



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

**IMPACTO DE LA UTILIZACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS
Y MATERIALES EN LOS PLAZOS Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

JOSÉ PEDRO ARTURO FORNO MARTINIC

**PROFESOR GUIA:
WILLIAM WRAGG LARCO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
DAVID CAMPUSANO BROWN
ARMANDO QUEZADA ORTUZAR**

SANTIAGO DE CHILE

SEPTIEMBRE 2010

**RESUMEN DE MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: JOSÉ PEDRO FORNO MARTINIC
PROF. GUÍA: WILLIAM WRAGG
FECHA: 27 DE SEPTIEMBRE DE 2010**

**IMPACTO DE LA UTILIZACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS
Y MATERIALES EN LOS PLAZOS Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN**

El presente trabajo analiza el impacto en los plazos y costos que genera la aplicación de nuevas tecnologías y materiales utilizados en las obras de construcción en el país.

Para explorar una metodología de análisis, se estudiarán innovaciones en distintos ámbitos de la construcción. Con el objetivo de lograr resultados cuantitativos y como a modo de ejemplo, se estudiarán específicamente dos tecnologías y tres materiales.

Las tecnologías que se estudiarán y analizarán serán las siguientes:

- a) Trenchless, que permite la instalación y/o reemplazo de tuberías sin la necesidad de zanjas.
- b) Conectores metálicos para barras de refuerzo, que evitan los largos de empalme descongestionando las secciones con alta cuantía de acero.

Respecto a los materiales a estudiar y a analizar, éstos serán los siguientes:

- a) Tuberías de polietileno reticulado (PEX) y tuberías de polipropileno copolímero random (PPR), que reemplazan las tuberías de cobre tradicionales en las redes de distribución de agua potable domiciliaria.
- b) Hormigones autocompactantes que eliminan el proceso de vibrado durante el hormigonado.

Las tecnologías y materiales descritos y analizados en el presente trabajo, fueron elegidos por sus atractivas características técnicas y por la potencial capacidad de generar cambios significativos en los plazos y costos en los proyectos que son implementados.

Con el análisis de estas nuevas tecnologías y materiales que benefician en términos de costos y plazos las actuales prácticas constructivas utilizadas en el país, se pretende aportar al mejoramiento continuo, indispensable en cualquier sistema de calidad.

*Dedico este trabajo a la memoria de mi abuela,
Marta Ramirez de Forno
(Q.E.P.D)*

I. Índice

I. Índice	iv
II. Lista de Figuras	v
III. Lista de Tablas	viii
1. Introducción/Motivación	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivos Generales.....	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. Metodología.....	4
4. Tecnologías Sin Zanja o “trenchless”	5
4.1. Tipos de tecnologías Trenchless.....	6
4.2. Factores de utilización.....	15
4.3. Costos de utilización	16
4.4. Utilización en una obra real.....	22
6. Conectores metálicos para unión de la armadura en el hormigón armado.....	30
6.1. Tipos de Conectores Metálicos (Erico).....	30
6.2. Factores de Utilización.....	36
6.3. Costos de utilización.	39
6.4. Utilización en una obra real.....	41
7. Sistemas de transporte y distribución de agua potable domiciliaria.....	48
7.1. Las Tecnologías.....	49
7.2. Factores de utilización.....	50
7.3. Costos de Utilización.....	52
7.4. Utilización en una obra real.....	55
8. El hormigón autocompactante (HAC).	60
8.1. Tecnología del Hormigón Autocompactante.	60
8.2. Costos de Utilización.....	74
8.3. Utilización en una obra real.....	77
9. Estado actual de las tecnologías	82
10. Inversión e Implementación de nuevas tecnologías.	84
11. Comentarios y Conclusiones	86

12. Bibliografía y Referencias	89
A. Anexo: Uso de tecnologías Trenchless	91
a. Memoria de cálculo aumento capacidad de tuberías.	98
B. Anexo: Uso de conectores metálicos.....	99
b. Memoria Térmica.....	104
C. Anexo: Implementación de Tuberías de PEX y PPR	105
D. Anexo: Hormigones Autocompactantes.....	110

II. Lista de Figuras

Figura 4-1: Diagrama de utilización del sistema de desplazamiento de suelo con martillo no-direccional (izquierda), Diagrama del martillo neumático (derecha).	7
Figura 4-2: Diagrama del sistema de hincado de tuberías de acero (arriba e izquierda), Instalación horizontal de cañerías de acero mediante fuerza percutora (arriba), Limpieza de la tubería mediante embolo y aire comprimido (izquierda). ...	8
Figura 4-3: Diagrama de instalación de tuberías, utilizando el martinete horizontal direccional.	9
Figura 4-4: Fotografía del taladro direccional (izquierda), fotografía de un taladro direccional en posición (derecha).....	10
Figura 4-5: Diagrama de utilización del cracking dinámico para el reemplazo de cañerías.....	11
Figura 4-6: Diagrama de utilización del cracking dinámico.	12
Figura 4-7: Corte transversal del funcionamiento de la máquina.	13
Figura 4-8: Ejemplo de utilización del método “tight in pipe”	13
Figura 4-9: Diagrama ejemplo del método cortador de tuberías.	14
Figura 4-10: Foto del dispositivo reemplaza cables.	15
Figura 4-11: Efecto del ritmo del ritmo de excavación frente al costo promedio por metro excavado.....	20
Figura 4-12: Tramo intervenido	22
Figura 4-13: Rotura pavimento existente y termo-fusionado HDPE.	24
Figura 4-14: Instalación tubería hidráulica y conexión martinete dinámico.	24
Figura 4-15: Winche en el pique de salida (izquierda), extremo del winche en el pique de entrada (derecha).	25
Figura 4-16: Apernado del winche con la cabeza cortadora (izquierda), posicionamiento de la tubería (derecha).	25
Figura 4-17: Diagrama en planta de conexiones domiciliarias.	26
Figura 4-18: Insertado de la tubería con ayuda de retroexcavadora (izquierda), tubería en instalación (centro), tubería con línea hidráulica para martinete (derecha).....	27

Figura 4-19: Programa de obras según zanja abierta.	28
Figura 4-20: Programa de obras según sistema cracking.	28
Figura 6-1: Conectores metálicos mediante pernos, tipo maciso (izquierda), tipo banda (centro) y mediante perno (derecha).	31
Figura 6-2: Conector con cuña de bloqueo.	31
Figura 6-3: Conector relleno metálico.	32
Figura 6-4: Conector roscado con hilo cónico.	32
Figura 6-5: Conector con relleno metálico.	33
Figura 6-6: Conector de traslapeo con cuña (izquierda), máquina y cuñas (derecha).	33
Figura 6-7: Conector con tornillos bloqueantes (izquierda), con tornillo bloqueante cortado (derecha).	34
Figura 6-8: Conector con rosca cónica y mortero, imagen del conector (centro), corte longitudinal (derecha), ejemplo de puesta en obra (izquierda).	34
Figura 6-9: Conector espigado (izquierda), instalado en obra, dentro del moldaje (derecha).	35
Figura 6-10: Conector terminal (izquierda), diagrama de utilización conector terminal (derecha).	35
Figura 6-11: Ejemplo utilización de conector con rosca cónica.	36
Figura 6-12: Ejemplo de utilización de conectores espigados.	38
Figura 6-13: Tapones especiales para proteger los hilos machos y hembra.	40
Figura 6-14: Diagrama secuencia constructiva (vista lateral).	42
Figura 6-15: Secuencia constructiva propuesta con la utilización de conectores espigados (cortes transversales).	43
Figura 6-16: Programa utilizando los conectores metálicos.	45
Figura 6-17: Programa original, sin la utilización de los conectores metálicos.	46
Figura 7-1: Diagrama de una casa con la distribución de agua potable en PEX.	53
Figura 7-2: (de izquierda a derecha) Conector tubo PEX (al centro el anillo de apriete); caja de distribución, un colector para agua caliente y otro para fría; tijeras y llave; conector HI para artefacto (PEX S.R.L).	54
Figura 7-3: Distribución del sistema PEX para agua fría y caliente (izquierda y derecha).	56
Figura 7-4: Distribución del sistema PPR para agua fría y caliente (izquierda y derecha).	56
Figura 7-5: Distribución del sistema cobre para agua fría y caliente (izquierda y derecha).	56
8-1: Cono de Abrams invertido.	63
8-2: Ensayo de anillo.	63
8-3: Ensayo Caja L.	63
8-4: Columna de segregación.	64
Figura 8-5: Corte transversal de estructura de hormigón armado para turbina.	78

Figura 8-6: Programa de fabricación de la losa utilizando HAC.	79
8-7: Programa de fabricación de la losa utilizando hormigón convencional	79
Figura 10-1: Resultados encuesta CDT ¿Por qué no innovamos? (CDT).....	85
Figura A-1: Participación de Presupuesto Método Cracking Dinámico.	91
Figura A-2: Participación de Presupuesto Zanja Abierta.	91
Figura A-3: Cotización de arriendo Cracking Dinámico.	94
Figura A-4: Programa renovación 250 metros de tuberías, método zanja abierta. 95	
Figura A-5: Programa renovación 250 metros de tuberías método cracking dinámico.	96
Figura A-6: Esquema de utilización cracking dinámico.	96
Figura B-1: Participaciones de presupuestos implementando los conectores metálicos en la estructura.....	99
Figura B-2: Participaciones de presupuestos implementando la metodología tradicional en la estructura.	99
Figura C-1: Participación del Presupuesto de materiales en sistemas PEX.	105
Figura C-2: Participación del Presupuesto de materiales en sistemas PPR.	105
Figura C-3: Participación del Presupuesto de materiales en sistemas de cobre. 106	
Figura D-1: Participación de presupuesto utilizando hormigón autocompactante	110
Figura D-2: Participación del presupuesto utilizando hormigón normal.....	110
Figura D-3: Evaluación estadística de resistencia de muestras H35 a los 7 días.	111
Figura D-4: Evaluación estadística de resistencia de muestras H35 (autocompactante).	112

III. Lista de Tablas

Tabla 4-1: Comparación costos de pre-construcción, método tradicional v/s “trenchless”(NAJAFI & OK KIM, 2004).	17
Tabla 4-2: Comparación costos de construcción, método tradicional v/s “trenchless”(NAJAFI & OK KIM, 2004).	18
Tabla 4-3: Comparación cualitativa de los costos indirectos de construcción(NAJAFI & OK KIM, 2004).	19
Tabla 4-4: Comparación cualitativa de los costos sociales involucrados en obras de renovación de tuberías(NAJAFI & OK KIM, 2004).	21
Tabla 4-5: Matriz de comparación de costos y plazos.	29
Tabla 6-1: Matriz de comparación entre la utilización de conectores y método tradicional con traslapo	47
Tabla 7-1: Matriz de Comparación utilización distintos métodos de transporte y distribución de agua potable domiciliaria.	58
8-1: Variables que afectan la capacidad de llenado.	64
8-2: Variables que afectan la capacidad de paso.	64
8-3: Variables que afectan la estabilidad de la muestra	65
Tabla 8-4: Matriz de comparación entre la utilización de HAC y hormigón común.	80
Tabla 10-1: Obstáculos para la adopción de nuevas tecnologías en la construcción(Solminihac, 1994)	84
Tabla A-1: Análisis de costos, renovación 250 metros de tuberías método a zanja abierta.	92
Tabla A-2: Análisis de costos, renovación 250 metros de tuberías método cracking dinámico.	93
Tabla A-3: Costos del equipo de cracking dinámico.	97
Tabla B-1: Mano de obra para la instalación de los equipos de apoyo necesarios para la construcción de las columnas (metodología convencional).	100
Tabla B-2: Mano de obra para la instalación de los equipos de apoyo necesarios para la construcción de las losas (metodología convencional).	100
Tabla B-3: Mano de obra para la instalación de los equipos de apoyo necesarios para la construcción de las columnas (implementando nuevas tecnologías).	100
Tabla B-4: Mano de obra para la instalación de los equipos de apoyo necesarios para la construcción de las losas (implementando nuevas tecnologías).	101
Tabla B-5: Comparación precio unitario utilización de ganchos de 90° y 180°	101
Tabla B-6: Comparación precio unitario, Largos de Empalme según ACI318 para aceros A44-28H con recubrimiento menor a 300 mm	101
Tabla B-7: Comparación precio unitario, Largos de Empalme según ACI318 para aceros A44-28H con recubrimiento mayor a 300 mm	102

Tabla B-8: Comparación precio unitario, Largos de Empalme según ACI318 para aceros A63-42H con recubrimiento menor a 300 mm	102
Tabla B-9: Comparación precio unitario, Largos de Empalme según ACI318 para aceros A63-42H con recubrimiento mayor a 300 mm	103
Tabla B-10: Análisis de Costos, Implementación de conectores metálicos en Central termoeléctrica Campiche	103
Tabla B-11: Análisis de Costos, no implementación de conectores metálicos en Central termoeléctrica Campiche	104
Tabla C-1: Costos de red agua fría PEX Hidrocableado	106
Tabla C-2: Costos de red agua caliente PEX Hidrocableado	107
Tabla C-3: Máquinas y herramientas necesarias para la instalación de la red de PEX	107
Tabla C-4: Costos de red agua fría PPR	108
Tabla C-5: Costos de red agua caliente PPR	108
Tabla C-6: Máquinas y herramientas para la instalación de la red de PPR	108
Tabla C-7: Costos de red agua fría Cobre	109
Tabla C-8: Costos de red agua caliente Cobre	109
Tabla C-9: Máquinas y herramientas necesarias para instalar red de agua potable de Cobre	109
D-1:	110
D-2: Proporciones que han entregado resultados satisfactorios de HAC	111
Tabla D-3: Análisis de Costos, utilizando hormigón normal H35	113
Tabla D-4: Análisis de Costos, utilizando hormigón autocompactante	114

1. Introducción/Motivación

El continuo desarrollo de nueva infraestructura, una creciente conciencia social y la economía mundial han forzado el desarrollo de tecnologías más eficientes y rentables para la construcción, mantenimiento, reparación y renovación de obras civiles en el mundo.

Este desarrollo se ha llevado a cabo en todos los ámbitos, tanto en materiales, equipamiento y software computacionales de administración. Es por esto que el presente trabajo de título presenta algunas de las nuevas tecnologías disponibles que, presumiblemente, generarán un gran impacto en los rendimientos, capacidades productivas, reducciones de espacios y costos de las obras.

Entre los materiales que se estudian se encuentran las tuberías de polietileno reticulado o PEX. Su principal ventaja en términos constructivos, es su gran flexibilidad, lo que evita en gran parte la utilización de conexiones y codos, aumentando los rendimientos de los gasfiteros, personal necesario para las instalaciones de tuberías. Además se analiza un segundo tipo de cañerías, las cañerías de polipropileno o PPR. Estas cañerías tienen el mismo tipo de distribución que las cañerías de cobre. El gran cambio se presenta en las uniones, ya que se unen por el proceso denominado termo-fusionado haciendo mucho más fácil y rápida la instalación. Estas tuberías presentan grandes propiedades físicas y mecánicas que la hacen un sustituto idóneo para las ampliamente reconocidas y utilizadas cañerías de cobre.

Por otro lado se pretende introducir tecnologías “trenchless” o sin zanja en español, equipos que permiten realizar obras de cableado y piping sin la necesidad de excavar grandes zanjas, reduciendo el tiempo de instalación, las obras de reconstrucción y la utilización de espacios.

Con el aumento significativo de secciones de hormigón saturadas de acero, una alternativa de empalme que ahorrará gran cantidad de material, son los conectores mecánicos para armaduras, que proporcionan un traspaso completo de carga en el menor largo y espesor.

Por último se estudiará la utilización de hormigones autocompactantes (HAC), que permite una muy buena colocación de la mezcla, suprimiendo la obligatoria fase de vibrado. Ésta propiedad otorga una facilidad de operación para faenas pesadas, mejores terminaciones en superficies, menor contaminación acústica, mayor rapidez de hormigonado, ahorro de personal y equipos y una óptima calidad de los elementos terminados.

Las tecnologías antes descritas fueron elegidas, en primer lugar por ser muy atractivas tanto de un punto de vista técnico como económico, además con ellas se estudian los efectos producidos en obras industriales, domiciliarias y públicas.

2. Objetivos

2.1. Objetivos Generales

Analizar el impacto de nuevas tecnologías y nuevos materiales en los plazos y costos de construcción.

2.2. Objetivos Específicos

Recopilar todos los antecedentes respecto a la aplicación en el país y en el extranjero de las nuevas tecnologías, correspondientes a la instalación de tuberías sin excavaciones (trenchless) y de la unión de barras de refuerzo en elementos de hormigón a través de conectores mecánicos como reemplazo a los empalmes tradicionales.

En forma similar se estudiarán todos los antecedentes respecto a la utilización de nuevos materiales como las tuberías de polietileno reticulado (PEX) en reemplazo de las tuberías de cobre para la distribución de agua potable y del hormigón autocompactante que elimina el vibrado en obra y permite una mayor seguridad de obtener un buen hormigonado en zonas de alta densidad de armaduras y/o en zonas de difícil geometría.

3. Metodología

- Recopilar toda la información relativa a las nuevas tecnologías (trenchless y PEX).
- Recopilar toda la información relativa a los nuevos materiales (conectores mecánicos y hormigón autocompactante)
- Recopilar información acerca de la aplicación de estas tecnologías y materiales en otros países.
- Recopilar información acerca de la aplicación de estas tecnologías y materiales en el país.
- Recopilar información sobre los grados de penetración que presentan en el país.
- Recopilar la información sobre los grados de penetración en otros países.
- Análisis comparativos de la aplicación de estas tecnologías y materiales con respecto a las formas tradicionales.
- Realizar una encuesta a profesionales de la construcción con respecto a la implementación de estas nuevas tecnologías y materiales.
- Propositiones y conclusiones

4. Tecnologías Sin Zanja o “trenchless”.

El sistema trenchless, permite la instalación y el reemplazo de redes de cañerías subterráneas sin la necesidad de crear una zanja completa en la superficie. El gran avance que ofrece la utilización de ésta tecnología es, la minimización de la interferencia en superficie, al llevar a cabo nuevas instalaciones o la reparación de las ya existentes.

Esta tecnología se ha utilizado en EEUU desde 1950, y se utilizó principalmente para la instalación de tuberías por debajo de autopistas o líneas férreas.

Ésta tecnología en especial, repercute tanto en los costos sociales, como en los costos mismos de la obra. Dentro de los beneficios más directos que ofrece, se encuentra una económica instalación de tuberías, un menor impacto a los usuarios directos y al público general de la zona afectada, asimismo causa mínima interrupción en la operación de los servicios en la superficie. Además disminuyen dramáticamente los costos de restauración de las zonas cercanas afectadas y una invasión mínima a la propiedad privada que rodea el área de trabajo.

Hace algunos años atrás, la utilización de este tipo de avances eran limitados y muchas veces considerados demasiado caros para efectivamente reemplazar las prácticas comunes. Pero la creciente congestión de servicios, la alta urbanización de las ciudades, una demanda en ascenso de sistemas que minimicen el impacto en su entorno, el desarrollo tecnológico y la competencia de mercado ha hecho que este tipo de soluciones, sea cada vez más atractiva para las empresas constructoras.

4.1. Tipos de tecnologías Trenchless¹

Existen distintos tipos metodologías y equipos para llevar a cabo este tipo de trabajos. Estos se dividen principalmente en dos grupos, los métodos disponibles para la instalación de nuevas cañerías, y los métodos para la renovación de sistemas antiguos. A continuación se presenta un listado de los distintos métodos que existen en el mercado.

4.1.1. Instalación de nuevas Cañerías.

Para la instalación de nuevas cañerías existe una gran variedad de métodos. La elección de los distintos métodos dependerá principalmente de las condiciones del entorno en donde se requiera instalar la nueva cañería.

4.1.1.1. *Técnica con desplazamiento de suelo con martillo no-direccional.*

Este método es utilizado principalmente en suelos altamente deformables y con ausencia de clastos. Un martillo neumático, desplaza radialmente el suelo comprimiéndolo a su alrededor, creando una cavidad en el suelo para poder introducir tuberías cortas o largas, plásticas o metálicas de hasta 200 [mm] de diámetro. Dependiendo del tipo de suelo, este método tiene rendimientos de hasta 15 [m/hr] y permite la instalación de cables de hasta 40 [m] de largo en un solo paso. La propulsión del martillo es proporcionada por un pistón de aire comprimido, proporcionado por un compresor de aire típico.

¹ La información correspondiente a esta sección fue obtenida principalmente de: (TT Technologies), (Tracto-Technik GmbH & Co.)

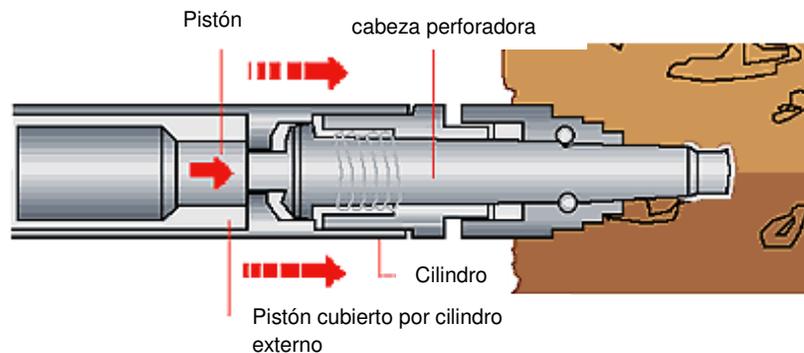
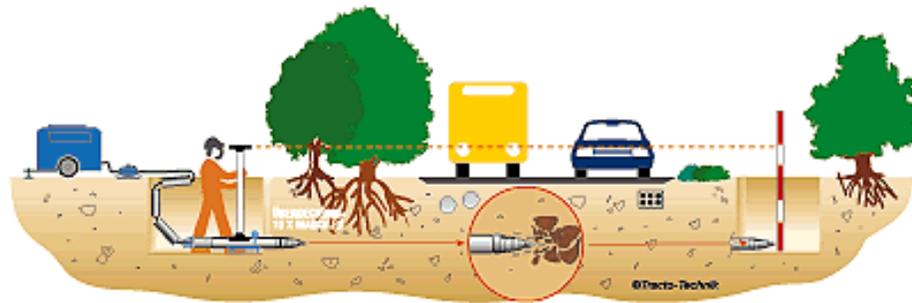


Figura 4-1: Diagrama de utilización del sistema de desplazamiento de suelo con martillo no-direccional (izquierda), Diagrama del martillo neumático (derecha).

Este sistema necesita un pique de entrada, además de un pique de salida. Al ser este equipo no direccional, el sentido de la excavación es determinada solo desde el inicio. El martillo normalmente está montado en un anillo ajustable, que con la ayuda de una mira telescópica (topográfica) se corrige la dirección de la excavación. Esto se hace típicamente alineando el equipo con el lugar y la profundidad de salida a la que debe emerger en el pique de salida. Este equipo suele no funcionar en suelos gravosos, ya que por lo general desvían la dirección de la perforación.

Existen básicamente dos sub-métodos para este tipo de equipos. El primero es más simple, ya que un pistón golpea la cabeza del dispositivo desplazando conjuntamente el martillo, la cabeza, el cuerpo y la tubería anexada a este último. El segundo El martillo golpea en primera instancia a la cabeza penetrante del dispositivo, avanzando en el proceso de penetrado, y luego golpea el cuerpo del dispositivo arrastrando consigo el cuerpo y la tubería unida a este. En definitiva este segundo método hace avanzar el equipo completo en dos pasos por vez.

4.1.1.2. Hincado de tubería de acero.

Principalmente es utilizado para los tramos en que los sistemas normales no logran perforar el suelo existente. El procedimiento es muy parecido al sistema utilizado para la hinca de pilotes de acero, ya que utiliza un percutor para la instalación de las tuberías. La tubería es martillada hacia el suelo mediante una fuerza percutora, proporcionada por martillos hidráulicos. Luego de instaladas las tuberías, estas son limpiadas por medio de un tornillo sin fin que arrastra el suelo hacia uno de los extremos mediante un movimiento circular. Una segunda opción es empujar un embolo con aire comprimido a través de esta, el émbolo sirve como tope y mientras se desplaza hacia uno de los extremos empuja el suelo que queda dentro de la tubería luego del trabajo de instalación.

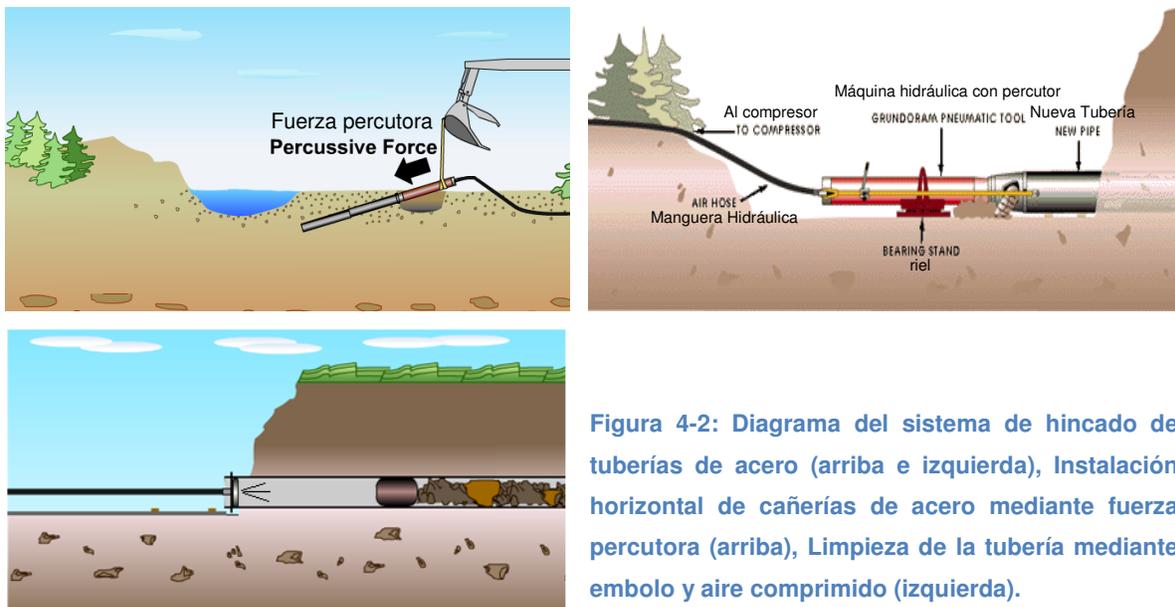


Figura 4-2: Diagrama del sistema de hincado de tuberías de acero (arriba e izquierda), Instalación horizontal de cañerías de acero mediante fuerza percutora (arriba), Limpieza de la tubería mediante embolo y aire comprimido (izquierda).

4.1.1.3. Perforado con martinete horizontal-direccional

Permite la instalación de líneas de hasta 500 [m] de largo, bajo ríos hasta por debajo de complejos industriales. Sus aplicaciones incluyen instalaciones de líneas de GNL, redes de agua potable, líneas de alcantarillado, tuberías de alta presión, cables de protección para cableado eléctrico y fibra óptica.

