

# Construcción y montaje de compuertas vagón y blindajes en obras de generación eléctrica



# Abstract

With the present project it is sought to investigate and to identify all the variables and considerations that are present in the constructive process of works where assemblies metalmechanics and the civil work are involved, trying to mention the whole required logistics, as well as some technical aspects that should be considered to carry out similar constructions.

To reach these objectives people's opinions they were obtained with a lot of experience in projects of this type, included manpower qualified in the execution as well as professionals of the area of the construction and civil engineering and metalmechanics. Technical manuals of assembly metalmechanics and technical specifications of civil work were also consulted. On the other hand the development of this project was based on the developed experience and applied in a construction of this type by the author.

The project concludes mentioning the experience lived in works of this type, indicating recommendations and practical advice that should be continued with the end to facilitate and to give a guide from all the more outstanding aspects to which more attention should be put in similar works in its complexity and functionality.

Keywords: Construction, Assembly metalworking, power generation

# Resumen

Con el presente proyecto se pretende documentar e identificar todas las variables y factores que se encuentran presentes en el proceso constructivo de obras donde se involucran montajes metalmecánicos y la obra civil, tratando de mencionar toda la logística requerida, así como algunos aspectos técnicos que se deben considerar para realizar construcciones similares.

Para alcanzar estos objetivos se efectuaron consultas a personas con mucha experiencia en proyectos de este tipo, a mano de obra calificada en la ejecución así como a profesionales del área de la construcción e ingeniería civil y metalmecánica. Además se consultaron manuales técnicos de montaje metalmecánico y especificaciones técnicas de obra civil. Por otro lado, el presente proyecto se basó en la experiencia desarrollada y aplicada por el investigador en una construcción de este tipo. Como parte de la conclusión, el estudio realizado señala la experiencia vivida en trabajos con estas características y plantea diferentes recomendaciones y consejos prácticos. Estos se deben seguir con el fin de facilitar y dar una guía sobre los puntos más relevantes que se deben atender en obras similares en su complejidad y funcionalidad.

Palabras clave: Construcción, Montaje metalmecánico, generación eléctrica.

# **Construcción y montaje de compuertas vagón y blindajes en obras de generación eléctrica**

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

GABRIEL NARANJO BLANCO

Enero del 2011

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo .....	2
Introducción .....	4
Metodología .....	6
Resultados.....	8
Análisis de los resultados .....	28
Conclusiones .....	34
Apéndices .....	36
Anexos.....	37
Referencias.....	38

# Prefacio

El presente proyecto titulado *Construcción y montaje de compuertas vagón y blindajes en obras de generación eléctrica*, constituye una guía en relación con las consideraciones que deben tomarse en cuenta en el proceso constructivo de obras de ese tipo.

La función operativa de la toma de aguas y la torre de compuertas de los proyectos hidroeléctricos, está controlada por elementos metalmecánicos conocidos con el nombre de compuertas. Estas regulan el flujo del agua que pasa por ellas según las necesidades que demanda la operación de la obra. El desarrollo del proceso constructivo de estas estructuras, está directamente relacionado con el montaje de una serie de elementos metalmecánicos, que deben montarse de manera previa y dejarse embebidos y previstos en el concreto, pues serán necesarios para el funcionamiento final de las compuertas. Por lo tanto, se deben seguir procedimientos y regulaciones que garanticen una entrega adecuada de la estructura por parte del constructor hacia el cliente.

En muchas ocasiones se omiten procedimientos o se utilizan prácticas indebidas para la construcción de este tipo de obras, pues se desconocen factores que afectan el proceso. Por tal razón resulta de vital importancia documentar cuáles deben ser todas esas variables por considerar en el proceso constructivo, para garantizar el buen funcionamiento de las obras en la etapa de operación.

Por tal razón el proyecto es una guía para aquellos profesionales que en un futuro deben construir obras similares, para que tengan una noción de cuáles son los factores de mayor importancia a los cuales se les debe poner atención.

En resumen, el proyecto concluye con recomendaciones y observaciones sobre todos los aspectos relevantes en un proceso constructivo, donde se involucran de manera simultánea montajes metalmecánicos y

construcción de obra civil. El proyecto deja portillos abiertos que permitan, en un futuro, llevar a cabo nuevos estudios relacionados con el presente tema.

El trabajo se efectuó gracias a la colaboración de muchas personas involucradas en el proceso constructivo de la toma de agua y torre de compuertas del proyecto hidroeléctrico Pirris. Por lo tanto, les agradezco a todas estas personas su contribución y el haber compartido toda su experiencia y conocimiento utilizados en la documentación del presente estudio.

A mi profesor guía, Ing Hugo Navarro Serrano, le agradezco su aporte y colaboración brindada durante este proceso.

Al ICE, institución donde laboro, le agradezco el aval brindado que permitió mi participación en el proyecto hidroeléctrico, el cual está aún en construcción.

Por último, agradezco a mi padre y a mi madre todo el apoyo brindado en la consecución del grado académico obtenido.

# Resumen ejecutivo

En el presente informe se documenta la práctica realizada en el proceso constructivo de una obra que involucró montajes metalmecánicos, gracias a las características particulares que la misma obra presentaba. También se exponen los principales problemas encontrados y se determina a cuáles elementos o factores se les debe brindar mayor atención a la hora de construir obras similares a estas.

El objetivo principal que rigió el estudio fue identificar y documentar todas las variables y consideraciones técnicas presentes en el proceso constructivo de la toma de agua y torre de compuertas del Proyecto Hidroeléctrico Pirris, cuyas características concordaron siempre con el tema en estudio. Asimismo se menciona toda la logística requerida para efectuar la construcción de la obra.

En resumen, la finalidad del estudio fue exponer la experiencia práctica propia de la ejecución de un proyecto de este tipo y documentar la información brindada por profesionales en esta área. Se utilizaron diferentes técnicas de recolección de información para la ejecución del trabajo, entre las que se destaca:

- Análisis de especificaciones técnicas del proyecto.
- Visitas e inspecciones a sitio de construcción de obra.
- Revisión de planos de obra civil y planos de montaje metalmecánico.
- Análisis de información de topografía y procedimientos utilizados.
- Seguimiento a los controles que realiza control de calidad.
- Consultas a profesionales y técnicos con experiencia en el tema.
- Visitas a talleres de fabricación de elementos metalmecánicos y talleres de carpintería y obra civil.

Los resultados que se exponen en este trabajo son el reflejo de todas las variables y factores que interactúan en la ejecución de un proyecto de este tipo. Se enfatiza, además, en los aspectos más relevantes que se deben atender desde el inicio del proyecto, específicamente, desde la etapa de planificación hasta la etapa final de construcción y entrega de la obra.

Los resultados obtenidos con el estudio se desglosan en 7 puntos principales que se mencionan a continuación:

1. Descripción de elementos que componen los montajes metalmecánicos.
2. Logística para el montaje de elementos metalmecánicos.
3. Secuencia de actividades (Descripción de procedimiento).
4. Adquisiciones y entrega de materiales.
5. Identificación de los elementos críticos del proceso que merezcan una atención especial.
6. Metodología y aspectos por considerar para las coladas de concreto.
7. Criterios para medir el avance de obras de concreto convencional con elementos metalmecánicos.

Posteriormente se analizan cada uno de los resultados y se destacan los aspectos más importantes de cada uno.

Finalmente, en las conclusiones se mencionan los problemas que se presentaron durante el proceso constructivo. En las recomendaciones se brindan soluciones con la intención de corregir los problemas y especialmente para evitarlos en proyectos futuros, fundamentado todo en la teoría.

Como es conocido, en muchas obras constructivas se omiten procedimientos apropiados y se utilizan prácticas indebidas para la construcción, debido al desconocimiento de factores que intervienen en el proceso. Por lo anterior, es sumamente importante documentar los distintos factores y variables que intervienen en procesos constructivos como éstos. Por otra

parte, para la Escuela de Ingeniería en Construcción el estudio realizado es de gran provecho pues en este se describe un proceso constructivo diferente y con características particulares. Así, el presente informe se convierte en un documento por consultar a la hora de llevar a cabo proyectos similares.

Por último, este trabajo está dedicado a todos los trabajadores de la toma de agua y torre compuertas del Proyecto Hidroeléctrico Pirris, quienes con mucho esfuerzo y sacrificio están por concluir la construcción de esta obra.



# Introducción

Es claro que, para la construcción de cualquier tipo de obra, el personal involucrado debe tener conocimiento de todos los factores que puedan afectar la construcción, esto con el fin de cumplir las metas principales como son la entrega de la obra en el tiempo programado, y los costos que no sobrepasen lo presupuestado.

Existen obras que por su funcionalidad u operación resultan ser particulares y, por ende, durante el proceso de construcción se deben considerar una serie de factores que en otro tipo de obras no se considerarían.

En este tipo de obras de generación eléctrica, en muchas ocasiones, se omiten procedimientos apropiados y se utilizan prácticas indebidas para su construcción, pues se desconocen diversos factores que afectan el proceso. Por tal razón resulta de vital importancia documentar cuáles son esos factores que se deben considerar para garantizar el buen funcionamiento de las obras.

Poseer un documento que especifique esos factores y procedimientos adecuados por seguir, será para los constructores de estas obras una herramienta fundamental que permitirá anticipar muchos de los problemas que podrían presentarse en el desarrollo de la obra, como es el caso de la fabricación de elementos claves, entrega a tiempo de los elementos fabricados en taller, logística de construcción de este tipo de obras, etc.

Se tomó de referencia la construcción de la toma de agua y de la torre de compuertas del Proyecto Hidroeléctrico Pirris, estructura que actualmente se halla en proceso de construcción, y es una de las principales estructuras del proyecto cuando este se encuentre en operación.

El proponente de este estudio es quien ha tenido a cargo la construcción de la obra, y ha cumplido la función de ingeniero responsable de la dirección de esta, incluyendo la parte de obra civil y todos los montajes metalmecánicos.

El principal problema encontrado a la hora de construir la obra fue la falta de experiencia en proyectos de este tipo, por el hecho de ser una obra particular respecto de cualquier otra, además de la poca bibliografía que se dispone para consultar.

Los problemas se presentaron desde la etapa de planificación de la obra, lo que exigió analizar toda la logística requerida, considerar los aspectos técnicos durante la etapa de construcción, y otros como la fabricación de elementos metalmecánicos y los tiempos de entrega de cada uno de ellos.

Otro problema importante que se enfrentó fue la interacción de la obra con el proceso constructivo de otras obras de manera simultánea, como fue el caso de la colocación de CCR en el cuerpo de la presa, la descarga de fondo y el vertedor de excedencias. Esto ocasionó que muchos de los recursos asignados para poder construir la estructura se debieron compartir y, por ende, se afectó la planificación y el avance de la obra.

Por lo anterior y por conocerse muchas de las dificultades presentes en obras de este tipo, se elaboró un documento que detalla los aspectos más relevantes en la construcción de estas proyectos. Para ello, también se tomó en cuenta la experiencia práctica personal en este tipo de obra constructiva, siempre con la intención de facilitar, en un futuro, la construcción de obras similares.

Considerando el problema expuesto y sus antecedentes, se planteó como objetivo general identificar las variables presentes en el proceso constructivo de obras donde se involucra un montaje metalmecánico y en la obra civil, donde se garantice que cualquier profesional pueda tener una noción más clara de este tipo de proyectos y, por lo tanto, pueda planificar mejor una construcción con carácter similar.

Para lograr lo anterior, también se deben cumplir los distintos objetivos específicos que se mencionan a continuación.



