre barras de 60 mm .

Las vigas horizontales de apoyo tendrán ranuras a modo de peine, sobre las que se encajaron y soldaron las barras de la reja.

Entre cada dos vigas se colocará un peine intermedio que se soldará también a las barras. De esta forma se cumplirá la distancia mínima entre separadores para evitar vibraciones.

b) Cargas Consideradas

Según lo indicado en la norma NBR 11213 se aplicarán las siguientes cargas:

- Carga hidrostática debida al grado de obturación de la reja. En este caso vamos a considerar un grado de obturación de 70%, que es un valor más que suficiente para el caso de instalaciones provistas de máquina limpiarrejas.
- Peso de la reja
- Carga debida al impacto de cuerpos en suspensión
- Carga debida al dispositivo limpiarrejas
- No se consideraran cargas debidas al empuje, rozamientos y fuerzas de accionamiento, ya que va a ser una instalación fija.
- Igualmente no se consideraran cargas debidas al impacto o presión de hielo, debido a las condiciones climatológicas existentes en la presa y a la profundidad a la que se encuentra la reja.

c) Casos de Carga

Los casos de carga contemplados en la norma y las cargas correspondientes son:

- Caso de carga normal: en este caso se consideraron la carga hidrostática y el peso de la reja.
- Caso de carga ocasional: en este caso se consideraron, además de las indicadas anteriormente, la carga debida a impactos de cuerpos y a la acción de la cuchara limpiarrejas.

d) Valores Admisibles de Tensiones y Deformaciones

Para los valores de tensiones admisibles se hace referencia a la norma NBR 8883 “Cálculo y Fabricación de Compuertas Hidráulicas”. En dicha norma se indican los siguientes valores de tensiones admisibles:

- Caso de carga normal: $0,67\sigma_e$
- Caso de carga ocasional: $0,75\sigma_e$

Siendo σ_e el límite elástico del material correspondiente.

Materiales a Emplear

Los materiales a emplear en la fabricación de las rejillas serán los siguientes:

- **Acero ASTM A36 (URSSA 690)**

Valor del límite elástico para espesores mayores de 70 mm:

$$\sigma_e = 630 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Caso normal } \sigma_{adn} = 422 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Caso ocasional } \sigma_{adn} = 472 \text{ N/mm}^2$$

- **Acero ASTM A572 (S-355-J2 s/norma UNE EN 10025)**

Valor del límite elástico para espesores menores de 16 mm:

$$\sigma_e = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Caso normal } \sigma_{adn} = 238 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Caso ocasional } \sigma_{adn} = 266 \text{ N/mm}^2$$

Para las deformaciones se tomará como límite que la flecha máxima sea: $f < L/300$

e) Consideración de Cargas

Para realizar los cálculos de tensiones y deformaciones existentes sobre las barras de la rejilla y las vigas de apoyo, en primer lugar deduciremos las cargas que se aplican a cada una de las barras de la rejilla.

Posteriormente, obtenidas las reacciones sobre las vigas, se realizará la verificación de las mismas.

Carga Debida a la Obturación de la Rejilla

Como se comentó anteriormente se realizarán los cálculos para una obstrucción del 70% de la rejilla. La carga se considerará como un porcentaje de la carga hidrostática que es a la que estaría sometida la rejilla con obturación total. La carga hidrostática que actúa y que se muestra en la figura 5, será:

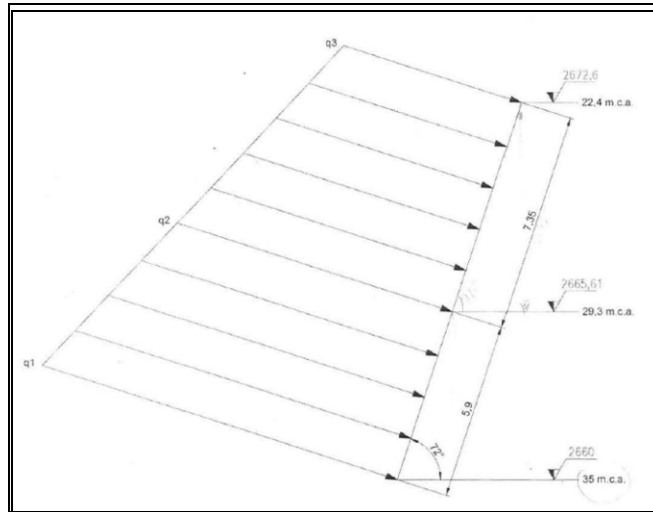


Figura 5: Carga hidrostática sobre la reja.

Los valores de carga por unidad de longitud que actuará sobre cada barra, con una obturación del 100%, siendo el paso entre barras de 60 mm, se obtienen a continuación:

$$q1.100 = 0,06\text{m} \times 1\,000\text{kg/m}^3 \times 35\text{ m.c.a.} = 2100\text{ kg/m}$$

$$q2.100 = 0,06\text{m} \times 1000\text{kg/m}^3 \times 29,3\text{ m.c.a.} = 1758\text{ kg/m}$$

$$q3.100 = 0,06\text{m} \times 1\,000\text{kg/m}^3 \times 22,4\text{ m.c.a.} = 1344\text{ kg/m}$$

Los valores para una obturación de reja del 70% se obtienen como la parte proporcional de las anteriores:

$$q1.70 = 0,7 \times 2100 = 1470\text{ kg/m}$$

$$q2.70 = 0,7 \times 1758 = 1231\text{ kg/m}$$

$$q3.70 = 0,7 \times 1344 = 941\text{ kg/m}$$

Peso de la Reja

El peso de los elementos que componen la reja los obtiene automáticamente el programa de cálculo, en el que se ha introducido como densidad del acero: $\rho_{Fe} = 7852\text{ kg/m}^3$.

Carga Debida al Impacto de Cuerpos en Suspensión

Según las indicaciones de la norma, podemos calcular la fuerza que ejerce un cuerpo al impactar contra la reja con la siguiente expresión:

$$F = \frac{m \cdot v}{t}$$

A falta de datos más precisos, la norma propone el empleo de los siguientes valores:

$$m = 1000 \text{ kg}$$

$$t = 0,1 \text{ S}$$

Área de impacto: sección circular de radio 0,5 m; $S = 0,2 \text{ m}^2$.

La velocidad de aproximación la calculamos a partir de:

$$v = \frac{Q}{A_{\text{neta}}}$$

Siendo:

Q: caudal de paso por cada reja: $Q = 25 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$A_{\text{neta}} = A_{\text{bruta}} - A_{\text{estructura}}$$

$$A_{\text{bruta}} = 13,25 \times 2,65 = 35,11 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{estructura}} = 11 \times 0,1 \times 2,65 + 44 \times 0,01 \times 13,25 = 8,75 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{neta}} = 35,11 - 8,75 = 26,36 \text{ m}^2$$

Entonces:

$$V = 0,95 \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$$

Así, la fuerza de impacto sobre la reja será:

$$F = 1000 \text{ N} = 1020 \text{ Kgf}$$

La fuerza por unidad de superficie considerando el área de impacto anterior será:

$$F/S = 1020/0,2 = 5100 \text{ kg}$$

La barra que mayor impacto absorberá será la que se encuentre en la parte central de la sección circular, siendo el área que contribuye a esa barra:

$$S = 0,5 \times 0,06 = 0,03 \text{ m}^2$$

Por lo que la fuerza que actúa por pletina será:

$$F = 5100 \times 0,03 = 153 \text{ kg}$$

Carga Debida al Dispositivo Limpiarrejas

En general, la fuerza ejercida por un limpiarrejas es muy inferior en comparación con la fuerza debida a la carga hidrostática.

Debido a que sobre la nueva reja actuará en el futuro un limpiarrejas hidráulico, consideraremos esta situación para definir la carga que ejercerá el limpiarrejas sobre la reja.

En concreto, podemos estimar la fuerza máxima que ejerce la cuchara de un limpiarrejas hidráulico como 2000 kg.

De esta forma, la fuerza que actuará sobre cada barra será de:

$$2000/44 = 46 \text{ kg} = 50 \text{ kg}$$

f) Casos y Combinaciones de Carga

Vamos a considerar los siguientes casos de carga:

Caso Normal de Carga

En este caso se considerarán:

- Carga hidrostática con una obturación de reja del 70%.
- Peso de los elementos de la reja.

Caso Ocasional de Carga

En este caso, además de las anteriores se considerará:

- Fuerza debida a impactos de cuerpos.
- Fuerza ejercida por el limpiarrejas.

Estas fuerzas se considerarán aplicadas sobre cada uno de los puntos medios entre apoyos de las barras.

Se realizarán combinaciones de carga necesarias para considerar la casuística más desfavorable.

Para el impacto de objetos se considerará la fuerza aplicada en cada uno de los vanos a la vez.

Para la fuerza del limpiarrejas se considerará aplicada en un solo vano para cada combinación.

g) Verificación de Barras

Para la realización de los cálculos mecánicos se empleará el programa informático PowerFrame v 5.6.12 de Buildsoft, que es un programa de cálculo de estructuras, para lo cual introduciremos la barra con las siguientes condiciones de contorno:

- Barra de sección rectangular 100 x 10 mm
- El material será acero S-355-J2, con una tensión máxima admisible de:
Caso normal $\sigma_{adm} = 238 \text{ N/mm}^2 = 2428 \text{ kg/cm}^2$.
Caso ocasional $\sigma_{adm} = 266 \text{ N/mm}^2 = 2714 \text{ kg/cm}^2$.
- Apoyos empotrados correspondientes a cada una de las vigas, ya que las barras irán soldadas a las vigas.
- Se aplicarán las cargas descritas en el apartado anterior correspondientes a cada caso de carga.