Este sistema mezcla la fuerza percutora del martinete más el torque de un taladro direccional. Además permite la perforación en suelos de moderada resistencia gracias a la utilización de un lubricante a base de una solución de bentonita.

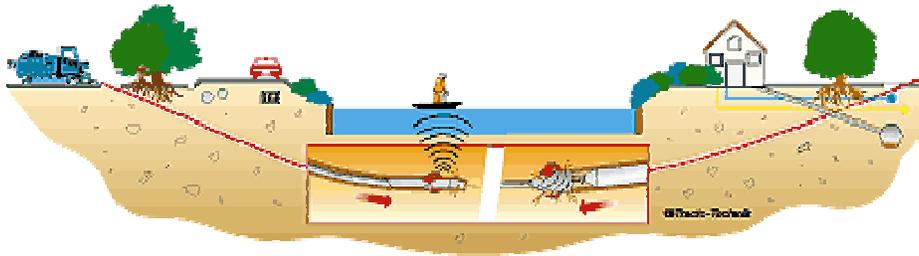


Figura 4-3: Diagrama de instalación de tuberías, utilizando el martinete horizontal direccional.

La solución de bentonita cumple la misma función que en las máquinas de sondaje de suelos. Es enviada a la cabeza de perforación, mediante la utilización de sistemas hidráulicos, la solución de bentonita se mezcla con el suelo adyacente a la cabeza permitiendo una mejora en la capacidad de perforado de la máquina.

Este sistema cuenta con tres partes principales:

- Anillo de perforación (herramientas de perforación)
- Sistema de mezclado de solución de bentonita.
- Unidad hidráulica para el transporte de mezcla de la bentonita.

Las etapas del trabajo consisten en:

- Planificación.
- Seleccionado de las herramientas.
- Instalación de equipos.
- Perforado
- Tirado de tubería por medio de winches.

La principal ventaja de este método es básicamente la posibilidad de direccionar y maniobrar la dirección de perforación de la máquina. Dando la posibilidad de perforar de manera más controlada y precisa.

4.1.1.4. Perforado mediante taladro direccional.

Este método es utilizado para la instalación de tuberías subterráneas, especialmente diseñado para lugares de acceso restringido, ya que el estabilizador y la propulsión son dos máquinas distintas que pueden instalarse en piques de reducido tamaño. Este método a diferencia de los anteriores, no utiliza el impacto como generador de la perforación, sino que desplaza el suelo hacia el pique de entrada gracias al movimiento circular y a la utilización de brocas. Para poder utilizar este equipo, solo se debe tener la posibilidad de crear un pique de entrada y uno de salida.



Figura 4-4: Fotografía del taladro direccional (izquierda), fotografía de un taladro direccional en posición (derecha).

Las ventajas que presenta este método son las siguientes:

- a) Piques de reducido tamaño.
- b) Fácil montaje y desarmado de las componentes del sistema.
- c) Instalación de tuberías con una alta precisión.
- d) Permite la perforación en casi cualquier tipo de suelo, ya que el accesorio perforador puede ser cambiado.

4.1.2. Reemplazo de cañerías.

Los métodos que se presentan a continuación utilizan la tubería o línea de servicio antigua como guía. Como lo señala su nombre, estos métodos reemplazan cañerías y líneas de tuberías en mal estado por tuberías nuevas. Principalmente el reemplazo se hace por tuberías de HDPE.

4.1.2.1. Cracking Dinámico

El cracking dinámico sigue el mismo principio que la técnica de desplazamiento de suelo, utilizando un martinete no-direccional. En este caso lo que se desplaza hacia los lados no es suelo sino que los tozos de la cañería antigua. Este sistema consiste de:

- Cabeza penetrante expansora o cabeza penetrante, cuerpo y expansor
- Martinete
- Winche
- Compresor de aire

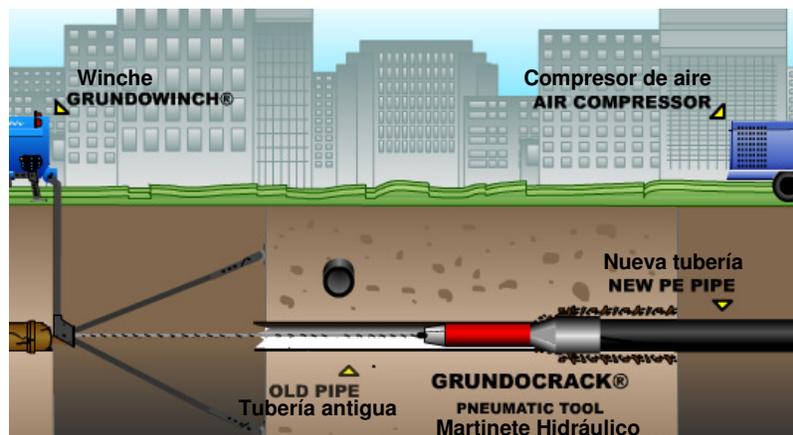


Figura 4-5: Diagrama de utilización del cracking dinámico para el reemplazo de cañerías.

El funcionamiento del equipo es bastante simple. El winche, por medio de un cable de acero, tira y direcciona el equipo dentro de la tubería antigua. El compresor surte de fluido hidráulico al martinete para generar los golpes, en este caso aire. El efecto percutor del golpe martinete en conjunto con la fuerza de tiro

del winche, rompen la tubería antigua. Por su parte, el expansor instala la nueva tubería de HDPE y traslada los trozos de la tubería antigua en dirección radial enterrándola en el suelo adyacente. Por lo general este método logra instalar tuberías HDPE de hasta 250mm, normalmente a un ritmo de 1 metro por minuto. Normalmente el expansor es de un diámetro mayor que la tubería de HDPE para permitir una fácil penetración en la tubería antigua, además de asegurar una correcta conexión entre el percutor y la tubería de HDPE (ver figura 5-16).

El cracking dinámico es utilizado principalmente para instalar tuberías de mayor diámetro que la línea antigua, aumentando las capacidades de servicio de la red.

4.1.2.2. *Cracking Estático*

Este método, tal como el anterior, rompe la tubería a reemplazar y donde estaba ésta instala la nueva. La diferencia principalmente radica en que la tubería antigua es cortada por medio de un patín cortador denominado “rolling blade cutting rod”. Con este método se pueden reemplazar sin problemas redes de agua potable, alcantarillado y gas.

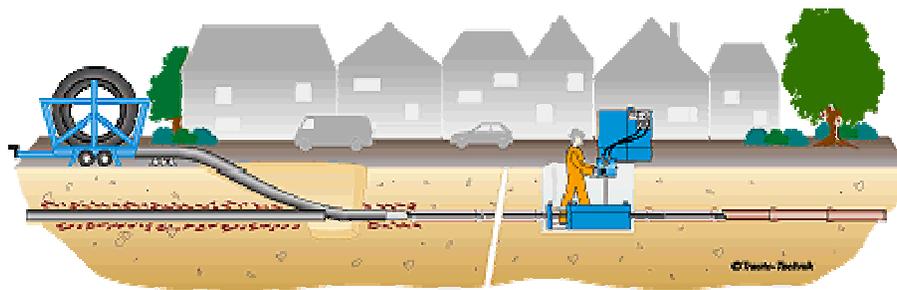


Figura 4-6: Diagrama de utilización del cracking dinámico.

El resto del procedimiento es muy similar al dinámico, ya que el equipo es también tirado desde el pique de salida, pero al prescindir del martillo neumático, la instalación es más simple al no necesitar mangueras hidráulicas. Este método, dependiendo del equipo a utilizar, puede instalar tuberías desde los 50 mm hasta los 1000 [mm]. Éste método se utiliza principalmente para el reemplazo de tuberías de acero.

4.1.2.3. Método “Tight-in-pipe”

Este método, aprovecha la tubería antigua, ya que la tubería nueva queda como huésped dentro de la tubería antigua. En este caso el diámetro interior de la nueva red será menor que el antiguo, evitando el rompimiento de la red antigua.

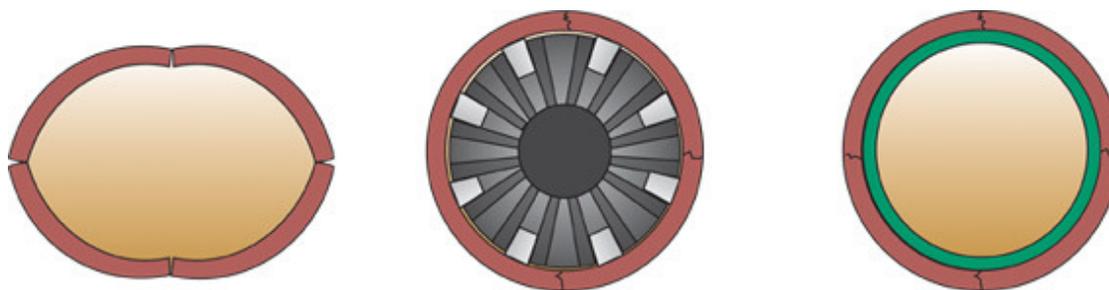


Figura 4-7: Corte transversal del funcionamiento de la máquina.

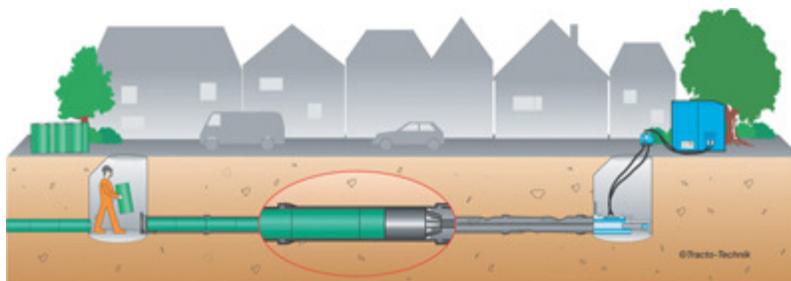


Figura 4-8: Ejemplo de utilización del método “tight in pipe”

Como se puede ver en la figura 5-7, la máquina restablece la forma original de la tubería, y al mismo tiempo va insertando la nueva. La tubería nueva debe ser lo suficientemente pequeña, un poco más pequeña que el diámetro que la tubería anfitriona para que el insertado sea fluido, pero lo suficientemente grande para que no haya necesidad de llenar los espacios vacíos entre ambas.

4.1.2.4. Método cortado de tubería

Este método fue inventado en Alemania, por la “Berlin Water Utility”, en la necesidad de cambiar por método sin-zanja las cañerías de plomo utilizadas anteriormente en la ciudad, por cañerías de HDPE. Sin embargo el reemplazo de éste tipo cañerías es complicado debido a la inestabilidad estructural de éstas.

Este procedimiento es aplicable para conexiones domiciliarias, para tramos de entre 15 a 20 metros, para tuberías de 20 a 50mm de diámetro. Además los tamaños de los piques pueden ser bastante pequeños ya que la máquina es bastante compacta. Se debe tener en cuenta que el winche tenga la fuerza suficiente para tirar del expansor, además de garantizar un tirado continuo de este.

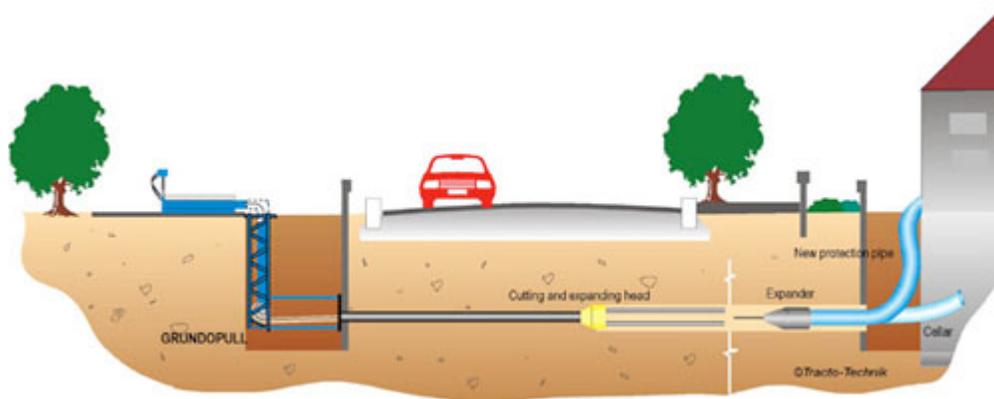


Figura 4-9: Diagrama ejemplo del método cortador de tuberías.

La cabeza expansora es muy parecida a la cabeza utilizada para el cracking dinámico. La diferencia consiste en dos cuchillos puestos de manera opuesta, que cortan la tubería anterior en 2 pedazos, para luego ser empujadas hacia afuera enterrándolas el suelo.

4.1.2.5. Reemplazo de Cables

Cuando las líneas de cables eléctricos llevan mucho tiempo enterrados, por lo general se encuentran atrapados en su sitio por elementos externos, ya sea raíces u otros elementos, o por una compresión excesiva por el suelo. Para estos casos la tecnología "trenchless" ha desarrollado un dispositivo especial.

Uno de los extremos del antiguo cable es introducido dentro de la herramienta, para hacer las veces de guía de camino de la máquina. Esta máquina posee un taladro en su extremo, con el que excava un pequeño anillo alrededor del cable antiguo, y a su vez deja una pequeña película de bentonita en la pared del túnel. Con esto el cable queda libre de ataduras. Una vez llegado hasta el otro extremo, el cable puede ser tirado y retirado fácilmente por cualquier

tipo de herramienta de tiro. Luego, la nueva línea de cables es amarrada a la máquina que hace el mismo camino de manera inversa, posicionando en su lugar la nueva línea de cable.



Figura 4-10: Foto del dispositivo reemplaza cables.

Este sistema, puede reemplazar tramos de entre 100 y 150 metros lineales de cable de 10kV a 20kV, líneas de fibra óptica y cables de hasta 40 mm de diámetro.

4.2. Factores de utilización.

Históricamente la utilización de esta nueva tecnología ha estado limitada a tres casos, los costos de reconstrucción son muy altos, las autoridades municipales no autorizan la utilización de zanjas y por último el derecho de paso es inaccesible debido a estructuras existentes o hay obstrucciones insalvables en la línea del corte de terreno. El primer ítem es claramente una decisión económica, mientras que el segundo y el tercero son una combinación de economía, regulaciones y barreras institucionales.

Mientras las zonas urbanas y sub-urbanas se vuelven más y más congestionadas, los derechos de paso están ocupados por muchos de los servicios disponibles, los costos de las excavaciones van aumentando. Sin embargo, cuando los costos de reconstrucción y de reposición sean bajos, seguirá siendo más económico la utilización de zanjas abiertas.

La situación con mayor potencial para la utilización de estos métodos, es aquella en que la intervención por medio de zanja abierta sea inaceptable o

altamente indeseado. Estos métodos no son utilizados en sectores en donde la infraestructura va en expansión y en aumento, ya que no hay elementos que reconstruir. Sin embargo, en los sectores en que las redes de servicios públicos van llegando al término de su vida útil y se encuentran en lugares altamente poblados, se crea un incentivo y un aumento de mercado para la utilización de las tecnologías libres de zanjas.

Es difícil cuantificar y analizar la economía de las tecnologías “trenchless” por dos grandes motivos: la información puede quedar rápidamente obsoleta debido a los rápidos cambios en los mercados y los precios promedios pueden resultar en un análisis equivocado debido que los proyectos varían entre sí.

4.3. Costos de utilización²

Existen tres tipos de costos que deben ser considerados al analizar la implementación de tecnologías trenchless. Los costos directos, los indirectos y los ambientales y sociales. Los costos sociales y medio ambientales son mucho más difíciles de cuantificar, y por ende es imposible cargarlas al dueño de las instalaciones.

Para este tipo de trabajos la importancia de los costos sociales y medio ambientales es bastante alta, mucho más de lo que se considera en otro tipo de obras. Esto se debe principalmente, a que al renovar o instalar redes de tuberías nuevas, se altera considerablemente el normal funcionamiento de las actividades en superficie, afectando directamente a la población que transita y/o que se mantiene cercana a las inmediaciones de la zona de trabajos.

Si se quiere analizar los costos sociales y medio ambientales, se deben considerar los costos producidos por las interrupciones viales, la interrupción de

² (NAJAFI & OK KIM, 2004)

las actividades de los comercios aledaños a los trabajos, contaminación acústica y vibraciones, aumento de la accidentabilidad de los transeúntes y trabajadores.

4.3.1. Costos de pre-construcción

A continuación se presenta una tabla comparativa en términos cualitativos entre los dos métodos en estudio.

Tabla 4-1: Comparación costos de pre-construcción, método tradicional v/s “trenchless”(NAJAFI & OK KIM, 2004).

Etapas de Ante-Proyecto	Zanja Abierta	Métodos “Trenchless”
Investigaciones de terreno y preparaciones	Mayor	Menor
Ingeniería y Diseño	Mayor	Menor y Mayor
Gastos Legales	Mayor	Menor
Requerimientos de Espacio	Mayor	Menor
Investigaciones de utilidades de sub-suelo	Menor	Mayor
Preparación de Documentos de Licitación	Mayor	Menor

Como lo demuestra la tabla 5-1, al utilizar los métodos trenchless, las distintas etapas del ante-proyecto se hacen más económicas o son de menor envergadura. Esto lo que explica directamente, la reducción de espacios necesarios para llevar a cabo los trabajos. En cuanto a las investigaciones de terreno y preparaciones, los resultados expresados, son más representativos en las obras de reemplazo de líneas existentes, en donde es difícil encontrarse con problemas tales como rocas o clastos de gran tamaño que imposibiliten el correcto funcionamiento de las máquinas en estudio.

4.3.2. Costos de Construcción

Cuando se instalan líneas de servicio tales como, TV cable, cables eléctricos, gas, teléfonos y matrices de agua, en lugares en que los costos de reconstrucción son bajos la utilización de la excavación común es la elección obvia. En estos casos los rendimientos de excavación son altos, lo que determina mayor productividad que los métodos sin zanja.

El sector o medio ambiente, las condiciones de suelo y la profundidad de la línea a instalar son los factores que determinan mayormente los costos de este tipo de trabajos. A continuación se presenta una tabla que compara los costos directos entre las metodologías trenchless y a zanja abierta.

Tabla 4-2: Comparación costos de construcción, método tradicional v/s "trenchless"(NAJAFI & OK KIM, 2004).

Etapas de Construcción	Zanja Abierta	Métodos Trenchless
Transporte y Demoliciones	Mayor	Menor
Entibaciones y Estabilización de Taludes	Mayor	Menor
Rebaje nivel napa	Mayor	Menor
Remoción de Escombros	Mayor	Menor
Costo de Desviación de Rutas	Mayor	Menor
Relleno y Compactación	Mayor	Menor
Reconstrucción de la Superficie	Mayor	Menor
Equipos	Menor y Mayor	Menor y Mayor
Mano de Obra	Mayor	Menor
Costos Materiales	Menor	Mayor

La primera impresión al analizar la tabla superior, pareciera ser que los métodos sin zanja son siempre menos costosos que la metodología tradicional. Sin embargo se debe considerar el número piques y la cantidad de conexiones que se deben realizar a la línea en instalación. Si el número de éstos es muy alto,

todas las ventajas mencionadas en la tabla 5-2 pueden ser menores frente al efecto de la utilización de los equipos “trenchless” y a las cantidades de obra de reconstrucción.

Es importante mencionar el caso de los costos de los equipos. Dependiendo del tipo y la envergadura del proyecto los costos en equipos pueden ser mayores o menores con respecto a la utilización de los métodos a zanja abierta. Por ejemplo, para un proyecto de renovación de cañerías existentes, el gasto en equipos utilizando “trenchless” es menor, sin embargo si el trabajo es realizado por medio del método a zanja abierta el uso de equipos pesados tales como camiones tolva, retroexcavadoras y/o cargadores frontales hacen aumentar considerablemente los costos de este ítem.

Estudios demuestran que la reconstrucción de la superficie puede llegar a representar un 70% del costo total del proyecto(NAJAFI & OK KIM, 2004). Estos costos son por lo general mínimos para los métodos sin zanjas, siendo este uno de los factores decisivos en el momento de inclinarse por alguna de las opciones antes mencionadas.

Tabla 4-3: Comparación cualitativa de los costos indirectos de construcción(NAJAFI & OK KIM, 2004).

Factores de costos	Zanja Abierta	Trenchless
Oficinas de Administración	Mayor	Menor
Instalaciones de Faena	Mayor	Menor
Supervisión	Mayor	Menor
Costo utilidad	Mayor	Menor

Como los proyectos realizados por medio de los métodos “trenchless” son de una duración mucho menor que los realizados por zanja abierta, los costos indirectos son mucho menores ya que los profesionales y las instalaciones se mantienen por mucho menor tiempo en obra.

Es importante mencionar que el ritmo de excavación estará afectado por el tipo de suelo, el largo del agujero, la profundidad, el número de obstáculos que se deba sortear, la necesidad de virar y el diámetro del agujero. Sin embargo, como se muestra en la figura 5-11, el sistema de perforación utilizado, no es la variable que controla los costos de excavación, sino que el ritmo de excavación utilizado (Kramer, McDonald, & Thomson, 1992).

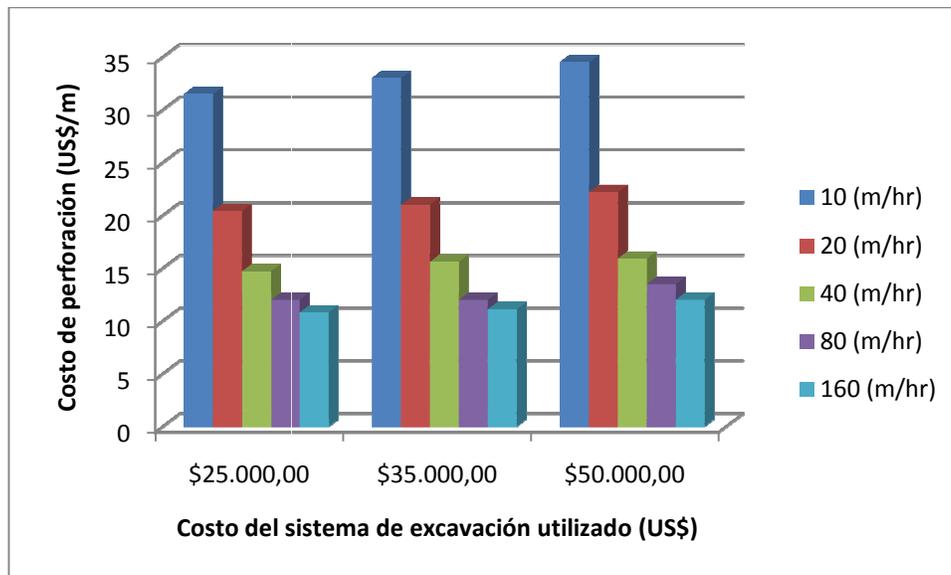


Figura 4-11: Efecto del ritmo del ritmo de excavación frente al costo promedio por metro excavado.

Como se ve en la figura 5-11, independiente de que el equipo de perforación cueste US\$ 25,000, US\$35,000 o US\$50,000 lo que realmente hace aumentar los costos del trabajo es el ritmo de excavación. Por ejemplo, si tomamos un ritmo de 20 metros por hora, el costo de perforación por metro se mantiene estable alrededor de los US\$20 independiente que utilice un equipo de US\$25,000 o uno que cueste el doble.

Debido a la creciente preocupación de la ciudadanía por la conservación y protección del medio ambiente y calidad de vida, el análisis de los costos sociales se está volviendo más necesario que antes. Los costos sociales pueden convertirse en un elemento mayor dentro del cálculo del costo total de un proyecto y que en este caso es función directa del método utilizado. La utilización de los métodos trenchless, puede en muchos casos, casi eliminar los costos sociales del proyecto. Los mandantes, contratistas e ingenieros por lo general ignoran los

costos sociales de los proyectos que desarrollan. Pero al evaluar e incluir estos costos en el presupuesto, el uso de las tecnologías trenchless resulta ser mucho más eficiente(Kramer, McDonald, & Thomson, 1992).

“Basado en una pequeña muestra de 14 proyectos, McKim (1997) estimó que los costos sociales de un proyecto a zanja abierta llegan a ser cercanos al 78% del costo total del proyecto, en cambio los costos sociales de los métodos trenchless alcanzan a ser un 3% del costo directo del proyecto. Las interrupciones de tráfico, desvíos y demoras pueden muchas veces, tener el mismo o varias veces el costo total del proyecto (Thomson, 1998)” (NAJAFI & OK KIM, 2004). Debido a las distintas características de los proyectos se debiera estudiar y cuantificar estos costos. A continuación se presenta una comparación cualitativa de los costos sociales que generarían los distintos métodos.

Tabla 4-4: Comparación cualitativa de los costos sociales involucrados en obras de renovación de tuberías(NAJAFI & OK KIM, 2004).

Factores de Costos	Zanja Abierta	Métodos Trenchless
Daño a la vía pública (reducción en un 40% su vida útil)	Mayor	Menor
Daño a los servicios aledaños (señalética etc.)	Mayor	Menor
Daño a estructuras contiguas	Mayor	Menor
Ruidos y Vibración	Mayor	Menor
Polvo y Polución	Mayor	Menor
Interrupción del tráfico vehicular	Mayor	Menor
Seguridad de los peatones	Mayor	Menor
Daños a los negocios perjudicados	Mayor	Menor
Daño a las rutas que sirven como desvíos	Mayor	Menor
Seguridad general del lugar	Mayor	Menor
Impacto ambiental	Mayor	Menor
Reclamos de los vecinos	Mayor	Menor

4.4. Utilización en una obra real

En el año 2009 se encargó la renovación de su red de aguas servidas de la localidad de La Serena. Dicho proyecto incluye el cambio de las tuberías de las calles y avenidas Michimalonco, Pampa Baja, R. Bitrán, O'Higgins, Juan de Dios Pení, Almagro y Cisternas, con un total cercano a los 2,500 metros de tuberías por reemplazar.

En el presente documento se analizará la renovación de Avenida Cisternas, específicamente el tramo comprendido entre Avenida Huanhualí y Calle Los Ébanos que corresponde a 250 metros lineales de reemplazo de tuberías. Dicho tramo comprende la renovación de tuberías de alcantarillado de fibrocemento de 180 mm, por tuberías de alcantarillado de HDPE de 200 [mm]. Solo se analiza dicho tramo ya que en éste, se utilizó uno de los tipos de tecnologías trenchless, específicamente el "Cracking Dinámico".



Figura 4-12: Tramo intervenido

4.4.1. Secuencia Constructiva

4.4.1.1. Secuencia Constructiva Método Zanja Abierta.

Con este método, la secuencia constructiva es bastante simple. Inicialmente se debe romper el pavimento o calzada, se excava la zanja en toda su extensión y a la profundidad necesaria para llegar al nivel de la tubería. Se corta el servicio, se retira la tubería antigua. Se fusionan los tramos de HDPE, y se posiciona la tubería nueva. Se conecta la tubería a las cámaras existentes y a las uniones domiciliarias. Se repone el servicio, se rellena la zanja, se repone la cama de apoyo granular y finalmente se repone la calzada. Siendo en este caso, una Avenida altamente transitada, el municipio no permite cortar el tramo completo de calle que se debe intervenir. Por esto, las obras se deben hacer en tramos cortos de 50 metros por vez.