- Identificar las actividades que intervienen en la construcción de los sistemas metalmecánicos de un proyecto de generación eléctrica.
- Describir el procedimiento adecuado para el montaje de las placas de primera etapa que deben quedar embebidos en concreto.
- Establecer la metodología adecuada para el montaje y fijación de los elementos de blindaje que garantice que durante la colada de concreto los esfuerzos de empuje no deformen las estructuras debido a los esfuerzos de flotación.
- Describir los pasos por seguir para el montaje de las guías de 2° etapa.
- Establecer los controles topográficos precisos para la ubicación de elementos metalmecánicos.
- Establecer los controles de calidad para la aceptación del montaje de los elementos metalmecánicos involucrados antes de que estos queden embebidos en concreto.
- Determinar cuándo se deben colocar concretos de 2° etapa y cuándo no, a la hora del montaje de los nichos de las compuertas.
- Indicar la secuencia de actividades que involucra el montaje final de las compuertas

# Metodología

Para el desarrollo del proyecto en mención, se utilizó de referencia el Proyecto Hidroeléctrico Pirris, donde actualmente se está terminando la construcción para poner en operación la obra.

De manera general, la idea consistió en tomar de referencia la experiencia práctica en la ejecución de un proyecto de este tipo y documentar la información apoyada por profesionales en esta área.

Se utilizaron diferentes técnicas de recolección de información para la ejecución del trabajo. Estas se describen a continuación.

- *Análisis de especificaciones técnicas del proyecto.* El objetivo fue recopilar información sobre los montajes metalmecánicos y los aspectos relevantes en relación con el comportamiento del concreto alrededor de los elementos metalmecánicos. Toda la información recopilada de distintas fuentes se supuso como válida, por ejemplo, las tolerancias y los márgenes de error.
- *Visitas e inspecciones a sitio de construcción de obra.* Con las visitas se verificaron todos los procedimientos aplicados en campo, las técnicas y logística utilizadas para la construcción y los montajes metalmecánicos, además se observaron todos los elementos y estructuras provisionales que se utilizan durante la construcción de la obra.
- *Revisar planos de obra civil y planos de montaje metalmecánico.* Se verificaron los planos tanto de la parte metalmecánica así como de obra civil, pues en muchas ocasiones existen incongruencias en la información entre un plano y otro.
- *Análisis de información de topografía y procedimientos utilizados.* Se verifico la información que posee el Departamento de Topografía para realizar los levantamientos topográficos, además de observar la metodología y procedimientos que utilizan.
- 
- *Seguimiento de los controles que realiza control de calidad.* Esto permitió verificar cuáles son los factores que se deben observar con mayor atención en cuanto a la calidad de la ejecución de la obra, cuáles son los levantamientos e inspecciones que se deben hacer previa y posteriormente a cualquier actividad dentro del proceso constructivo.
- *Consultas a profesionales y técnicos con experiencia en el tema.* Esto permitió adquirir muchos conocimientos y experiencias vividas en otros proyectos, donde se han tenido que construir estructuras de carácter similar.
- *Visitas a talleres de fabricación de elementos metalmecánicos y talleres de carpintería y obra civil.* Efectuar visitas a los talleres fue fundamental ya que permitió obtener una noción de todo lo que llega a la obra y, por consiguiente, planificar y preparar la obra para la llegada de las estructuras. Fue posible llevar a cabo, personalmente, las visitas a los talleres de carpintería ya que estos se encuentran dentro del mismo proyecto. Pero, en el caso de los talleres de fabricación de elementos metalmecánicos, no fue posible llevar a cabo la visita personalmente debido a que estos se encuentran lejos de la obra. No obstante, se obtuvo retroalimentación por medio de los compañeros de trabajo que sí los visitaron.

Para todas las técnicas descritas anteriormente fue indispensable disponer de algunas herramientas para hacer más efectiva la recolección de toda la información. Seguidamente se informa sobre estos equipos y herramientas utilizados:

- Cámara fotográfica.
- Equipos de medición (cintas métricas, escalímetros, codales de madera o metal, etc.).
- Libretas de apuntes.
- Equipo de seguridad ocupacional adecuado.
- Herramientas de construcción:
  - ✓ Niveles
  - ✓ Seguetas
  - ✓ Mazos.

# Resultados

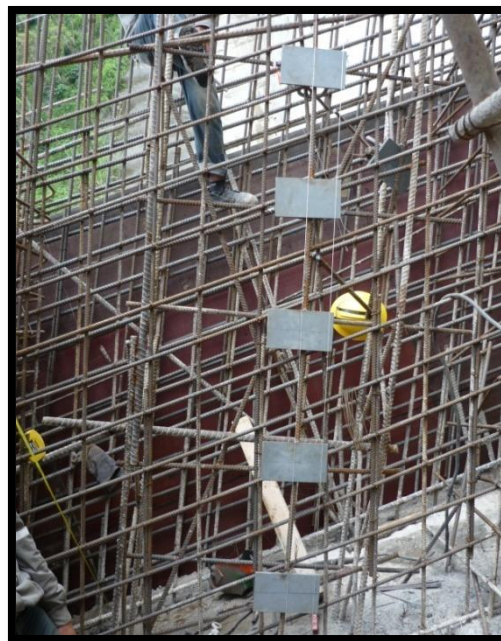
Seguidamente se brindará una descripción de toda la información recolectada por medio de la metodología descrita anteriormente.

## Descripción de elementos y estructuras que componen los montajes metalmecánicos

### Placas de primera etapa

Estas son las placas metálicas embebidas en el concreto de primera etapa y que funcionan como base para garantizar la fijación de todo el sistema metalmecánico de las compuertas. Sobre estas placas se sujetan las guías o partes fijas del sistema de rodamiento de las compuertas.

Las placas de primera etapa se colocan en la parte interna de la formaleta de los concretos de primera etapa y la manera adecuada de fijarlas es con puntos de apoyo soldados al acero que cumple una función no estructural de la obra. El acero no estructural es independiente del estructural, por esta razón ellos nunca se deben sujetar entre si.



**Figura 1.** Placas de 1° etapa colocadas sobre acero de refuerzo

### Tuberías de blindaje

En el tramo entre la embocadura de la toma de agua y el inicio del túnel de conducción, se forma un ducto para que el agua fluya a través de él. Este ducto tiene una parte inicial de sección cuadrada y en el otro extremo una sección circular para hacer un traslape adecuado con el blindaje del túnel, motivo por el cual se requiere una transición entre las dos secciones transversales. La forma cambiante de la geometría del ducto ocasiona que no resulte tan simple fabricar formaletas que garanticen los acabados de buena calidad para un adecuado movimiento de flujos. Por esta razón se fabrican tuberías de blindaje con láminas metálicas, a las cuales se les puede dar forma según la necesidad requerida, en el taller.



**Figura 2.** Codo circular de la tubería de blindaje, es la unión de la toma de aguas con la tubería del túnel de conducción.

### Guías de segunda etapa (partes fijas)

Estas son estructuras en acero, ancladas sobre las placas de primera etapa y empotradas en el concreto de segunda etapa, funcionan como las guías de bajada de la compuerta. Están compuestas por dos guías laterales, un umbral inferior y un umbral superior, una estructura de contención de la compuerta cuando está abierta y de las guías para bajar y subir.



**Figura 3.** Guías de 2° etapa, instaladas sobre las placas de 1° etapa, sobre ellas se deslizará la compuerta vagón.

### Nichos blindados

Estos son estructuras fabricadas con láminas metálicas que funcionan como compartimentos donde se ubican, en su posición final, las compuertas. En otros casos, es el compartimento donde estarán las compuertas en el momento cuando estas se muevan para abrir el paso del agua.



**Figura 4.** Nicho blindado ubicado por encima de la embocadura, será la zona donde la compuerta de la toma de agua descansará mientras esta se encuentre levantada para que el agua fluya por la embocadura.

### Eslabones

Estos son prolongaciones modulares empalmadas una arriba de otra y que conecta la barra del pistón con el anclaje de la compuerta. Constituyen el mecanismo que se utiliza para izar las compuertas deslizantes junto con el sistema oleodinámico de los pistones.





**Figura 5.** Pre armado de eslabones de compuerta vagón de la descarga de fondo.

## Compuerta

Esta es una estructura en acero, provista de accesorios (empaques, tornillos, pletinas), fabricada en más elementos (por motivos de transporte y dimensiones finales). Es la parte móvil que interrumpe, o no, el flujo de agua según la propia posición con respecto a la tubería por cerrar.



**Figura 6.** Compuerta vagón de la descarga de fondo. El elemento mostrado se refiere a la mitad de la compuerta.

## Pistón oleodinámico

Estos son actuadores alimentados por un sistema hidráulico que permiten el descenso o ascenso

de las compuertas, según los requerimientos solicitados.



**Figura 7.** Pistones oleodinámicos en el momento que son transportados hacia el proyecto.

## Concretos de 1° etapa

Concreto reforzado colocado en diferentes geometrías según lo indicado en los planos. Dentro de este concreto deben quedar embebidos los elementos metalmecánicos de 1° etapa conocidos como placas.

Los concretos de primera etapa son el cuerpo de toda la torre de compuertas, su geometría y construcción obedecen a diseños previamente establecidos según los requerimientos que la obra necesitaba, tanto en la parte operativa como estructural.



**Figura 8.** Concreto expuesto después de desencofrar los muros internos de los nichos de la compuerta.

## Concretos de 2° etapa

Concreto masivo colocado alrededor de las guías de 2° etapa, con el objetivo de dar apoyo a las guías y evitar que estas se deformen con el peso de las compuertas, en el momento de su operación y del montaje de la compuerta.



Formaleta metálica para concretos 2° etapa

**Figura 9.** Formaleta metálica utilizada para el colocado de los concretos de 2° etapa en los nichos de las compuertas

## Logística para el montaje de elementos metalmecánicos

La logística para el montaje de elementos metalmecánicos depende de las características particulares que tenga cada proyecto, pues se deben considerar factores importantes como la topografía del terreno, los accesos disponibles, las condiciones del clima en la zona donde se realizan los trabajos, la mano de obra calificada disponible, entre otros.

A continuación se mencionan los aspectos relevantes requeridos en la logística del montaje

de los elementos metalmecánicos en la toma de agua y torre de compuertas del Proyecto Hidroeléctrico Pirris.

## Requerimientos de grúas móviles

En la mayoría de los casos los elementos metalmecánicos son de pesos sumamente altos medidos por toneladas. Por ejemplo, únicamente la estructura metálica de la compuerta pesa 20 toneladas. Por esta razón resulta de suma importancia disponer grúas que tengan capacidades de carga sumamente altas para realizar los montajes. Estas capacidades de izaje, actualmente, en el medio local, se consiguen con las grúas móviles que permiten cargas de hasta 120 Ton en su condición máxima y por esta razón resulta ser la mejor opción para realizar los montajes de manera segura. Es importante además verificar la distancia entre el área de banqueo de la grúa y donde se debe colocar la carga, pues la capacidad de las grúas depende de la inclinación del mástil.



**Figura 10.** Grúa móvil de capacidad 50Ton en montaje de embocadura de toma de agua, la embocadura pesa 17Ton.

## Requerimiento de grúas Torre

Existe otra serie de elementos de menor peso como, por ejemplo, las guías de 2° etapa que pesan 2 ó 3 toneladas aproximadamente, las cuales deben montarse durante la construcción de toda la torre de compuertas. Para este montaje se requiere de la disponibilidad de alguna grúa que esté de manera permanente durante todo el proceso constructivo. La opción que más se adapta a los requerimientos mencionados es el uso de una grúa torre, la cual debe ubicarse en algún punto estratégico para que su radio de alcance permita la colocación de todos los elementos; además, de tener acceso también a los patios de almacenamiento de materiales.