A continuación en la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los casos:

	tensión máxima (kg/cm ²)	flecha máxima (mm)	Resistencia (%)	Pandeo (%)
panel inferior caso normal	1529	0,9	64,4	82,3
panel inferior caso ocasional	1748	1,1	65,2	83,4
panel superior caso normal	1278	0,8	53,8	68,8
panel superior caso ocasional	1499	1,0	55,9	71,5

Tabla 1: Casos de carga.

En la tercera columna se muestra el porcentaje de la resistencia del material empleado por éste durante las sollicitaciones aplicadas, o lo que es lo mismo, el mínimo coeficiente de seguridad será de:

$$\mu = 1/0.644 = 1.55$$

Verificación de la flecha máxima:

Se debe cumplir que la flecha máxima sea:

$$f < L/300$$

Siendo:

L: luz máxima entre apoyos, en este caso L = 1450mm

$$f = 1.1 < 1450/300 = 4.8$$

h) Verificación de Vigas

Para cada uno de los casos anteriores se extraerán las reacciones máximas que se transmitirán a las vigas por cada una de las barras. Éstas serán las cargas que se aplicarán a la viga para la comprobación de resistencia.

Dado que hemos considerado apoyos empotrados, aparecerán en cada apoyo una componente vertical (R_i) y un momento (M_i).

Para aplicar las cargas sobre la viga sumaremos la contribución de cada una de las pletinas y obtendremos una carga distribuida y un momento de la siguiente forma:

$$q = 44.R_i/2,65$$

$$M_r = 44.M_i$$

Siendo 44 el número de barras y 2,65 m la luz de la viga.

Para cada uno de los cuatro casos anteriores consideraremos los apoyos con mayor reacción vertical (A) y los de mayor momento (B). De esta forma se crea la Tabla 2 siguiente:

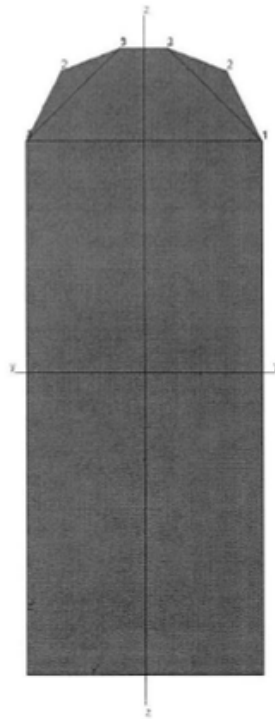
	R _i (kg)	M _i (kgm)	q (kg/m)	M _r (kgm)
Panel inferior Caso normal A	2057	8.4	34154	370
Panel inferior Caso normal B	1059	255	17584	11220
Panel inferior Caso ocasional A	2235	17.4	37110	766
Panel inferior Caso ocasional B	1160	292	19260	12848

Panel superior Caso normal A	1713	8.1	28608	357
Panel superior Caso normal B	886	213	14711	9372
Panel superior Caso ocasional A	1916	17.2	31813	757
Panel superior Caso ocasional B	988	250	16405	11000

Tabla 2: Casos de carga.

Los datos a introducir en el programa son los siguientes:

- Barra de sección rectangular 280x100, con un canto mecanizado, según el siguiente croquis:



A =	260,00 cm ²
Sz =	0,0 cm ³
Sy =	0,0 cm ³
Iy =	14805,5 cm ⁴
Iz =	2084,9 cm ⁴
Y's =	50 mm
Z's =	130 mm
Iyz =	0,0 cm ⁴
α =	0,00 °
Wy,b =	1059,4 cm ³
Wy,o =	1136,8 cm ³
Wz,l =	417,0 cm ³
Wz,r =	417,0 cm ³
iy =	7,5 cm
iz =	2,8 cm
Iy _p =	14805,5 cm ⁴
Iz _p =	2084,9 cm ⁴
Wpl,y =	1696,3 cm ³
Wpl,z =	635,3 cm ³
Y ^{pl} ,yz =	50 mm
Z ^{pl} ,yz =	130 mm
Avz =	174,56 cm ²
Avy =	177,21 cm ²
IT =	5332,0 cm ⁴
Wz _p ,b =	417,0 cm ³
Wz _p ,o =	417,0 cm ³
Wy _p ,b =	1059,4 cm ³
Wy _p ,o =	1136,8 cm ³
Z ^{pl} ,y _z =	50 mm
Y ^{pl} ,y _z =	130 mm
Wpl, _z =	635,3 cm ³
Wpl, _y =	1696,3 cm ³
G =	204,1 kg/m

- El material será acero URSSA 690 (ASTM A36), con una tensión máxima admisible de:

Caso normal $\sigma_{adrn} = 422 \text{ N/mm}^2 = 4306 \text{ kg/cm}^2$

Caso ocasional $\sigma_{adrn} = 472 \text{ N/mm}^2 = 4816 \text{ kg/cm}^2$

- Apoyos empotrados correspondientes a cada una de las vigas, ya que las barras irán soldadas a las vigas.
- Se aplicarán las cargas descritas en el apartado anterior correspondientes a cada caso de carga.

A continuación se muestra una Tabla 3 con los resultados obtenidos en cada uno de los casos:

	tensión máxima (kg/cm ²)	flecha máxima (mm)	Resistencia (%)	Pandeo (%)
Panel inferior Caso normal A	2895	7.9	67.6	53.4
Panel inferior Caso normal B	1498	4.1	35.0	27.6
Panel inferior Caso ocasional A	3144	8.6	65.1	54.3
Panel inferior Caso ocasional B	1640	4.5	33.9	28.3
Panel superior Caso normal A	2427	6.6	56.6	44.7
Panel superior Caso normal B	1256	3.4	29.3	23.2
Panel superior Caso ocasional A	2697	7.4	55.8	46.6
Panel superior Caso ocasional B	1399	3.8	29.0	24.2

Tabla 3: Casos de carga.

En este caso el mínimo coeficiente de seguridad será de:

$$\mu = 1/0,676 = 1,48$$

Verificación de la flecha máxima:

Se debe cumplir que la flecha máxima sea:

$$f < L/300$$

Siendo L: luz máxima entre apoyos, en este caso L = 2650mm

$$F = 8.6 < 1450/ 300 = 8.8-$$

En el Anexo 3, se muestran los resultados de las simulaciones realizadas de acuerdo a los casos de carga.

i) Estudio de Vibraciones

La indicación de la norma dice que para evitar fenómenos de resonancia se deberá garantizar que la frecuencia fundamental de las barras verticales sea al menos 1,5 veces la frecuencia de formación de vórtices en la reja, considerando una obstrucción del 25%. Es decir, se debe cumplir:

$f \geq 1,5 f_v$ en las direcciones transversal y longitudinal al flujo.

Las frecuencias fundamentales de la barra se determinan con las siguientes expresiones:

$$f_{trans} = \frac{M \cdot i_{trans}}{H^2} \sqrt{\frac{E}{\mu + \frac{b}{s} \mu'}}$$

$$f_{long} = \frac{M \cdot i_{long}}{H^2} \sqrt{\frac{E}{\mu}}$$

Para este caso se tiene:

$$s = 1 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$i_{trans} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{(s^3 \cdot h)/12}{s \cdot h}}$$

$$i_{long} = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{(h^3 \cdot s)/12}{s \cdot h}}$$

Entonces:

$$i_{trans} = 0,286 \text{ cm.}$$

$$i_{long} = 2,887 \text{ cm.}$$

$$H = 67 \text{ cm}$$

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,0078 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu' = 0,001 \text{ kg/cm}^3$$

$$b = 5 \text{ cm}$$

$$M = 3,57$$

Con estos valores se obtienen las siguientes frecuencias fundamentales de la reja:

$$f_{\text{trans}} = 87,9 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{long}} = 1023,4 \text{ Hz}$$

Las frecuencias de formación de vórtices se pueden determinar mediante las expresiones:

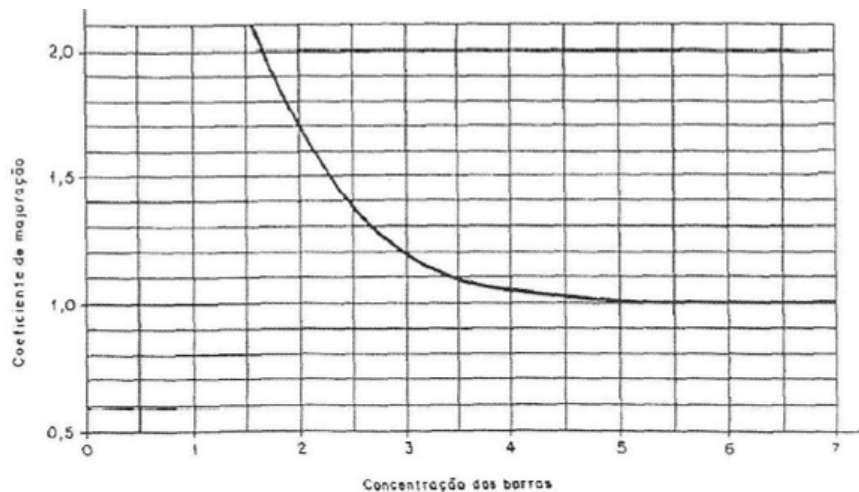
$$f_{v_{\text{trans}}} = \frac{ST \cdot v}{s}$$

$$f_{v_{\text{long}}} = 2 \cdot \frac{ST \cdot v}{s}$$

En este caso tenemos barras rectangulares con $h/s = 10$, por lo que según la indicación de la norma tendremos:

$$ST = 0,12 + 0,012h/s = 0,12 + 0,12 = 0,24$$

Se determina el coeficiente de mayoración en función de $(b+s)/s = 6$, a partir de la gráfica 1 siguiente:



Gráfica 1: Coeficientes de mayoración de número de Strouhal

Y se obtiene un coeficiente = 1; por lo que $ST = 0,24$

v: velocidad del flujo con una obturación de reja del 25%

En nuestro caso tendremos:

$$V = Q / (0,75 \times A_{\text{neta}}) = 25 / (0,75 \times 26,36) = 1,43 \text{ m/s} = 126 \text{ cm/s}$$

Con esto se obtiene:

$$f_{\text{vtrans}} = 30,3 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{vlong}} = 60,7 \text{ Hz}$$

Con estos valores verificaremos la condición de que no se produzcan fenómenos de resonancia:

$$f \geq 1,5f_v$$

$$f_{\text{trans}} = 87,9 \text{ Hz} \geq 1,5f_{\text{vtrans}} = 1,5 \times 30,3 = \mathbf{45,5 \text{ Hz}}$$

$$f_{\text{long}} = 1023,4 \text{ Hz} \geq 1,5f_{\text{vlong}} = 1,5 \times 60,7 = \mathbf{91 \text{ Hz}}$$

j) Estudio de Pérdidas de Carga

Para la determinación de las pérdidas de carga a través de las rejillas, se utilizará la ecuación de Kirschmer según lo indicado por la norma:

$$\Delta p = k_b \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \cos \alpha$$

En nuestro caso tendremos:

$$K_b = 1,67$$

$$s = 10 \text{ mm}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$v = 1,26 \text{ m/s (calculada en el apartado anterior)}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$a = 18^\circ$$

Con lo que se obtiene:

$$\Delta p = 0,015 \text{ m}$$

3.3. PROCEDIMIENTOS DE MONTAJE Y DESMONTAJE DE REJAS

3.3.1. GENERALIDADES

La C.H Mantaro para su funcionamiento óptimo, debe contar con la operación de la Presa Tablachaca entre las cotas 2690 a 2695 m.s.n.m.

Para realizar el montaje de una de las Reja en la Obra Toma de la Presa Tablachaca, se tiene como condición esencial tener el nivel del embalse entre las cotas 2670 a 2676 m.s.n.m. como máximo. Es decir para realizar el montaje se debe reducir en nivel de la Presa Tablachaca desde la cota 2695 hasta la cota 2676 m.s.n.m., lo cual implica parar la producción de C.H Mantaro durante los días que se realicen estos trabajos.

Teniendo presente esta situación y viendo la manera de reducir el impacto de los costos en la generación relacionados a la ejecución de este proyecto, se vio la oportunidad de aprovechar el proceso de Purga 2014 de la C.H Mantaro que se programó en marzo.

Para realizar este trabajo se deberá aprovechar el tiempo al máximo, es por ello que se trabajará bajo una jornada continua de 24 horas, con dos equipos en turnos de 12 Horas.

3.3.2. TRABAJOS A REALIZAR

Trabajos Iniciales

Las actividades iniciales consisten en lo siguiente:

- Descenso paulatino desde la cota máxima 2695 m.s.n.m. hasta la cota de Purga 2675 m.s.n.m.
- Colocación de ataguías en la Obra Toma y Pretoma.

- Vaciado y limpieza de lodos de la Nave A.
- Disponibilidad de personal necesario para la operación de la cuchara limpiarrejas de la Toma y Pretoma, la cual deberá estar perfectamente coordinada en las fechas y horarios requeridos para cumplir con el cronograma.

Trabajos en Nave A

Colocación de Bombas

Esta operación será realizada con polipasto y un carro especialmente diseñado para la colocación de bombas. El carro con las 2 bombas se bajará hasta que queden éstas sumergidas. En ese momento se iniciará el bombeo de agua. Según se vaya vaciando la nave se realizarán sucesivos descensos hasta llegar al fondo. Una vez vaciada la nave se extraerán de nuevo las bombas junto con las mangueras.

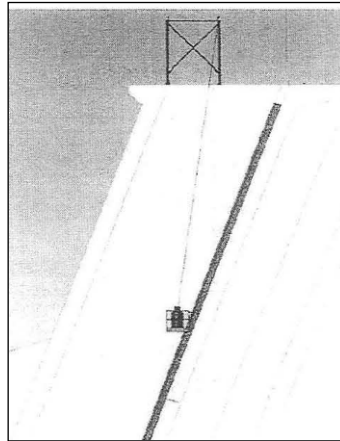


Figura 6: Descenso de las bombas.

Colocación Medios Necesarios

Se utilizará la plataforma suspendida adaptada con ruedas para el transporte del personal y herramientas hasta la zona de operaciones. El movimiento de esta plataforma se realizará mediante motores eléctricos fijados a la plataforma. El cable estará fijo en el pórtico superior, en la cota 2697.

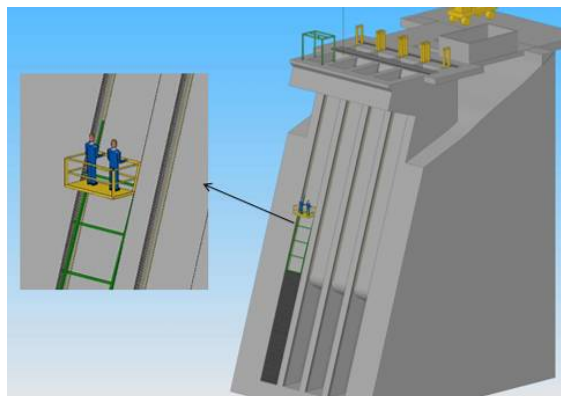


Figura 7: Descenso de personal.

Inspección

Se procederá a la inspección de las guideras, rejas existentes y obras civiles con el fin de evaluar rápidamente las condiciones de montaje de las rejas nuevas, con el fin de prever tareas relacionadas con la limpieza y/o adecuaciones de la misma.

Desmontaje de Estructura Superior (Guías)

Desarmado de la estructura mediante la realización de cortes necesarios. La extracción de la estructura se realizará mediante grúa forma se podrá a través de un cable central. Una vez en la superficie se procederá a la adecuación y reparaciones necesarias en la estructura para su posterior colocación nuevamente.

Desmontaje de Reja Existente

Para desmontar la reja actual será necesario realizar cortes que se precisen para liberarla de las uniones de la obra civil. Los cortes se realizarán mediante soplete oxiacetilénico. Una vez liberada la reja, se podrá extraer hasta la superficie mediante la grúa.

Montaje de la Reja Nueva

La reja fue fabricada en dos módulos uno de 5950 m de altura y el otro de 7350 m de altura. La colocación de los módulos será con ayuda de la grúa. El brazo de la grúa se extiende hasta una altura de 50 m sobre la vertical de las guideras y

suspende un cable de acero de 22 mm de diámetro y 46 m de largo que servirá para quitar las rejas viejas e introducir las rejas nuevas.

Tras la colocación de cada módulo se realizarán las fijaciones mediante taco químico a la obra civil.

Montaje de Estructura Superior (Guías)

Se realizaran las fijaciones pertinentes, de forma que sean fácilmente desmontables.

En el montaje se comprobará que exista continuidad entre la guía y la reja, de forma que queden ambas perfectamente alineadas y no existan saltos entre ellas. De esta forma se podrá garantizar el correcto descenso de la cuchara limpiarrejas actual, en todo su recorrido hasta el fondo de la reja.

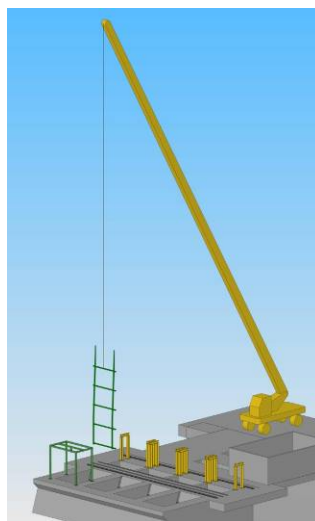


Figura 8: Montaje de Guías reparadas.

Desmontaje de Medios de Elevación

Desarmado de útiles empleados para los trabajos anteriormente descritos. Se subirá la plataforma de personal hasta la cota 2697.

Pruebas de la Cuchara Limpiarrejas en Rejas

Finalmente, y antes de proceder a la extracción de las ataguías, se realizarán pruebas con la cuchara limpiarrejas existente para verificar que no se produzcan interferencias en el funcionamiento sobre las rejas nuevas.