4.4.1.2. Secuencia Constructiva Método Trenchless

Para realizar el reemplazo mediante el sistema trenchless, se debe preparar el terreno anticipadamente, de manera que al entrar en trabajo los equipos trenchless, la maniobra sea lo más expedita posible. En primer lugar se deben tener todos los piques de entrada y salida excavados. Estos piques deben tener un ancho mínimo de manera que el equipo y la nueva cañería entren al hoyo sin problemas, por lo general basta con el ancho de la pala de la retroexcavadora. El largo debe ser casi una relación 1:1 con la profundidad de la zanja. Por limitaciones del equipo utilizado, estos piques deben estar distanciados como máximo a 50 metros entre ellos. Para ésta obra en particular, en que el tramo de reparación comprende 250 metros de tuberías, se utilizaron 5.



Figura 4-13: Rotura pavimento existente y termo-fusionado HDPE.

Luego de tener los piques excavados se procede a instalar los equipos para el proceso cracking. El primer paso corresponde al termo-fusionado de las tuberías de HDPE en segmentos de 50 metros. Finalizado el fusiónado de las tuberías se deben pasar las líneas hidráulicas que accionan el martinete por dentro del HDPE. Una vez instalada la manguera hidráulica, se conecta el extremo de ésta al martinete dinámico. Finalmente se fija la cabeza cortadora al martinete y al extremo inicial de la tubería de HDPE, extremo por donde se insertará al alcantarillado. Una vez armado el sistema, se inserta el winche por la tubería



Figura 4-14: Instalación tubería hidráulica y conexión martinete dinámico.

a reemplazar y se saca el extremo por el pique de entrada. El extremo del winche es apernado a la punta cortadora. Se ubica el extremo de la tubería en el pique de entrada, se posiciona y con la ayuda de la pala de la retroexcavadora se inserta en

los primeros centímetros dentro de la cañería vieja. La instalación de todos los equipos que conforman el cracking lleva alrededor de 4 horas.



Figura 4-15: Winche en el pique de salida (izquierda), extremo del winche en el pique de entrada (derecha).



Figura 4-16: Apernado del winche con la cabeza cortadora (izquierda), posicionamiento de la tubería (derecha).

Ya con la cañería insertada, empieza el trabajo de cracking. El winche tira del cabezal de corte mientras el martinete golpea constantemente la cabeza. El efecto de martillo y la tensión que genera el winche va cortando la cañería antigua e insertando la nueva. En condiciones normales, el rendimiento promedio de este método alcanza 1 [m/min]. Ya con los tramos de 50 metros en posición, se procede a conectar el HDPE a las cámaras existentes y a rehacer las conexiones domiciliarias. Para llevar a cabo las conexiones domiciliarias se puede realizar de dos maneras, la primera y la más común es conectar directamente las redes

domiciliarias a la nueva tubería. Esto es excavando un hoyo por cada conexión domiciliaría y realizar la conexión. Posteriormente se de rellenar compactar y reconstruir las obras existentes. Es por esto que la factibilidad de utilizar éste método es muy sensible a la cantidad de matrices y uniones domiciliarias sea necesario conectar al sistema de alcantarillado. El segundo método permite mantener los ahorros de costos logrados con la implementación del sistema. Este método incluye la realización de una red secundaria de alcantarillado de menor diámetro y a menor profundidad. Esta red secundaria se conecta luego directamente a las matrices, reduciendo la cantidad de hoyos en el tramo.

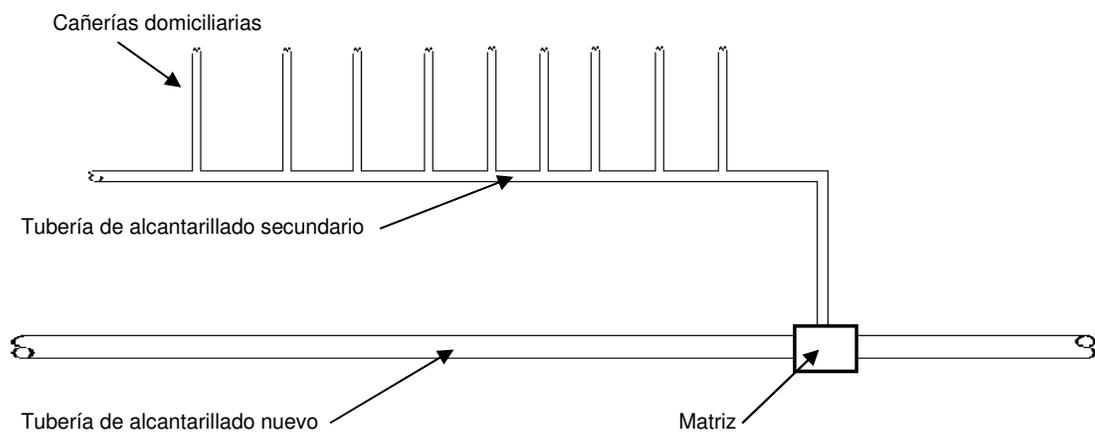


Figura 4-17: Diagrama en planta de conexiones domiciliarias.

Esto es factible cuando existe espacio suficiente entre las casas y la calle, en donde el terreno sea solo suelo, que es de rápido relleno y bajo costo.

Finalmente se deben rellenar los piques de entrada y salida, reconstruir la cama de apoyo granular y reponer el pavimento o calzada pre existente.



Figura 4-18: Insertado de la tubería con ayuda de retroexcavadora (izquierda), tubería en instalación (centro), tubería con línea hidráulica para martinete (derecha).

4.4.2. Programa

El impacto que tiene la utilización de las tecnologías “trenchless” en los tiempos de ejecución de las obras es bastante significativo, ya que al evitar la excavación de grandes extensiones de tierra, se reducen significativamente las cantidades de obra para llevar a cabo el proyecto, reduciendo directamente el tiempo necesario para llevarlo a cabo.

Como se puede ver en el resumen de las programaciones de obra (figura 5-18), si se hubiese llevado a cabo la obra con el método tradicional, la duración de la obra hubiese sido cercana los dos meses, en cambio al utilizar el sistema cracking la obra se realizó en solo 13 días³.

Utilizando la tecnología cracking, el cambio se hace en 5 tramos, uno tras de otro, en cambio utilizando zanja abierta se deben hacer en 5 etapas distintas, haciendo el proceso más largo y complicado.

³ El programa considera solo días hábiles.

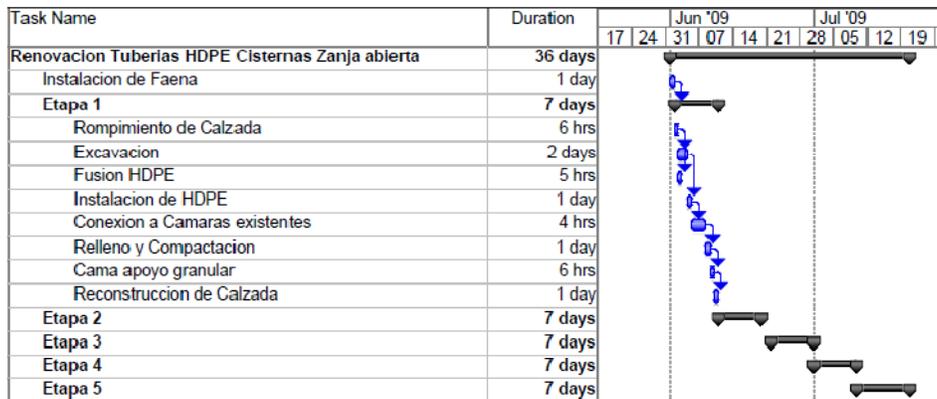


Figura 4-19: Programa de obras según zanja abierta.

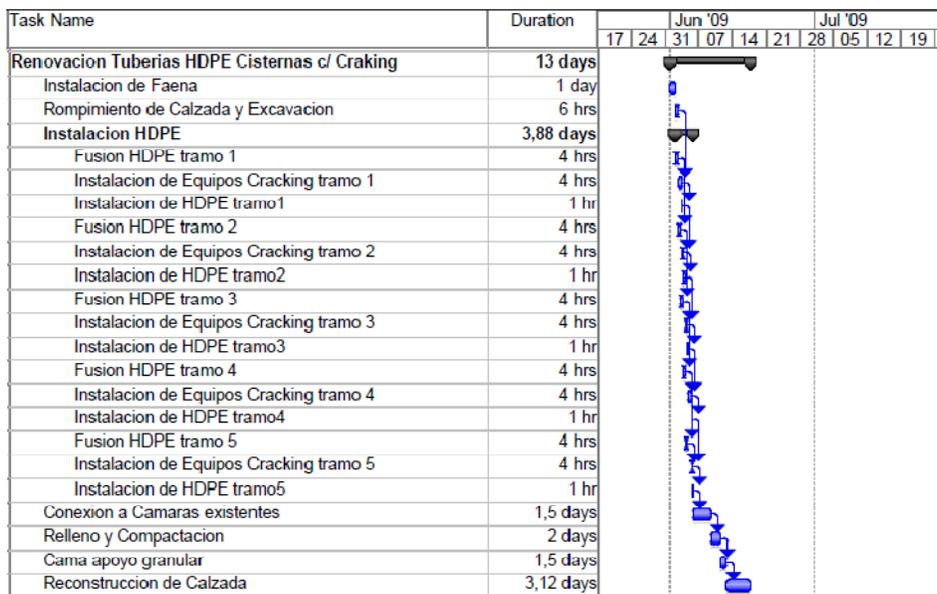


Figura 4-20: Programa de obras según sistema cracking.

4.4.3. Aumento capacidades de servicio

Al cambiar las tuberías de fibrocemento de 180 milímetros por tuberías de HDPE 200 milímetros, se aumenta la sección de la cañería y se aumentan las capacidades de flujos, ya que la tubería de HDPE tiene superficies más lisas que las de fibrocemento. Con este cambio la red de agua potable aumenta su capacidad de transporte en un 76% (Ver Anexo A, subcapítulo a).

4.4.4. Matriz de Comparación.

Tabla 4-5: Matriz de comparación de costos y plazos.

Tecnología/Material	Trenchless		Zanja Abierta		Diferencia	
	Costo Real (\$)	Participación Presupuesto	Costo Real (\$)	Participación Presupuesto	(\$)	Porcentaje Ahorro o Aumento Costo
Equipos (Propios de la tecnología)	\$ 7.500.000,00	48%				
Equipos (De apoyo)	\$ 2.231.069,50	14%	\$ 5.657.731,00	17%	\$ 3.426.661,50	10%
Obras de Apoyo	\$ 3.815.727,75	24%	\$ 25.300.994,00	77%	\$21.485.266,25	65%
Materiales	\$ 2.084.330,00	13%	\$ 2.084.330,00	6%	\$ -	0%
Total	\$ 15.631.127,25	100%	\$ 33.043.055,00	100%	\$ 17.411.927,75	53%
Programa (días hábiles)	13		36		23	64%

Como lo indican las cifras que muestra la tabla 5-5, el costo de utilizar la tecnología cracking se reduce, en este caso, a la mitad en comparación con la utilización del método tradicional. Sin embargo, se debe mencionar que este caso es especial, debido a que las cámaras estaban separadas en promedio cada 50 metros, con un número bajo de conexiones domiciliarias, además se trata de una avenida de alto tráfico en la ciudad de La Serena.

La utilización de la tecnología cracking ocupa casi el 50% del presupuesto de la obra, lo que indica que la utilización de este tipo de tecnologías es bastante costosa. Sin embargo, al utilizar el método a zanja abierta, las obras de apoyo pasan a ser el factor más importante, utilizando casi un 80% del total del costo del proyecto. Esto se debe principalmente al alto costo que tiene la reconstrucción de calzadas y veredas. Es en este punto, donde la utilización de las tecnologías tiene la ventaja⁴.

⁴ Para más detalle en los costos, favor dirigirse al anexo A.

6. Conectores metálicos para unión de la armadura en el hormigón armado.

Los conectores metálicos son un método alternativo de conexión entre barras de acero que reemplaza la utilización de empalmes. Este método utiliza elementos mecánicos para transmitir la totalidad de los esfuerzos desde una barra a la otra, logrando la continuidad en la armadura para un elemento de hormigón armado. En el mercado chileno se han utilizado principalmente para la conexión de estructuras prefabricadas, para reparaciones de estructuras de hormigón armado y para estructuras especiales.

Además de garantizar resistencia, consistencia y confiabilidad, estos conectores metálicos permiten ahorrar una considerable cantidad de tiempo ya que simplifica las tareas de construcción.

6.1. Tipos de Conectores Metálicos (Erico)

La clasificación de conectores metálicos se puede dividir en dos grandes grupos. El primero son aquellos sistemas de conexión que solo transmiten esfuerzos de compresión entre barras. El segundo, son los conectores metálicos que transmiten esfuerzos de compresión y tracción entre las barras de conectan.

6.1.1. Conectores metálicos a compresión.

La función principal de estos conectores es mantener las barras de acero concéntricas, de esta forma la compresión es transmitida de manera efectiva. Es importante por lo demás que las barras estén cortadas de manera plana en los extremos.

6.1.1.1. Conectores asegurados mediante pernos

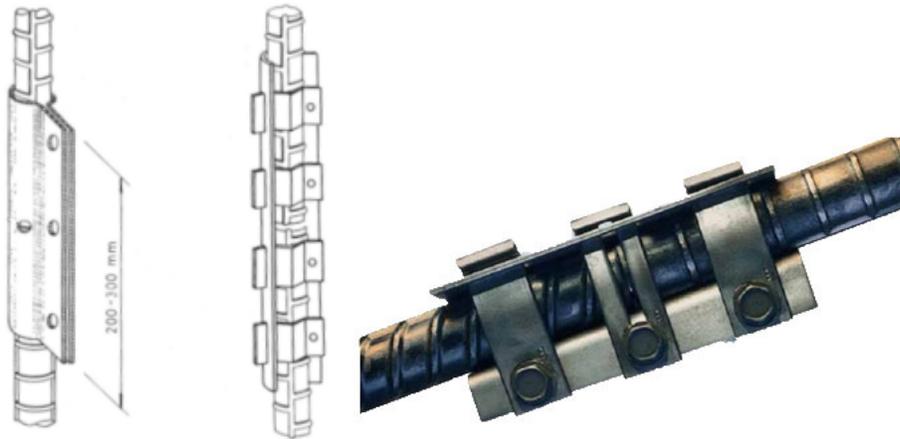
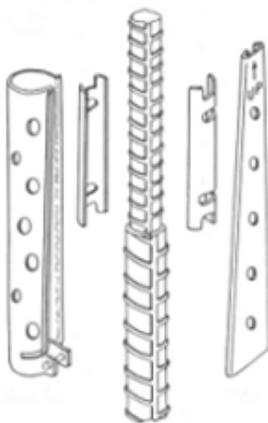


Figura 6-1: Conectores metálicos mediante pernos, tipo maciso (izquierda), tipo banda (centro) y mediante perno (derecha).

El conector asegurado mediante pernos consiste en una pieza con forma de abrazadera que, dotada de una mordaza lateral apretada con pernos, mantiene la colinealidad entre las barras de refuerzo. Este tipo de conectores requiere una preparación de la superficie terminal de la barra, ya que lo ideal es que sea cortada a 90°.

6.1.1.2. Conector con cuña.

Figura 6-2: Conector con cuña de bloqueo.



Consiste en una placa cilíndrica abierta, que rodea la unión de las barras de refuerzo. Este tipo de conector además está dotado de un flange cónico lateral por el que se desliza una cuña plana que aprieta las barras. Estos tipos de conectores (mediante pernos y cuña de bloqueo) llegan a medir hasta 30 cm, dependiendo del ancho de la barra, pero tienen la versatilidad suficiente para la unión de barras de distintos diámetros.

6.1.1.3. Conector con relleno metálico.

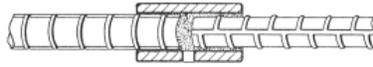


Figura 6-3: Conector relleno metálico.

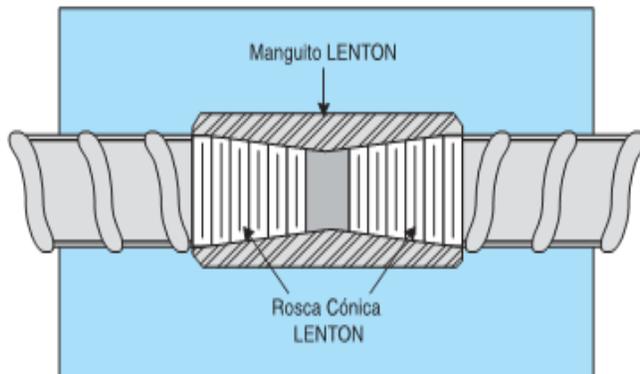
Un tubo con estrías interiores es relleno con un material metálico fundido. Este material es vertido luego de insertar las barras dentro del tubo. Uno de los beneficios que presenta este sistema es que no requiere de una preparación previa de las barras.

6.1.2. Conectores metálicos a compresión y tracción

Este tipo de conectores puede ser instalado en cualquier punto de la estructura, ya que resiste cargas de compresión, tracción y cargas cíclicas.

6.1.2.1. Conector roscado con hilo cónico

Figura 6-4: Conector roscado con hilo cónico.

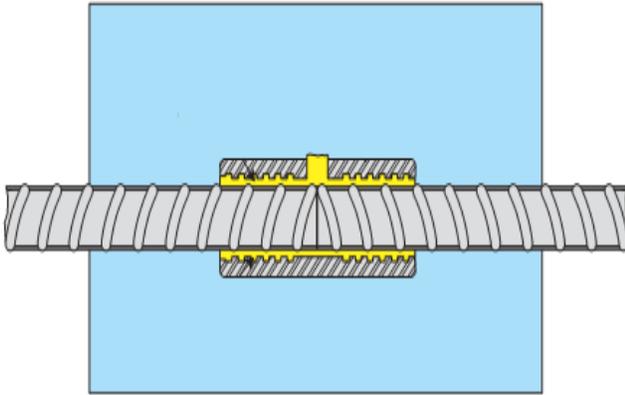


Este conector, consiste en un dispositivo cilíndrico con hilos roscados cónicos en su interior. Éstos apertnan colinealmente las dos barras. Este sistema mecánico traspasa directamente los esfuerzos de una barra a otra mediante el conector.

El hilo cónico evita que las barras se desalineen en el proceso de instalación, evitando así futuros daños en el hilo de la barra y por ende una reducción de la capacidad del conector, además asegura que ambas barras sean atornilladas en igual longitud dentro del manguito. Las barras deben ser preparadas en sus extremos antes de la instalación. Esta

preparación consiste en la fabricación del hilo cónico mediante una máquina proporcionada por el mismo fabricante.

6.1.2.2. Conector con relleno metálico



Este conector, es un dispositivo cilíndrico de acero forjado, que contiene surcos en la pared interior. Las barras son insertadas y alineadas para luego verter el relleno metálico. La transferencia de cargas se realiza a través del relleno, la rugosidad de las barras y el interior del cilindro de acero.

Figura 6-5: Conector con relleno metálico.

6.1.2.3. Conector de traslape con cuña

Este tipo de conectores, consiste de un tubo ovalado en el cual se insertan las barras a solapar. Luego por la ayuda de una cuña insertada hidráulicamente, las barras son trabadas dentro del manguito.



Figura 6-6: Conector de traslape con cuña (izquierda), máquina y cuñas (derecha).

6.1.2.4. Conector con tornillos de bloqueo.

El conector con tornillos de bloqueo, consiste en un dispositivo cilíndrico de una sola pieza, que une las barras gracias a la trabazón generada por una línea de tornillos de alta resistencia con punta cónica.

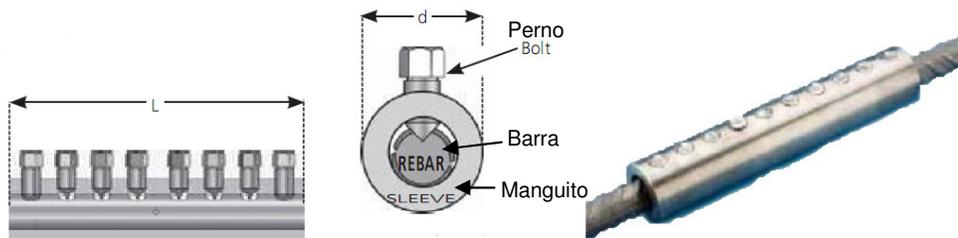


Figura 6-7: Conector con tornillos bloqueantes (izquierda), con tornillo bloqueante cortado (derecha).

Este tipo de conectores no requiere una preparación de las barras antes de su instalación, y permite la conexión de barras de distinto diámetro. Algunos de los fabricantes proveen de tornillos, a los cuales se les corta la cabeza luego de que se ha alcanzado el apriete mecánico suficiente que asegura la continuidad del refuerzo. Este sistema permite una instalación en terreno rápida, y es utilizado tanto en reparaciones como en la construcción de estructuras nuevas.

6.1.2.5. Conector con rosca cónica y relleno con mortero.

Este tipo de conector consiste en un hilo cónico roscado en uno de sus extremos, y un cilindro hueco con surcos en su pared interior.

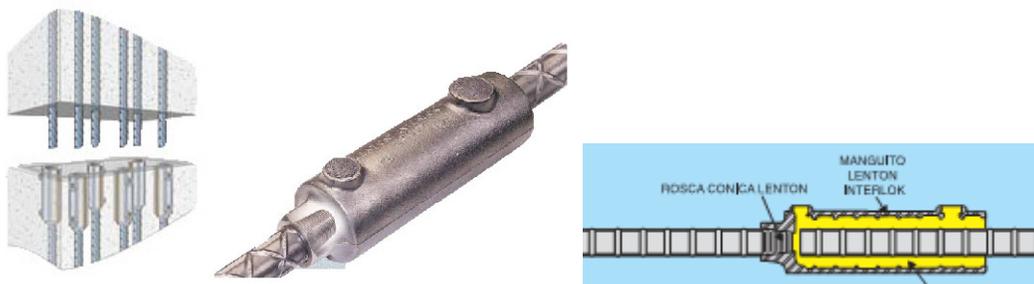


Figura 6-8: Conector con rosca cónica y mortero, imagen del conector (centro), corte longitudinal (derecha), ejemplo de puesta en obra (izquierda).

6.1.2.6. Conector espigado.

Este conector tiene una espiga en forma de disco que permite instalarlo dentro del moldaje, permitiendo la eliminación de los arranques de fierros.



Figura 6-9: Conector espigado (izquierda), instalado en obra, dentro del moldaje (derecha).

6.1.2.7. Conector terminal

Este conector, es una especie de cabeza de perno que queda embebida en el hormigón, lo que evita la utilización de ángulos en 90° y 180°. El sistema utiliza el principio de la teoría del cono de expansión, la que explica y regula la norma ACI-355.

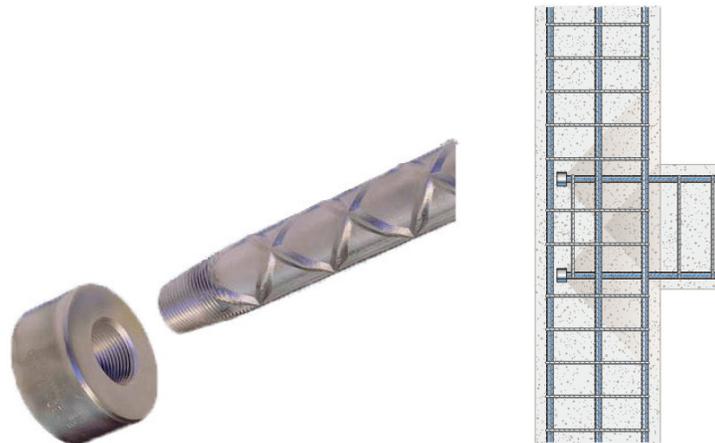


Figura 6-10: Conector terminal (izquierda), diagrama de utilización conector terminal (derecha).

6.2. Factores de Utilización.

Actualmente el uso de conectores metálicos en estructuras monolíticas se puede resumir en cuatro casos. El primero y más evidente es el reemplazo del traslape o empalme de los fierros de construcción, el segundo evitar dejar arranques de fierro expuestos al aire, tercero la eliminación de la utilización de ganchos de 90° o 180° y finalmente para reparación de estructuras dañadas.

Para sustituir el traslape de las barras se utilizan principalmente el conector roscado con hilo cónico, el conector con relleno metálico, el conector con traslape con cuña, y el conector con tornillos de bloqueo. Con estos tipos de conectores, salvo el conector con cuña, se solucionan problemas que se generan con el traslape. El primero es la excentricidad que se genera en las barras luego del traslape, ya que al poner paralelamente las dos barras, una de ellas quedará desalineada con respecto a la posición original, causando problemas en el amarre con los estribos en dicha zona. El segundo, reduce considerablemente la congestión de fierros en las zonas de traslape, además de mantener las cuantías constantes en todas las secciones, eliminando la posibilidad de fallas frágiles.

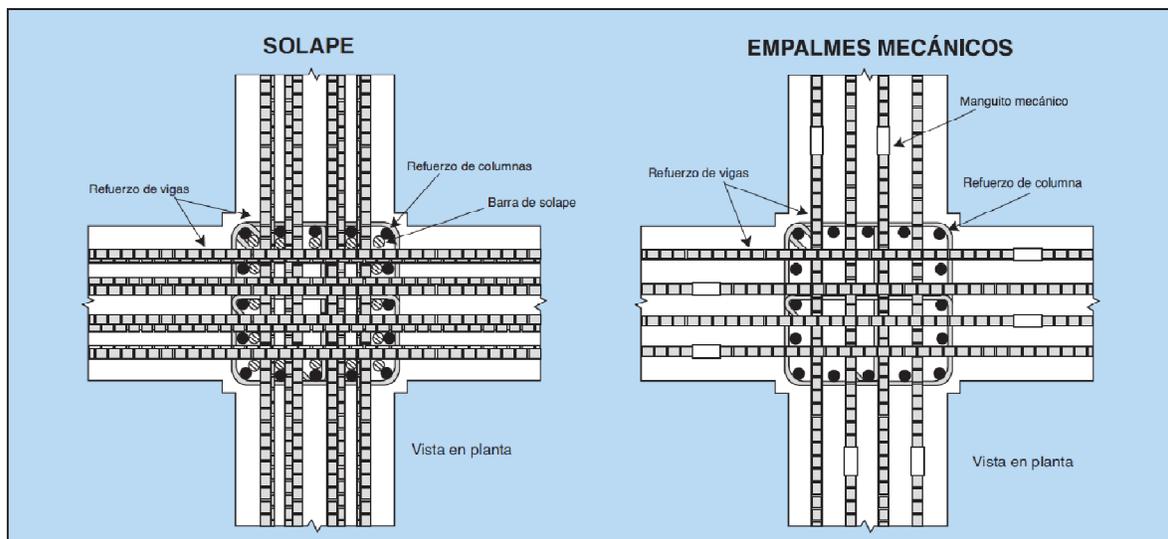


Figura 6-11: Ejemplo utilización de conector con rosca cónica.