Estas grúas resultan muy funcionales pues facilitan la movilización de gran parte de los materiales por utilizar y herramientas y equipos. Por otra parte, estas grúas se consiguen en el mercado en diferentes capacidades de carga. En el proyecto actualmente hay 3 instaladas, 2 alquiladas con capacidad entre 2 y 8 toneladas, y una propiedad del ICE con capacidad entre 12 y 20 toneladas.



**Figura 11.** Grúas torre instaladas sobre la cresta de la presa, esta ubicación permite tener alcance al área de construcción de la torre de compuertas.

## Áreas y espacios disponibles para patios de almacenamiento

Se deben disponer cerca de la obra, algunas áreas que funcionen como patios para almacenamiento de materiales, prearmados finales de estructuras o reparaciones de elementos que vienen dañados de los talleres o

que se dañan a la hora de realizar un montaje por lo que deben corregirse. Por lo tanto, se recomienda que estos patios estén lo más cerca posible del lugar donde se realizan los montajes, siempre que las condiciones de espacios de las obras lo permitan. Además deben ser terrazas planas o, en caso de que no estén planas, se deben construir calzas o bases que permitan ubicar los elementos en posiciones horizontales muy precisas. Lo anterior por dos razones: la primera, para que los elementos no sufran deformaciones y para que topografía pueda realizar levantamientos y mediciones adecuadamente; y la segunda, por si es necesario efectuar algunas reparaciones que los elementos estén ubicados adecuadamente para facilitar la labor de los trabajadores y así disminuir el margen de error. Usualmente estos espacios deben tener áreas muy extensas debido a que la geometría de muchos de los elementos metalmecánicos es de grandes dimensiones. Además se deben considerar espacios y accesos adecuados para que ingresen grúas y equipo pesado para el transporte de los elementos.



**Figura 12.** Patio de almacenamiento de elementos metalmecánicos cerca del sitio de construcción de la torre de compuertas.

## Talleres de fabricación

Todos los elementos metalmecánicos deben ser fabricados en talleres especializados que cuenten con las condiciones necesarias para fabricarlos. Por otra parte, un taller de este tipo debe cumplir con varias características, entre ellas que tengan suficiente espacio y los equipos especializados para fabricar todos los elementos requeridos.



Para el proyecto del P.H. Pirris se dispone de tres talleres de fabricación: el primero pertenece al ICE ubicado en el MET en la Garita de Alajuela, y los otros dos pertenecen a un subcontrato con la empresa Astaldi, uno de ellos se ubica en Honduras y el otro en Italia. De estos tres talleres se obtienen todos los elementos requeridos en obra. Según acuerdos y disponibilidad de materiales se tomó la decisión de que cada taller fabrique elementos en función de los recursos que dispone.

La fabricación de todos los elementos metalmecánicos es compleja pues se debe respetar un nivel de precisión muy alto, además de que las tolerancias que se manejan son milimétricas. Para garantizar la fabricación de todos estos elementos es necesario disponer equipo especializado para su fabricación.

A continuación se describen algunos de los equipos y espacios que se requieren para la fabricación de estos elementos dentro de un taller de estructuras.

- Mandriladora de piezas. Utilizada para el maquinado de piezas.



**Figura 13.** Mandriladora marca OERLIKON ubicada en talleres de Honduras.

- Áreas de limpieza con chorro de arena (sandblasting) y áreas de pintura. Es indispensable contar con áreas acondicionadas para realizar estos trabajos.



**Figura 14.** Vista exterior de área para pintura ubicado en taller de Honduras.

- Dobladora de lámina. Este equipo se utiliza para realizar dobleces de esquinas, como es el caso de las esquinas de una transición de redondo a cuadrado.



**Figura 15.** Dobladora marca CINCINNATI 500H, ubicada en talleres de Honduras.

- Dobladora de tubos de 4 rodillos. Permite un mejor doblado en los bordes de las láminas.



**Figura 16.** Dobladora con capacidad de doblar láminas de 22mm marca CALANDRA 300X22 ubicada en talleres de Honduras.

- Pantograma o corte de plasma. Con este equipo se realiza el corte de las piezas que componen cada compuerta, con la ayuda de un software se le introducen los detalles y dimensiones de las piezas por cortar para luego iniciar el corte de las mismas de manera automática y con gran rapidez.



**Figura 17.** Pantograma de plasma marca DAMI.

### Mano de obra calificada

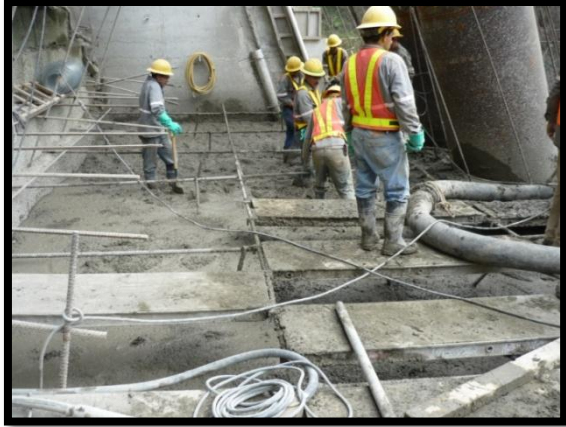
La fabricación y montaje de elementos metalmecánicos resulta ser una actividad compleja y que requiere de personal calificado y con mucha experiencia en trabajos de este nivel.

Es importante que estos trabajadores no solo sean calificados respecto de su calidad de mano de obra en soldadura, sino también en su propia iniciativa y formulación de ideas para montar los elementos, sobre todo en las ocasiones cuando se presentan contratiempos con los montajes. En este proyecto se ha demostrado lo eficiente que resulta disponer de encargados que han realizado el mismo trabajo en otros proyectos, pues esto permite contar con personal de confianza que conoce, de manera anticipada, cuáles problemas se pueden presentar, además de que transmiten a los otros trabajadores su experiencia.

Además de poseer personal calificado en la parte de montaje metalmecánico, también es importante que los trabajadores de obra civil conozcan los procedimientos y lineamientos que se deben respetar en las actividades relacionadas con la parte de montajes, pues, en este caso, las condiciones de las coladas de concreto y colocación de acero de refuerzo están sujetas a lo que cada uno de los elementos metalmecánicos así lo requiera. Por lo anterior es importante disponer también de encargados de obra civil y mano de obra con experiencia en construcciones de este tipo, pues, en muchos casos, se deben hacer ajustes a formaletas, correcciones en sitio de acero de refuerzo, y respetar muchas condiciones particulares en el momento de una colada.



**Figura 18.** Soldadores calificados trabajando en la unión de elementos metalmecánicos.



**Figura 19.** Trabajadores de obra civil realizando una colada alrededor de tuberías de blindaje.

## Accesos y caminos acondicionados

Para el transporte de los elementos desde el taller de fabricación hasta el sitio de la obra se requiere contar con accesos adecuados que permitan movilizar los elementos. Todos estos son transportados en maquinaria especializada para transporte de equipo pesado, frecuentemente se utilizan cabezales con carretas tipo “Low boy” o equipos similares.

En el caso del P.H.Pirris, la topografía de la zona ha sido uno de los grandes problemas que ha enfrentado el equipo de construcción. Por esta razón se han tenido que buscar alternativas para garantizar que el transporte de los elementos se realice de manera segura, y para lograrlo se ha tenido que acondicionar adecuadamente la infraestructura vial, a fin de garantizar un transporte seguro de los elementos metalmecánicos que requiere la obra.

La siguiente es una lista de elementos que se han tenido que considerar:

- Construcción de vados en algunos ríos pues los puentes de la vía pública no están diseñados para los pesos que demanda el transporte de los elementos metalmecánicos.
- Ampliación de curvas horizontales para facilitar el paso de la maquinaria.
- Escoltas adelante y atrás de cada camión para ir controlando el tránsito en el momento del transporte de los elementos.
- Maquinaria de apoyo para remolcar los camiones en curvas verticales muy

inclinadas. En este caso se utilizan cargadores que funcionan como remolques, tanto para empujar hacia adelante estos equipos en las subidas como jalar hacia atrás en la bajadas de altas pendientes.

- Acondicionamiento de la carpeta de rodamiento con materiales asfálticos o capas de RCC.



**Figura 20.** Camino con la superficie de rodamiento acondicionada con RCC y ampliación de curva.

## Interacción entre control de calidad y el equipo de construcción

Es requisito tener un control permanente de la calidad de estos trabajos pues el éxito de los mismos depende de la precisión con que se realicen. A continuación se describen cuáles son las principales funciones que tienen control de calidad en los montajes de las obras del P.H.Pirris:

### ➤ Recibo de suministros

En esta etapa se inspecciona el estado de ingreso de los suministros (se determina si sufrieron daños durante el proceso de transporte). Posteriormente se verifica que cumplan con las especificaciones establecidas en planos, Cartel, entre otros. Y se elabora el informe de recibo en el cual se registran las No Conformidades para hacerlas llegar al Administrador de Contrato. En el caso de nichos para compuerta o algunos otros elementos críticos para la obra; se realiza un pre-armado para verificar las principales dimensiones del elemento y



determinar si es necesario realizar modificaciones.

### ➤ Elementos de primera etapa

Este proceso consiste en la colocación de placas que servirán de soporte para elementos tales como guías de bajada para compuertas, rieles para grúas, nichos de compuertas, entre otros. Se registra el montaje de estos elementos tanto en su posición como en elevación. La tolerancia manejada en estas placas está entre los 10 mm y 15 mm.

### ➤ Montaje de nichos para compuerta

Consiste en el montaje de los nichos para la compuerta por utilizar. Esta etapa es de bastante cuidado; ya que en este punto están ubicados los contra-sellos (que asegurarán que la compuerta cumpla con la función de sellar e impedir el paso del agua). A nivel de contra-sellos, umbral y dintel se manejan tolerancias máximas de 3 mm en planitud. A la vez el proceso de chorrea de estos elementos requiere de cuidados para evitar deformaciones o movimientos (debido al fenómeno de flotabilidad) del nicho.

### ➤ Elementos de segunda etapa

Posterior a la chorrea de primera etapa se inicia con el montaje de los elementos de segunda etapa. Estos consisten en guías de rodamiento y arrastramiento para las compuertas por emplear en la obra. En esta etapa se monitorea el ángulo de colocación de estos elementos y las distancias entre las diferentes guías. Un correcto montaje de estos elementos asegurará a futuro que la compuerta no vaya a atorarse dentro del nicho.

### ➤ Armado de la compuerta

Algunas compuertas, debido a su gran tamaño, vienen conformadas por varias secciones. Por lo tanto el personal de montaje lleva a cabo el armado de esta y

posteriormente se realizan los chequeos dimensionales para asegurar el funcionamiento de la compuerta. Algunas compuertas por cuestión de diseño requieren de la colocación de concreto para aumentar su peso.

### ➤ Montaje de la compuerta

Para poder llevar a cabo el montaje de la compuerta, se debe haber finalizado la colocación de los elementos de segunda etapa: nicho y el pistón. Esto permitirá el desplazamiento de la misma. Mediante el uso de eslabones es posible que la compuerta recorra distancias largas.

### ➤ Pruebas secas

Consiste en realizar pruebas de operación de la compuerta, con la salvedad de que se realiza aún sin agua. Durante estas pruebas se verifica la velocidad de bajada y subida de la compuerta, comportamiento de los componentes hidráulicos, entre otros.

### ➤ Pruebas húmedas

Consiste en realizar las pruebas de la compuerta, bajo condiciones normales de operación (con agua).



**Figura 21.** Trabajador de control de calidad con encargado de proceso, para verificar el cumplimiento de todos los estándares de calidad.

## Secuencia de actividades (Descripción de procedimiento)

La secuencia constructiva de una obra donde se entrelazan trabajos de concreto convencional con el montaje de elementos metalmecánicos, requiere de una logística particular a cualquier otro proceso constructivo de obra civil, debido a que el objetivo final de estas obras es que las estructuras metalmecánicas funcionen adecuadamente. Por lo tanto se requiere que desde el primer elemento que se coloque tenga su ubicación correcta pues es necesario por la precisión que deben tener todas las partes.