Trabajos Finales

Realizar el ascenso paulatino de la cota del nivel del embalse y retiro de la ataguía de la Pre toma y Toma de la Nave A, puesta en servicio para la Toma de Carga de

4. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS Y MRJORAS OBTENIDAS

En la actualidad la reja hidromecánica no ha presentado problemas al interactuar con la maquina limpiarrejas. El nuevo diseño de las rejas cumple con las expectativas. Asimismo los parámetros de operación son los siguientes:

Módulo inferior	: L = 5900mm, y cinco vigas de apoyo.
Módulo superior	: L = 7350mm, y seis vigas de apoyo.
Ancho de la Reja	: 2650 mm.
Paso libre entre barras	: 60 mm.
Separación entre vigas	: 1450 mm.
Angulo de inclinación	: 18°
Carga de agua punto inferior de la reja	: 22.4 m.c.a
Carga de agua punto superior de la reja:	35 m.c.a
Caudal nominal	: 25m ³ /s

Vigas

Límite Elástico σ_e	: 630 N/mm ²
Caso normal σ_{adm}	: 422 N/mm ²
Caso ocasional σ_{adm}	: 472 N/mm ²

Barrotes

Límite Elástico σ_e	: 355 N/mm ²
----------------------------	-------------------------

Caso normal σ_{adm} : 238 N/mm²

Caso ocasional σ_{adm} : 266 N/mm²

Mejoras Obtenidas con las Nuevas Rejas Hidromecánicas

REJAS ANTIGUAS	REJAS NUEVAS
La reja antigua presentaba gran acumulación de residuos sólidos, lo cual causo problemas en la limpieza de las mismas debido a que la cuchara limpiarrejas quedaba atascada en estos cúmulos de residuos.	Las rejas nuevas están libres de materiales sedimentados, perfiles desalineados y rotos, lo cual hace que la limpieza realizada por la cuchara limpiarrejas sea efectiva.
La reja antigua era de un solo cuerpo lo cual condicionaba su mantenimiento y/o reparación a realizar una parada total de la central, lo que origina grandes pérdidas económicas a la empresa.	La reja nueva fue instalada en 4 módulos de fácil fijación e instalación con anclajes mecánicos, lo que facilita el desmontaje de los módulos sin necesidad de realizar una parada total de la central, si no tan solo con una disminución de la generación.
Los elementos de las reja antigua se encontraban deteriorados y en proceso de oxidación.	La reja nueva fue fabricada con materiales de alta resistencia y durabilidad, además fue sometida a un galvanizado en caliente (entre 440 y 460° C).
El perfil rectangular de las rejas genera pérdidas de carga considerables.	Los perfiles utilizados en las rejas nuevas son rectangulares con bordes redondeados lo cual de acuerdo a la ecuación de Kischner presenta pérdidas

	de un 30% lo que es menor a las pérdidas generadas en barras rectangulares
--	--

En el Anexo 4, se muestra el plano As Built de las rejas hidromecánicas.

En el Anexo 5, se muestra las especificaciones de soldadura, el PQR y WPS.

En el Anexo 6, se muestra el presupuesto de la fabricación y montaje de rejas.

En el Anexo 7, se muestra un panel fotográfico del montaje de rejas en la Presa Tablachaca.

CONCLUSIONES

- El nuevo diseño de las rejas favorecerá para tener una mejor retención y extracción de residuos.
- El nuevo diseño redujo la cantidad de vigas horizontales, logrando así reducir los puntos de acumulación de residuos plásticos.
- Los cálculos y comprobaciones para la hipótesis de carga planteada con un grado de obturación de la reja del 70% arrojaron valores admisibles tanto para las tensiones máximas como para las deformaciones, con un coeficiente de seguridad cercano a 1.5.
- Con el cambio de la reja por una de mejor diseño y sin residuos sedimentados, la maquina limpiarrejas podrá trabajar sin atascarse mientras se instalan las nuevas.

RECOMENDACIONES

- implementar un programa de manejo de residuos en las localidades y comunidades ubicadas aguas arriba del río Mantaro, a fin de tener un manejo eficiente de las basuras domésticas en la cuenca del río Mantaro y así, reducir la cantidad de residuos que se acumulan en el embalse.
- El desmontaje de la reja en la nave A, mostro que la parte inferior de la reja se encontraba sedimentada, unos 50 cm aproximadamente. Es por ello que para el desmontaje de las otras tres rejas a realizarse en el periodo de Purga del 2015 se deberá tomar en consideración el llevar más personal y más bombas de extracción de lodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

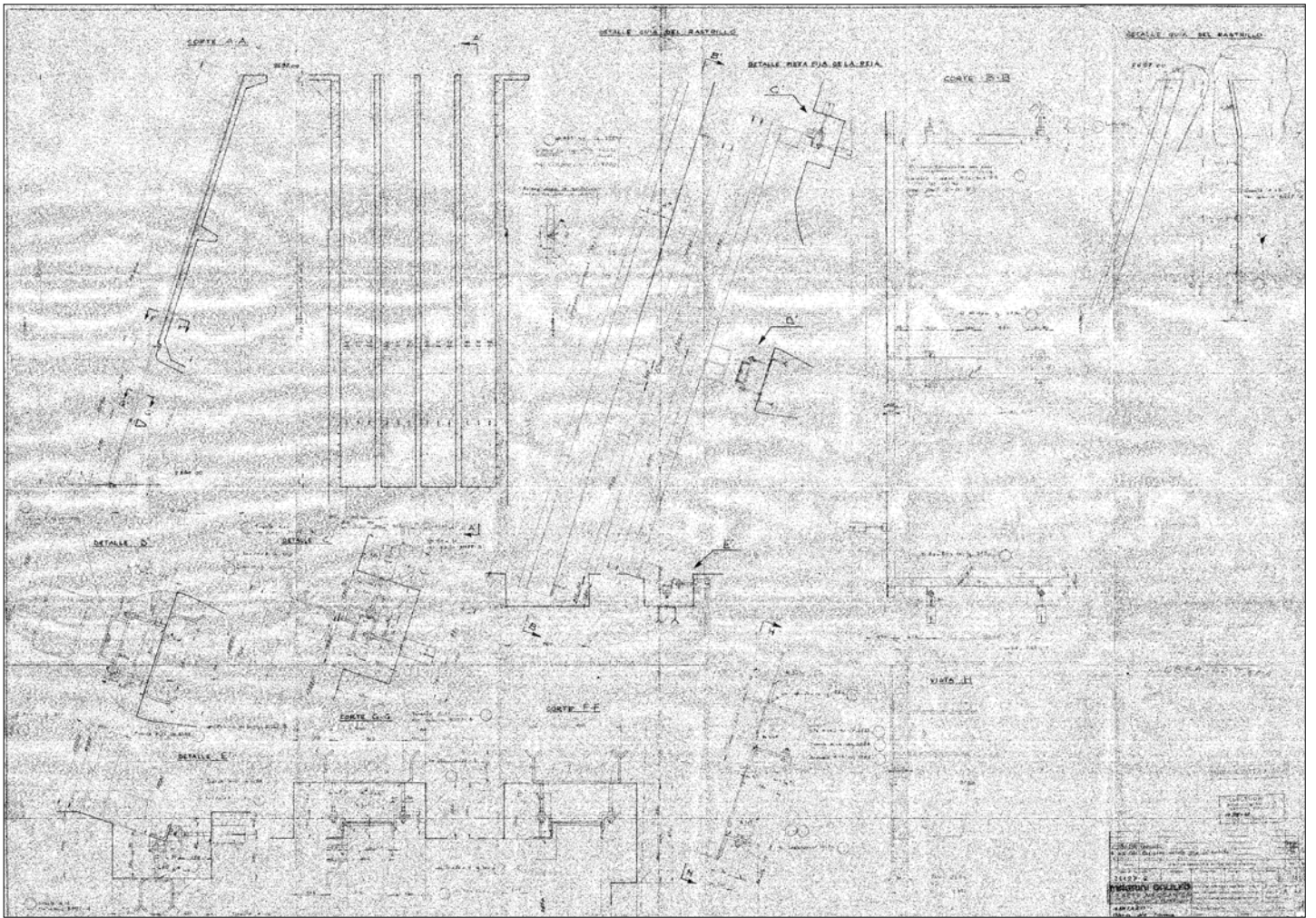
- [1] Informe Técnico N° 064-2013 de la empresa ELECTROPERU S.A, elaborado por el Ing. Oswaldo Rueda.
- [2] Presentación PPT Proceso de Purga Embalse Tablachaca de la empresa ELECTROPERU S.A. 12 Marzo del 2014.
- [3] Compendio de Presas de Centrales hidráulicas 2005. Gerencia de Fiscalización Eléctrica de OSINERGMIN.
- [4] Asociación Brasileña de Normas Técnicas, ed. Jun 2001, Rejas de Toma de Agua para Instalaciones Hidráulicas (Norma NBR 11213), Rio de Janeiro.
- [5] Asociación Brasileña de Normas Técnicas, ed. May 2008, Cálculo y Fabricación de Compuertas Hidráulicas (Norma NBR 8883), Rio de Janeiro.
- [6] Miguel A. Zubiaur Alejos 2011. Estudio del uso de rejillas como dispositivos antivórtice en tomas sumergidas. Tesis Mag, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- [7] Antonio Vietma Robles, Zamora Parra. Teoría de Maquinas hidráulicas. Universidad V1 Murcia. Servicio de Publicaciones 1997. ISBN 84-7684-839-0.
- [8] Brochure: Dams And Hydroelectric Power Station. COPASA.
- [9] José Francisco Sanz Osorio. Energías Renovables Energía Hidroeléctrica. Prensas Universitarias. Zaragoza, 2008 IS. Página 273-277. ISBN 978-84-92521-20-3.
- [10] Eeq.com.ec, Noticias de Sistemas Limpiarrejas. (Disponible en: <http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/>-

[/asset_publisher/PDd0RO7ISu5d/content/id/1937378](#). Consultado el 26 de Octubre del 2014).