Además se reduce drásticamente la posibilidad de generación de nidos de piedras, al facilitar el correcto posicionamiento del hormigón y eliminan la fuente de error que se genera al medir los largos de empalme.

Cuando a una estructura se deben anexar secciones en tiempos distintos, o tiene ampliaciones proyectadas, la única forma de dar continuidad estructural a la nueva sección de la estructura era dejar arranques de fierros al aire. Con esto se tiene un punto de anclaje para la armadura de la estructura anexa. El dejar estos fierros expuestos, genera situaciones indeseables que son de impacto directo en equipos y en los trabajadores. En primer lugar se genera una zona potencial para accidentes para los trabajadores. Por otro lado para poder dejar los arranques de fierro se deben perforar los paneles de los moldajes, limitando fuertemente la vida útil de estos. Por último al dejar barras de acero expuestas, éstas pueden sufrir deterioro por efectos externos, debilitándolas fuertemente y corriendo el riesgo de tener que reemplazarlas por exceso de corrosión. Otra solución es hormigonar normalmente, para luego perforar el hormigón e insertar y afianzar los arranques con productos químicos. Con esto se debilita la sección de hormigón y se corre el riesgo de cortar las barras en el proceso de perforado.

El conector espigado presenta una solución alternativa para este problema. Este elemento, como lo sugiere su nombre, contiene una espiga en uno de sus extremos. Esta espiga, como se muestra en la figura 6-9 y 6-12, tiene un disco que permite fijarlo al borde del moldaje. Además en su interior, cubierto por una tapa especial, se encuentra un hilo cónico desde donde permite apernar los arranques de fierro para dar continuidad la estructura contigua.

El uso de conectores espigados, permite la utilización de nuevas tecnologías y/o metodologías de trabajo. Por ejemplo la implementación de este tipo de conector mecánico, es compatible con moldajes auto deslizantes y moldajes auto trepantes. La utilización de éstos moldajes permite una modificación en la secuencia constructiva, lo que se traduce en una disminución de la duración

de la actividad. Esto tiene consecuencias directas en los otros procesos constructivos, impactando en otras actividades y áreas de la obra.



Figura 6-12: Ejemplo de utilización de conectores espigados

En tercer lugar el uso de los conectores denominados terminales (ver figura 6-10), permite lograr largos de desarrollo en longitudes reducidas, disminuyendo en gran manera la congestión en las uniones viga-columna, columna-losa y muro-losa, ya que evitan la utilización de ganchos de 90° y 180° . Esta característica logra vital relevancia para las barras de gran diámetro, sobre los 25 mm, en donde los largos de desarrollo pueden ser de dos metros. La cabeza de este elemento produce un bloqueo al arranque, producto de los esfuerzos de compresión de la masa de hormigón delante y adyacente de ella. La compresión genera esfuerzos de tracción en el hormigón, terminando en el tipo de falla conocido como cono de arranque.

Finalmente, estos conectores se utilizan para reparar estructuras dañadas. Con el terremoto del 27 de Febrero se ha abierto una oportunidad de utilización de este tipo de conectores. Debido a que las fallas son complicadas de reparar por los métodos usuales, muchas de las soluciones para las estructuras exigen sistemas nuevos.

Los conectores metálicos proporcionados por Erico Inc. es el tipo de conector que se utiliza en Chile, debido que es uno de los pocos que está certificado para cargas cíclicas según las especificaciones de ACI-318, la UBC 1997 y la ICC, además cumple con el ensayo de cargas cíclicas de tensión y compresión AC133, este certificado se puede obtener directamente desde la web⁵.

6.3. Costos de utilización.

Si se hace una comparación de precio unitario (tablas B-5 a B-9), frente al costo adicional que genera la implementación de los conectores contra el empalme tradicional, es bastante más costosa la implementación de los conectores que la utilización de ganchos, traslapos y arranques. Además con la mayoría de éstos equipos se debe hacer una preparación previa de las barras, generando costos adicionales en su implementación. Si se utiliza solamente como criterio de comparación el precio unitario, el conector metálico no es competitivo frente al método tradicional.

Sin embargo, las consecuencias en los procesos constructivos, en la duración de las actividades y las en los tiempos de utilización de los equipos de apoyo, hacen de la implementación de estos conectores, en muchos casos, una alternativa atrayente.

Como cualquier proceso constructivo, la instalación debe ser realizada de acuerdo a las instrucciones del fabricante y para asegurar que ésta se lleve a cabo de manera correcta requiere de una supervisión e inspección en los trabajos. Sin embargo, como la inspección y supervisión es normal en las obras y sobretodo en la instalación de fierros, este ítem ya se ve cubierto con las dotaciones normales de supervisores y capataces.

⁵ <http://www.ericocom.com/public/library/Concrete/LT0560.pdf>

La utilización de los conectores, implica necesariamente incluir la confección de hilos, y su control de calidad como uno de los ítems importantes dentro del proceso de enfierradura. Para llevar a cabo esta actividad hay varias alternativas, primero por maestranza, es decir, se piden los fierros con los hilos fabricados en maestranza. Segundo, por subcontrato con el distribuidor de los conectores, es decir ellos se encargan, en faena, de la confección de los hilos, o por último como arriendo directo de la maquina roscadora.

Por lo general el sistema utilizado es un subcontrato con la empresa proveedora. Este contrato, incluye un precio fijo por día, en los que se incluye la máquina roscadora, un obrero calificado con insumos, el traslado y alojamiento del trabajador. Dentro de las condiciones del contrato, la empresa constructora debe proveer de un ayudante con 100% de disponibilidad para la confección de los hilos, éste se encarga de mover y poner los fierros en la máquina.

Cuando la confección de los hilos se hace en maestranza, el control de calidad se puede hacer fácilmente, ya que hay un único proveedor de estos. Si son confeccionados en obra, el operador del torno es un solo trabajador, el que debe ser entrenado una única vez, ya que el empleo de este es bastante simple. El operador del torno pasa a ser el primer inspector de calidad de los hilos. Además debe revisar que el corte de la barra sea efectivamente perpendicular, si no, se debe volver a cortar el último centímetro y hacer el hilo.

Con los hilos ya confeccionados, se debe tener extremo cuidado, ya que estos pueden sufrir daños por golpes o sufrir deterioro por oxidación, para esto el mandante ofrece tapones especiales para los hilos macho y hembra.



Figura 6-13: Tapones especiales para proteger los hilos machos y hembra.

En el proceso de instalación de los fierros verticales, es necesario acortar los largos de los fierros. Si se dejan en posición vertical con un largo muy pronunciado, éstos tienden a flectarse, transmitiendo esfuerzos de flexión en los conectores, lo que puede terminar en daños inesperados en la calidad del conector. Para los fierros horizontales, deben estar ambos extremos de los fierros con apoyos, ya que la flexión que sufre el fierro es transmitida al conector deteriorando su respuesta.

Finalmente, si se logra una buena coordinación en la entrega de los fierros, y en la confección de los hilos, el rendimiento de confección de hilos puede ser de 100 a 120 hilos por turno de 8 horas. Con esto cumplido, los rendimientos de instalación de las cuadrillas de enfierradores llegan a ser muy parecidos, a los rendimientos del método tradicional.

Actualmente, la utilización de este tipo de dispositivos es muy reducida, principalmente, en obras industriales o de edificación muy específicas. Esto se refiere a estructuras en que la utilización de los conectores es la solución disponible. Como ejemplo se pueden nombrar, la Cruz del Tercer Milenio en Coquimbo, la torre número dos del complejo Costanera Center, y la central termoeléctrica de Campiche.

6.4. Utilización en una obra real.

Para estudiar el impacto que genera la utilización de los conectores se analizará el caso de una central termoeléctrica. Dicha central tiene un costo total estimado de US \$500 millones, y tendrá una capacidad de generación eléctrica de 570 MW. Durante el avance de la obra se propuso la utilización de conectores metálicos en las obras de hormigón, donde se monta la turbina. Con el uso de este tipo de conectores, se propuso una secuencia constructiva distinta a lo programado inicialmente. Generando gran impacto en las actividades que tienen directa relación con la estructura.

6.4.1. Secuencia Constructiva

6.4.1.1. Secuencia Constructiva Original

La secuencia constructiva original contempla una construcción por etapas de manera ascendente, es decir desde el nivel de suelo hasta la losa superior.

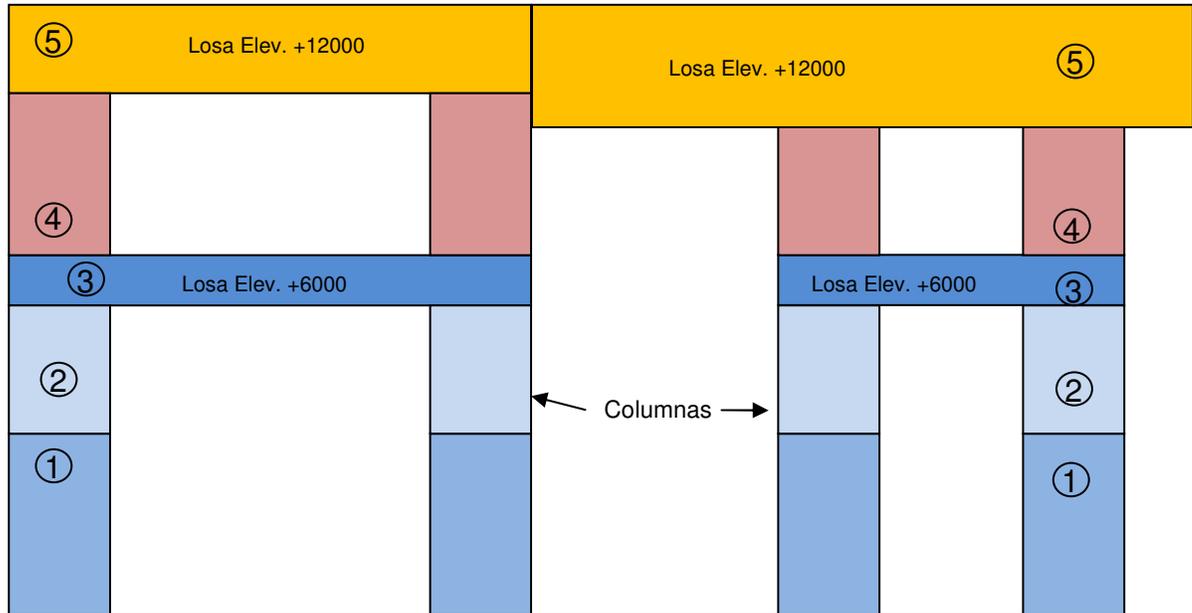


Figura 6-14: Diagrama secuencia constructiva (vista lateral).

Como se puede ver en la figura 6-14, la primera etapa consiste en la construcción de las columnas inferiores en dos tramos, el primero ① y luego el segundo ②. Luego viene el hormigonado de la primera losa. Posteriormente la construcción de las columnas superiores, ④. Finalmente se termina con los trabajos en la losa superior, ⑤. Los equipos de la termoeléctrica van montados en la losa superior, esta losa es de gran espesor y de alta complejidad técnica, por lo que la duración de su construcción son 152 días. Durante todo ese periodo la losa debe ser sostenida provisoriamente mediante alzaprimas.

Como la losa inferior es de mucho menor espesor no es capaz de resistir la sobrecarga que es transmitida por los alzaprimas desde la losa superior, por lo que para poder transmitir las cargas adicionales hacia el suelo, obliga a mantener

alzaprimas desde el suelo a la losa inferior y de la losa inferior a la losa superior durante todo el periodo de construcción de la losa ubicada en la cota +12000. Con esto, es necesario mantener por 166 días los alzaprimas de la losa inferior y 152 días en la losa superior.

6.4.1.2. *Secuencia constructiva propuesta*

La secuencia constructiva propuesta, solo contempla tres etapas. Esto es porque la utilización de los conectores permite la construcción completa de las columnas, para luego construir los elementos horizontales de la estructura.

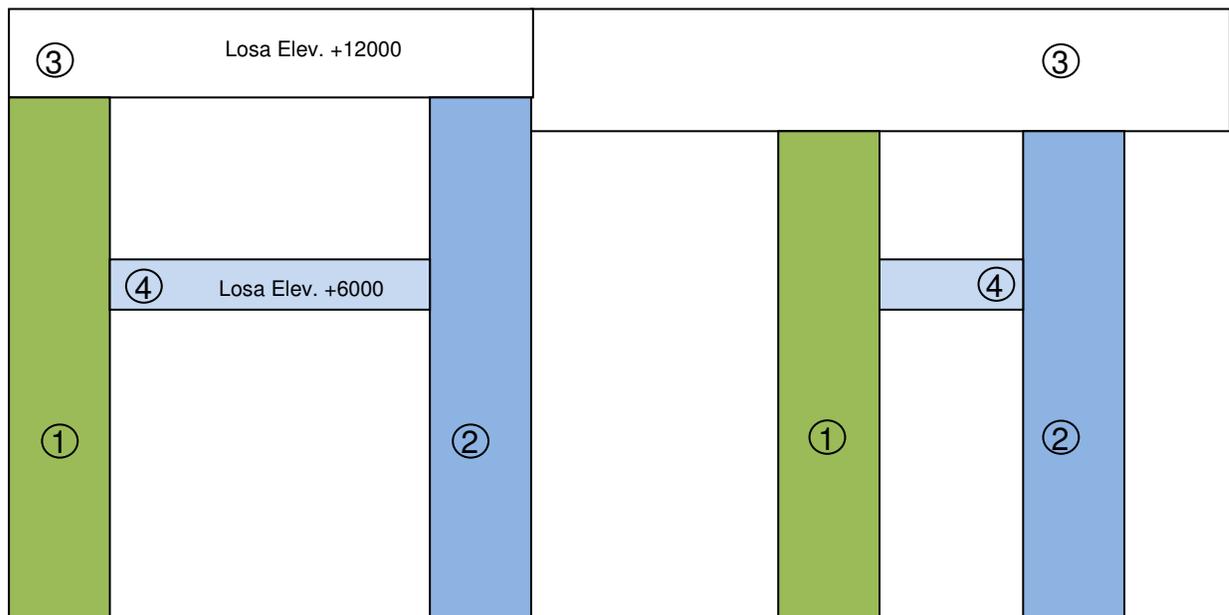


Figura 6-15: *Secuencia constructiva propuesta con la utilización de conectores espigados (cortes transversales)*

La figura 6-15 muestra que la secuencia constructiva es completamente distinta a la original. En primer lugar, la construcción de las columnas se hace por ejes, y cada columna de 12 metros es hormigonada de una sola vez ① y ②. Durante la etapa de instalación de moldajes y enfierradura de las columnas, se dejan instalados los conectores dentro del encofrado, esto permite la posterior

conexión de arranques de armadura. Estos arranques le dan la continuidad estructural a la losa inferior con las columnas. Como los equipos electro mecánicos van instalados en la losa superior, se decidió hormigonar ésta antes que la losa de la cota 6000. Finalmente, una vez terminado todo trabajo en la losa superior y retirado todo equipo de alzaprimado y moldaje, se procede a la construcción de la losa inferior ④.

Con la secuencia propuesta, utilizando los conectores metálicos, la configuración de utilización de los alzaprimas cambia totalmente. Con esta propuesta solo se debe alzaprimar la losa superior por un largo periodo ya que al ser de grandes dimensiones y con alta cuantía de acero, las actividades para su construcción son de larga duración. El alzaprimado e instalación de moldajes para la losa inferior, se realiza una vez que la losa superior se encuentra terminada, es decir que capaz de transmitir los esfuerzos hacia las columnas. Con esto ya no es necesario la mantención de los equipos de alzaprimado en la losa inferior por un largo periodo. En definitiva la estadía de los equipos se traduce en lo siguiente, 152 días el alzaprimado de la losa superior y 29 días el alzaprimado de la losa inferior.

Con respecto a los equipos necesarios para la construcción de las columnas, la secuencia constructiva que utiliza los conectores metálicos es mucho más sencilla y de mayor rapidez de aplicación ya que se realiza en una sola etapa. Por consiguiente también existe una reducción de utilización de equipos. Con la implementación tecnológica, el encofrado se hace por medio de vigas de madera más placas “Hünnebeck”, con una estadía total en obra de 44 días. Al utilizar la metodología convencional, se implementarían panelerías Efcó, con una estadía total en obra de 59 días. Es decir se reduce en 15 días la utilización de moldajes para el hormigonado de las columnas. Al ser los procesos constructivos más simples y de menor duración, se reducen considerablemente las horas hombre necesarias para la construcción de la estructura⁶.

⁶ Favor dirigirse a tablas B-1, B-2, B-3 y B-4.

6.4.2. Programa

Debido a las modificaciones en la secuencia constructiva del elemento en estudio, el programa constructivo sufre cambios. Estos cambios son significativos y permite la instalación anticipada de los equipos principales de la termoeléctrica.

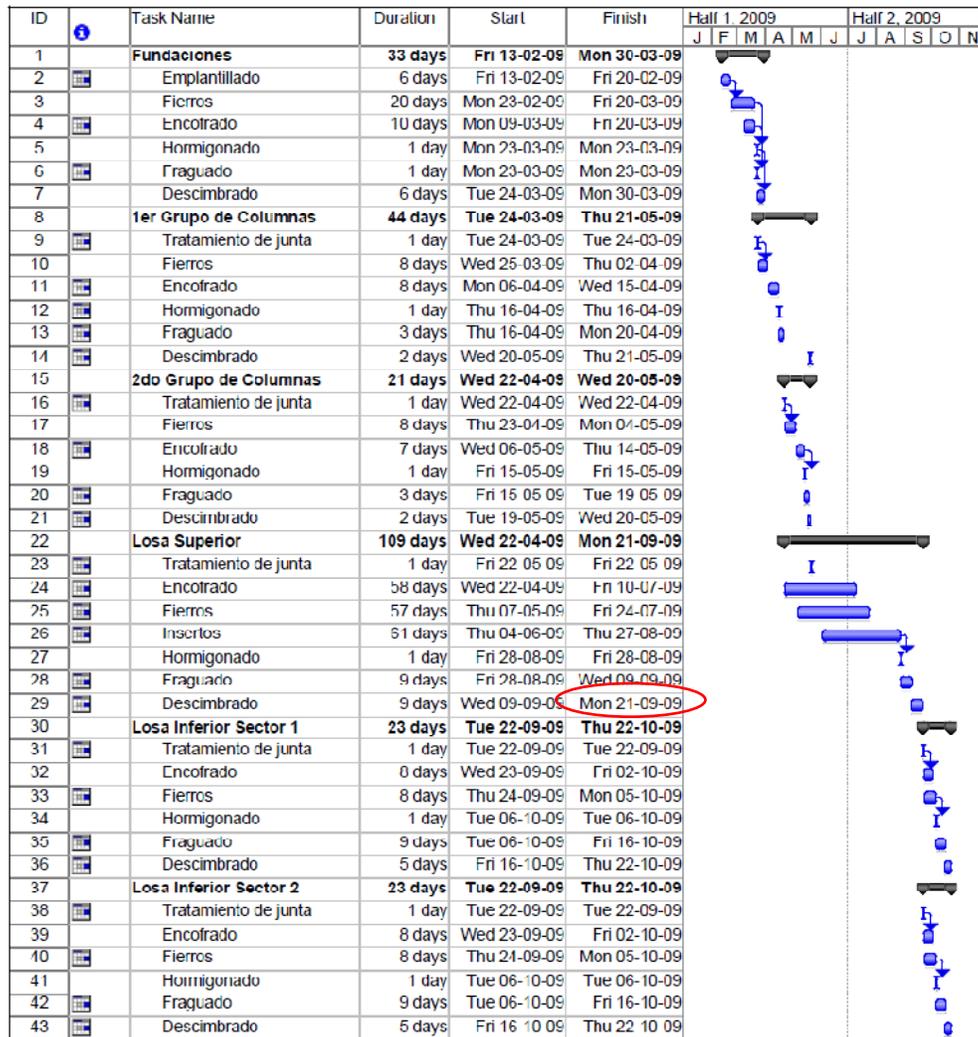


Figura 6-16: Programa utilizando los conectores metálicos.

Según el programa que muestra la figura 6-16, si se utilizan los conectores metálicos, la losa superior estará en condiciones de soportar el comienzo de las actividades de montaje electromecánicos, el día 21 de Septiembre del 2009.

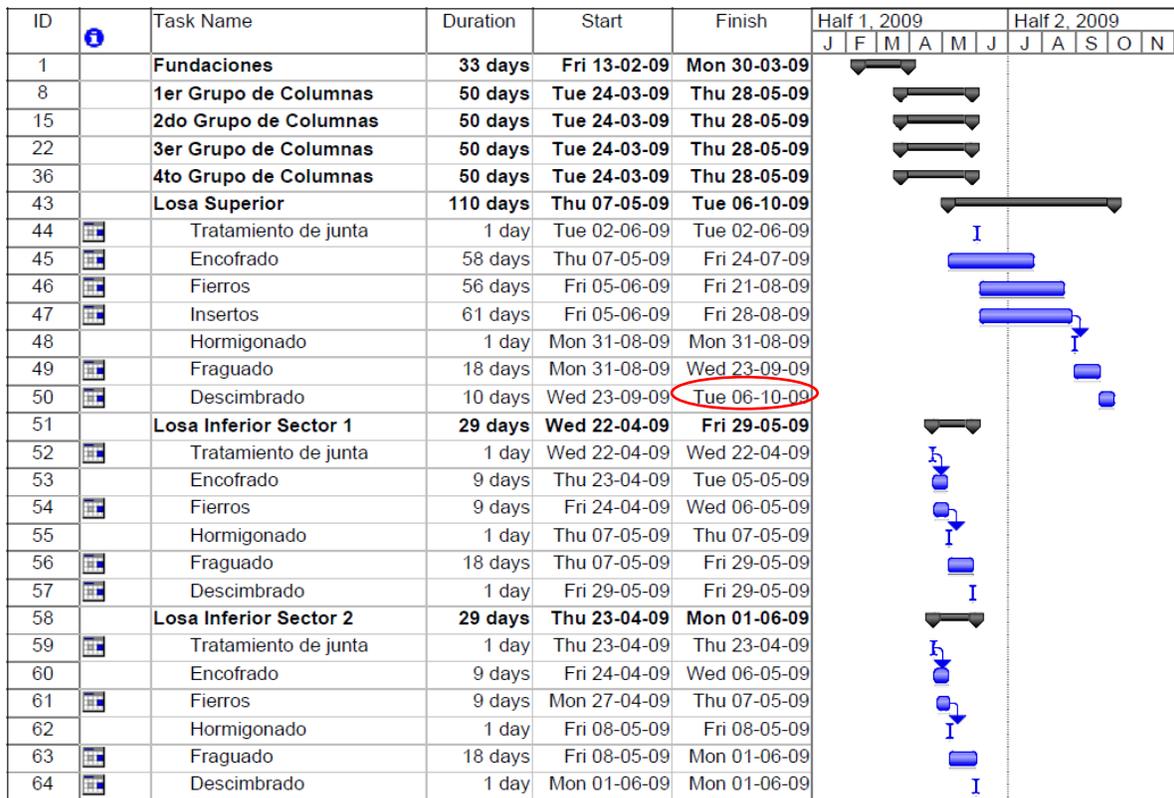


Figura 6-17: Programa original, sin la utilización de los conectores metálicos.

El programa superior, ilustra el programa original de obra, de las obras de hormigón de soporte de la turbina. En este caso, las actividades que corresponden al montaje electromecánico de la turbina pueden comenzar el día 06 de Octubre de 2009, 11 días después que con la implementación de esta nueva tecnología.

6.4.3. Matriz de Comparación

Tabla 6-1: Matriz de comparación entre la utilización de conectores y método tradicional con traslapo

Tecnología/Material	Conector Metálico		Método Tradicional		Diferencia	
	Costo Real (\$)	Participación Presupuesto	Costo Real (\$)	Participación Presupuesto	(\$)	Porcentaje Ahorro o Aumento Costo
Equipos (Apoyo)	\$59.349.118,20	56%	\$78.345.615,00	59%	\$18.996.496,8	14%
Materiales (Propios de la tecnología)	\$2.186.932,50	2%		0%	\$ (2.186.932,50)	-2%
Mano de Obra y Maquinaria (Propios de la tecnología)	\$3.356.250,00	3%		0%	\$ (3.356.250,00)	-3%
Mano Obra (Equipos de Apoyo)	\$41.072.184,00	39%	\$54.393.660,00	41%	\$13.321.476,0	10%
Total	\$105.964.484,70	100%	\$132.739.275,00	100%	\$26.774.790,3	20%
Programa	157		168		11	7%

La implementación o utilización de los conectores, significan en este caso ahorros en los costos y además permite un ahorro en tiempo. Esto se debe a que la obra en particular tiene cumple con las condiciones necesarias para que los conectores fueran una solución atractiva.

Como lo demuestra la matriz de comparación, los conectores implican un gasto adicional en términos de equipos y mano de obra, gasto que no se debe realizar con el empalme tradicional. Sin embargo, como permite modificar las secuencias constructivas, genera impactos en las otras actividades. Si se consideran en el costo total, solo las actividades directamente afectadas por la utilización de los conectores, se genera un ahorro de un 20%. Con este ahorro el gasto adicional generado por la utilización de los conectores representa solo 5% del costo total.

Por otro lado el ahorro en tiempos para permitir el montaje electro mecánico de la turbina, no es tan significativo, ya que solo permite el comienzo de su instalación 11 días antes de lo previsto. Frente a los 160 días que dura la construcción de la estructura de hormigón, este ahorro no es muy relevante.

7. Sistemas de transporte y distribución de agua potable domiciliaria

Las tuberías de cobre, como sistemas de transporte y distribución de agua potable, se han utilizado en Chile desde la década del 50. Muchos expertos reconocen que no existe mejor material para la conducción de agua potable. Sin embargo el creciente precio internacional de este metal, hace que cada vez, los materiales alternativos, sean más atractivos para la construcción. En el presente capítulo, se presentan dos sistemas que reemplazan el uso del cobre con materiales plásticos, las tuberías de polietileno reticulado (PEX), y las de polipropileno (PPR).

Los tubos PEX o polietileno reticulado son parte de un sistema de distribución y transporte de agua potable, caliente y fría, que tiene una serie de ventajas por sobre el sistema de distribución a base de tubos metálicos. Los tubos PEX son flexibles, resistentes a productos químicos y a la acumulación de depósitos calcáreos, libres de corrosión y porosidades. El sistema es de rápida instalación en comparación a los tubos rígidos, además prescinden de gran cantidad de fittings y conexiones.

Las tuberías de polipropileno, por otro lado, tienen la misma configuración de distribución que las tuberías de cobre. Además estos tubos ofrecen los mismos beneficios que la utilización de los tubos de cobre, sin embargo son de más fácil instalación y los precios de las tuberías y de los fittings necesarios son menores.

7.1. Las Tecnologías

7.1.1. Tubos PEX

Los tubos PEX, son hechos de HDPE reticulado⁷. El proceso de reticulado consiste en unir, mediante un enlace químico transversal, distintas cadenas independientes de polietileno, generando una red tridimensional.