Una estructura metalmecánica está compuesta por una serie de elementos que se van izando a través de toda la construcción, con la finalidad de completar una estructura que funcione de forma monolítica para lo que ha sido diseñada.

La secuencia de cada uno de los ítems que compone un programa de trabajo de una obra con estas características es muy variable y relativo según la obra que se tiene. Además también varía según el tipo de elementos clasificados por su geometría y peso. También influyen los recursos con que se dispone ya que en función de esto se define el programa de trabajo.

A continuación se describe el procedimiento para el montaje de la compuerta vagón de la descarga de fondo:

### ➤ Verificación del estado actual de la obra

Antes de iniciar la instalación de las obras electromecánicas, es necesario realizar una verificación dimensional de las obras civiles que constituyen el lugar de instalación y hay que proceder a verificar la accesibilidad en la obra.

Con base en los levantamientos realizados en esta fase y en la accesibilidad del lugar, se realiza el procedimiento indicado a continuación, para optimizar la instalación adaptando las operaciones a las condiciones propias del lugar.

Las partes más importantes por verificar son las dimensiones de las obras en concreto y la

posición de las placas embebidas en el concreto de primera etapa.

Las Figuras 22, 23 y 24 muestran el detalle de los concretos de primera y segunda etapa para secciones típicas diferentes, además de la ubicación de los elementos metalmecánicos como partes fijas, placas y nichos de blindaje.

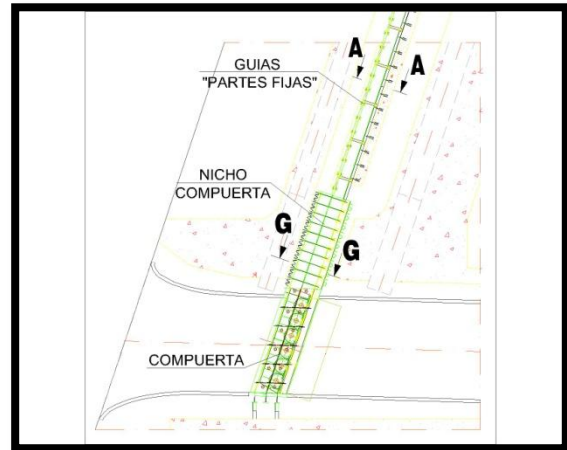


Figura 22. Sección transversal elementos de bajada compuerta.

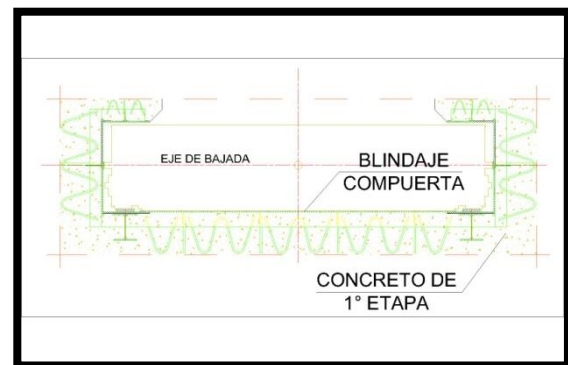


Figura 23. Sección transversal con blindaje metalmecánico. (Sección G-G)

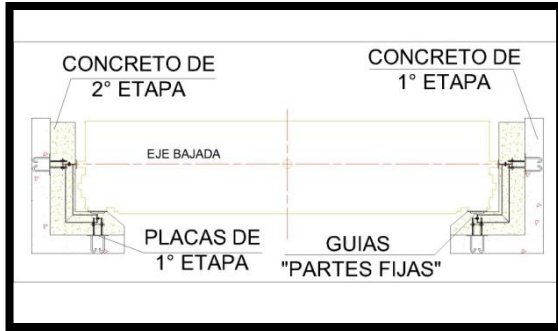


Figura 24. Sección transversal con placas de primera etapa y partes fijas. (Sección A-A)

Se requiere de manera precisa que la linealidad en la transición de los elementos mostrados en las figuras sea prácticamente perfecta, con el fin de garantizar que, en el momento de bajada de la compuerta, esta no se atasque en algún filo o saliente de los elementos.

➤ **Instalación de guías (partes fijas) y concretos de segunda etapa**

- 1) Se procede con la instalación de las guías y se localiza preliminarmente cada una de las guías utilizando como sistema de regulación las barras roscadas con sus tuercas. Dichas barras deben ser soldadas a las placas embebidas en el concreto de primera etapa para garantizar así el anclaje. Realizado este posicionamiento, preliminarmente con la ayuda de un topógrafo y por medio de las tuercas, se realiza el posicionamiento y la regulación final de la guía (nivel altimétrico, horizontalidad y ortogonalidad en relación con el eje del nicho de compuerta).

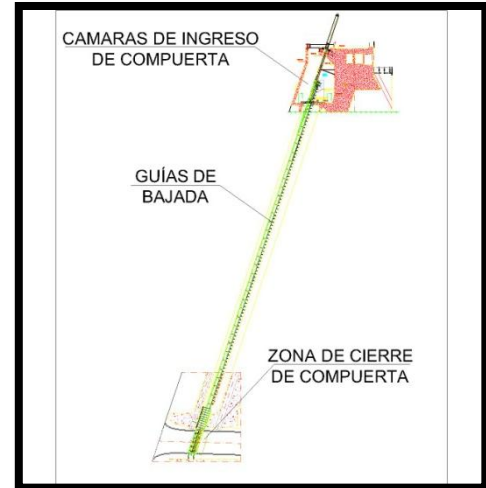


Figura 25. Posición de las guías de bajada

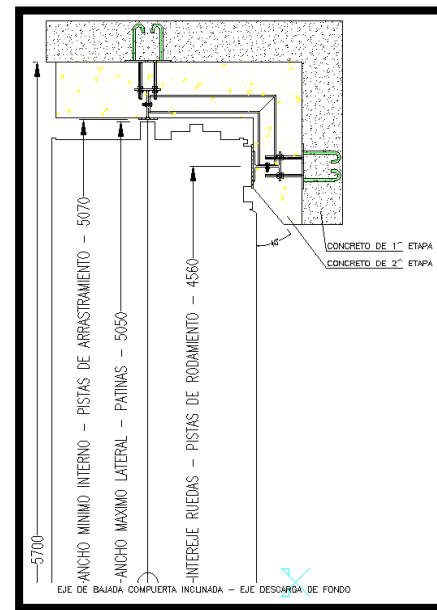
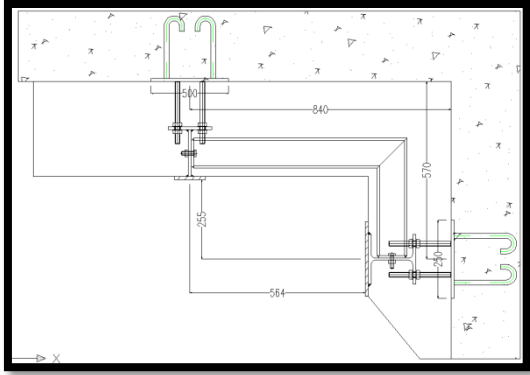


Figura 26. Sección horizontal zona guías de bajada



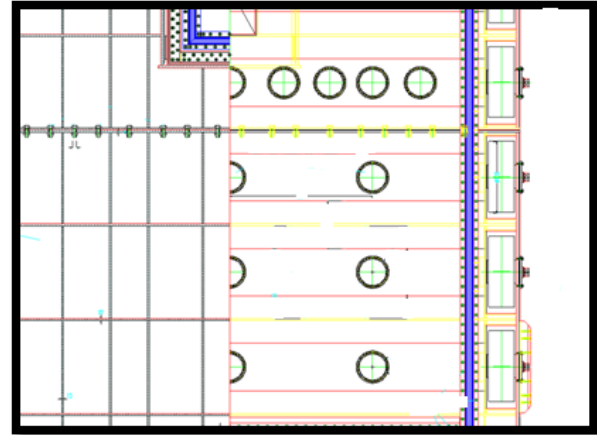
**Figura 27.** Detalle guías de bajada

- 2) Las guías están compuestas por 12 elementos largos de 6 metros cada uno (Véase posición en Figura 25). Cada vez que viene posicionado un elemento se debe ejecutar la soldadura con el elemento anterior.
- 3) Para los concretos de segunda etapa, después de haber colocado las partes fijas se procede a encofrar el área correspondiente a los concretos de segunda etapa. Luego se realiza la colada de concreto de manera que pueda garantizar el perfecto sellado entre obra civil y estructura metálica.

### ➤ **Ensamblado de la compuerta**

La compuerta se fabrica en taller en dos elementos principales, por lo tanto se debe proceder al ensamblado de las dos piezas por medio de tornillos.

Una vez acabadas estas operaciones se llena la compuerta de hormigón (peso del concreto 50 ton +- 5 ton) por medio de agujeros localizados en un costado de la compuerta.

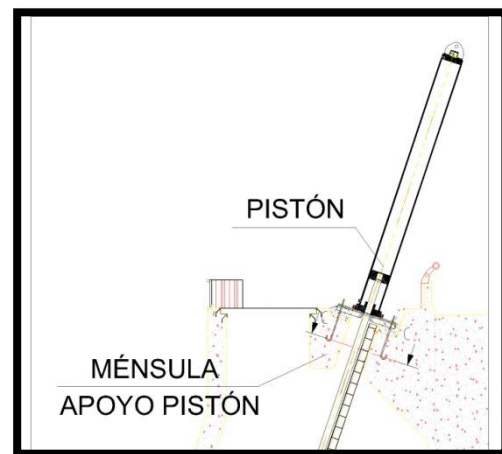


**Figura 28.** Agujeros para llenado de concreto

Después se sueldan los tapones sobre los agujeros utilizados para el llenado de concreto.

### ➤ **Instalación del pistón y del soporte**

Instalar la placa donde se emperna el pistón, de manera que la superficie de acoplamiento con la brida del pistón se posicione perpendicular con el eje de inclinación y puesta en movimiento de la compuerta: se alinee y se fije la brida del pistón a esta placa. Se aconseja posicionar las conexiones para la alimentación oleodinámica del pistón del mismo lado de donde vendrá posicionada la central oleodinámica.



**Figura 29.** Posición apoyo del pistón

Se aconseja realizar el vaciado de concreto de segunda etapa solamente después de haber

finalizado todas las operaciones de calibración del pistón y de los eslabones.

### ➤ **Instalación guías de soporte eslabones**

Antes de proceder con la instalación de la compuerta y de los eslabones es necesario instalar las guías de soporte de la cámara de maniobra. Las guías deben ser fijadas al hormigón por medio de oportunos soportes.



Figura 30. Guías de los eslabones

### ➤ **Instalación de la compuerta y de los eslabones**

Se realiza el movimiento con la grúa para introducirla con el ángulo de bajada en el nicho. Se coloca sobre las vigas móviles para el montaje de los eslabones.

El eslabón de conexión al pistón se coloca seguidamente al último eslabón (desde el pistón hacia la compuerta). Ya con este mecanismo colocado se baja la compuerta con el pistón, de forma que el centro de unión entre eslabones quede colocado para posicionar el pin que sujetará la compuerta a las vigas móviles.

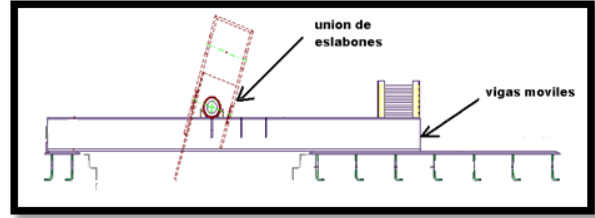


Figura 31. Unión de eslabones

Una vez sujeta se sube el pistón (el cual sube libre) y se le coloca el primer eslabón desde el pistón hacia la compuerta.