- [11] Unesa.es, Centrales Hidroeléctricas, (Disponible en: <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1347-central-hidroelectrica>. Consultado el 25 de Octubre del 2014).

ANEXO 2

PLANO GENERAL DE LAS REJAS ANTIGUAS DE OBRA TOMA



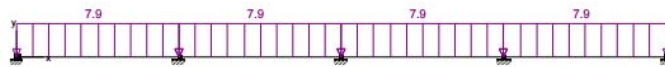
ANEXO 3

SIMULACIÓN DE ESFUERZOS EN VIGAS Y BARRAS DE REJAS

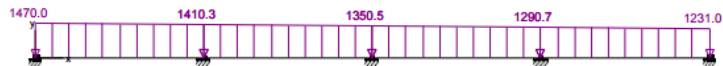
a) Barras de Panel Inferior – Caso normal



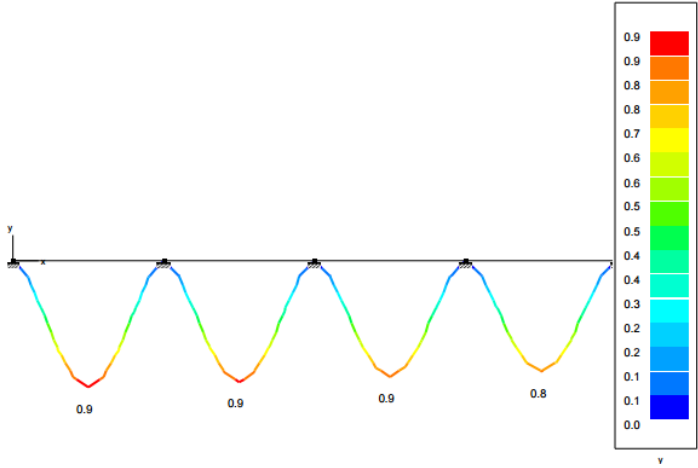
Cargas - peso propio (kg, kgm, kg/m)



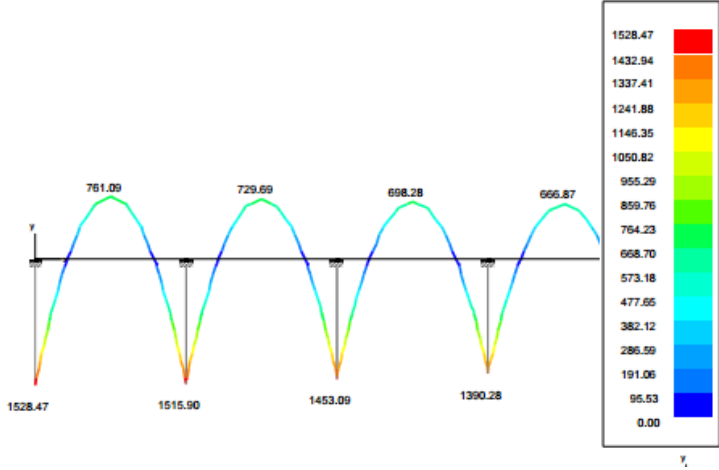
Cargas - permanente (kg, kgm, kg/m)



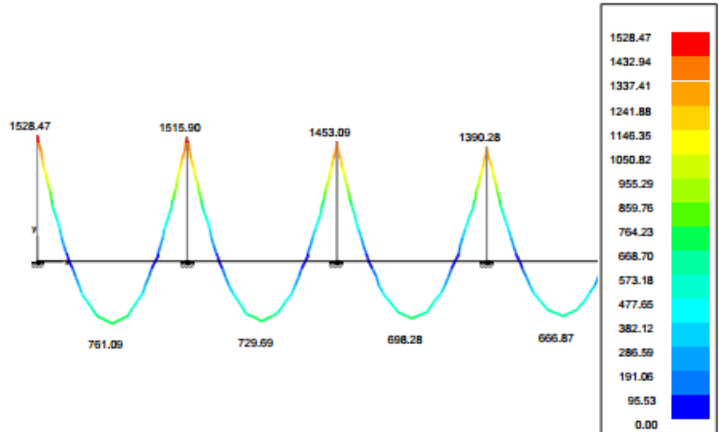
Diagramas - Deformación dY (mm)



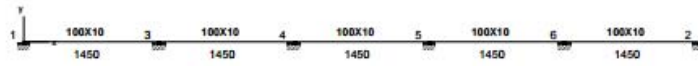
Diagramas - Tensión de compresión S_y' (kg/cm²)



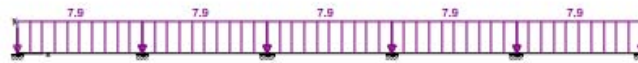
Diagramas - Tensión de tracción S_y' (kg/cm²)



b) Barras de Panel Superior – Caso ocasional



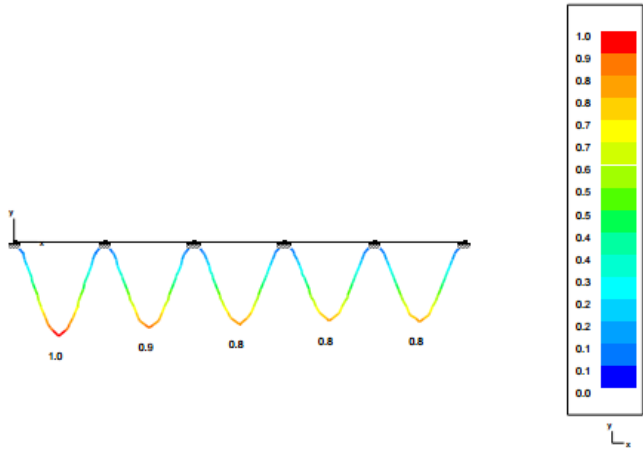
Cargas - peso propio (kg, kgm, kg/m)



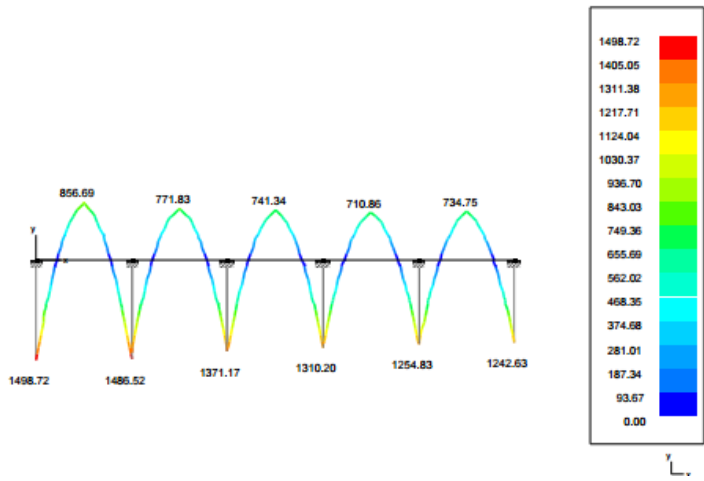
Cargas - permanente (kg, kgm, kg/m)



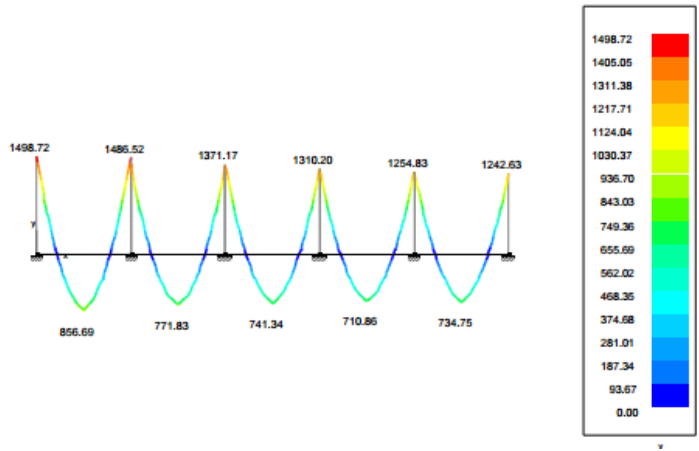
Diagramas - Deformación d'Y (mm) - ELU CF



Diagramas - Tensión de compresión S_y' (kg/cm²) - ELU CF



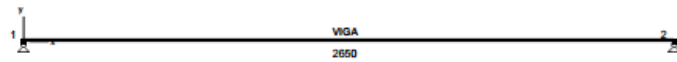
Diagramas - Tensión de tracción S_y' (kg/cm²) - ELU CF



c) Viga Caso Ocasional Obturación al 100 %

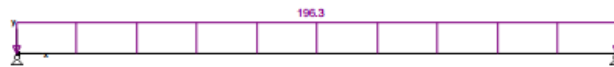
REJA OBRA DE TOMA PRESA TABLACHACA - VIGA PANEL INFERIOR: CASO OCASIONAL A, OBTURACIÓN 100%