La tubería PEX se ha usado en Europa desde 1970, y fue introducida en EEUU alrededor de los años 80. La utilización del PEX se ha ido masificando desde entonces, utilizado mayormente para calefacción mediante el sistema de losa radiante. Sin embargo, en los últimos años la popularidad de este tipo de tubos para redes de agua potable, caliente y fría, ha ido creciendo.

7.1.2. Tubos PPR

En la búsqueda de un sistema y producto confiable para la conducción de agua y otros fluidos, capaz de soportar altas temperaturas, presiones, con uniones de tubos y fittings sin filtraciones o escapes, investigadores alemanes desarrollaron un material llamado Polipropileno Copolímero Random (PPR o Tipo 3).

Este material, en conjunto con su sistema de unión, llamada termo-fusión (fusión molecular) en el que las piezas se fusionan, dan como resultado un sistema de tuberías para conducción de fluidos a altas temperaturas y presiones, bajo las condiciones más exigentes, garantizando una vida útil de hasta 50 años de uso continuo(Registro CDT).

El polipropileno copolímero random, es de un alto peso molecular, y su estructura molecular aseguran una gran resistencia mecánica y de larga vida útil.

⁷ Reticulado: término utilizado para describir el enlace químico de las moléculas de HDPE en una red tridimensional.

7.2. Factores de utilización.

La implementación de este tipo de tuberías presenta ciertas ventajas con respecto a la utilización de las tuberías de cobre, ventajas que hacen atractivo el uso de éstas.

Propiedades de las tuberías PEX:

- Al ser tubos plásticos, estos no se corroen ni sufren erosión de sus paredes.
- Son inertes al pH del agua que transportan.
- Sistema libre de ruidos de escurrimientos de agua.
- Soportan con mayor efectividad el fenómeno de golpe de ariete.
- No son afectados por altas velocidades de escurrimiento.
- Debido a los depósitos calcáreos, se necesitan menores diámetros para entregar el mismo caudal que con tuberías metálicas.
- Tubos flexibles.
- Los coeficientes de rugosidad son muy bajos, resultando en bajas pérdidas de carga hidráulica.
- Bajo nivel de fisuración, un 20% del espesor de la pared de tuberías permanece sin fisuras.
- No posee compuestos clorados.
- Posee memoria térmica⁸.
- Liviano y de fácil manejo. Un rollo de 100 m de tubería pesa alrededor de 10 kg.
- Existencia de normas que certifican⁹
 - Propiedades del material.
 - Instalación.
 - Uso en redes de agua potable.

⁸ Ver Anexo B, sub-capítulo b.

⁹ ASTM F876, ASTM F877, NCh 2086.

- Reducción de descompensación de temperatura y presión cuando más de una línea está en servicio.

Propiedades de las tuberías PPR:

- Alta resistencia al medio externo.
- Resistente a la exposición de rayos solares (rayos UV).
- Resiste el contacto con cal, cemento y otras sustancias corrosivas (p.e. ácido muriático)
- Alta conductividad de fluidos.
- Es inerte y atóxica, no afecta el color, sabor u olor del líquido transportado.
- Resiste la corrosión indefinidamente.
- Superficie lisa y libre de porosidades, no permite las incrustaciones de sarro asegurando valores máximos y constantes de caudal y presión por más de 50 años.
- La alta resistencia mecánica, le permite resistir altas presiones
- La baja conductividad térmica de las tuberías permite la mantención de las temperaturas del líquido en transporte.
- La elasticidad de las tuberías permite aumentar su sección en caso de congelamiento del líquido en su interior.
- Debido a que el polipropileno es flexible y elástico, hace de éstas, tuberías ideales para zonas sísmicas.
- Responden plenamente a las normas de higiene sanitarias internacionales y chilenas (Higiene Institute, Alemania), normas chilenas NCh 425, NCh 1801, NCh 1802, NCh 1803 y NCh 1804.
- Son malos conductores eléctricos, lo que evita el riesgo de perforaciones del tubo y fittings a causa de corrientes galvánicas.

- Bajo nivel de ruido: La elasticidad y la absorción fónica de las tuberías evitan la propagación de ruido y vibraciones por el paso de fluidos y golpes de ariete.
- En función de la temperatura y presión de servicio, tienen una vida útil superior a 50 años.
- No sufren problemas de erosión.

7.3. Costos de Utilización

Con el aumento significativo del precio del cobre, se hizo necesario buscar sistemas de conducción de agua potable que entregaran los mismos beneficios que las tuberías metálicas pero a un costo mucho menor. Debido a esto se han desarrollado varias soluciones, la gran mayoría con materiales plásticos. En Chile, principalmente se tienen experiencias con PEX (hidrocableado y casquillo corredizo), PPR y CPVC.

Los sistemas basados en CPVC tienen una gran limitante para la entrada al mercado. La unión de los tubos con los fittings se hace mediante un pegamento especial. Este pegamento posee un tiempo de secado de aproximadamente 3 horas pero la prueba de presión solo es posible de realizar a las 24 horas de terminado el circuito. Este tiempo muerto hace poco atractiva su utilización en cualquier tipo de edificación.

El PEX con casquillo corredizo tampoco logró causar un impacto positivo en el mercado, ya que tiene dos grandes deficiencias. El fitting para este sistema es demasiado caro y el precio de los tubos no logra contrarrestar este factor, haciendo económicamente inviable su utilización.

El PEX hidrocableado, es un sistema de tuberías flexibles que evita la utilización de fittings para su distribución. El tubo se puede doblar manualmente, y se instala en un solo tramo desde la caja de distribución hasta el artefacto. La tubería PEX debe ser instalada, dentro de un tubo corrugado que permite el reemplazo de ésta de manera fácil y rápida. Además las conexiones son de fácil

instalación y se necesitan herramientas básicas, tijeras para tuberías y una llave francesa de la medida necesaria, para realizar las conexiones.

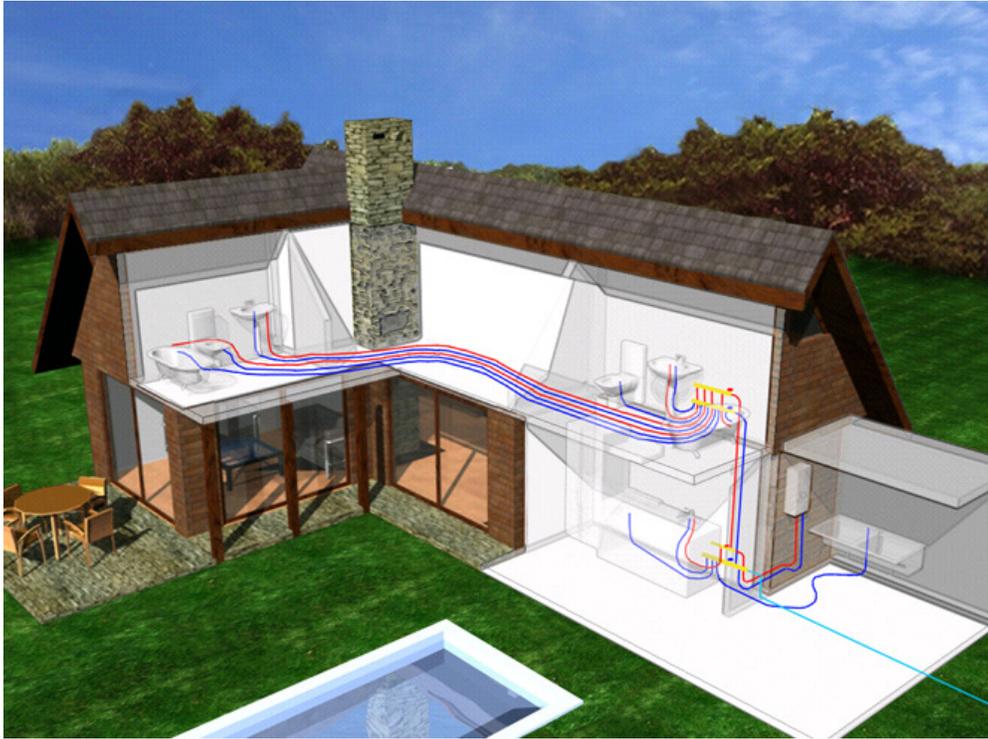


Figura 7-1: Diagrama de una casa con la distribución de agua potable en PEX.

Como se aprecia en la figura 7-1, la distribución de los tubos dentro del inmueble es bastante simple. Las conexiones necesarias son solo en la caja de distribución y en el artefacto. El tubo, tal como se hace con el cobre, se tiende entre la malla inferior y superior de las losas. Debido a la gran flexibilidad del tubo, el recorrido que hace desde la caja hasta el aparato es muy parecido al que tendría una manguera de jardín entre cualquier punto “A” y “B”. Los conectores se unen al tubo mediante la utilización de un anillo de apriete y una tuerca, haciendo de las conexiones una tarea fácil, que no requiere de mano de obra especializada.

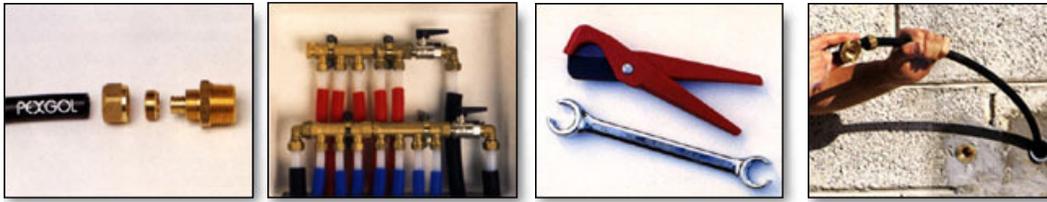


Figura 7-2: (de izquierda a derecha) Conector tubo PEX (al centro el anillo de apriete); caja de distribución, un colector para agua caliente y otro para fría; tijeras y llave; conector HI para artefacto(PEX S.R.L).

El suministro de los tubos se hace en rollos de 100 metros, facilitando enormemente su almacenaje y transporte dentro de la obra. Es importante destacar, que el tubo pierde muchas de sus propiedades si es expuesto al sol, por lo que debe ser protegido en todo momento de este.

Todos estos beneficios son muy atractivos pero deben considerarse sus desventajas, y éstas son consecuencias de los atractivos principales, su flexibilidad, facilidad de puesta en obra y su recubrimiento con tubo corrugado. La posibilidad de poder reemplazar rápidamente las tuberías sin la necesidad de romper otros materiales, se cumple solo cuando se verifican dos condiciones. La primera, el tubo corrugado debe ser al menos dos medidas superiores que el tubo PEX y deben ser instalados en conjunto, ya que en el momento de hormigonar, el hormigón aprisiona el tubo corrugado reduciendo su sección. Si no se utiliza un corrugado de sección mayor, este atrapa al tubo PEX imposibilitando su deslizamiento. La segunda, nunca se debe sobrepasar el radio máximo de giro de las tuberías. Esto se hace principalmente crítico en los puntos de paso horizontal a vertical, ya que normalmente el trabajador, por hacer el trabajo más rápidamente, hace el quiebre de la tubería en 90°, imposibilitando el deslizamiento de la tubería dentro del tubo corrugado. La gran recurrencia de estas malas prácticas, hace muy costosas las reparaciones del sistema, haciéndolo poco atractivo y en definitiva muy costoso. Por estos motivos los tubos PEX no ha logrado entrar de manera fuerte en el mercado.

Las tuberías PPR, se distribuyen de la misma forma que los tubos de cobre, y además utilizan el mismo tipo de fittings y medidas. Esto hace que la etapa de diseño sea mucho más fácil y con menos errores, ya que los 50 años de

experiencia con el cobre se transmiten directamente al diseño de redes con polipropileno. Por otro lado el costo de los tubos y fittings es sustancialmente menor que los tubos y piezas de cobre y bronce.

El proceso de instalación de esta red es mucho más simple y reduce drásticamente la posibilidad de errores en las conexiones. Mientras que para implementar los tubos de cobre es necesario, cortar los tubos con sierra manual, pulir cuidadosamente los extremos del tubo y el interior de los fittings, estañar las piezas, calentar mediante soplete y soldar. Para juntar las piezas de polipropileno, se cortan los tubos con tijeras especiales y con la ayuda de una máquina especial que funciona a 260-280°C se calientan el fitting y el tubo durante algunos segundos. Una vez obtenida la temperatura óptima, se introduce la tubería dentro del fitting una distancia normada y ambas piezas se fusionan completamente disminuyendo drásticamente las posibilidades de fugas en las uniones de las piezas. Esto hace de este sistema, una red de distribución tan confiable como la de cobre y más económica.

Con respecto a las reparaciones, este tipo de tuberías tiene soluciones muy económicas. Dependiendo del tipo de daño que haya sufrido la tubería, la peor situación es que la tubería haya sido traspasada en ambas paredes, la reparación necesita un máximo de 30 cm libre de tubería, minimizando el área que se debe romper para llevar a cabo el trabajo. Lo que se traduce en bajos costos de reparación.

7.4. Utilización en una obra real

Para comparar los costos y los rendimientos de los distintos tipos de redes de agua potable, se distribuyó cada una de las alternativas en un departamento habitacional de 40 metros cuadrados. Dicho departamento tiene una pieza, escritorio, cocina y baño. A continuación se muestran la planta del departamento analizado, con cada una de las distribuciones disponibles.

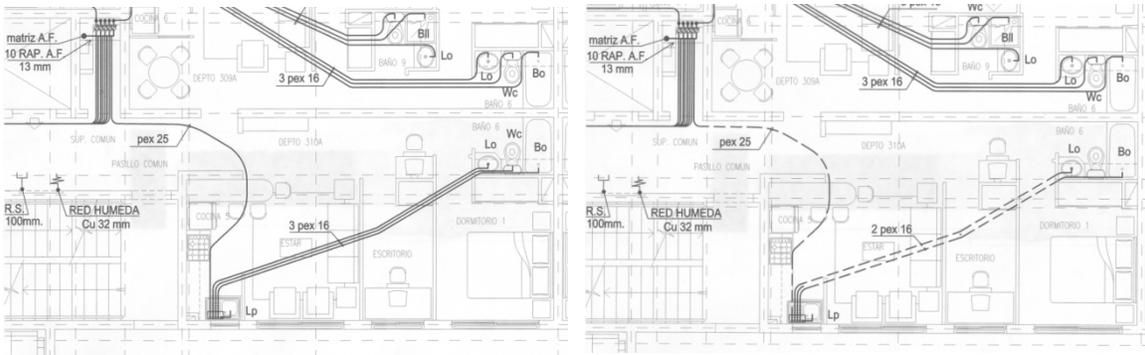


Figura 7-3: Distribución del sistema PEX para agua fría y caliente (izquierda y derecha).

Como se puede ver en la figura 7-3, los tubos PEX, atraviesan la losa sin quiebres en ángulo recto, recorriendo el menor camino posible entre los puntos de distribución y los artefactos. A diferencia de las otras dos opciones en análisis, se utiliza un tubo para agua caliente y un tubo para el agua fría, por cada artefacto. Así como se utiliza un colector por red de agua fría y otro para el agua caliente.

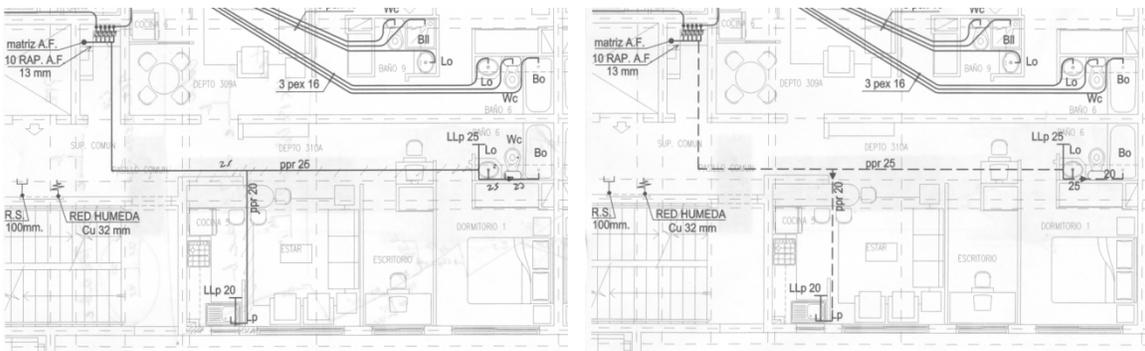


Figura 7-4: Distribución del sistema PPR para agua fría y caliente (izquierda y derecha).

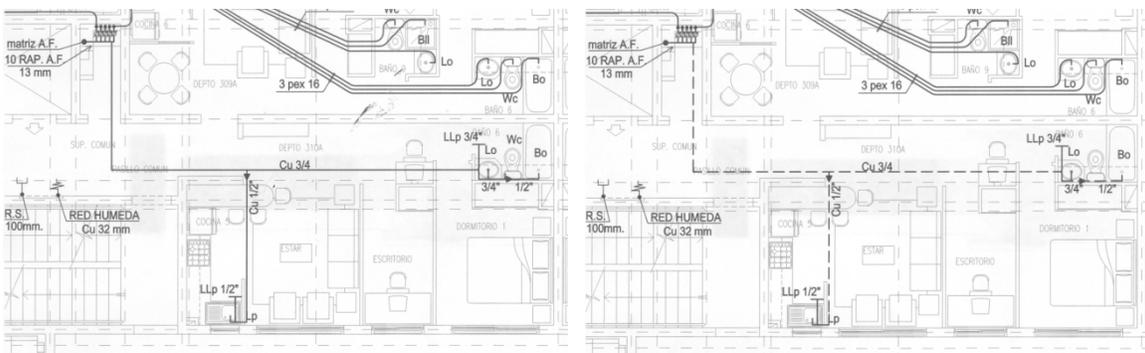


Figura 7-5: Distribución del sistema cobre para agua fría y caliente (izquierda y derecha).

Las figuras 7-4 y 7-5, muestran las distribuciones de tuberías para agua caliente y fría. Se puede ver que las configuraciones son las mismas tanto para el cobre como para el PPR. Además se aprecia la gran diferencia que existe entre las configuraciones de PEX y PPR para un mismo departamento.

7.4.1. Secuencia Constructiva

La secuencia constructiva para un departamento o casa no varía según el tipo de tubos que se esté utilizando. Una vez tendida la malla inferior de la losa, entra la cuadrilla de gasfiteros, que hacen el tendido de los tubos. Una vez terminada la distribución se realiza la prueba de carga. En esta prueba se verifica que no haya fugas en la red y que el sistema aguanta la presión establecida según RIDDA¹⁰. Verificada la prueba de carga, se instala la malla superior de la losa para finalmente hormigonar. Finalmente cuando la losa y los muros fueron descimbrados, se hayan armado las divisiones de tabiquería e instalado los cerámicos en los baños y cocinas, vuelven a entrar los gasfiteros para realizar la conexión e instalación de los artefactos.

7.4.2. Programa

El programa general de edificación se ve afectado por la rapidez de instalación de los distintos métodos. Esto se debe a que el tendido de las redes de agua potable, se encuentra en el camino crítico de actividades en la edificación de viviendas y departamentos. Como se dijo anteriormente no se puede iniciar el hormigonado de las losas hasta que se haya comprobado el correcto funcionamiento de las redes de agua potable, mediante la prueba de carga.

Con cada método se pueden obtener distintos rendimientos de instalación de redes y de armado de baños y cocina. Dependiendo del número del departamentos por piso, sus configuraciones y de la cantidad de mano de obra, se

¹⁰ Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Alcantarillado y Agua Potable

pueden obtener las duraciones totales por cada tipo de obra. Por experiencia de empresas dedicadas a las instalaciones sanitarias, los rendimientos de instalación, de redes, baños y cocina, para los distintos métodos siguen el siguiente orden ascendente: PEX, PPR y finalmente Cobre.

7.4.3. Matriz de Comparación

Tabla 7-1: Matriz de Comparación utilización distintos métodos de transporte y distribución de agua potable domiciliaria.

Tecnología	PEX		PPR		Cobre	
	Costo Real (\$)	Participación Presupuesto	Costo Real (\$)	Participación Presupuesto	Costo Real (\$)	Participación Presupuesto
Tubos	\$ 49.065	52%	\$ 34.507	55%	\$ 114.126	78%
Fittings	\$ 44.402	48%	\$ 28.438	45%	\$ 32.467	22%
Total	\$ 93.468	100%	\$ 62.945	100%	\$ 146.593	100%
Herramientas y Equipos	\$3.580		\$85.520		\$21.560	
Rendimientos (Distribución de Redes)	4	depto/día	3	depto/día	3	dpto/día
Rendimientos (Distribución Baño)	8	baños/día	6	baños/día	3	baños/día
Dotaciones	1 M1+ 1 Ayud		1 M1+ 1 Ayud		1 M1+ 1 Ayud	

Como lo muestra la tabla 7-1, ambas tecnologías que reemplazan a la red de distribución de cobre, son más económicas y además pueden ser instaladas en menor tiempo. Es por esta razón que las tuberías de cobre solo se utilizan en casos especiales, por lo general cuando el cliente lo especifica directamente.

Mientras que el precio del fitting se mantiene relativamente parejo entre las tres alternativas, el real diferenciador entre ellas es el precio del tubo. Mientras que para el PEX y el PPR las proporciones entre el tubo y el fitting es más o menos estable, alrededor de un 50%, en el sistema de distribución basado en cobre el tubo representa cerca del 80% del costo total. Si el criterio de elección

fuese solo términos de costo de materiales, la elección sería las tuberías de polipropileno, que son un 57% más económica que el cobre.

Por otro lado, el sistema PEX es el que tiene mejores rendimientos de instalación, seguido por PPR, sin embargo como ya se mencionó en la sección anterior, los costos de reparación son mucho menores. Es cierto también, que las máquinas y herramientas para realizar a cabo las uniones y las reparaciones de PPR, son las más costosas dentro de las tres alternativas. Sin embargo éstas se pueden utilizar durante mucho tiempo antes de tener que cambiarlas, por lo que su costo es amortiguado en el ahorro que se genera en el proyecto por optar por este tipo de tuberías.

Las afirmaciones antes mencionadas confirman la tendencia actual en Chile. Lo más usado como sistema de agua potable, son los tubos de polipropileno.

8. El hormigón autocompactante (HAC).

El hormigón autocompactante es un hormigón de alta fluidez pero de gran resistencia a la segregación, que evita la utilización del vibrador mecánico para lograr la compactación. Esto permite la utilización de hormigón en estructuras de difícil arquitectura o que tengan una alta densidad de enfierradura. A su vez la utilización de HAC en estructuras ordinarias o convencionales, acarrea ventajas por sobre los métodos comúnmente aceptados.

Aunque las aplicaciones convencionales pueden realizarse con hormigón convencional, debido a que no hay problemas con espacio etc., el HAC permitiría en algunos casos la reducción de los plazos de construcción y la reducción de los costes generales y de ejecución de las obras.

Este tipo de hormigón especial utiliza menos mano de obra para la colocación, es más rápida, incluso con la reducción de personal. Por otro lado la generación de ruidos en el hormigonado es mucho menor que el proceso convencional, mejorando las condiciones de trabajo y reduciendo la contaminación acústica. Genera espacios de trabajo más seguros para los trabajadores. Además proporciona mayor resistencia mecánica y una mejor terminación arquitectónica.

8.1. Tecnología del Hormigón Autocompactante.

El hormigón autocompactante, es un hormigón de alta fluidez, con muy baja segregación que fluye hasta su posición, rellena los moldajes y los espacios, incluso en zonas con alta congestión de acero sin la necesidad de vibración mecánica. Este hormigón se define por ser una mezcla que se vierte y se consolida por su propio peso. Como un hormigón de alta resistencia, el HAC entrega todas las propiedades antes mencionadas, sin perder ninguna de las propiedades mecánicas del hormigón normal y proporciona la misma durabilidad.

Algunos ajustes en las dosificaciones y la adición de hiper-plastificantes crean un hormigón fluido que cumple con las más altas necesidades de prestaciones mecánicas.

El hormigón autocompactable, ofrece ciertas ventajas frente al hormigón normal. Éstas se detallan a continuación.

- El nivel de terminado de superficies arquitectónicas es muy superior al hormigón común, permitiendo grandes ahorros en trabajos de terminado de superficies.
- Fácilmente llena secciones restrictivas o de difícil acceso, permitiendo la creación de figuras arquitectónicas imposibles de hacer con el hormigón convencional.
- Permite la implementación de tecnologías novedosas, como los moldajes con juntas magnéticas. Especialmente cuando se requieren formas de diseños complejos, los que no son posibles con el hormigón normal.
- Permite un mejor llenado alrededor de las armaduras mejorando el nivel de adherencia hormigón-acero.
- Más bombeable que el hormigón convencional.
- Mejora en uniformidad final al eliminar la variable del operador de la sonda del vibrador.
- Eliminación de contaminación acústica.
- Minimiza la relocalización de los camiones concreteros y bombas durante la colocación.
- Minimiza los riesgos para los trabajadores en la obra.
- Disminuye en gran porcentaje la posibilidad de tener nidos de piedra en la estructura.
- Permite mayor flexibilidad en el detallado de las armaduras en la etapa de diseño, ya que no necesita grandes espacios entre barras para el proceso de hormigonado.

En general el comportamiento del HAC, es complejo y depende de varios factores incluyendo las cargas de servicio, condiciones medio ambientales, las condiciones de hormigonado, la experticia de la cuadrilla de hormigones, la calidad de los materiales y del control de calidad de la producción. La capacidad de llenado del HAC dependerá de la posición de hormigonado, los métodos de consolidación, la complejidad del molde y la cuantía de hormigón de la sección.

El HAC permite la implementación del proceso de inyección desde abajo hacia arriba. En este caso la bomba se conecta, a una válvula especial, en la parte inferior del encofrado. Gracias a este tipo de procedimiento, el llenado del molde y la liberación de aire del hormigón ocurre de manera óptima, asegurando la calidad del producto terminado.

8.1.1. Propiedades en estado fresco

Este tipo de hormigones se diferencia del hormigón común principalmente por sus propiedades en estado fresco. Estas propiedades se pueden definir de dos maneras, la primera, evaluando las propiedades reológicas¹¹ de la mezcla y la segunda, es la medición estrictamente con ensayos de terreno. Las propiedades prácticas que debe evaluar el lector sobre el HAC son: estabilidad, capacidad de llenado y capacidad de paso.

La capacidad de llenado describe la habilidad con la que el hormigón fluye y llena completamente los espacios del molde, bajo la influencia de la fuerza de gravedad. La capacidad de paso se refiere a la facilidad con que el HAC fluye y paso entre obstáculos y zonas estrechas sin bloquearse¹². La estabilidad describe la capacidad del material de mantener la mezcla homogénea en todo su volumen durante el flujo y llenado del encofrado.

¹¹ Reología: Capacidad de deformación y el fluir de la materia.

¹² Bloqueo: Condición de trabado y de bloqueo del flujo continuo en la ausencia de vibración mecánica.

8.1.2. Ensayos que determinan las propiedades del HAC.

8.1.2.1. Cono de Abrams Invertido



8-1: Cono de Abrams invertido.