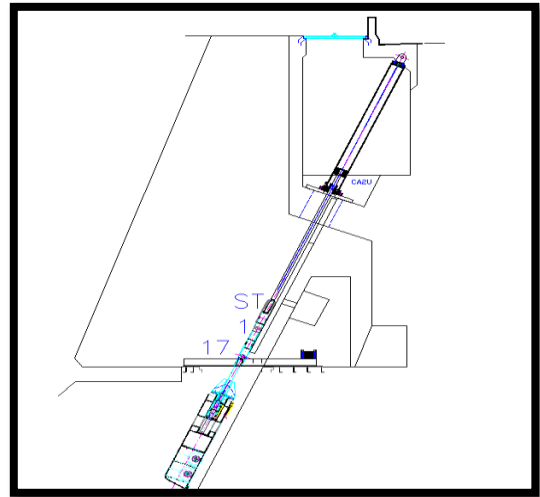


Figura 32. Inicio bajada de compuerta

Ya unidos los eslabones primero y último, se baja la compuerta y se sujeta el eslabón anteriormente colocado a las estructura de vigas móviles. Se libera el pistón y se sube nuevamente para colocar el siguiente eslabón al mecanismo, una vez colocado se baja nuevamente la compuerta. En esta secuencia se baja la compuerta eslabón por eslabón hasta llegar a la zona del nicho de sello, donde se ajusta la carrera del pistón para llegar a la compresión de 3 mm en los sellos. La maniobra de colocar un eslabón dura aproximadamente 1 hora y 30 minutos.



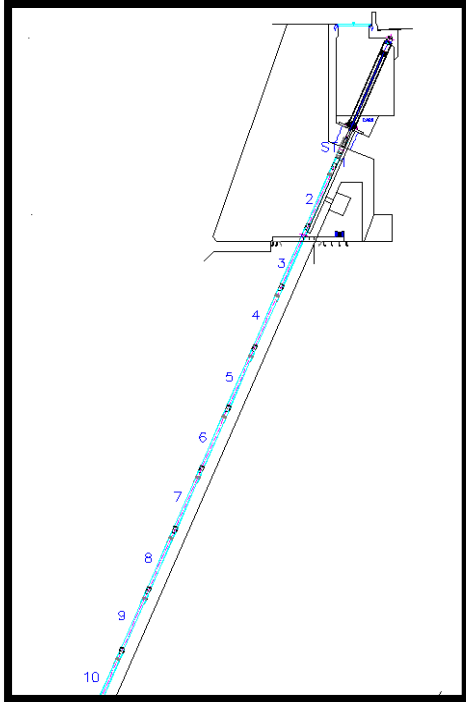


Figura 33. Secuencia bajada de compuerta.

## Adquisiciones y entrega de materiales

Debido a que el montaje de los elementos metalmeccánicos depende directamente del avance de obra civil, es necesario realizar un programa detallado de toda la obra de manera conjunta, donde se identifique claramente en cuáles fechas los elementos metalmeccánicos se requieren en obra, luego; con esta información, planificar la fabricación de estos elementos y sus respectivas entregas. Por lo tanto se requiere hacer programas de entregas de elementos metalmeccánicos en los talleres de fabricación.

En la torre de compuertas del P.H.Pirris se realizó un programa de entregas a la empresa que se contrató para la fabricación de los elementos metalmeccánicos (Astaldi) con el fin de solicitarles prioridades de fabricación. Se debe tener claro que, para efectos de logística, un taller de fabricación trabaja para entregar estructuras terminadas, y que no se fabrican varias estructuras de manera simultánea. Por lo tanto el programa de entregas es una

herramienta importante pues le permite al contratista organizarse con las prioridades de las entregas.

Compuerta vagón DF (A1)	394 días	vie 30/10/09	dom 28/11/09
Entrega de diseños	190 días	jue 12/11/09	jue 20/05/10
Diseño preliminar de fabricación	0 días	jue 12/11/09	jue 12/11/09
Revisión por parte del ice	43 días	jue 12/11/09	jue 24/12/09
Diseño final de fabricación	0 días	jue 07/01/10	jue 07/01/10
Revisión por parte del ice	28 días	vie 08/01/10	jue 04/02/10
Entrega de plan de trabajo de fabricación y plan de calidad	0 días	mié 20/01/10	mié 20/01/10
Revisión por parte del ice	15 días	mié 20/01/10	mié 03/02/10
Diseño preliminar de montaje	0 días	jue 25/02/10	jue 25/02/10
Revisión por parte del ice	43 días	jue 25/02/10	jue 08/04/10
Diseño final de montaje	0 días	jue 22/04/10	jue 22/04/10
Revisión por parte del ice	28 días	vie 23/04/10	jue 20/05/10
Fabricación y transporte	176 días	jue 04/02/10	jue 29/07/10
Etapas 1	145 días	jue 04/02/10	lun 28/06/10
Etapas 2	176 días	jue 04/02/10	jue 29/07/10
Entrega de documentos de montaje	209 días	vie 30/10/09	jue 27/05/10
Entrega del plan de trabajo de montaje	0 días	vie 30/10/09	vie 30/10/09
Entrega de plan de calidad y condiciones de almacenamiento	0 días	mar 27/04/10	mar 27/04/10
Revisión por parte del ice	209 días	sáb 31/10/09	jue 27/05/10
Entrega al sitio de:	263 días	vie 11/12/09	mar 31/08/10
Piezas de primera etapa	0 días	vie 11/12/09	vie 11/12/09
Piezas fijas de segunda etapa	0 días	mar 15/12/09	mar 15/12/09
Compuerta completa	0 días	sáb 31/07/10	sáb 31/07/10
Resto de elementos correspondientes al sistema	0 días	mar 31/08/10	mar 31/08/10
Los repuestos respectivos	0 días	mar 31/08/10	mar 31/08/10
Recibo por parte del ICE	290 días	mar 15/12/09	jue 30/09/10
Recibo e inspección de todos los elementos	290 días	mar 15/12/09	jue 30/09/10
Entrega de documentos	28 días	lun 01/11/10	dom 28/11/10
Manuales de operación y mantenimiento	0 días	lun 01/11/10	lun 01/11/10
Aprobación por parte del ice	28 días	lun 01/11/10	dom 28/11/10

Figura 34. Programa de entregas de Astaldi de elementos metalmeccánicos.

En el proceso de fabricación en taller, es común que existan contratiempos y atrasos en relación con lo establecido en el programa de entregas. Por otra parte, este programa se define tomando de referencia las necesidades de la obra según un programa de avance, y en muchas ocasiones también sucede que el avance de obra civil tampoco avanza como inicialmente se había definido o programado. Todo esto conlleva a que, de una u otra manera, estos programas establecidos de entregas no puedan cumplirse adecuadamente. Pero; aun así, se requieren de manera fundamental como herramienta de planificación de una obra de este tipo.

A continuación se mencionan algunos aspectos por considerar para una programación de entregas de elementos fabricados en talleres.

- Ser conservadores con las fechas de solicitud de estructuras.
- Dar prioridad a los elementos de mayor importancia que se requiere estén, lo antes posible, en la obra.
- Solicitar de una sola vez las estructuras que se requieren desde el inicio de la obra, como por ejemplo, placas de primera etapa, pues; si se solicitan por partes puede suceder que se entreguen solo algunos grupos de elementos.

- Contar con un plan B en caso de que el taller de fabricación no cumpla o contar con algún otro taller que pueda fabricar las estructuras en los tiempos solicitados.

Este tipo de contratos es administrado por el Departamento de Obras por Contrato.

## Identificar los elementos críticos del proceso que merezcan una atención especial

En el proceso constructivo existen elementos y variables a los que se les debe poner mayor atención, pues; por su importancia, pueden afectar la entrega final de la obra.

En la siguiente lista se mencionan algunos de esos:

- **Entregas de elementos fabricados en talleres**

Es fundamental considerar los tiempos de entrega de los elementos según los requerimientos de obra civil.

- **Control de calidad en los talleres de fabricación**

En algunas ocasiones se supone que la fabricación en talleres es la adecuada y sucede que cuando los elementos llegan al sitio de montaje se presentan problemas, porque los elementos se fabricaron con dimensiones diferentes, o la calidad de la soldadura no es la correcta. Por esta razón resulta importante tener personal de control de calidad no solo en el sitio de montaje sino, además, en los talleres donde se fabrican todos los elementos.

- **Disponer de los recursos adecuados**

Para realizar construcciones de este tipo se debe disponer de los recursos adecuados para realizar todas las actividades. No poseer grúas con la capacidad adecuada provoca riesgos laborales o no contar con equipos de

topografía precisos puede afectar en la ubicación de los elementos, esto entre otros casos. Por lo tanto resulta fundamental disponer de los recursos necesarios para que la obra avance de manera correcta.

- **Interacción entre obra civil y montaje metalmecánico**

Esta interacción resulta ser lo más importante, pues el avance de la obra está directamente relacionado con la coordinación de ambos trabajos. Debe existir una comunicación permanente entre ambas actividades, con el fin de no olvidar la colocación de elementos. Además en el momento de las coladas de concreto, en ocasiones, la altura de las coladas se definen en función del izaje de elementos según su geometría.

- **Control de topografía**

Si se analiza el caso del montaje de una compuerta para que esta funcione operativamente de manera correcta, se requiere que, desde la colocación del primer elemento, este quede colocado en su posición correcta, de esta manera cada uno de los elementos siguientes debe colocarse con la precisión que indique la especificación técnica. Para lograr esto es fundamental contar con topografía eficiente y conocer el detalle de lo que se coloca, de esta manera se puede ir armando, en sitio, todos los elementos en la posición, según lo indica la teoría. Colocar un elemento en una posición que no es la correcta implica realizar cambios que demandan recursos y tiempo que, por lo general, nunca están planificados y que, por lo tanto, pueden atrasar la entrega de un proyecto.

A continuación se mencionan algunos procedimientos adecuados que se deben seguir en el proceso de topografía:

1. Se procesa una red geodésica para ubicar el proyecto con las coordenadas del IGN (Instituto Geográfico Nacional).
2. Se definen puntos estratégicos para ubicar la estación total en diferentes zonas dentro de los ductos de las compuertas. Estos puntos deben estar

amarrados al sistema de coordenadas de todo el proyecto y, además, deben permitir que la estación tenga alcance a toda el área donde se deben ubicar los elementos.

3. Se deben realizar levantamientos preliminares para conocer los detalles de la zona donde se van a instalar los elementos, con el fin de verificar las irregularidades reales en sitio.
4. Se debe comparar el levantamiento preliminar, antes mencionado, con la información de planos oficiales de diseño, para verificar posibles ajustes.
5. Se definen previamente, en la oficina técnica, las coordenadas teóricas de la ubicación de cada uno de los elementos por instalar, con base en los planos oficiales de diseño.
6. Posteriormente, esta información debe ser entregada a los topógrafos de campo como documento oficial de referencia para marcar en sitio.
7. El procesamiento de la información es afectada por variables como la pendiente de diseño, distancias entre elementos, ángulos de inclinación y elevación del piso.
8. El pre-armado que se realiza en taller es verificado por topografía. A este se le marca la línea de centro para tenerla de referencia y luego ubicar el elemento en su posición final con respecto al eje de bajada (alineación).
9. Ya en sitio, con todos los elementos instalados, se realiza el levantamiento en diferentes puntos de interés, según la estructura, para que cumplan las inclinaciones y dimensiones solicitadas.
10. Equipos requeridos:
  - a) Recurso Humano: cuadrillas conformadas por 5 personas: un topógrafo, un asistente y 3 auxiliares.
  - b) Equipo de topografía: estaciones totales, trípodes, colector de datos (libreta electrónica que posee programas especializados en topografía), prismas, herramientas básicas (lápiz, rayador, mazos, cinta métrica, cinta de flagueo, libreta de apuntes).
  - c) Para la precisión que requiere el montaje de elementos metalmecánicos es indispensable utilizar equipos sofisticados

de topografía y personal calificado (coordinadores, dibujantes y cuadrillas de campo).