Estructura

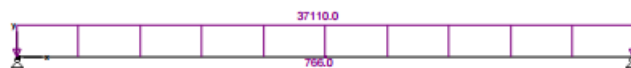


y
x

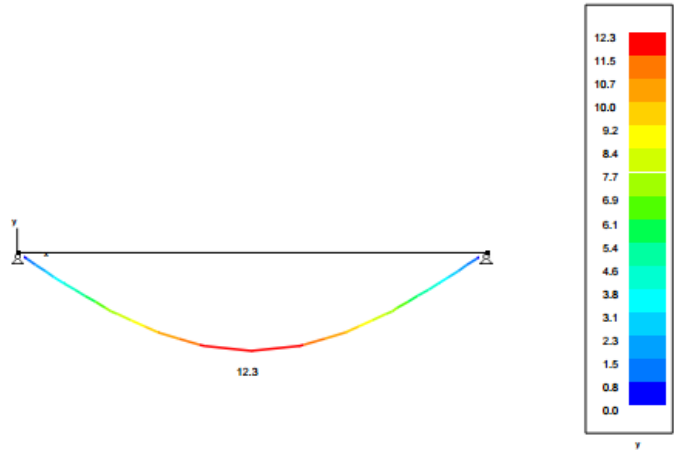
Cargas - peso propio (kg, kgm, kg/m)



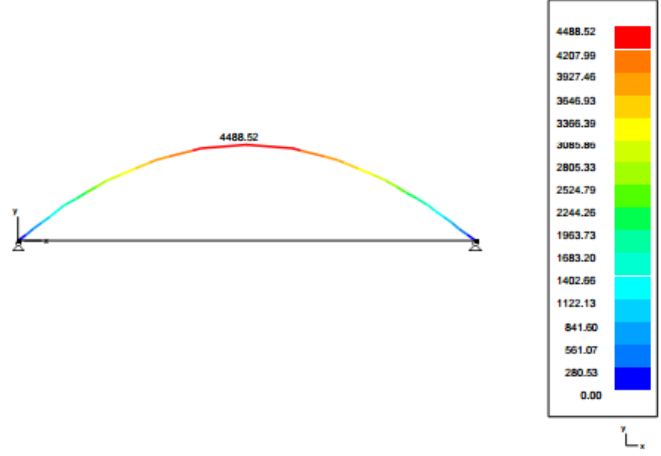
Cargas - permanente (kg, kgm, kg/m)



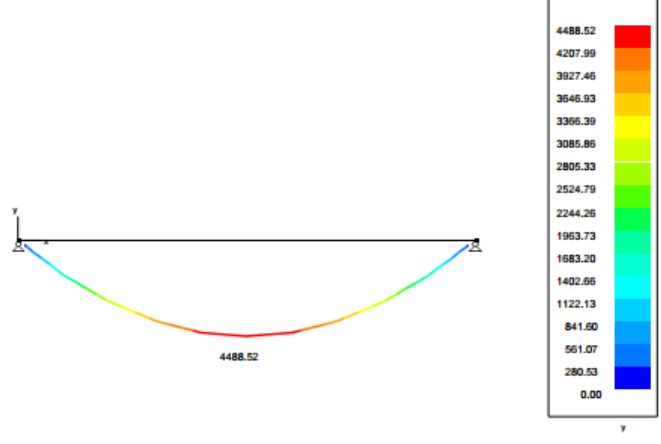
Diagramas - Deformación dY (mm) - ELU CF