El objetivo de este ensayo es medir las capacidades de flujo del hormigón. Es muy similar al utilizado para el hormigón común, la diferencia reside en que el cono se utiliza invertido y en el llenado no se utiliza consolidación mecánica. Además una vez retirado el cono, se mide el diámetro que alcanza la mezcla de hormigón en horizontal, en vez del asentamiento vertical.

8.1.2.2. Ensayo de Anillo “J-Ring”



8-2: Ensayo de anillo

Este ensayo mide la capacidad de paso del HAC. Es una variación del ensayo de asentamiento, donde se coloca un anillo de barras de refuerzo alrededor del cono de Abrams. Luego el cono es llenado de HAC y levantado. Se mide el diámetro que logra la masa de hormigón. El indicador se obtiene al comparar con el flujo libre de HAC en el cono invertido.

8.1.2.3. Caja L



8-3: Ensayo Caja L

Ensayo que también se utiliza para medir la capacidad de paso del hormigón, es un contenedor en forma de L dividido en una sección vertical y otra horizontal que es separada por una compuerta. En la sección horizontal, en la zona más cercana a la compuerta, se instala un obstáculo de tres barras de construcción. La sección vertical es llenada con HAC para levantar inmediatamente después la compuerta permitiendo el flujo. Se mide luego, la altura de la columna de hormigón que quedó dentro de la sección vertical (h_1) y la longitud de la zona rellena con hormigón de la horizontal (h_2). Luego se calcula la h_1/h_2 que define el coeficiente de bloqueo.

8.1.2.4. Columna de Segregación



8-4: Columna de segregación

Este ensayo mide la estabilidad del HAC. El hormigón es vertido dentro de una columna de 610 milímetros de alto que está dividida en secciones. El HAC se deja asentar durante 15 minutos, para luego separar la columna en sus secciones. El hormigón dentro de cada sección es pasado por la malla No. 4 (4.75 m) y los áridos pesados. Un hormigón estable, tendrá una cantidad de áridos consistente entre la sección superior y la inferior.

8.1.3. Variables que influyen en el comportamiento en estado fresco del HAC.

8-1: Variables que afectan la capacidad de llenado.

Variable	Influencia
Cuantía de Hormigón	Altas cuantías inhiben o dificultan el flujo del hormigón
Irregularidad del Elemento	Elementos irregulares son más difíciles de llenar
Espesor de muro	Secciones estrechas son más difíciles de llenar
Técnica de vaciado	Ritmos lentos y discontinuos empeora las condiciones de llenado
Largo del elemento	Distancias más largas son más difíciles de llenar
Fluidez	La alta fluidez mejora la capacidad de llenado
Viscosidad	Si la viscosidad es muy alta limita la capacidad de llenado del elemento

8-2: Variables que afectan la capacidad de paso.

Variable	Influencia
Cuantía de Hormigón	Altas cuantías pueden causar bloqueos en el flujo
Estreches del molde	Estreches del elemento puede causar bloqueos en el flujo
Fluidez	Si la fluidez es muy baja puede que la deformabilidad no sea la suficiente, en cambio si es muy alta puede causar inestabilidad y segregación de la mezcla.
Viscosidad	La viscosidad debe ser calculada en función de la fluidez
Tamaño del árido	Áridos muy grandes tienden a incrementar el bloqueo
Cantidad de áridos	Gran cantidad de áridos en la mezcla, tienden a incrementar el bloqueo

8-3: Variables que afectan la estabilidad de la muestra

Variable	Influencia
Técnicas de llenado	Si la energía de descarga es muy alta puede causar segregación
Cuantía de Acero	Si el hormigón cae entre refuerzos horizontales puede causar segregación de la mezcla
Altura del Elemento	La profundidad o altura del elemento es proporcional al potencial de causar segregación por asentamiento
Fluidez	Si se mantienen todas las variables, y la fluidez aumenta entonces la estabilidad disminuye
Viscosidad	Si aumenta la viscosidad también aumenta la estabilidad

8.1.4. Propiedades del HAC en estado endurecido

Mientras que las propiedades en estado fresco del HAC difieren bastante a aquellas del hormigón común, las propiedades del hormigón autocompactante en estado endurecido pueden ser diseñadas de manera que igualen o superen aquellas del hormigón normal.

Dadas las mismas materias primas y las mismas especificaciones de resistencia, las propiedades del HAC son muy similares a aquellas del hormigón convencional.

8.1.4.1. Resistencia a la compresión

Para lograr las características que definen el HAC, es necesario especificar mezclas con razones de agua/cemento menores que las convencionales. A consecuencia de esto, las resistencias a la compresión suelen ser mayores que las del hormigón de uso común. Incluso con una misma razón de agua/cemento, mezclas de HAC logran mayores resistencias que el hormigón convencional, debido a que la ausencia de vibraciones promueven una micro-estructura más uniforme y una disminución de porosidades en el HAC.

8.1.4.2. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión que presenta el HAC puede ser mayor que la del hormigón convencional para mezclas con dosificaciones similares.

8.1.4.3. Módulo de Elasticidad

Experiencias han mostrado que para una misma resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad que presenta el HAC suele ser un 10% a 15% menor que el del hormigón normal, debido a los requerimientos de este para lograr las capacidades en estado fresco. Otras sin embargo han mostrado lo contrario, que el módulo del HAC coincide con el logrado por el hormigón normal. Debido a lo anterior, la ACI recomienda utilizar la misma fórmula para calcular el módulo de elasticidad en HAC y hormigón convencional¹³.

8.1.4.4. Retracción hidráulica, retracción de Fraguado y retracción plástica

8.1.4.4.1. Retracción Hidráulica

La retracción hidráulica puede ser particularmente alta en mezclas con baja razón de agua cemento, alto contenido de cemento y otros elementos cementantes que presenten alta reactividad puzolánica en etapas tempranas. En el caso del HAC se debe tener especial cuidado para minimizar las pérdidas de humedad.

Por otro lado se debe considerar el efecto producido por la cantidad de escoria de alto horno en el cemento. Se ha comprobado que la finesa de las partículas tiene gran efecto en la retracción hidráulica del hormigón. Las finas partículas de la escoria tienen una superficie mayor, que favorece a las reacciones puzolánicas, acelerando las reacciones y aumentando el nivel de retracción.

¹³ $E_c = 4700\sqrt{f_c}$ [MPa]

8.1.4.4.2. Retracción de fraguado

Hormigones con alto contenido de pasta de cemento y con bajo contenido de áridos tienden a tener gran potencial para desarrollar altas retracciones de fraguado. Se ha observado que la retracción de fraguado en hormigones autocompactantes suele ser similar o inferior que para hormigones convencionales de igual resistencia a la compresión. Para HAC así como también para otros tipos de hormigones, si se mantienen todos los otros parámetros iguales, mientras más alta sea la relación de agua cemento menor será la retracción hidráulica pero mayor será la retracción de fraguado.

8.1.4.4.3. Retracción plástica

Dado que el HAC presenta bajos o nulos niveles de exudación superficial, pueden ser muy propensos a desarrollar retracciones plásticas. El HAC, al igual que el hormigón convencional debe ser protegido contra la pérdida de humedad, principalmente durante las primeras 24 horas del proceso de fraguado.

8.1.4.5. Fluencia Plástica

Así como en hormigones convencionales, la fluencia plástica es muy dependiente a la composición de la mezcla del HAC, la cantidad de mortero y del contenido de áridos. La fluencia plástica del HAC es muy similar a la del hormigón convencional con dosificaciones similares. Sin embargo, cuando el HAC es dosificado con un alto contenido de mortero, puede presentar un aumento en la fluencia lenta en comparación con hormigón convencional con similares resistencias a la compresión.

Algunos estudios han demostrado que la fluencia plástica del HAC, es muy similar a la del hormigón convencional cuando se les aplica una misma carga constante.

El efecto que tiene en la fluencia lenta, la finesa de las partículas de escoria de alto horno en el hormigón autocompactante, es variable dependiendo de los regímenes de carga a la que es sometido. Cuando se es cargado en edades tempranas, el efecto de la finesa de las partículas es más pronunciado, sin embargo si se carga a edades tardías este efecto es casi nulo.

8.1.4.6. Adherencia de las barras de refuerzo.

Si el HAC fue bien dosificado, la adherencia de las barras de refuerzo es de similares o mejores características que para el hormigón convencional. El HAC fluye fácilmente alrededor de las barras generando una masa uniforme que se adhiere bien a las barras. El anclaje de las barras en HAC logra ser hasta un 40% mayor cuando se comparan con hormigones convencionales de similares características.

Esto se puede deber al bajo contenido de agua y de la alta cantidad de partículas finas en el HAC, que disminuyen la exudación alrededor de las barras horizontales.

Sin embargo se debe tener cuidado en las armaduras superiores de las secciones de hormigón. Ya que mezclas de HAC mal diseñadas tienden a incrementar los niveles de exudación y disminuir sus niveles de estabilidad. En estas condiciones se produce un fenómeno denominado “top-bar effect” o efecto de barras superiores. En este caso se produce una disminución de los niveles de adherencia de las barras superiores de la sección, el efecto se hace más pronunciado mientras mayor sea el asentamiento de áridos medido por la columna de segregación. Un HAC bien diseñado y proporcionado es menos susceptible a este efecto que el hormigón convencional.

8.1.4.7. Resistencia a bajas temperaturas, ciclos de hielo y deshielo y químicos

Para que los hormigones sean resistentes a los ataques de agentes abrasivos y a condiciones adversas requiere ciertos niveles de porosidad, los agregados correspondientes y madurez. Cuando la porosidad lograda por el HAC es la adecuada, se obtienen excelentes resistencias a los ciclos de congelamiento y descongelado y contra los cloruros. Por ejemplo, hormigones autocompactantes con razones de agua cemento entre 0.45 y 0.5 con 450 a 525 kg/m³ de mezclas ternarias, con silicatos y escorias de alto horno o cenizas han demostrado desarrollar porosidades favorables del orden de los 200µm y excelentes resistencias a los ciclos de hielo y deshielo. Además las deformaciones tras 300 ciclos de hielo y deshielo permanecen limitadas a un 0.025% o 250 µm/m.

Hormigones de alta fluidez y con altas cantidades de HRWRA pueden generar gran cantidad de burbujas en la mezcla, cuando este es el caso, la adición de un aditivo incluso de aire puede ser utilizado para lograr un nivel de poros aceptable.

8.1.4.8. Micro-estructura del mortero

El hormigón autocompactante puede desarrollar una micro-estructura con capilaridades que reduce las propiedades de transporte del hormigón. Además se ha comprobado que el HAC desarrolla una baja permeabilidad contra el aire y bajos niveles de absorción de agua.

Por otro lado los coeficientes de transporte de cloruros han mostrado ser dependientes del tipo de cemento utilizado. Al igual que para el hormigón convencional, el HAC desarrolla valores menores de transporte de cloruros cuando la mezcla contiene cenizas, que las mezclas que no la contienen.

Típicamente, las bajas razones de agua cemento en el HAC, combinado con su alta homogeneidad, mejoran la interfaz entre el mortero y los áridos,

resultando en un hormigón con menor cantidad de nidos y poros aumentando la impermeabilidad.

8.1.4.9. Resistencia a la Carbonatación

Los hormigones autocompactantes generan el mismo nivel de resistencia contra la carbonatación que los hormigones convencionales.

8.1.5. Materiales

El hormigón autocompactante, difiere muy poco frente al hormigón convencional en cuanto a los materiales que son necesarios para generarlo. La única diferencia radica en la utilización de aditivos especiales que permiten obtener las propiedades en estado fresco que lo caracterizan. A continuación se presentan los materiales que conforman el HAC, y su influencia en el comportamiento del hormigón.

8.1.5.1. Cemento

Por lo general no se necesitan cementos especiales para lograr hormigones autocompactantes si no que cementos comunes, como por ejemplo el cemento portland.

8.1.5.2. Materiales cementantes suplementarios

Al combinar cementos portland con otro tipo de materiales cementantes, tales como el humo de sílice, cenizas y escorias, ayudan a incrementar el comportamiento autocompactante del hormigón (capacidad de paso, capacidad de llenado y estabilidad). Para el HAC es esencial encontrar la proporción de materiales que permiten al mortero las capacidades cementantes mientras que se asegura la estabilidad, la viscosidad y la capacidad de paso.

La reducción de la cantidad de agua y el aumento del contenido de materiales finos aumenta la estabilidad de la mezcla. Materiales de rellenos inertes, obtenidos de la molienda de caliza o de silicatos, pueden ser usados para mejorar la graduación de la mezcla de cementos portland logrando aumentar las capacidades cementantes, aumentando las densidades. La utilización de estos graduadores han demostrado mejorar las capacidades de llenado y de paso del HAC sin afectar las resistencias tempranas del hormigón. Sin embargo pueden presentar una disminución de un 10% de su resistencia a los 28 días. Además la utilización de materiales inertes pueden mejorar las temperaturas generadas en el proceso de fraguado.

8.1.5.3. Humo de sílice

Incrementan la estabilidad de la mezcla, ya que limita el transporte de agua dentro de la masa. Cuando se reemplaza del orden de un 5% con humos de sílice, se reduce la viscosidad de la mezcla, ya que su tamaño pequeño y su forma redondeada reduce la fricción entre las partículas cementantes.

8.1.5.4. Ceniza volante

Las partículas de ceniza volante son esféricas y de superficie suave, gracias a esto la mezcla puede mejorar las capacidades de transporte y aumentar la fluidez. Esto se logra cuando se reemplaza del orden de un 20% a un 40% del cemento portland.

8.1.5.5. Escoria de alto horno

Este tipo de cemento hidráulico puede ser utilizado para reemplazar al cemento portland. El uso de la escoria puede mejorar la estabilidad de la muestra.

8.1.5.6. Áridos

El tamaño máximo del árido debe ser elegido de manera que se obtengan índices aceptables de estabilidad y capacidad de paso. La ACI recomienda que para lograr hormigones autocompactantes de características aceptables, el tamaño máximo debe ser un tamaño menor a lo que recomienda la ACI 301. Además se debe considerar la forma de las partículas ya que la utilización de áridos chancados perjudica considerablemente las características de un HAC, si se comparan mezclas con una misma razón de agua cemento. Además la utilización de una selección de áridos bien graduados mejoran las condiciones de manejo de un HAC.

8.1.5.7. Áridos Finos

Los áridos finos deben ser arenas bien graduadas. Es beneficiosa la generación de una mezcla de arenas para lograr lo anterior.

8.1.5.8. Aditivos

Existe una gran variedad de HRWRA o aditivos reductores de agua de alto rango, que es realmente el aditivo que genera el hormigón autocompactante. Además se conocen los beneficios de la utilización de aditivos tipo VMA o modificadores de viscosidad, que también manejan la viscosidad y mejoran la estabilidad de la mezcla.

En términos generales los aditivos tipo HRWRA, le dan la fluidez a la mezcla, mientras que los del tipo VMA mejoran la estabilidad y viscosidad del hormigón. Sin embargo en algunos casos, los aditivos tipo HRWRA son utilizados por ambos motivos.

Para tener una guía acerca de las proporciones de materiales que han entregado resultados satisfactorios de HAC, favor dirigirse a Anexo D.

8.1.6. Factores a tener en cuenta al utilizar HAC

Los beneficios antes nombrados, pueden ser factores que atraigan al diseñador, al mandante o al contratista. Sin embargo, para lograr estas cualidades se deben tomar en cuenta, además de otros factores, las mismas precauciones que al utilizar los hormigones comunes.

El hormigón autocompactante, es menos tolerante a los cambios en las características de sus componentes (humedad, granulometría y forma de los áridos). Por ejemplo, cambios inesperados y no controlados en la humedad de los áridos, puede alterar completamente el comportamiento en estado fresco del hormigón. Es por esto que todos sus procesos de producción y aplicación, deben ser debidamente controlados.

Para lograr un acabado de superficie sin problemas ni manchas se debe considerar lo siguiente. El HAC, reproduce fielmente la superficie del encofrado, por lo que cualquier desperfecto en éste se verá reflejado en la superficie del hormigón. Se debe tomar en cuenta la capacidad de absorción de humedad del material del moldaje, ya que un material muy absorbente puede provocar una alteración en el fraguado del hormigón cercano al moldaje y/o generar manchas superficiales. Por otro lado si el material no tiene capacidad de absorber agua, como la madera fenólica o el acero, se debe aplicar una capa pareja pero muy fina de desmoldante, ya que éste, tiende a agruparse en gotas lo que se verá reflejado en la terminación superficial.

Se debe tener especial cuidado con la instalación de los encofrados ya que la alta fluidez del HAC, puede provocar flotación de alguna unidad del encofrado si ésta no está bien fijada. Además se debe tener especial cuidado en los sellos y juntas de los moldajes, ya que pueden provocarse fugas, deteriorando la calidad del acabado.

Todo personal que se encuentre relacionado con el proceso de hormigonado debe ser consciente que, un exceso de vibraciones provoca la segregación de la mezcla.

Por lo general no es recomendable modificar el HAC en obra, ya que como ya se nombró anteriormente es muy sensible a los cambios, además el proveedor debe ser capaz de entregar el hormigón con las especificaciones requeridas(GPE, 2006).

8.2. Costos de Utilización

8.2.1. Control de Calidad y Capacitaciones

Con respecto a los controles de calidad necesarios, el hormigón autocompactante, como cualquier hormigón, debe ser sometido a ensayos que determinan sus cualidades antes del proceso de hormigonado (para más detalles ver capítulo 8.1.2 de este documento). En definitiva, el HAC, debe ser sometido a ensayos al igual que el hormigón normal, por lo que no se generan costos adicionales en el control de calidad.

Es de especial necesidad que todo personal de obra que intervenga en el hormigonado con HAC, haya sido debidamente entrenado e instruido para los requisitos específicos de aplicación de este tipo de hormigones. Se debe tener especial énfasis en las consecuencias y de las acciones a seguir cuando ocurren vibraciones, el efecto de la velocidad de aplicación, el resultado de la interrupción durante la colocación, de los atascos, cuando ocurre segregación y liberaciones de aire. Además deben tener claro los procedimientos, cuando el proceso es realizado mediante bombeo, cubilote, capacho o canaleta y las condiciones necesarias para obtener un correcto acabado de superficies y curado.

8.2.2. Proceso de Hormigonado

Gracias a la alta fluidez de HAC, el proceso de hormigonado puede ser mucho más rápido, sin la necesidad de vibración mecánica ni enrase, resultando en menores costos de hormigonado. Como consecuencia directa, las rondas de los camiones concreteros se vuelven más cortas, aumentando la eficiencia de la programación y la capacidad de entrega de las empresas hormigoneras.

Los hormigones autocompactantes pueden ser llevados hasta el encofrado con las mismas técnicas que el hormigón convencional. Es decir con camiones concreteros para luego ser transportados por capachos o carretillas o ser bombeados hasta su posición final. Sin embargo y debido a las características de este hormigón se recomienda la utilización de bombas de hormigones, ya que este método aprovecha de mejor manera las cualidades del HAC.

- El autocompactante puede ser bombeado de manera rápida sin segregarse.
- Evita en gran medida los reposicionamientos durante el hormigonado, asegurando una mejor calidad en el acabado y evitando la posibilidad de juntas frías.
- Reduce significativamente las presiones de bombeo.
- El contenido de aire se mantiene estable.
- Se necesitan bajas presiones de bombeo para comenzar la operación.
- No se necesitan equipos especiales para bombear el HAC, siempre y cuando la mezcla permanezca estable.

8.2.3. Moldajes

Cuando se utilizan hormigones autocompactantes, se debe tener en cuenta que las presiones ejercidas sobre las paredes del encofrado dependen de las características de fluidez del hormigón, en este caso éstas siguen una distribución hidrostática. Por esto, los moldajes y las estructuras soportantes de éstos, deben ser capaces de soportar los esfuerzos adicionales generados por el HAC.

Además, el moldaje debe tener un alto nivel de estanquedad ya que al ser un hormigón de alta fluidez y baja viscosidad, pueden existir fugas que produzcan nidos y disminuyan la calidad del terminado superficial. Lo que puede generar en un aumento de los costos de los moldajes y equipos de apoyo.

8.2.4. Curado

Como las mezclas de HAC son obtenidas utilizando los mismos componentes que el hormigón común a excepción de los aditivos HRWRA y VMA's, los factores externos que afectan al hormigón convencional afectan de la misma forma a los autocompactantes. Es así como altas o bajas temperaturas, tipos de cemento, graduación de los áridos, contenido de agua, proporciones de la mezcla y contenido de aire afectarán de la misma manera al autocompactante. El curado es esencial y proteger rápidamente las superficies expuestas es clave para prevenir las pérdidas de humedad que puedan resultar en retracciones plásticas.

La utilización de HRWRA basados en policarbonatos aumentan la fluidez con bajas razones de agua cemento, sin intervenir con el desarrollo de resistencias tempranas. Gracias a esto, se pueden muchas veces, eliminar ciertas técnicas para evitar las sobre temperaturas en el proceso de curado.

8.2.5. Producción

La producción de hormigones autocompactantes, requiere de una selección y control minucioso de los materiales que lo forman, ya que los cambios en las condiciones de los materiales tienen grandes efectos en el comportamiento. Es por esto que se recomienda que los empréstitos y los proveedores entreguen materiales con características muy consistentes.

Como este tipo de hormigones necesita mezclas de áridos bien graduados y de formas específicas (redondeados no chancados), hace que su ubicación sea difícil y sean un bien escaso lo que incrementa sus costos.

El otro factor importante que diferencia a este hormigón con el convencional, es la utilización de aditivos HRWRA y de VMA's. Estos aditivos son producidos en el extranjero por lo que su importación y utilización significa, por el momento, un incremento significativo en el precio unitario del hormigón autocompactante.

En cuanto a la inversión para la implementación en plantas de producción, no son significativas. Más bien el costo se incurre en el entrenamiento del personal y en los numerosos ensayos necesarios para lograr las dosificaciones que aseguren un correcto funcionamiento del HAC.

En Chile, la utilización del hormigón autocompactante es bastante baja, su uso se limita a ocasiones cuando es realmente necesario, principalmente cuando existen dificultades de vaciado para el hormigón normal. Sin embargo en otros países como Estados Unidos, el hormigón autocompactante, representa un 50% de las ventas de hormigón premezclado.

8.3. Utilización en una obra real

Como ejemplo de utilización de hormigones autocompactantes se tomó como ejemplo una central termoeléctrica en la VIII Región del País. Dicha central tendrá una potencia instalada de 350 MW.

La estructura de hormigón necesaria para montar la turbina de la central, considera una gran losa de 2800 milímetros de espesor, con una gran cuantía de hormigón (250 Kg Fe/m^3), lo que imposibilita la utilización de hormigón normal. Debido a lo anterior se decidió la construcción de la losa utilizando hormigón autocompactante.

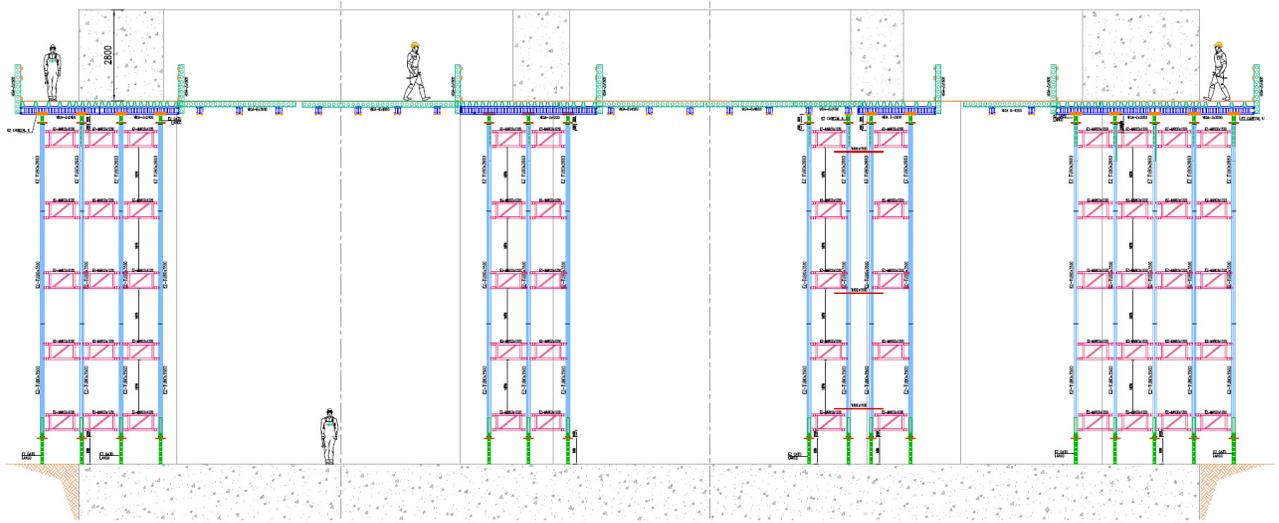


Figura 8-5: Corte transversal de estructura de hormigón armado para turbina.

La implementación del hormigón autocompactante tiene un impacto directo en los costos y en los tiempos en que se realiza la obra.

8.3.1. Secuencia Constructiva

La utilización de hormigones autocompactantes no modifica la secuencia constructiva de las obras, solo modifica los costos y las duraciones de las actividades que se ven directamente afectadas.

8.3.2. Programa

En esta sección del documento, solo se analizarán las actividades directamente involucradas en la confección de la losa superior de la estructura, ya que es la única sección de hormigón que fue hormigonada con hormigón autocompactante.

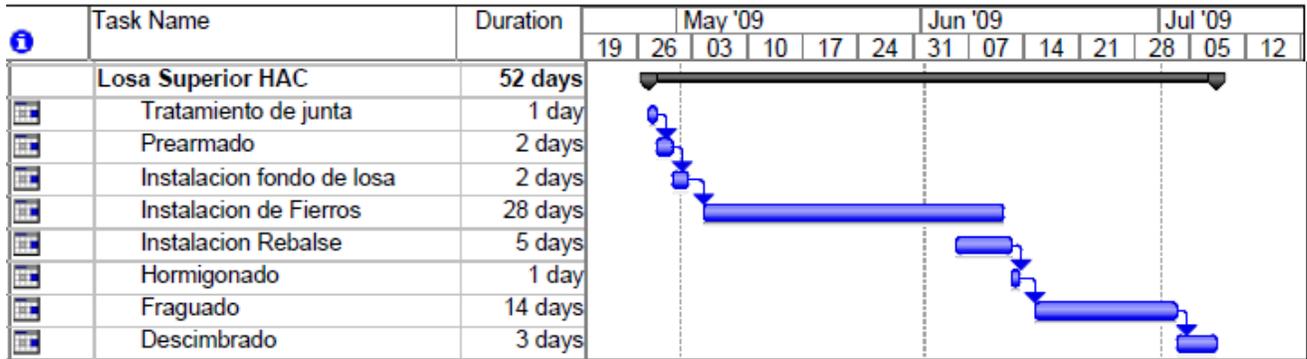
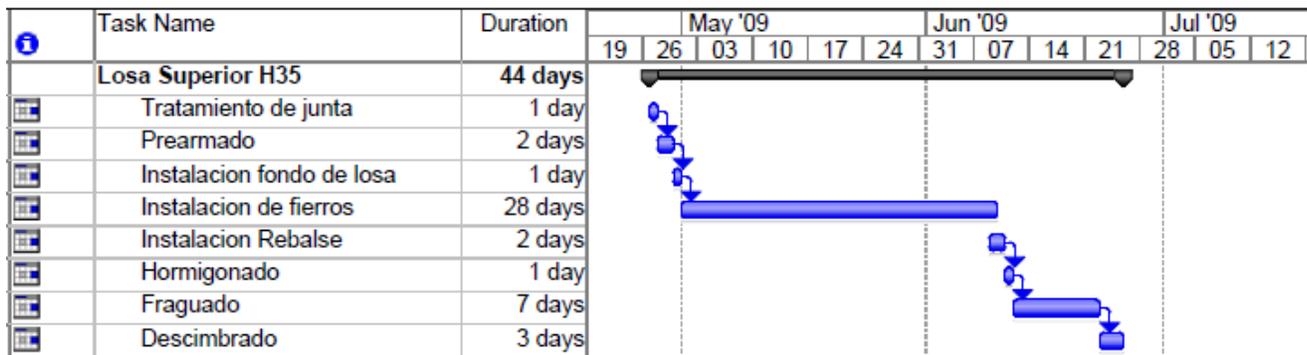


Figura 8-6: Programa de fabricación de la losa utilizando HAC.