#### ➤ **Mano de obra con experiencia**

Resulta necesario disponer de personal con capacidad técnica y práctica, tanto para el montaje de los elementos metalmecánicos como para los trabajos de obra civil. Una mala distribución de personal capacitado afecta, de manera directa, la entrega de una obra por la falta de capacidad para ejecutar los trabajos.

#### ➤ **Mantenimientos preventivos a maquinaria y equipo**

No solo se debe disponer de maquinaria y equipo adecuado sino, además, se deben prever posibles averías o mantenimientos de manera preventiva para evitar largos paros y tener que reparar algún equipo. Por ejemplo, si el cable de la grúa se revienta se debe parar al menos 2 días para realizar la reparación, y dependiendo del estado de la obra en ese momento puede afectar de manera trascendental la ejecución.

#### ➤ **Condiciones de seguridad ocupacional adecuadas**

Generalmente las condiciones del sitio de trabajo de estas actividades es sumamente incómoda y riesgosa, tanto por los pesos y geometría de los elementos metálicos como por la altura de las obras. Por esta razón se requiere, al menos, disponer de áreas de trabajo adecuadas que cumplan con los requerimientos mínimos en relación con el tema de seguridad ocupacional como lo son los accesos, escaleras y andamios adecuados.

#### ➤ **Orden en el área de trabajo**

Se deben desarrollar los conceptos de cultura y disciplina de orden y limpieza en las áreas de trabajo, con el fin de trabajar de manera más segura y ordenada. Esto facilitará el trabajo y dará mejores resultados. También se debe considerar que se tendrán muchos trabajadores laborando en una misma área de trabajo.

### ➤ Integración de planos

Se debe hacer una integración entre los planos de montaje metalmecánico y los planos de obra civil. Aunque, en teoría, ambos planos deberían tener la misma información en términos de dimensiones y geometría, es usual que existan diferencias, y si estas no se detectan a tiempo muy fácilmente se generan errores en la construcción.

Por otra parte, es fundamental dibujar los planos "As built", los cuales se dibujan junto al proceso constructivo o en efecto, después de haber construido la obra. En estos planos se debe mostrar cómo quedaron las obras construidas indicando todos los cambios que se dieron en el proceso constructivo (lo que es usual que pase).

## Metodología y aspectos por considerar para las coladas de concreto

Para el montaje de elementos metalmecánicos que deben quedar embebidos dentro del concreto, como es el caso de estructuras de blindajes o embocaduras de toma, se deben tener algunas consideraciones que permitan que en el momento de realizar las coladas de concreto no se generen fuerzas de flotación, tales que superen el peso de los elementos y, por ende, desplace o deforme las estructuras.

Por tal motivo resulta necesario fabricar estructuras provisionales que permitan darle mayor rigidez a los elementos metalmecánicos y asegurar que la presión del concreto fresco no deforme de manera significativamente la estructura.



**Figura 35.** Estructura de apoyo en forma de cercha sobre la cual se apoya la embocadura de la toma de agua.



**Figura 36.** Columnas de apoyo para posicionar el nicho de la compuerta de la toma de agua.

Estos elementos mostrados en las fotos anteriores cumplen dos funciones: la primera es que permiten darle posición adecuada a la

estructura previo a que el elemento quede embebido en el concreto, estos elementos facilitan el posicionamiento de la estructura debido a que, en muchas ocasiones, se les debe dar algunas inclinaciones particulares, y la segunda es que, en el momento de la colada de concreto alrededor del elemento, estos apoyos absorben los esfuerzos de flotación que se generan por la diferencia de pesos entre la estructura y el volumen de concreto colocado a su alrededor.

➤ **Aspectos que deben considerarse para realizar una colada de concreto alrededor de elementos metalmecánicos:**

**1) Volumen desplazado de concreto**

Está en función de la geometría de la estructura metalmecánica, a mayor volumen desplazado mayor será el esfuerzo de flotación que recibe la estructura.

**2) Velocidad de colada**

Permite regular la presión hidrostática del concreto fresco hacia las estructuras, a menor velocidad se garantiza que el concreto entre en estado de fragua inicial y, por ende, reduce la presión.

**3) Altura de la colada**

Esta debe considerarse dependiendo de las condiciones y geometría de la estructura. En algunos casos se debe parar la colada, por algún tiempo, hasta que la consistencia del concreto obtenga la fragua inicial y proseguir luego con la siguiente colada. Es importante estar pendiente del momento oportuno para continuar con la siguiente colada y evitar que se genere alguna junta fría.

**4) Distribución del concreto en el momento de la colada**

Resulta necesario distribuir el concreto de manera homogénea en el momento de la colada, con el fin de evitar que la presión del concreto recargue la estructura por un solo lado, pues se podrían generar deformaciones en un solo lado. Esto aplica principalmente en coladas alrededor de blindajes metálicos.

**5) Rigidizadores en las estructuras metalmecánicas**

Deben existir rigidizadores metálicos que permitan regular deformaciones en las láminas de los elementos estructurales, ya que esto evita deformaciones en las mismas. Es importante hacer una revisión estructural acerca de la separación de estos rigidizadores, lo cual está en función del espesor de la lámina que se utilice.

➤ **Memoria de cálculo ejercicio flotación del concreto en embocadura de toma de agua**

Como ejemplo de los empujes de flotación se muestra un simple ejercicio sobre una colada que se realizó en la embocadura.

La siguiente fotografía muestra la estructura en mención.



**Figura 37.** Embocadura de toma de agua con formaleta alrededor para realizar colada y dejar la base de la estructura embebida.



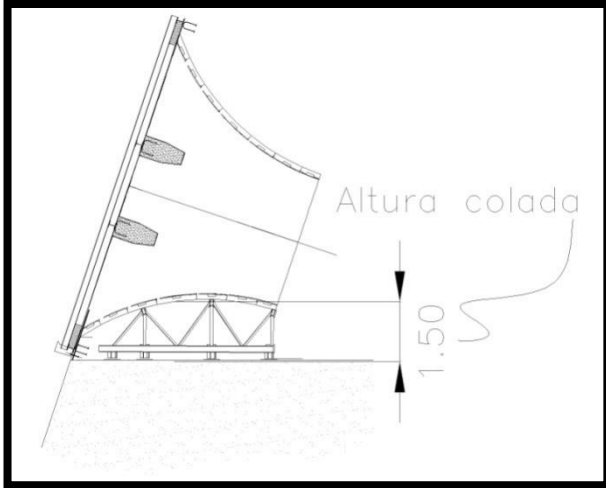


Figura 38. Sección transversal de la toma de agua donde se muestra la altura de la colada alrededor de ella.

### CUADRO 1. MEMORIA DE CÁLCULO EMPUJE CONCRETO

Estructura: Embocadura toma de agua

Peso de embocadura	17	Ton
Volumen de concreto desplazado	11	m <sup>3</sup>
Densidad del concreto	2,4	Ton/m <sup>3</sup>
Empuje del concreto hacia la embocadura	26,4	Ton
Esfuerzo de flotación aplicado	9,4	Ton

R/: Se debe diseñar una estructura metálica que soporte los esfuerzos de flotación, para este caso de 9.4 Ton.

## Criterios para medir el avance de obras de concreto convencional con elementos metalmecánicos

El control de avance de un proceso constructivo de cualquier índole es la herramienta

fundamental para poder cumplir los objetivos en términos de ejecución de obra, es decir, tiempos de entrega, control de costos y rutas críticas para asignar prioridades a actividades que demanden mayor necesidad.

Este control es efectivo si de manera previa se ha definido algún programa o curva "S" que permita ir comparando el avance real con el programado, y así de esta manera ir analizando los avances.

En ocasiones, crear un programa o curva "S" erróneo provoca que se analicen avances de

manera irreal y en consecuencia los ejecutores de obras cometen errores pues no se toman decisiones correctas.

Los criterios por tomar en cuenta para definir la curva "S" son la base para programar lo más real posible la curva a lo ejecutado en obra.

En el caso de la torre de compuertas y toma de agua del Proyecto Hidroeléctrico Pirris, se utilizaron los siguientes criterios para definir el peso de cada elemento en la confección de la curva "S".

<b>CUADRO 2. PONDERACIÓN DE PORCENTAJES PARA CONFECCIÓN DE CURVA S</b>	
<b>Actividad</b>	<b>% de peso</b>
Concretos	50%
Blindajes	20%
Elementos Metalmecánicos	30%

Por otra parte para cada una de las actividades antes mencionadas se debe definir algún criterio para ser consideradas en la curva "S", en este caso se definió la inversión como elemento principal, el tiempo, la complejidad y la condición de ruta crítica como los otros elementos.

La siguiente tabla muestra el detalle de los porcentajes aplicados a cada uno de los criterios mencionados anteriormente.

<b>CUADRO 3. PONDERACION DE PORCENTAJES PARA CADA UNA DE LAS ACTIVIDADES DE LA CURVA S</b>	
<b>Criterio</b>	<b>% de peso</b>
Costo	50
Tiempo	10
Complejidad	30
Ruta critica	10

A continuación se muestra la curva "S" de la torre de compuertas y toma de agua incluyendo los elementos metalmecánicos.

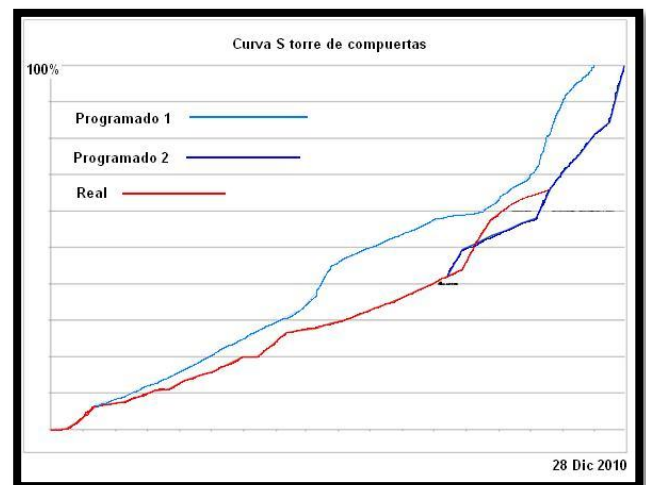


Figura 39. Curva "S" toma de agua y torre de compuertas

# Análisis de los resultados

A continuación se analizarán los resultados obtenidos y expuestos en el apartado anterior.

Las construcciones de obra civil, en condiciones particulares como las descritas en este informe, demandan una planificación especial y mayores cuidados en el proceso constructivo para aquellas personas que tienen poca experiencia en este tipo de procesos, tomando en cuenta que hay diferentes variables que influyen en la construcción.

Los resultados expuestos en este informe son producto de las variables que se deben considerar y brindar atención especial desde el inicio del proyecto, tanto en la etapa de planificación como en la etapa final de construcción y entrega de obra.

Todos los detalles son importantes en este tipo de obras, aún aquellos que se consideren insignificantes puesto que cualquier error podría traer consecuencias importantes como atrasos con los tiempos de entrega y con los costos de la obra.