Diagramas - Tensión de compresión Sy' (kg/cm²) - ELU CF

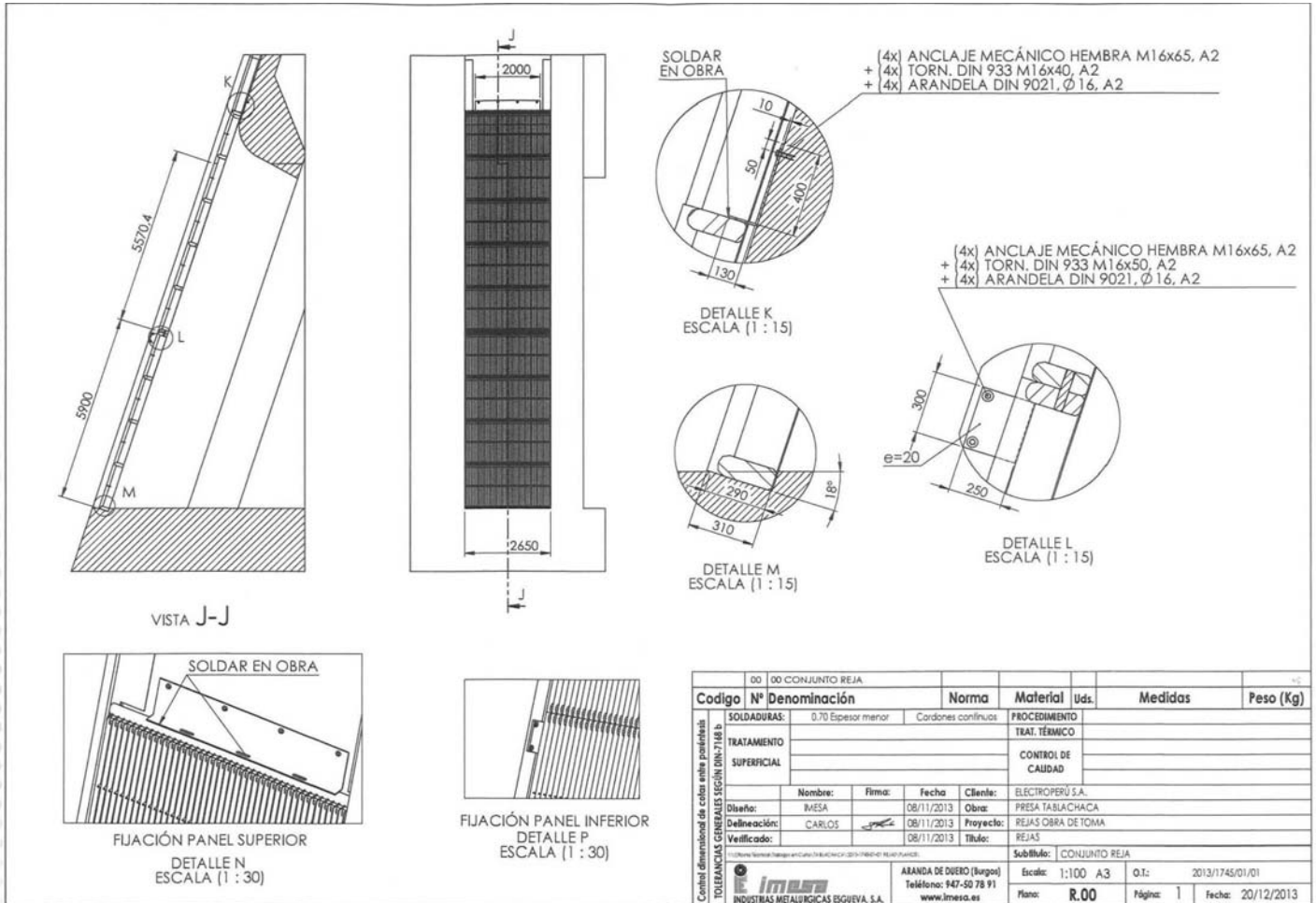


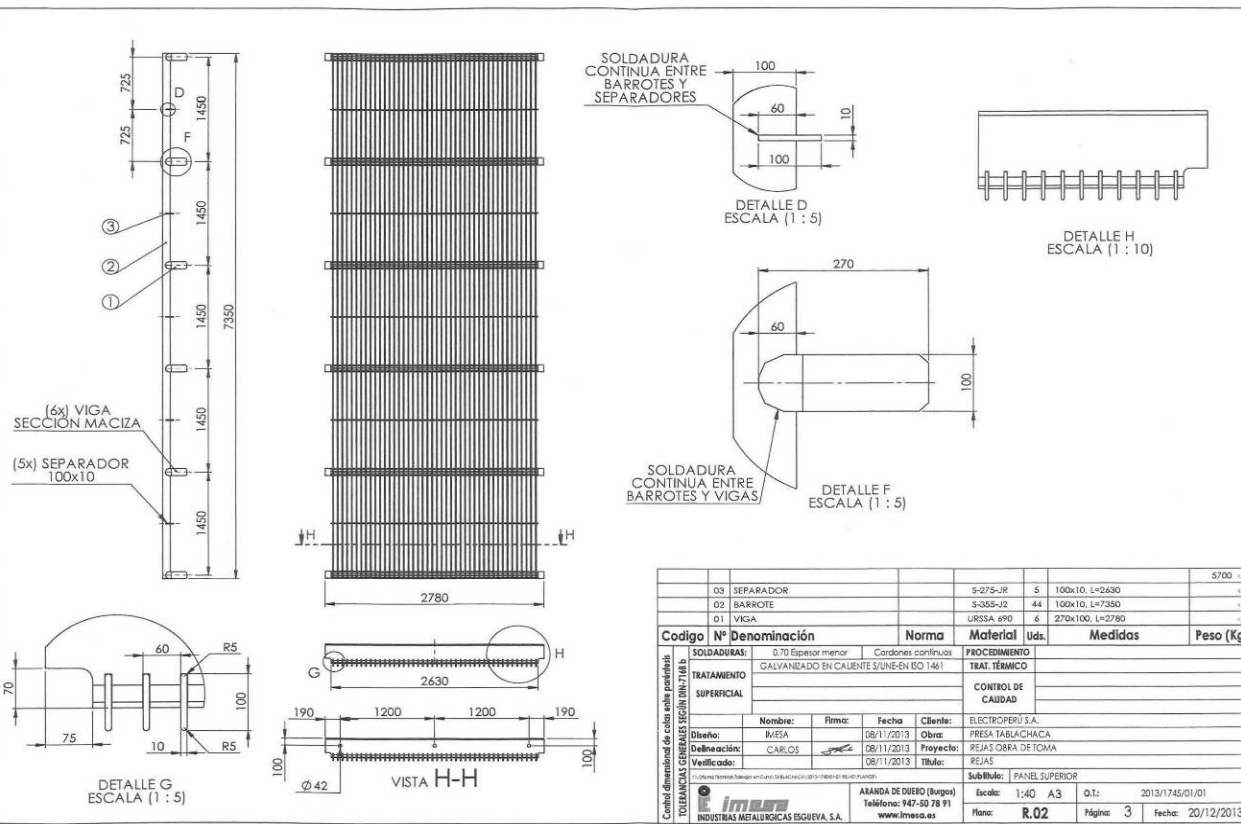
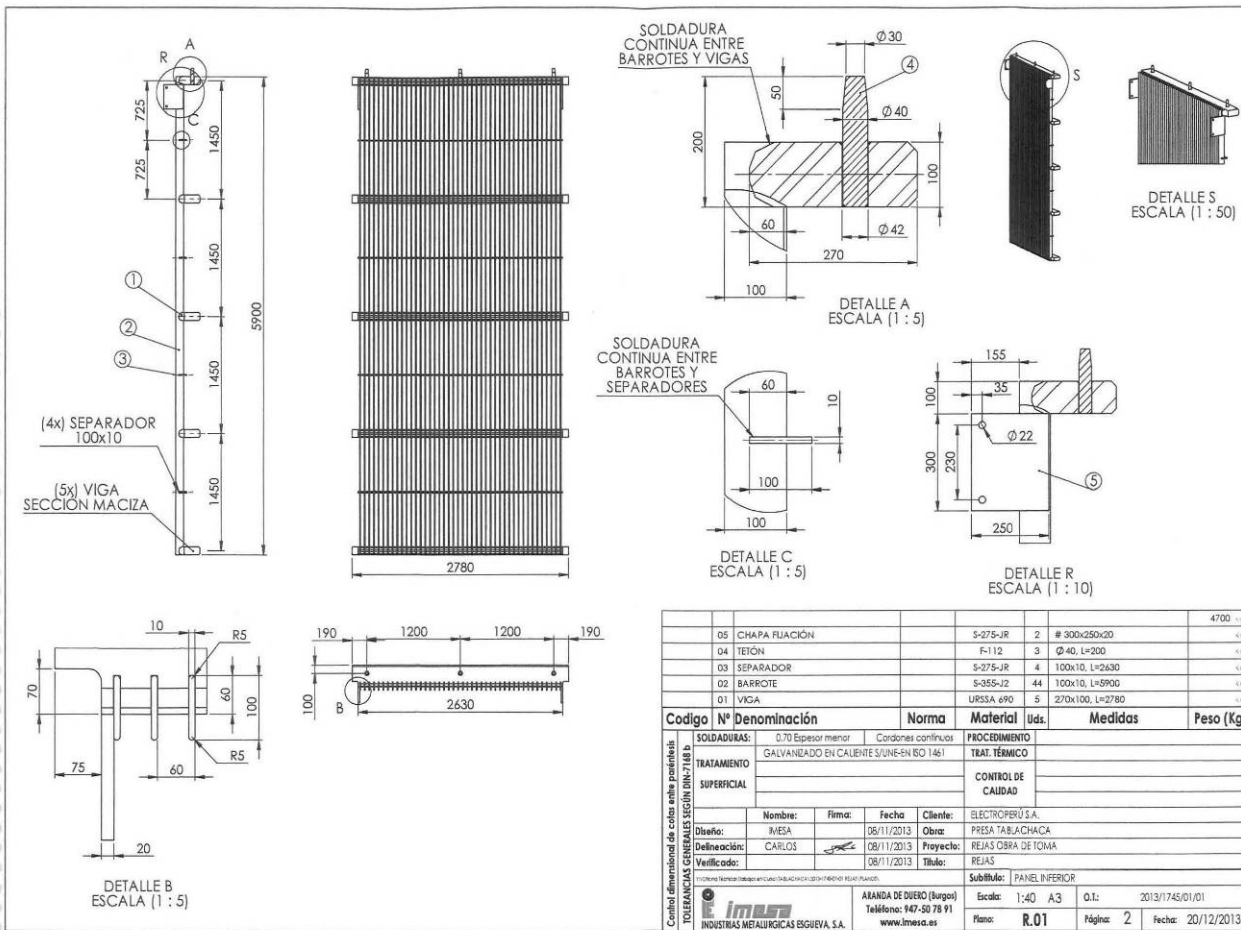
Diagramas - Tensión de tracción Sy' (kg/cm²) - ELU CF



ANEXO 4

PLANO DE DETALLE - FABRICACION REJAS NUEVAS





Cálculos de Soldadura

Acero	f_u (N/mm ²)	β_w
S 235	360	0,80
S 275	430	0,85
S 355	510	0,90

$$F_{vw,d} = (510/\text{raiz}(3))/(0.9*1.25) = 261.7\text{N/mm}^2 = 2670 \text{ kg/cm}^2.$$

Para determinar la fuerza transmitida por el cordón de soldadura, como la longitud es de 20 mm y como tenemos que se realizara la soldadura a cada lado del barrote, se tiene lo siguiente: $F_w,Ed = 2920 \text{ kg}/(2 \times 2 \text{ cm}) = 730 \text{ kg/cm}$.



Por lo tanto el cordón debera tener una soldadura minima de:

$$a = 730 \text{ (kg/cm)}/2670 \text{ (kg/cmm}^2) = 2.7 \text{ mm}.$$

Sin embargo segun norma se indica la limitacion de que el espesor de garganta de estas soldaduras sea de al menos 3 mm.

ANEXO 5

ESPECIFICACIONES DE SOLDADURA – PQR y WPS

	<h2 style="margin:0;">EUROCONTROL, S.A.</h2> <p style="margin:0;">ASISTENCIA TECNICA, INSPECCION Y CONTROL DE CALIDAD</p> <p style="margin:0;">Domicilio Social: Zurbano, 48 - 28010 Madrid</p> <p style="margin:0;">Teléf.: 91 702 78 50* - Fax: 91 319 42 66 - E-mail: eurocontrol@eurocontrol.es</p>
<p>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (S/ SECCION IX CODIGO ASME) WPS : <i>IM - 06</i></p> <p align="right">Hoja <i>1</i> de <i>1</i></p> <p>Nombre de la Empresa : <i>IMESA</i> Fecha <i>5 - 02 - 97</i></p>	
<p>Nº Espec. Procedimientos Soldadura <i>IM - 06</i> Fecha : <i>5 - 02 - 97</i> Base del PQR : <i>IM - 06</i></p> <p align="center">Revisiones <i>0</i></p> <p>Proceso (s) de Soldadura <i>GMAW - (MIG / MAG)</i> Tipo (s)* : <i>SEMIAUTOMATICO</i></p>	
<p>Juntas (QW 402)</p> <p>Diseño Juntas: <i>CHAFLAN - V</i></p> <p>Placa deRespaldo: <i>NO</i> Nº _____</p> <p>Material Respaldo (Tipo) _____</p> <p>Otro _____</p> <hr/> <p>Metales Base (QW 403)</p> <p>Nº P <i>1</i> a Nº P <i>1</i></p> <p>Limites Espesores <i>(4,7 - 20)</i></p> <p>Limites o Tuberias : _____</p> <p>Otro : _____</p> <hr/> <p>Metales Aportacion (QW-404)</p> <p>Nº F <i>6</i> Otro _____</p> <p>Nº A <i>1</i> Otro _____</p> <p>Nº Especificación (SFA) <i>ER70 S-6</i></p> <p>Nº AWS (clase) <i>5.18</i></p> <p>Tamaño Electrodo _____</p> <p>Tamaño Varilla <i>1 mm.</i></p> <p>Electrodo Fundente(Clase) _____</p> <p>Inserción Consumible _____</p> <p>Otro : <i>Nertalic - 70 m</i></p> <hr/> <p>Posición (QW-405)</p> <p>Posición de la junta <i>1 G</i></p> <p>Avance Soldeo <i>20 - 30 cm./m'</i></p> <p>Otro _____</p> <hr/> <p>Pre calentamiento (QW-406)</p> <p>Temp. Pre calentamiento <i>15°c</i></p> <p>Temp. Entrepasadas <i>200° c.</i></p> <p>Mantenimiento Precalenta. _____</p>	<p>Tratamiento Termico Post soldeo(QW-407)</p> <p>Temperatura <i>N/A</i></p> <p>Tiempo permanencia <i>--</i></p> <p>Otro _____</p> <hr/> <p>Gas (QW - 408)</p> <p>Gas (es) Protección : <i>ATAL</i></p> <p>Composición Mezclas: <i>15% Co2, Resto: Argón</i></p> <p>Caudal : <i>10 - 15 l. m'</i></p> <p>GasSoporte: _____</p> <p>Comp. Gas Soporte : _____</p> <p>Flux,marca : _____</p> <hr/> <p>Características Electricas (QW-409)</p> <p>Corriente, c.c. c.a. _____ c.c. Polaridad : <i>Directa</i></p> <p>Val Intensidad, <i>140 - 160</i>, Val. Tensión, <i>18 - 22</i></p> <p>Electr.de Tungsteno, tamaño y tipo: _____</p> <p>Método de transferencia de arco para GMAW: <i>Arco Spray</i></p> <hr/> <p>Técnica (QW - 410)</p> <p>Cordón estrecho o ancho _____</p> <p>Orificio o tamaño boquilla de gas : <i>12mm.</i></p> <p>Limpieza inicial y entre pasadas : <i>cepillado, esmerilado etc. : Esmerilado y cepillado</i></p> <p>Método de escarnar raíz : _____</p> <p>Oscilación : <i>8 - 10 veces diám. de la varilla</i></p> <p>Distancia boquilla contacto a pieza: <i>< 25 mm.</i></p> <p>Pasada simple o múltiple (por cada lado) _____</p> <p align="center"><i>Múltiple por un lado</i></p> <p>Electrodo Simple o Múltiple <i>Simple</i></p> <hr/> <p>Ensayo de Laboratorio nº : <i>A - 430</i></p>
<p>*Tipo manual, automático, semiautomático</p> <div style="text-align: center;">  </div>	