8-7: Programa de fabricación de la losa utilizando hormigón convencional

Para la comparación de la utilización de ambos hormigones, se han tomado en cuenta ambos hormigones con las mismas especificaciones de resistencias tempranas y de resistencias mecánicas en estado endurecido. La especificación solo se modifica las características y capacidades en estado fresco del hormigón.

Como se puede apreciar en la figura 8-3, a diferencia de las tecnologías antes mencionadas, la implementación del HAC implica una mayor duración en la construcción de la losa. Esta diferencia se produce principalmente por la diferencia que hay en los tiempos de fraguado de ambos hormigones. Mientras al utilizar un

H35, se puede descimbrar la losa a los 7 días de vertido el hormigón, con el HAC solo se puede empezar a retirar los soportes temporales al día 14¹⁴.

Para poder utilizar este tipo de hormigones, es necesario además utilizar moldajes especiales, los cuales tienen mayor resistencia y por consiguiente la estructura soportante también es más complicada que para un H35 común, resultando en una baja en los rendimientos de los trabajadores. Es por esto que la instalación del encofrado, para el fondo de losa y rebalse, demoran 1 y 3 días más que para el hormigón normal respectivamente.

Con respecto a las velocidades de hormigonado, no se ve diferencia entre ambos programas, por lo que en este caso no se aprovecha la posibilidad que ofrece este tipo de hormigones con respecto a las velocidades de colocación.

8.3.3. Matriz de Comparación

Tabla 8-4: Matriz de comparación entre la utilización de HAC y hormigón común.

Tecnología	HAC		Hormigón		Diferencia	
	Costo Real (\$)	Participación Presupuestada	Costo Real (\$)	Participación Presupuesta	(\$)	Porcentaje Ahorro o Aumento Costo
Equipos	\$34.959.124	24%	\$13.279.321,83	23%	\$ (21.679.803,06)	-38%
Materiales	\$85.386.226	58%	\$33.363.877,51	58%	\$ (52.022.349,29)	-91%
Materiales (Apoyo)	\$2.290.317	2%	\$49.510,85	0%	\$ (2.240.806,45)	-4%
Mano de Obra	\$24.059.150	16%	\$10.426.756,71	18%	\$ (13.632.393,88)	-24%
Total	\$146.165.955	100%	\$57.119.466,90	100%	\$ (89.046.488,11)	-157%
Programa	52		44		8	18%

En este caso la implementación de hormigones autocompactantes encarece de manera significativa el proyecto. Este incremento de costos se aprecia en todos los ítems de estudio. En primer lugar, los moldajes al tener que resistir una mayor carga y cumplir con la estanquedad necesaria, son equipos con un precio de arriendo mayor que los encofrados normales.

¹⁴ Ver Anexo D, Figuras D-3 y D-4.

El costo del hormigón autocompactante es muy superior que el costo del hormigón normal, lo que incrementa el costo de los materiales en un 58%. Además al utilizar el hormigón autocompactante se deben utilizar materiales adicionales, como por ejemplo sellos, maderas y placas fenólicas.

Como los moldajes son más complejos, ya que deben resistir una mayor presión y asegurar estanqueidad, los rendimientos de las cuadrillas de moldajes disminuyen considerablemente, aumentando la cantidad de horas hombre para la instalación del encofrado.

En definitiva pareciera ser que el hormigón autocompactante no es una alternativa atractiva en este momento en Chile, sin embargo esto se vio acentuado por las características del proyecto y por la situación actual de los hormigones en el país.

Actualmente el hormigón normal se está vendiendo a precio de costo, por lo que los márgenes de las compañías son bastante bajos, lo que incrementa la brecha de precios entre ambos hormigones. En EEUU por ejemplo el hormigón autocompactante tiene solo un 20% de sobre precio con respecto al hormigón normal.

Esta diferencia de precios es justificada por varios motivos, primero la curva granulométrica necesaria para obtener el HAC es más fina y con mejor graduación, además tiene un mayor contenido de arena, se necesita una mayor cantidad de cemento que el hormigón normal, utiliza aditivos híper plastificantes además de los aditivos súper plastificantes. El precio de estos híper plastificantes es entre tres y cuatro veces superior a los utilizados comúnmente. Además requiere de un proceso más lento, y con supervisión continua en planta.

Por otro lado la ubicación de la obra hizo que se acentuaran estas diferencias, ya que en Santiago los precios del HAC bordean las 3 UF/m³ frente a las 2 UF/m³ del hormigón normal. Además en Concepción, la gravilla y arena son muy homogéneas, teniéndose que agregar arenas especiales a la mezcla,

llamadas “filler correctoras”, para poder lograr un HAC adecuado, lo que incrementa su precio.

Con respecto a los rendimientos de armado de los encofrados, con mano de obra especializada se puede llegar a rendimientos cercanos a los de un moldaje común, pudiendo disminuirse los costos totales de la mano de obra.

Por último, el precio de arriendo de los encofrados puede explicarse por un tema de mercado, ya que al haber poca demanda no hay incentivos para una optimización de estos elementos.

9. Estado actual de las tecnologías

La participación que tienen actualmente las distintas tecnologías en el mercado nacional es bastante variada, mientras que hay algunas que ya están instauradas dentro la construcción chilena, hay otras que su utilización es muy baja.

Debido a los ahorros de costos tanto monetarios como sociales, la implementación de las tecnologías trenchless tiene excelentes proyecciones en el mercado nacional. En Chile, su uso es más común en el sur del país donde la profundidad de la napa y las reposiciones de pavimento, justifican claramente su uso. Además se puede extrapolar las experiencias existentes en EEUU, en donde el 90% de las obras de renovación de tuberías se realizan utilizando el sistema del cracking dinámico(TT Technologies).

Los conectores metálicos, al ser muchísimo más caro que la utilización de los empalmes mecánicos tradicionales, solo justifican su utilización en casos especiales, como por ejemplo en reparación de estructuras dañadas en que el empalme de fierros sea muy complicado, o cuando se utilicen métodos constructivos que ameriten su uso, como el ejemplo mencionado en este documento. Es por esto que el mercado de los conectores está confinado a obras especiales.

Al ofrecer las mismas características que las cañerías de cobre a un valor muy inferior, los tubos de polipropileno, son el sistema de agua potable más usado actualmente en Chile. A diferencia del polietileno reticulado que no ha tenido tanto éxito debido a sus problemas con las malas prácticas. Por otro lado, el cobre se sigue utilizando pero en muy bajo porcentaje, en general se utiliza como un símbolo de estatus social.

Finalmente, debido a las exigencias de equipos extra y la poca experiencia que hay en el país, el HAC, solo se utiliza cuando las cuantías de acero no permiten el correcto escurrimiento del hormigón normal, ni la utilización de vibradores mecánicos. Por esto, el uso del hormigón autocompactante se limita a casos especiales. Sin embargo el mercado del HAC es aún incipiente en Chile y con mayores conocimientos y experiencias puede llegar a ser una tecnología atractiva, no solo para casos especiales si no que para cualquier tipo de obra.

10. Inversión e Implementación de nuevas tecnologías.

Hace algunos años la Cámara Chilena de la construcción, estudió la innovación tecnológica de la construcción en Chile. Para esto realizó una encuesta a 84 empresas constructoras, en la que se incluyó una pregunta sobre los obstáculos para la innovación tecnológica.

Tabla 10-1: Obstáculos para la adopción de nuevas tecnologías en la construcción(Solminihac, 1994)

Motivos	Porcentaje
Costos como criterio principal en la adjudicación de propuestas	23%
Falta de integración entre diseño y construcción	15%
Falta de estandarización	15%
Falta de incentivos en la innovación	14%
Falta de mano de obra especializada	12%
Mandantes conservadores	8%
Desconocimiento de las tecnologías disponibles en el país	7%
Otros	6%
Total	100%

Como se puede ver en la tabla 10-1, no hay intenciones de invertir en nuevas tecnologías, debido a que la inversión se carga inmediatamente a las propuestas, por lo que dejan de ser competitivas en las licitaciones. El fenómeno anterior puede ser explicado por el comportamiento económico de la actividad de la construcción.

Al ser una actividad muy dependiente del estado de la economía, la demanda por inversión en la construcción es muy volátil, por lo que existen periodos en que no hay movimiento en el sector. Si alguna empresa ha decidido invertir en innovación tecnológica justo antes de algún periodo de recesión, la inversión en la innovación será un gasto que tendrá grandes repercusiones en la empresa, ya que no podrá ser amortiguada o absorbida en un periodo cercano.

Además, las empresas no están dispuestas a innovar antes que las otras, debido a que son los que innovan los que invierten el mayor capital y aquellas empresas que se basan en las experiencias de otras, son las que se ven

mayormente beneficiadas por el éxito o fracaso de la aplicación de alguna nueva tecnología.

Más recientemente, la Corporación de Desarrollo Tecnológico, a través de su página web desarrolló una encuesta con la pregunta ¿Por qué no innovamos?, los resultados se exponen en la figura 10-1.



Figura 10-1: Resultados encuesta CDT ¿Por qué no innovamos? (CDT)

Como se puede ver, la mayor razón de porque la construcción chilena no innova, es por la necesidad de un cambio cultural importante, ya que normalmente el chileno no se adecua de manera rápida a los cambios. El segundo motivo, las empresas constructoras no están dispuestas a invertir en la innovación ya que encuentran que es muy caro, confirmando lo postulado por la Cámara Chilena de la Construcción en su encuesta de 1994.

Si bien es cierto que las comunicaciones ha acercado y conectado enormemente al país con el resto del mundo, Chile se encuentra a grandes distancias geográficas de los centros de desarrollo tecnológico. Esta distancia es una barrera que limita a que las innovaciones sean rápidamente absorbidas por la sociedad. Asimismo impide que la gente sea influenciada por la necesidad de innovar, modernizar y de emprender que caracteriza a los países desarrollados.

11. Comentarios y Conclusiones

Al analizar los resultados obtenidos de la comparación de las distintas tecnologías se pueden desprender los siguientes comentarios.

Para la implementación de nuevas tecnologías o materiales se debe invertir más que con las practicas comunes. Las nuevas tecnologías pueden ser tanto más caras o más baratas en un análisis de precios unitarios. Sin embargo concluir directamente desde esa base es una mirada muy cerrada y poco real. Al efectuar una mirada más amplia y al analizar todos los factores, se puede ver que las implicancias de implementar desarrollos tecnológicos son más complejas ya que involucran a distintas áreas de la construcción.

Por ejemplo, el arriendo de una máquina “trenchless” es bastante costoso y el uso de los conectores metálicos es más caro que la utilización de los empalmes por traslazo. Sin embargo el uso de la tecnología cracking permite una gran disminución en el tiempo de ejecución, una drástica reducción de las cantidades de obra y de los costos sociales del trabajo realizado. Por otro lado la aplicación de los conectores metálicos permite una modificación de los procesos constructivos, resultando en considerables ahorros de materiales, en arriendo de equipos y disminuyendo la cantidad de horas hombre necesarias para realizar los trabajos.

También existen tecnologías revolucionarias, que simplemente superan en todo sentido a las metodologías convencionales. Este es el caso de las tuberías PPR, que no solo son menos costosas que los sistemas basados en cobre si no que implican un ahorro importante en tiempo, manteniendo o incluso mejorando los estándares de calidad del metal.

Distinto a los casos anteriores es la implementación del hormigón autocompactante. Este material no solo resulta ser más caro por unidad que el hormigón común, si no que implica un mayor costo en los equipos de apoyo, en la utilización de horas hombre provocando un retraso en el tiempo de ejecución. Lo

anterior ha obligado a mantener la utilización del hormigón autocompactante para casos especiales. Pero este caso es especial, ya que la implementación de estos hormigones necesita de mucho de tiempo de desarrollo. Se deben generar todas las instancias de prueba y error antes de poder lograr los reales beneficios de este material.

El grado de impacto que tendrá la implementación de nuevas tecnologías depende del tipo y la envergadura del proyecto. Siempre será necesario evaluar la utilización de avances tecnológicos de una manera integral en el proyecto, ya que no necesariamente generará un ahorro directo en términos de costos o de plazos dentro de la obra. Es decir si se quiere implementar el uso de conectores metálicos como reemplazo de los empalmes para toda la obra, si es que no se genera una reprogramación, no será una solución acertada, el plazo de ejecución de obras no variará y se incrementarán los costos directos del proyecto. Por otro lado si se utiliza una maquina “trenchless” en un sector donde las uniones domiciliarias o la densidad de matrices sea muy alta, la gran cantidad de hoyos generará un aumento considerable en el costo del proyecto, además considerando el arriendo de la máquina hará que el proyecto sea más costoso que si se utiliza el método a zanja abierta.

Para poder implementar con éxito nuevas tecnologías se debe estudiar en extenso las posibilidades y oportunidades que otorga la implementación del desarrollo tecnológico. Una tecnología mal estudiada y mal evaluada puede afectar de manera negativa el desarrollo del proyecto, perjudicando la imagen y percepción de ésta entre los profesionales del sector.

La innovación tecnológica permite hacer más eficiente y económicos los procesos de producción en todo ámbito. La construcción no es la excepción, al innovar en tecnologías, materiales y software se está potenciando y mejorando la forma de construir en el país, permitiendo ahorros de costos y apoyando al crecimiento continuo.

Sin embargo las empresas constructoras no están dispuestas a invertir en tecnologías, ya que el costo de la inversión e implementación es muy elevado y se tiene inseguridad de que pueda ser amortizado en el corto plazo. Por ejemplo, para poder comprar una máquina trenchless es necesario invertir más de MM\$80. Cantidad de dinero que es imposible de amortizar en una sola obra cuyo costo total es un poco mayor a los MM\$15. Además de esto, se debe considerar la inestabilidad de la demanda que caracteriza a la construcción en este país. Al tomar en cuenta estos dos factores, las empresas encuentran poco rentable la implementación tecnológica, ya que si no pueden amortizar los costos de la inversión, la innovación termina por convertirse en una involución.

La educación de nuestra sociedad es pobre, incluso aquellos con estudios superiores, tienden a evitar los cambios importantes. Nunca se les ha enseñado los reales impactos de salir del pensamiento generalizado y cambiar de perspectiva. Es sumamente necesario que a las generaciones futuras se les enseñe a tener y desarrollar iniciativas, se debe incentivar la necesidad de pensar diferente a lo común, como se dice en los países de habla inglesa “think outside the box”.

Es necesario que existan incentivos externos, no solamente de mercado, que permitan el desarrollo y la implementación tecnológica del país. El estado debe evaluar mecanismos de estímulo, como por ejemplo generar créditos blandos, crear subvenciones, crear misiones de investigación tecnológicas, patrocinar cursos de administración. Se debe incitar a la creación de empresas especialistas que generen y apliquen novedades tecnológicas como servicios a las empresas constructoras, ayudando así a compensar el alto costo de inversión. Se deben generar vías de conexión y de intercambio tecnológico más expeditas para introducir las nuevas tecnologías que se aplican en los países más desarrollados. Se debe educar, no solo a los profesionales sino que a la sociedad, que la innovación permite mejorar directamente a toda la industria productiva del país y así incentivar al desarrollo continuo y sustentable de Chile.

12. Bibliografía y Referencias

(s.f.). Obtenido de <http://www.selfconsolidatingconcrete.org/>.

(BRMCA), *The British Ready Mixed Concrete Association*. (s.f.). Obtenido de www.brmca.org.uk.

Arriagada Fideli, F. A. (2005). *Renovación de Tuberías de Alcantarillado Mediante Sistema de Fragmentación Neumática o Cracking, Tesis para Optar al Título de Ingeniero Constructor, Universidad de Chile*.

CDT. (s.f.). *Corporación de Desarrollo Tecnológico*. Obtenido de www.cdt.cl.

Committee, A. (2007). *Self-Consolidating Concrete*.

DE LA PEÑA, B. (2001). Hormigón Autocompactante. *Revista BIT*.

Erico. (s.f.). *Lenton Standard Couplers*. Obtenido de <http://www.erico.com/products/LentonStdCouplers.asp>.

Flair-It USA, Distributors of State of the Art Plumbing for Pex and Polybutylene pipe. (s.f.). Obtenido de <http://www.flairit.com/>.

Goodrum, P., Zhai, D., & Yasin, M. (2009). Relationship between Changes in Material Technology and Construction Productivity. *Journal of Engineering and Construction*.

GPE, G. E. (2006). *Directrices Europeas para el hormigón autocompactable*.

Hevia Retamal, E. (2002). *Uso de Conectores Metálicos en Estructuras Sismo Resistentes, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile*.

Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón de Chile. (s.f.).

Jeyapalan. (2010). Future outlook for trenchless rehabilitation technologies.

Kramer, S., McDonald, W., & Thomson, J. (1992). *An Introduction to Trenchless Technology*.

NAJAFI, M., & OK KIM, K. (2004). Life-Cycle-Comparison of Trenchless and Conventional Open-Cut pipeline Construction Projects. *Michigan State University*.

OKAMURA, H., & OUCHI, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of advance concrete*, Vol. 1 No.15-15.

PEX S.R.L. (s.f.). Obtenido de <http://www.pex-srl.com.ar/agua.htm>.

Piping, PEX v/s Copper. (s.f.). Obtenido de <http://www.plumbingnetworks.com/info/pex-copper/>.

Recal. (s.f.). Obtenido de http://www.recal.cl/pex_tuberia_pex.html.

Registro CDT. (s.f.). Obtenido de www.registrocdt.cl.

Seeger Caerols, W. M. (2003). *Uso Factible de Cañerías PEX en Chile, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil.*

Solminihac, H. (1994). Acercandonos hacia una estrategia para nuestro sector. *Revista BIT*, 11-15.

Tracto-Technik GmbH & Co. (s.f.). Obtenido de <http://sin-zanja.tracto-technik.es/>.

TT Technologies, I. (s.f.). www.tttechnologies.com.

U.S. Advanced Materials Information (AMI) Survey. (s.f.).

A. Anexo: Uso de tecnologías Trenchless

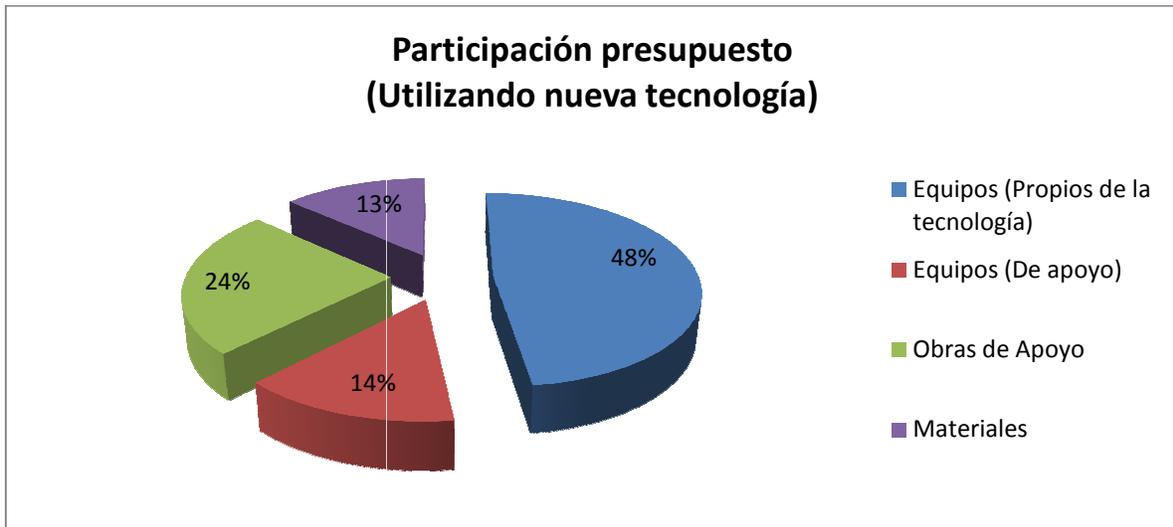


Figura A-1: Participación de Presupuesto Método Cracking Dinámico.



Figura A-2: Participación de Presupuesto Zanja Abierta.

Tabla A-1: Análisis de costos, renovación 250 metros de tuberías método a zanja abierta.

ITEM	DESIGNACION	UNID.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1.-Instalación de Faenas					
1.1	Instalación de Faenas	GL	1	2.073.431	2.073.431
SUBTOTAL CAPITULO 1					2.073.431
2.- Movimiento de Tierras					
Sistema Zanja Abierta					
2.1	Excavaciones en zanja de 0-2 m	m ³	400	1.763	705.200
2.2	Excavaciones en zanja de 2-4 m	m ³	300	1.984	595.200
2.3	Excavaciones en zanja mayor a 4 m con agotamiento y entibación	m ³	0	16.886	0
2.4	Cama de apoyo granular	m ³	20	6.070	121.400
2.5	Relleno de zanjas con material de excavación	m ³	572	3.281	1.876.732
2.6	Retiro de excedentes	m ³	108	2.646	285.768
SUBTOTAL CAPITULO 2					3.584.300
3.- Suministro, Transporte, Colocación y Prueba de cañerías y materiales					
3.1	Suministro de Cañería de HDPE PE-100 PN 6 D=200 mm	m	250	6.637	1.659.250
3.2	Suministro de Cañería de HDPE PE-100 PN 6 D=315 mm	m	0	16.365	0
3.3	Transporte de Cañerías HDPE	Kg.	1.750	46	80.500
3.4	Colocación de Cañería de HDPE PE-100 PN 6 D=200 mm	m	0	2.217	0
3.5	Colocación de Cañería de HDPE PE-100 PN 6 D=315 mm	m	0	3.121	0
3.6	Pasamuro HDPE D=200 mm (Conexión tubería a cámara)	Nº	5	24.916	124.580
3.7	Pasamuro HDPE D=315 mm (Conexión tubería a cámara)	Nº	0	46.093	0
SUBTOTAL CAPITULO 3					1.864.330
4.- Obras de Hormigón					
4.1	Cámara tipo "a" Hm=2,4 m.	Nº	0	486.963	0
4.2	Cámara tipo "b" Hm=1,25 m.	Nº	0	431.739	0
4.3	Tapas circulares tipo calzada	Nº	0	121.015	0
4.4	Modificación de banquetas	Nº	0	40.461	0
4.5	Machones de afianzamiento	Nº	5	42.203	211.015
4.6	Reconexión a cámaras existentes	Nº	5	14.260	71.300
4.7	Refuerzo Hormigón	m ³	0,40	94.725	37.890
4.8	Modificación Cámaras de Inspección	Nº	0	12.824	0
SUBTOTAL CAPITULO 4					320.205
5.- Rotura y Reposición de Pavimentos					
5.1	Rotura y Reposición de Vereda de e=0,07 m	m ²	0	12.269	0
5.2	Rotura y Reposición de Calzada de Hormigón de e =0,18	m ²	0	33.049	0
5.3	Rotura y Reposición de Calzada de Hormigón de e =0,12	m ²	875	27.529	24.087.875
5.4	Rotura y Reposición de Calzada de Asfalto de espesor no menor a existente.	m ²	0	23.697	0
5.5	Rotura y Reposición de Soleras Tipo A	m	0	10.354	0
SUBTOTAL CAPITULO 5					24.087.875
6.- Uniones Domiciliarias					
6.1	Renovación de Uniones Domiciliarias Existentes (Diversos Diámetros, Incluye Materiales y Mano de Obra)	Nº	18	41.273	742.914
6.2	Reconexión de Uniones Domiciliarias Existentes (Diversos Diámetros, Incluye Materiales y Mano de Obra)	Nº	0	23.641	0
SUBTOTAL CAPITULO 6					742.914
7.- Aseo y Presentación					
7.1	Aseo y Presentación	GL	1	150.000	150.000
SUBTOTAL CAPITULO 7					150.000
8.- Planos de Construcción					
8.1	Planos de Construcción	GL	1	220.000	220.000
SUBTOTAL CAPITULO 8					220.000
SUBTOTAL					33.043.055
GASTOS GENERALES (28.4%)					9.384.228
UTILIDADES (17.0%)					5.617.319
TOTAL NETO					48.044.602

Tabla A-2: Análisis de costos, renovación 250 metros de tuberías método cracking dinámico.