Los resultados expuestos están relacionados con la planificación y ejecución de obras de concreto convencional, especialmente las vinculadas con los montajes metalmecánicos. Lo anterior con el fin de darle una guía a los profesionales o personas interesadas con el tema sobre las variables más importantes que se deben considerar.

La siguiente lista se refiere a los asuntos expuestos en la sección de resultados:

1. Descripción de elementos que componen los montajes metalmecánicos.
2. Logística para el montaje de elementos metalmecánicos.
3. Cronograma de actividades (Descripción de procedimiento)

4. Adquisiciones y entrega de materiales.
5. Identificación de los elementos críticos del proceso que merezcan una atención especial.
6. Metodología y aspectos por considerar para las coladas de concreto.
7. Criterios para medir el avance de obras de concreto convencional con elementos metalmecánicos.

A continuación se presenta un análisis de cada uno de estos apartados antes mencionados.

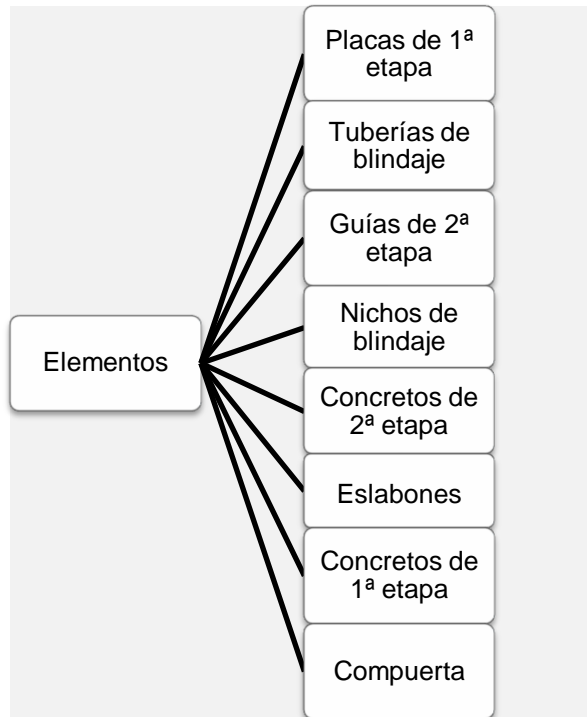
## **Descripción de elementos y estructuras que componen los montajes metalmecánicos**

Se ha pretendido dar una descripción de los elementos más relevantes que influyen en los trabajos relacionados con los montajes metalmecánicos, indicando cuál es su funcionalidad e importancia en la etapa de construcción, ilustrando cada elemento con fotografías para que el interesado tenga una noción más clara de los procesos.

Es necesario aclarar que no todos los proyectos de este tipo tienen, obligatoriamente, el mismo tipo de elementos aquí descritos, pues estos son requeridos de manera particular en esta obra. Por lo tanto, algún otro proyecto podría utilizar elementos similares o diferentes, según lo requiera.

En la siguiente figura se ilustran los elementos básicos que componen los montajes metalmecánicos de esta obra, en particular.





**Figura 40.** Elementos y estructuras requeridas en montajes metalmecánicos de compuertas vagón.

## Logística para el montaje de elementos metalmecánicos

Como se ha mencionado anteriormente una obra con características particulares como esta, requiere de una planificación y coordinación de actividades a las que se les debe tomar mucho interés.

Así en procesos constructivos como el ejecutado, los recursos se enfocaron hacia las necesidades pertinentes y particulares según la logística de la obra. Claro está todos los proyectos son diferentes y requieren, por lo tanto, de planificaciones distintas. No obstante, lo que se expone seguidamente es una guía básica de elementos que puede utilizarse en cualquier proyecto.



**Figura 41.** Aspectos a considerar en la logística de la obra

## Secuencia de actividades (descripción de procedimiento)

El montaje de una compuerta deslizante tipo vagón requiere de pasos, desde el inicio de la etapa de construcción hasta la etapa final, que obedecen a una secuencia lógica para el desarrollo adecuado de la actividad. En esta sección se describe dicho procedimiento, propio del montaje metalmecánico de la obra en mención.

Dichos procedimientos están lógicamente vinculados con la logística del proyecto por lo que cualquier otro podría utilizar procedimientos similares o con algunos cambios según su necesidad.

En el proyecto que se ejecuta el montaje de la compuerta aun no está terminado, pues de las actividades descritas todavía faltan las maniobras de bajada de la compuerta. Además este procedimiento de montaje que fue planificado inicialmente, por una estrategia constructiva sufrió una pequeña variación en las actividades de la parte superior de la estructura, con el fin de poder instalar el pistón sobre una estructura provisional, para tratar de ganar tiempo en la bajada de la compuerta y realizar algunas pruebas de control de calidad. No obstante; este cambio no afectó lo descrito anteriormente en el procedimiento pues las variaciones fueron principalmente en la parte de obra civil.

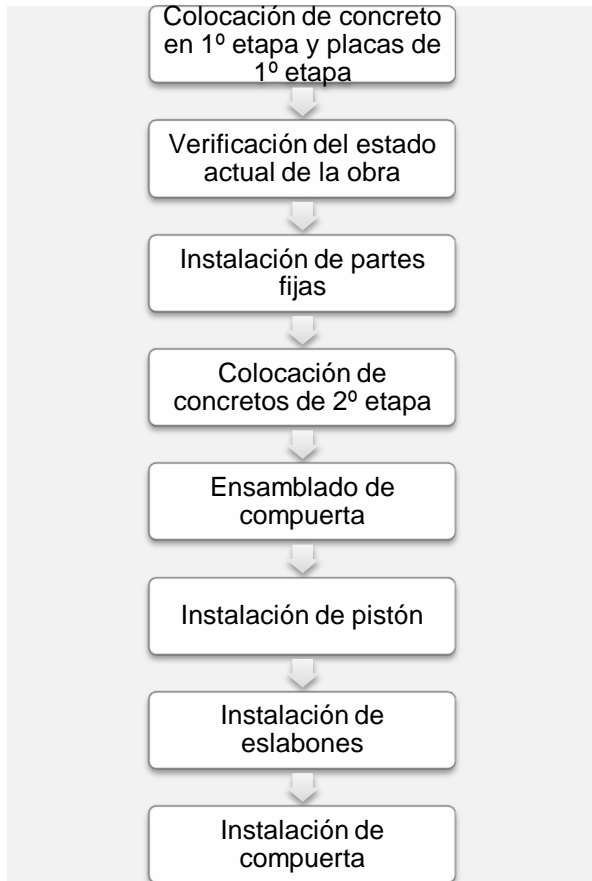


Figura 42. Procedimiento para montaje de compuerta vagon

## Adquisiciones y entrega de materiales

La adquisición y entrega de materiales y equipos juega un papel fundamental en el desarrollo de obras de este tipo, pues de ello depende el avance de muchas actividades.

Lograr que se cumplan las entregas a tiempo por parte de los talleres de fabricación, es un tema que no se puede asegurar porque no depende únicamente del personal que está construyendo la obra, sino que también entra en juego otro personal a cargo de estos trámites y en ocasiones otros contratistas, quienes no tienen a cargo únicamente el proyecto en mención. Por otra parte, la logística es relevante puesto que involucra varias actividades, entre ellas el transporte desde los talleres al sitio de construcción. No obstante, la logística del transporte es un tema que no se desarrolló en el presente informe, porque esto involucra el tipo de transporte asignado, ya sea terrestre, aéreo o

marino (estos elementos por sus dimensiones principalmente se transportan en embarcaciones marinas), la disponibilidad del transporte y además todos los trámites de aduanas, que usualmente son tediosos y atrasan las entregas.

Las adquisiciones y las entregas de materiales son importantísimas para la ejecución de obras de este tipo, por esto es indispensable contar con programas de entrega de los talleres, basados en los programas de trabajo de construcción de obra, pues esto puede garantizar la continuación de la obra, caso contrario, esta tendría que detenerse para esperar a que llegue el material o elemento requerido.

En la siguiente figura se ilustran los factores importantes por considerar la hora de realizar adquisiciones o entregas de materiales y estructuras hechas en talleres fuera del sitio de la obra:



Figura 43. Factores por considerar en el tema de adquisiciones

## Identificar los elementos críticos del proceso que merezcan una atención especial

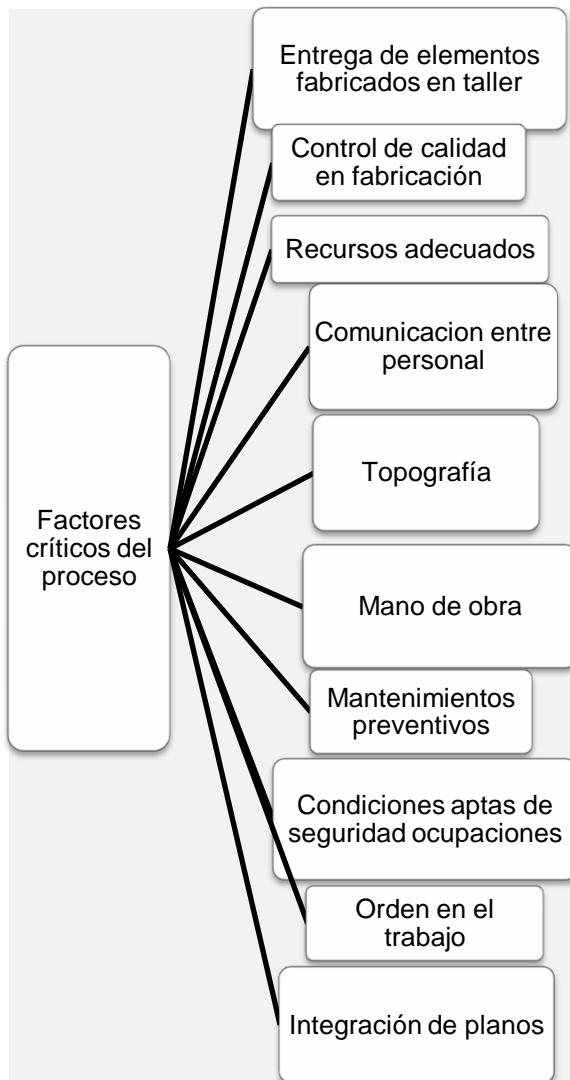
Para efectos de cualquier obra constructiva es indispensable localizar los asuntos que merecen atención especial durante el mismo proceso constructivo, los cuales pueden afectar de manera directa el avance y la ejecución de la misma.

Todos estos elementos críticos son significativos tanto para el equipo de trabajo de obra civil y el de montaje metalmecánico, como

para los que tienen que ver con la dirección de la obra, tomando en cuenta todos los departamentos que la involucran.

Relacionado con lo anterior, una vez más la logística entra en juego gracias a la necesidad de recursos que exige la obra constructiva, a los detalles particulares que se presentan y que muchas veces no se atienden pero que al final del proceso surgen de manera sorpresiva, especialmente en momentos críticos cuando hay poco tiempo para solucionarlos.

La siguiente figura ilustra de manera general los factores críticos por considerar en un proceso constructivo como este.



**Figura 44.** Factores críticos del proceso constructivo

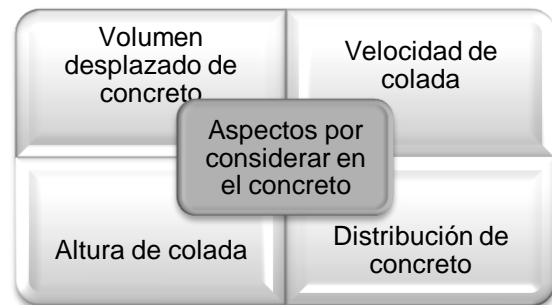
## Metodología y aspectos por considerar para las coladas de concreto

Uno de los aspectos más críticos en un proceso constructivo como el descrito es la metodología utilizada, en términos de lograr una buena relación, comunicación y la toma de decisiones técnicas que permitan una interacción adecuada entre la parte de construcción de obra civil y la de montajes metalmecánicos. Esto porque, aunque sean grupos de trabajo independientes, toda la obra debe trabajar de manera conjunta y como un solo equipo.