EUROCONTROL, S.A.

ASISTENCIA TECNICA, INSPECCION Y CONTROL DE CALIDAD

Domicilio Social: Zurbano, 48 - 28010 Madrid

Teléf.: 91 702 78 50* - Fax: 91 319 42 66 - E-mail: eurocontrol@eurocontrol.es

CERTIFICADO DE HOMOLOGACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA "PQR" (QW-483)
Codigo ASME Sección IX (Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Empresa : *IMESA*

Registro de Calificación de Procedimiento Nº : *IM - 06*

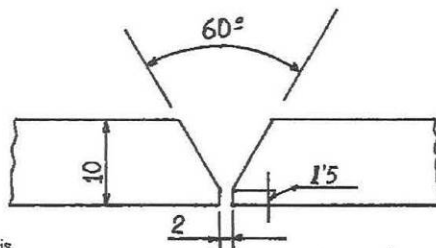
Fecha : *5 - 02 - 97*

Especificación de Procedimiento (WPS) Nº : *IM - 06*

Proceso/s de Soldadura : *GMAW (MIG - MAG)*

Tipo (s) *SEMIAUTOMATICO*

JUNTAS (QW - 402)



Croquis

PRECALENTAMIENTO (QW-406)

Temperatura de Precalentamiento . *15°*

Temperatura entre pasadas . *200 °C*

Otros _____

TRATAMIENTO TERMICO (QW - 407)

Temperatura _____

Tiempo _____

Otros _____

METALES BASE (QW - 403)

Especificación de Material *SA - 106*

Tipo o Grado. *B*

"P" Nº *1* a "P" Nº *1*

Espesores *10 mm.*

Diámetro: _____

Otros : _____

GAS (QW - 408)

Tipo de Gas /es : *Aisl - 15*

Composición de la mezcla gaseosa: *15% Co2,*

resto : *Argón*

Caudal : *10 - 15 l. m'*

METAL DE APORTACION (QW - 404)

Análisis del Metal de Aportación "A" Nº *1*

Tamaño del Electrodo : *1 mm.*

Metal de Aportación "F" Nº *6*

Especificación (SFA) *ERTOS-6*

Clasificación(AWS) *SFA 5.18*

Otros : *Nertalic - 70 m*

CARACTERISTICAS ELECTRICAS(QW - 409)

Corriente tipo *C.C.*

Polaridad : *Directa*

Amperios : *140 - 160* Voltios *18 - 22*

Metodo de transferencia de arco para GMAW:

Arco Spray

Tamaño del electrodo de Tungsteno: _____

Tipo : _____

POSICION (QW - 405)

Posición de Soldadura : *1 - G*

Progresión de la Soldadura : *izda. drcha.*

Otros _____

TECNICA (QW - 410)

Velocidad de Avance *20 - 30 Cms / m'*

Aportación en Línea o Vaivén : *Vaivén*

Oscilación : *8 a 10 veces diam. de la varilla*

Nº de Pasadas : *2*

Electrodo Simple o Múltiple : *Simple*

Otros _____

Ensayo de Laboratorio nº : *a - 430*



ANEXO 6

PRESUPUESTO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE REJAS

a) Presupuesto de Fabricación

ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.	P.U.	PARCIAL	SUB TOTAL
01.00.00	SUMINISTRO, FABRICACIÓN Y TRANSPORTE DE ESTRUCTURA METÁLICA					
01.01.00	MATERIALES (barrotes, vigas y separadores)	GLB				23,035.60
01.02.00	MANO DE OBRA DE HABILITADO, SOLDEO Y MONTAJE	kg	5,550.00	S/. 2.30		12,765.00
01.03.00	ESCORIADO SSPC-SP10 (SEMIBLANCO)	m2	30.00	S/. 13.00		390.00
01.04.00	MANO DE OBRA DE PINTADO DE ESTRUCTURAS	m2	30.00	S/. 4.50		135.00
01.05.00	SISTEMA DE PINTURA POLIURETANO (ESPESOR=12 MILS)	m2	30.00	S/. 25.20		756.00
01.06.00	CONSUMIBLES (SOLDADURA, OXICORTE, BROCAS, DISCO DE CORTE)	GLB				7,500.00
01.07.00	PERNOS DE ALTA RESISTENCIA ASTM A325	GLB				2,200.00
01.08.00	TRANSPORTE DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES	GLB				2,563.68
01.09.00	ALQUILER DE GRÚA 40 TM PARA MONTAJE ESTRUCTURAS	GLB				9,700.00
COSTO DIRECTO						S/. 59,045.28
GG.UU.						25% 14,761.32
SUB TOTAL						73,806.60
IGV						18% 13,285.19
TOTAL						S/. 87,091.79

b) Presupuesto de Montaje

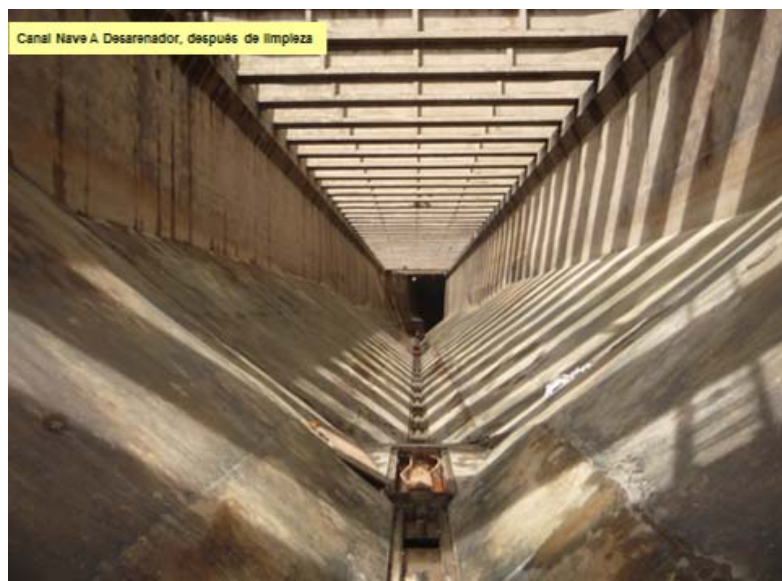
ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.	P.U.	PARCIAL	SUB TOTAL
02.00.00	MANO DE OBRA					
02.01.00	Capataz - Obra	1 HH	15.00	76.50	1,147.50	1,147.50
02.02.00	Operarios - Obra	6 HH	15.00	S/. 48.00	4,320.00	4,320.00
02.03.00	Oficial - Obra	4 HH	15.00	S/. 36.00	2,160.00	2,160.00
02.04.00	Ayudante - Obra	18 HH	15.00	S/. 30.00	8,100.00	8,100.00
02.05.00	Soldador - Obra 3G	4 HH	10.00	S/. 60.00	2,400.00	2,400.00
02.06.00	Operador camion (transporte personal)	1 HH	23.00	S/. 25.00	575.00	575.00
TOTAL						S/. 18,702.50

ANEXO 7

PANEL FOTOGRAFICO - DESMONTAJE Y MONTAJE DE REJAS HIDROMECAÑICAS.



Vista general de Desarenador.



Nave A del Desarenador.



Pozo de reja de Obra Toma Nave A.



Extracciòn de la Reja Antigua de la Nave A



Colocacion de la reja nueva en la Nave A