Cuando se realizan coladas de concreto alrededor de elementos metálicos, se deben seguir algunos lineamientos técnicos como los que se describen en esta sección, con el fin de garantizar que estos elementos mantengan su posición antes y después de la colada.

Las fuerzas de flotación que genera el concreto cuando este se está colocando, son fundamentales. La consistencia del concreto hace que funcione como un líquido y, por ende, genere presiones hidrostáticas con una densidad de  $2.4\text{Ton}/\text{m}^3$ . Para contrarrestar lo anterior se deben instalar estructuras provisionales que funcionan como apoyos para dar mayor facilidad en la ubicación de las piezas, pero que a la vez funcionan también como elementos estructurales que permiten absorber las fuerzas antes mencionados.

Véase en la última parte de este apartado, un ejemplo del cálculo de los esfuerzos de empuje que genera el concreto sobre la embocadura de la toma de agua. Así, la idea general de este apartado fue mencionar todas estas variables sin entrar en detalle de los cálculos estructurales de los elementos.



**Figura 45.** Factores a considerar en el concreto

## Criterios para medir el avance de obras de concreto convencional con elementos metalmecánico

En este apartado se hace alusión a las maneras de lograr un mejor control del avance de la obra, tomando de base la confección de una curva "S"

Para realizar una curva "S" lo más cercana a la realidad, se mencionan factores por considerar en la decisión y ponderación de las actividades para confeccionar la curva.

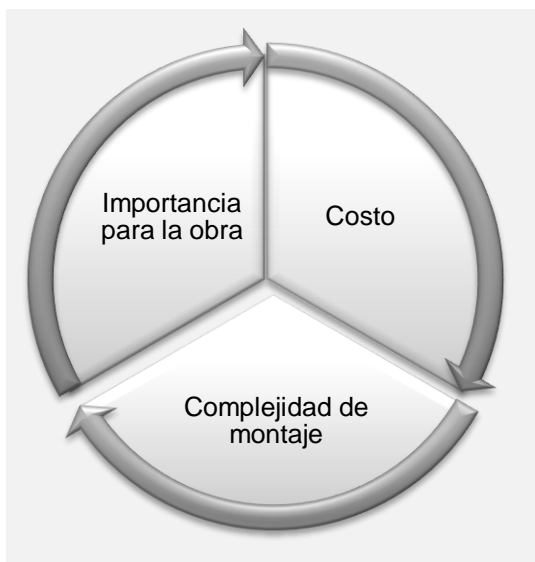
Por otra parte, lo correcto no es tomar la información como norma para aplicarla a cualquier proyecto con características similares, pues depende mucho de qué tipo de elementos se deben instalar. Además sobre el peso en las estructuras metalmecánicas en la confección de la curva "S", es importante considerar la cantidad de elementos que se requieren, la importancia para la obra, el costo y la complejidad del montaje.

presente estudio y relacionados, por supuesto, con los resultados del proyecto.

La intención inicial de lograr cada uno de los objetivos específicos no fue posible por ciertos factores que se mencionan a continuación:

- Las obras no se han terminado aún.
- Falta información para completar el análisis.
- Algunos objetivos son un poco relativos dependiendo de las circunstancias y condiciones que se presentan en el sitio de trabajo.
- Se tuvieron que cambiar algunos procedimientos de campo, debido a eventos de fuerza mayor que se presentaron, con el fin de cumplir las fechas de entrega solicitadas.

En el siguiente cuadro se indica el estado de desarrollo de cada objetivo y cuáles quedaron pendientes, esto con la intención de que, en un futuro, alguna persona pueda darles continuidad en otro proyecto. En cada caso se indica lo que quedó pendiente.



**Figura46.** Aspectos por considerar para generar curva S

A continuación se presenta un análisis de cada uno de los objetivos específicos planteados en el

<b>CUADRO 4. ESTADO DE DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS</b>	
<b>Objetivos</b>	<b>Estado de desarrollo</b>
Identificar las actividades que intervienen en la construcción de los sistemas metalmecánicos de un proyecto de generación eléctrica.	Se completó la parte de montajes metalmecánicos en relación con la parte de compuertas deslizantes tipo vagón, aun así el tema es muy amplio a nivel de elementos en túneles y casa de máquinas y en este proyecto no se hizo mención.
Describir el procedimiento adecuado para el montaje de las placas de primera etapa que deben quedar embebidos en concreto.	Se hace mención en el apartado 3 de los resultados, aun así el tema puede ampliarse más en relación con las técnicas adecuadas de fijación de placas.
Establecer la metodología adecuada para el montaje y fijación de los elementos de blindaje que garantice que durante la colada de concreto los esfuerzos de empuje no deformen las estructuras debido a los esfuerzos de flotación	Se completó en relación con el montaje de una embocadura, el tema puede ampliarse más sobre la flotación de blindajes de túneles u otros elementos de casas de máquinas.
Describir los pasos por seguir para el montaje de las guías de 2° etapa.	Completo
Establecer los controles topográficos precisos para la ubicación de elementos metalmecánicos	Completo
Establecer los controles de calidad para la aceptación del montaje de los elementos metalmecánicos involucrados antes de que estos queden embebidos en concreto.	Completo
Describir cuándo se deben colocar concretos de 2° etapa y cuándo no a la hora del montaje de los nichos de las compuertas.	Pendiente, en los resultados únicamente se hace mención a la colocación de los concretos de 2° etapa pero no se hace la diferencia respecto de si se colocan antes o después de los montajes metalmecánicos.
Indicar la secuencia de actividades que involucra el montaje final de las compuertas.	Completo

# Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

- Toda la planificación inicial está sujeta a cambios en el proceso constructivo, dependiendo de las necesidades que demande el proceso constructivo.
- Dedicarle una atención especial a los pequeños detalles, pues al final son los que generan grandes problemas, ejemplo de esto es la motivación entre los trabajadores.
- Se debe contar con un plan de contingencia, “plan B”, que permita disponer de varias estrategias para no afectar el proceso constructivo.
- Es indispensable el uso de grúas para realizar los trabajos en estas obras.
- Los trabajos dentro de los nichos de las compuertas son los más peligrosos por las condiciones y características que presenta cada uno.
- Se requiere de equipo de protección personal adecuado para cada trabajador, principalmente el requerido para trabajos en altura, además de medidas de seguridad en general.
- La altura de las coladas de concreto se condiciona, en ocasiones, a las dimensiones de los elementos metalmecánicos que quedan embebidos en la colada.
- Se requiere que en el equipo de trabajo existan personas con experiencia en estas obras, al menos un encargado y fundamentalmente un topógrafo.
- Uno de los factores que influye más en el cambio de decisiones en el transcurso del proceso constructivo es el tiempo de entrega de la obra.

- La entrega de equipos y materiales provenientes de talleres externos a la obra es uno de factores más importantes a considerar en la planificación de la obra.
- El papel de los departamentos de apoyo como control de calidad, topografía, proveeduría son fundamentales para garantizar la buena ejecución de la obra.
- La linealidad en la colocación de las guías de 2° etapa es fundamental para bajar la compuerta sin que ella tienda a deformarse.
- Una curva S bien desarrollada es una herramienta muy importante para los ejecutores de la obra, con el fin de darle un seguimiento adecuado a la obra.

## Recomendaciones

- Dibujar planos “As built” para tener documentado cómo se construyó finalmente la obra, además es fundamental para el registro de la documentación.
- Integrar adecuadamente el personal de montaje metalmecánico y el de obra civil.
- Revisar previamente los planos metalmecánicos y de obra civil con el fin de encontrar, a tiempo, las incongruencias que existen en uno respecto del otro. Disponer de personal altamente experimentado para trabajos de este nivel.
- Comunicar al personal lo que se está haciendo y explicarle la función que tiene la obra que se está construyendo, esto motiva a los trabajadores y, por ende, aumenta la productividad.
- Mantener una actitud abierta a cambios diarios en el proceso constructivo, según lo demande la obra.
- Realizar capacitaciones y reuniones de trabajo con el personal para discutir sobre los procedimientos de trabajo.

- Ser conservadores con las fechas para los tiempos de entrega de los elementos fabricados en taller.
- Integrar diariamente al personal de control de calidad.
- Verificar que todos los departamentos involucrados tengan la misma información y detalles de planos.
- Utilizar estructuras provisionales para ubicar y soportar las estructuras metálicas mientras se realizan las coladas de concreto.
- Acatar las recomendaciones técnicas en cuanto a la consistencia del concreto en las coladas, alrededor de los elementos metalmecánicos para evitar deformaciones en estos elementos.
- Verificar que los talleres de fabricación cuentan con los equipos y recursos adecuados para fabricar los elementos requeridos.
- Hacer análisis de requerimientos de grúas de manera previa, analizando el tipo de carga, sus dimensiones, y las características particulares de cada grúa.
- Cuando se analice el tipo de grúa a utilizar es recomendable buscar todas las existencias en el mercado nacional.
- A la hora de seleccionar el tipo de grúa también analizar su geometría y dimensiones tanto para la logística de transporte por las vías públicas como para el aérea donde se debe banquear.
- Realizar reuniones de coordinación semanalmente con todos los departamentos involucrados.
- El departamento de topografía debe tener a mano toda la información actualizada para evitar errores en la marcación los puntos que son la guía para la construcción y el montaje de los elementos que conforman la obra.
- Buscar diferentes puntos estratégicos para ubicar los equipos de topografía para garantizar que siempre exista la adecuada visibilidad hacia la obra independientemente del avance que se tenga.
- Tratar de mantener siempre un mismo topógrafo y evitar la rotación de los mismos entre diferentes obras.
- Utilizar formaletas metálicas en las coladas de concretos de 2° etapa, para obtener mejores rendimientos y evitar “panzas” en el acabado del concreto que provoquen que la compuerta se atasque.

# Apéndices

- Apéndice 1. Descripción de elementos metalmecánicos.
- Apéndice 2. Detalle de la altura colada alrededor de la embocadura.
- Apéndice 3. Descripción de elementos de la compuerta vagón.



# Anexos

- Anexo 1. Vista frontal torre de compuertas. Fuente ICE
- Anexo 2. Secciones transversales torre de compuertas. Fuente ICE
- Anexo 3. Vista en planta nichos de compuertas. Fuente ICE
- Anexo 4. Vista en planta nicho de compuerta y blindaje toma de agua. Fuente ICE.
- Anexo 5. Secciones transversales inicio placas 1° etapa ducto descarga de fondo. Fuente Astaldi.
- Astaldi.
- Anexo 6. Detalle concreto 2° etapa nicho compuerta toma de agua. Fuente Astaldi.
- Anexo 7. Detalle embocadura toma de agua. Fuente ICE.
- Anexo 8. Detalle concreto 2° etapa y guías de compuerta. Fuente Astaldi.

# Referencias

Astaldi SpA, división mecánica. 2008. MANUAL DE MONTAJE E INSTALACIÓN COMPUERTA VAGÓN DESCARGA DE FONDO. Manual de montaje.

Astaldi SpA, división mecánica. 2008. MANUAL DE MONTAJE E INSTALACIÓN COMPUERTA VAGÓN TOMA DE AGUA. Manual de montaje.

Instituto Costarricense de Electricidad. (1994). Cartel de licitación del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. San José, Costa Rica.

Morales Jose Fabio. Instituto Costarricense de Electricidad (2010). Informe de Visita a Fábrica: Instalaciones de la Planta IIA, Italian Industrial Agency -AstaldiCholoma, San Pedro Sula, Honduras.