ITEM	DESIGNACION	UNID.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1.-Instalación de Faenas					
1.1	Instalación de Faenas	GL	1	2.073.431	2.073.431
SUBTOTAL CAPÍTULO 1					2.073.431
2.- Movimiento de Tierras					
Sistema Zanja Abierta					
2.1	Excavaciones en zanja de 0-2 m	m ³	28,0	1.763	49.364
2.2	Excavaciones en zanja de 2-4 m	m ³	21	1.984	41.664
2.3	Excavaciones en zanja mayor a 4 m con agotamiento y entibación	m ³	0	16.886	0
2.4	Camada de apoyo granular	m ³	1	6.070	5.463
2.5	Relleno de zanjas con material de excavación	m ³	13	3.281	41.144
2.6	Retiro de excedentes	m ³	8	2.646	20.004
SUBTOTAL CAPITULO 2					157.639
3.- Suministro, Transporte, Colocación y Prueba de cañerías y materiales					
3.1	Suministro de Cañería de HDPE PE-100 PN 6 D=200 mm	m	250	6.637	1.659.250
3.2	Suministro de Cañería de HDPE PE-100 PN 6 D=315 mm	m	0	16.365	0
3.3	Transporte de Cañerías HDPE	Kg.	1.750	46	80.500
3.4	Colocación de Cañería de HDPE PE-100 PN 6 D=200 mm	m	0	2.217	0
3.5	Colocación de Cañería de HDPE PE-100 PN 6 D=315 mm	m	0	3.121	0
3.6	Pasamuro HDPE D=200 mm (Conexión tubería a cámara)	Nº	5	24.916	124.580
3.7	Pasamuro HDPE D=315 mm (Conexión tubería a cámara)	Nº	0	46.093	0
SUBTOTAL CAPÍTULO 3					1.864.330
4.- Obras de Hormigón					
4.1	Cámara tipo "a" Hm=2,4 m.	Nº	0	486.963	0
4.2	Cámara tipo "b" Hm=1,25 m.	Nº	0	431.739	0
4.3	Tapas circulares tipo calzada	Nº	0	121.015	0
4.4	Modificación de banquetas	Nº	0	40.461	0
4.5	Machones de afianzamiento	Nº	5	42.203	211.015
4.6	Reconexión a cámaras existentes	Nº	5	14.260	71.300
4.7	Refuerzo Hormigón	m ³	0,40	94.725	37.890
4.8	Modificación Cámaras de Inspección	Nº	0	12.824	0
SUBTOTAL CAPITULO 4					320.205
5.- Rotura y Reposición de Pavimentos					
5.1	Rotura y Reposición de Vereda de e=0,07 m	m ²	0	12.269	0
5.2	Rotura y Reposición de Calzada de Hormigón de e =0,18	m ²	79	33.049	2.602.609
5.3	Rotura y Reposición de Calzada de Hormigón de e =0,12	m ²	0	27.529	0
5.4	Rotura y Reposición de Calzada de Asfalto de espesor no menor a existente,	m ²	0	23.697	0
5.5	Rotura y Reposición de Soleras Tipo A	m	0	10.354	0
SUBTOTAL CAPÍTULO 5					2.602.609
6.- Uniones Domiciliarias					
6.1	Renovación de Uniones Domiciliarias Existentes (Diversos Diámetros, Incluye Materiales y Mano de Obra)	Nº	18	41.273	742.914
6.2	Reconexión de Uniones Domiciliarias Existentes (Diversos Diámetros, Incluye Materiales y Mano de Obra)	Nº	0	23.641	0
SUBTOTAL CAPÍTULO 6					742.914
7.- Aseo y Presentación					
7.1	Aseo y Presentación	GL	1	150.000	150.000
SUBTOTAL CAPÍTULO 7					150.000
8.- Planos de Construcción					
8.1	Planos de Construcción	GL	1	220.000	220.000
SUBTOTAL CAPÍTULO 8					220.000
9.- Instalación Tubería Sistema Cracking					
9.1	Instalación de equipos y preparativos previos				
9.2	Instalación Tuberías	ml	250	30.000	7.500.000
SUBTOTAL CAPITULO 9					7.500.000
SUBTOTAL					15.631.127
GASTOS GENERALES (28.4%)					4.439.240
UTILIDADES (17.0%)					2.657.292
TOTAL NETO					22.727.659

Cod.	Concepto	Cantidad	P.Unit.	Total
I	Cracking 175mm a 200mm calle Juan Cisternas ciudad de La Serena	MTS. 249	\$ 30.000	\$ 7.470.000
II	Movilización de Equipos a La Serena	UN 1	\$ 400.000	\$ 400.000
	INCLUYE Mano de Obra Estadía Maquinarias y Equipos Combustibles Descalce de Cámaras			
	NO INCLUYE Pozos de Ataque Retroexcavadora Soldaduras			
Subtotal				\$ 7.870.000
IVA 10%				\$ 1.495.300
TOTAL				\$ 9.365.300

Figura A-3: Cotización de arriendo Cracking Dinámico.

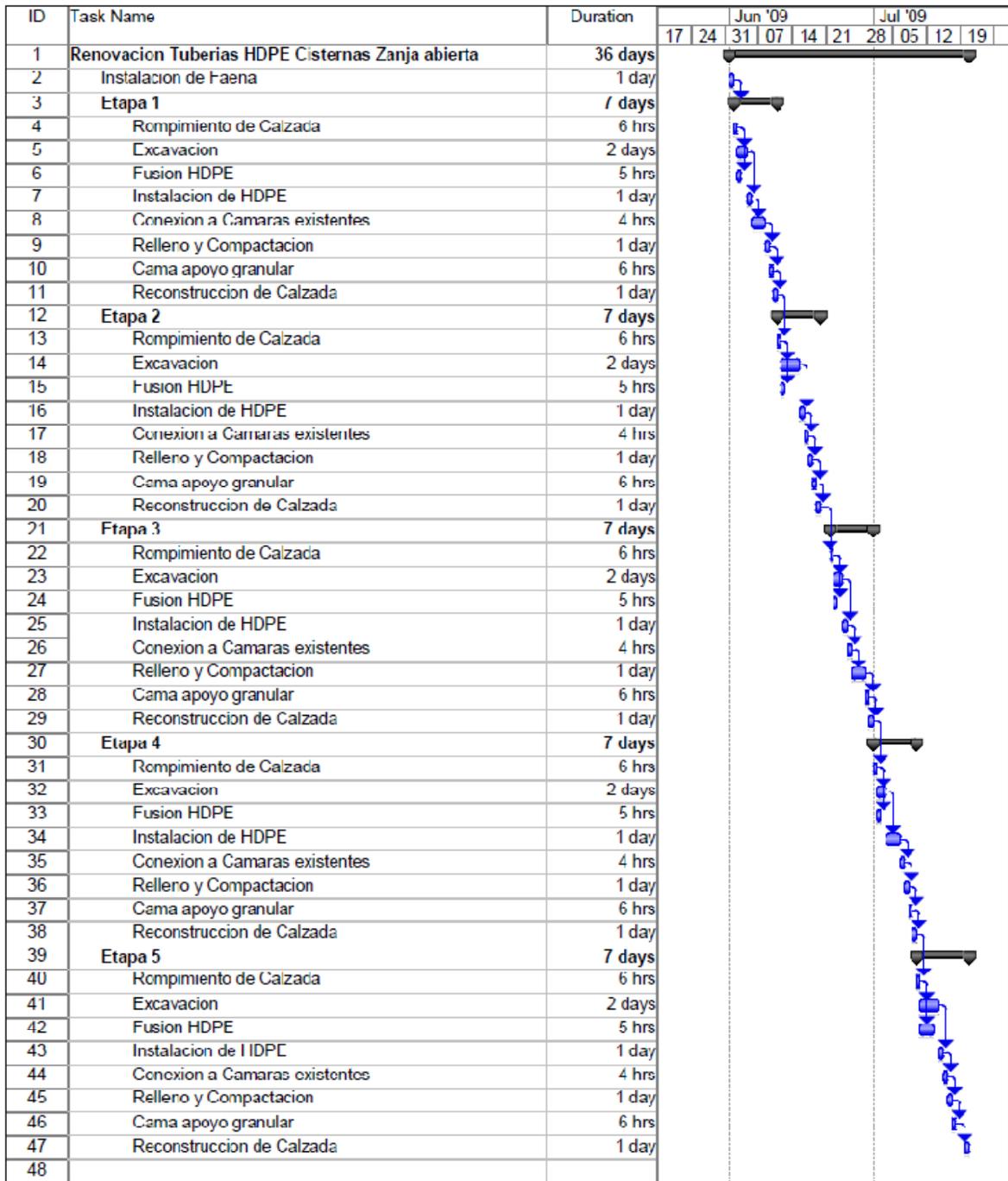


Figura A-4: Programa renovación 250 metros de tuberías, método zanja abierta.

ID	Task Name	Jun '09					Jul '09					Aug	
		17	24	31	07	14	21	28	05	12	19	26	02
49	Renovacion Tuberias HDPE Cisternas c/ Cracking												
50	Instalacion de Faena												
51	Rompimiento de Calzada y Excavacion												
52	Instalacion HDPE												
53	Fusion HDPE tramo 1												
54	Instalacion de Equipos Cracking tramo 1												
55	Instalacion de HDPE tramo1												
56	Fusion HDPE tramo 2												
57	Instalacion de Equipos Cracking tramo 2												
58	Instalacion de HDPE tramo2												
59	Fusion HDPE tramo 3												
60	Instalacion de Equipos Cracking tramo 3												
61	Instalacion de HDPE tramo3												
62	Fusion HDPE tramo 4												
63	Instalacion de Equipos Cracking tramo 4												
64	Instalacion de HDPE tramo4												
65	Fusion HDPE tramo 5												
66	Instalacion de Equipos Cracking tramo 5												
67	Instalacion de HDPE tramo5												
68	Conexion a Camaras existentes												
69	Relleno y Compactacion												
70	Cama apoyo granular												
71	Reconstruccion de Calzada												

Figura A-5: Programa renovación 250 metros de tuberías método cracking dinámico.

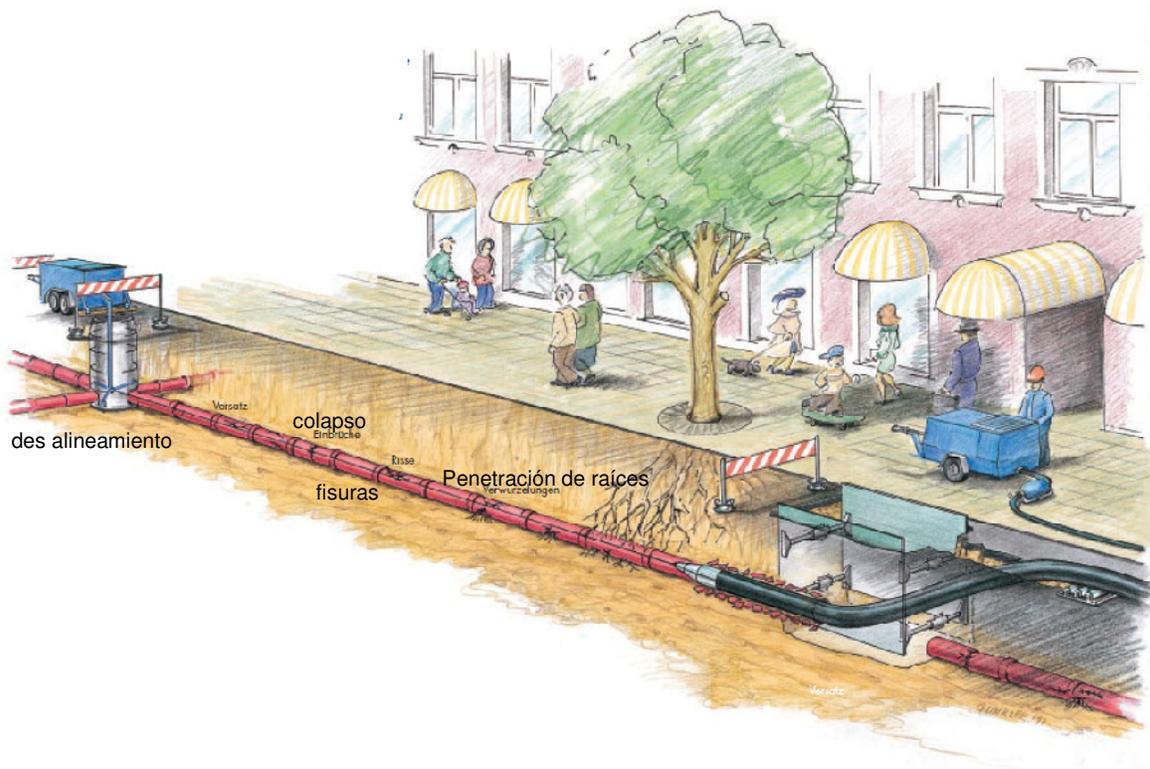


Figura A-6: Esquema de utilización cracking dinámico.

Tabla A-3: Costos del equipo de cracking dinámico

Equipo	Precio	Precio
Máquina Grundocrack Tracto/Technik PCG 145 incluye: Martinete PCG 145 Mangueras de acople 120 [m] Lubricador de Aire Mangueras lubricador-compresor 20[m] Puesta en marcha	€ 33.907,00	\$ 23.260.202,00
Cono Expansor frontal 270 mm incluye: tirador tubería 225 mm HDPE	€ 4.979,00	\$ 3.415.594,00
Compresor MDVN-36 AP 34,2 HP		\$ 7.140.000,00
Winche Grundowinch RW10 10 Ton	€ 66.296,00	\$ 45.479.056,00
Laucha 200 mts con carro		\$ 1.084.000,00
Sub Total		\$ 80.378.852,00
I.V.A		\$ 15.271.981,88
Total		\$ 95.650.833,88

Los valores que aparecen en la tabla A-3 fueron entregados por el distribuidor de estos equipos en Chile.

a. Memoria de cálculo aumento capacidad de tuberías.

$$D_{fc} = 180 \text{ mm}$$

Diámetro tubería fibrocemento

$$D_{HDPE} = 200 \text{ mm}$$

Diámetro tubería HDPE

$$A_{fc} = \left(\frac{D_{fc}}{2}\right)^2 \pi = 0.025 \text{ m}^2$$

Área interior tubería fibrocemento

$$A_{HDPE} = \left(\frac{D_{HDPE}}{2}\right)^2 \pi = 0.031 \text{ m}^2$$

Área interior tubería HDPE

$$R_{h_{fc}} = \left(\frac{D_{fc}}{4}\right) = 0.045 \text{ m}$$

Radio hidráulico tubería
fibrocemento

$$R_{h_{HDPE}} = \left(\frac{D_{HDPE}}{4}\right) = 0.045 \text{ m}$$

Radio hidráulico tubería HDPE

$$S = 0.006 \text{ m/m}$$

Pendiente promedio de la tubería

$$\eta_{fc} = 0.012$$

Coefficiente de manning fibrocemento

$$\eta_{HDPE} = 0.009$$

Coefficiente de manning HDPE

$$Q_{fc} = A_{fc} \cdot R_{h_{fc}}^{2/3} \frac{\sqrt{S}}{\eta_{fc}} = 0.021 \left[\text{m}^3/\text{s} \right]$$

Caudal de servicio tuberías
fibrocemento

$$Q_{HDPE} = A_{HDPE} \cdot R_{h_{HDPE}}^{2/3} \frac{\sqrt{S}}{\eta_{HDPE}} = 0.009 \left[\text{m}^3/\text{s} \right]$$

Caudal de servicio tuberías HDPE

$$\text{Aumento Capacidad de Servicio} = \frac{Q_{fc}}{Q_{HDPE}} = 76\%$$

B. Anexo: Uso de conectores metálicos.

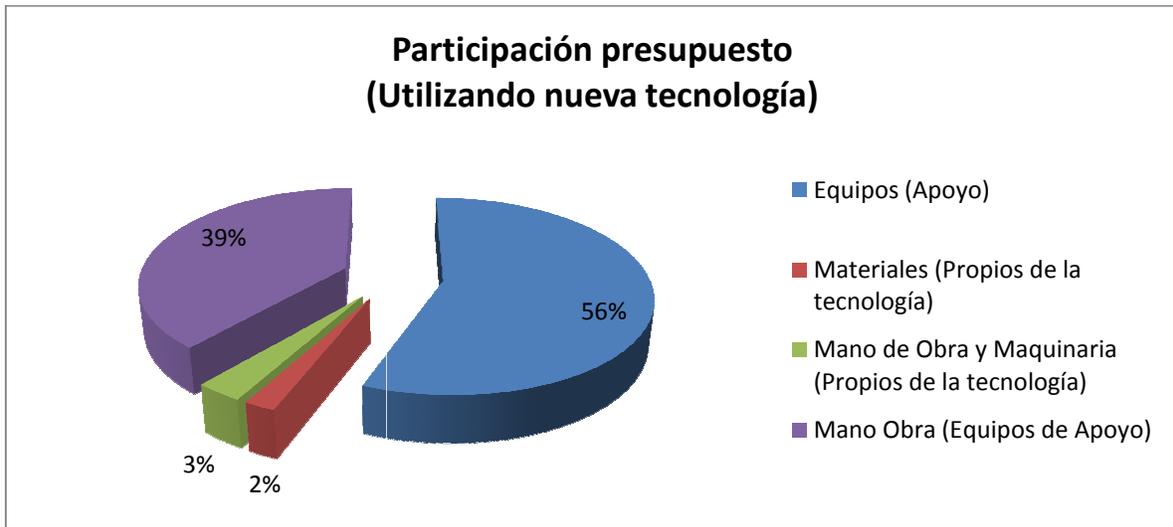


Figura B-1: Participaciones de presupuestos implementando los conectores metálicos en la estructura.

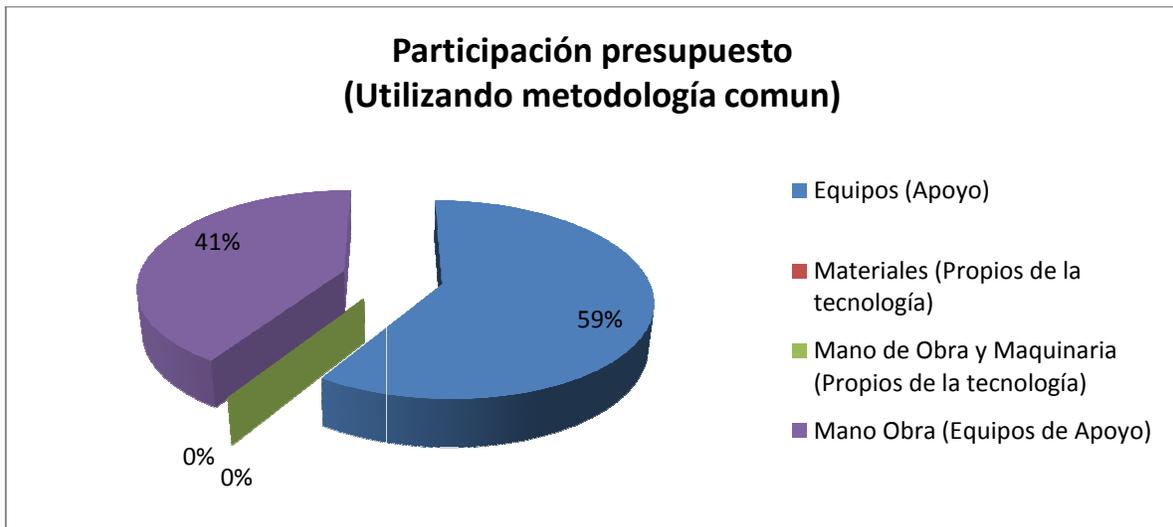


Figura B-2: Participaciones de presupuestos implementando la metodología tradicional en la estructura.

Tabla B-1: Mano de obra para la instalación de los equipos de apoyo necesarios para la construcción de las columnas (metodología convencional).

Actividad	Dotación	Días	HH
Preparación+Prearmado de Torres	13	10	1170
Instalación de Torres	13	7	819
Envigado+Plaqueado	26	18	4212
Descimbre	26	7	1638
Envigado+Plaqueado	26	3	702
Descimbre	13	5	585
TOTAL		50	9126

Tabla B-2: Mano de obra para la instalación de los equipos de apoyo necesarios para la construcción de las losas (metodología convencional).

Actividad	Dotación	Días	HH
Colocación	24	14	3024
Descimbre	24	4	864
TOTAL		18	3888

Tabla B-3: Mano de obra para la instalación de los equipos de apoyo necesarios para la construcción de las columnas (implementando nuevas tecnologías).

Actividad	Dotación	Días	HH
Preparación+Prearmado de Torres	13	5	585
Instalación de Torres	13	5	585
Envigado+Plaqueado	18	5	810
Preparación+Prearmado de Torres	13	3	351
Instalación de Torres	26	8	1872
Envigado+Plaqueado	26	18	4212
Descimbre	26	10	2340
TOTAL		54	10755

Tabla B-4: Mano de obra para la instalación de los equipos de apoyo necesarios para la construcción de las losas (implementando nuevas tecnologías).

Actividad	Dotación	Días	HH
Colocación	48	9	3888
Descimbre	48	6	2592
TOTAL		15	6480

Tabla B-5: Comparación precio unitario utilización de ganchos de 90° y 180°

Barra φ [mm]	Largo de Gancho [mm]				Terminal (\$)	
	90°	(\$)		180°		(\$)
6	72	\$	9,00	60	\$	7,50
8	96	\$	20,74	60	\$	12,96
10	120	\$	40,38	60	\$	20,19
12	144	\$	70,22	60	\$	29,26
16	192	\$	166,66	64	\$	55,55
18	216	\$	234,47	72	\$	78,16
22	264	\$	429,92	88	\$	143,31
28	336	\$	966,56	112	\$	322,19
32	384	\$	1.442,62	128	\$	480,87
36	432	\$	2.054,16	144	\$	684,72

Tabla B-6: Comparación precio unitario, Largos de Empalme según ACI318 para aceros A44-28H con recubrimiento menor a 300 mm

Barra φ [mm]	Largo de empalme según hormigón utilizado [mm]										Conector (\$)				
	H20	(\$)		H25	(\$)		H30	(\$)		H35		(\$)		H40	(\$)
6	300	\$	37,50	300	\$	37,50	300	\$	37,50	300	\$	37,50	300	\$	37,50
8	300	\$	64,80	300	\$	64,80	300	\$	64,80	300	\$	64,80	300	\$	64,80
10	301	\$	101,13	300	\$	100,95	300	\$	100,95	300	\$	100,95	300	\$	100,95
12	361	\$	175,87	323	\$	157,30	300	\$	146,30	300	\$	146,30	300	\$	146,30
16	481	\$	417,37	430	\$	373,31	393	\$	340,78	363	\$	315,50	340	\$	295,13
18	541	\$	587,20	484	\$	525,21	442	\$	479,45	409	\$	443,88	383	\$	415,21
22	826	\$	1.345,88	739	\$	1.203,79	675	\$	1.098,90	625	\$	1.017,39	584	\$	951,68
28	1052	\$	3.025,8	941	\$	2.706,37	859	\$	2.470,56	795	\$	2.287,30	744	\$	2.139,57
32	1202	\$	4.516,1	1075	\$	4.039,35	982	\$	3.687,40	909	\$	3.413,87	850	\$	3.193,38
36	1352	\$	6.430,5	1210	\$	5.751,65	1104	\$	5.250,51	1022	\$	4.861,03	956	\$	4.547,08

Tabla B-7: Comparación precio unitario, Largos de Empalme según ACI318 para aceros A44-28H con recubrimiento mayor a 300 mm

Barra	Largo de empalme según hormigón utilizado [mm]										Conector
	H20	(\$)	H25	(\$)	H30	(\$)	H35	(\$)	H40	(\$)	
6	300	\$ 37,50	300	\$37,50	300	\$37,50	300	\$37,50	300	\$37,50	
8	313	\$67,51	300	\$64,80	300	\$64,80	300	\$64,80	300	\$64,80	
10	391	\$131,47	349	\$117,59	319	\$107,34	300	\$100,95	300	\$100,95	
12	469	\$ 228,63	419	\$204,49	383	\$186,68	354	\$172,83	332	\$161,67	\$2.400,00
16	625	\$542,58	559	\$485,30	510	\$443,02	473	\$410,16	442	\$383,67	\$2.800,00
18	703	\$763,36	629	\$682,77	574	\$623,28	532	\$577,05	497	\$539,78	\$3.200,00
22	860	\$1.399,71	769	1.251,94	702	\$1.142,86	650	\$1.058,08	608	\$989,74	\$3.800,00
28	1094	\$3.146,84	978	2.814,62	893	\$2.569,39	827	\$2.378,79	774	\$2.225,15	\$7.300,00
32	1250	\$4.696,77	1118	4.200,92	1021	\$3.834,90	945	\$3.550,43	884	\$3.321,12	\$8.000,00
36	1406	\$6.687,76	1258	5.981,71	1148	\$5.460,53	1063	\$5.055,47	995	\$4.728,96	\$8.600,00

Tabla B-8: Comparación precio unitario, Largos de Empalme según ACI318 para aceros A63-42H con recubrimiento menor a 300 mm

Barra	Largo de empalme según hormigón utilizado [mm]										Conector
	H20	(\$)	H25	(\$)	H30	(\$)	H35	(\$)	H40	(\$)	
6	300	\$37,50	300	\$37,50	300	\$ 37,50	300	\$ 37,50	300	\$ 37,50	
8	361	\$77,90	323	\$69,67	300	\$ 64,80	300	\$ 64,80	300	\$ 64,80	
10	451	\$151,69	403	\$135,68	368	\$ 123,86	341	\$ 114,67	319	\$ 107,26	
12	541	\$263,80	484	\$235,95	442	\$ 215,39	409	\$ 199,42	383	\$ 186,54	\$ 2.400,00
16	721	\$626,06	645	\$559,96	589	\$ 511,18	545	\$ 473,26	510	\$ 442,69	\$ 2.800,00
18	811	\$880,80	726	\$787,81	663	\$ 719,17	613	\$ 665,82	574	\$ 622,82	\$ 3.200,00
22	1240	\$2.018,81	1109	\$1.805,68	1012	\$ 1.648,35	937	\$ 1.526,08	877	\$ 1.427,52	\$ 3.800,00
28	1578	\$4.538,72	1411	\$4.059,55	1288	\$ 3.705,85	1193	\$ 3.430,95	1116	\$ 3.209,36	\$ 7.300,00
32	1803	\$6.774,19	1613	\$6.059,02	1472	\$ 5.531,10	1363	\$ 5.120,81	1275	\$ 4.790,08	\$ 8.000,00
36	2029	\$9.645,81	1814	\$8.627,47	1656	\$ 7.875,77	1533	\$ 7.291,54	1434	\$ 6.820,62	\$ 8.600,00

Tabla B-9: Comparación precio unitario, Largos de Empalme según ACI318 para aceros A63-42H con recubrimiento mayor a 300 mm

Barra φ [mm]	Largo de empalme según hormigón utilizado [mm]										Conector (\$)
	H20	(\$)	H25	(\$)	H30	(\$)	H35	(\$)	H40	(\$)	
6	352	\$43,95	314	\$39,31	300	\$ 37,50	300	\$ 37,50	300	\$ 37,50	
8	469	\$101,27	419	\$90,57	383	\$ 82,68	354	\$ 76,55	332	\$ 71,61	
10	586	\$197,20	524	\$176,38	478	\$ 161,01	443	\$ 149,07	414	\$ 139,44	
12	703	\$342,94	629	\$306,74	574	\$ 280,01	532	\$ 259,24	497	\$ 242,50	\$ 2.400,00
16	938	\$813,88	839	\$727,95	766	\$ 664,53	709	\$ 615,23	663	\$ 575,50	\$ 2.800,00
18	1055	\$1.145,04	943	\$1.024,16	861	\$ 934,92	797	\$ 865,57	746	\$ 809,67	\$ 3.200,00
22	1289	\$2.099,57	1153	\$1.877,91	1053	\$ 1.714,29	975	\$ 1.587,12	912	\$ 1.484,62	\$ 3.800,00
28	1641	\$4.720,27	1468	\$4.221,93	1340	\$ 3.854,08	1240	\$ 3.568,19	1160	\$ 3.337,73	\$ 7.300,00
32	1875	\$7.045,16	1677	\$6.301,38	1531	\$ 5.752,35	1418	\$ 5.325,64	1326	\$ 4.981,68	\$ 8.000,00
36	2110	\$10.031,64	1887	\$8.972,57	1723	\$ 8.190,80	1595	\$ 7.583,21	1492	\$ 7.093,44	\$ 8.600,00

Tabla B-10: Análisis de Costos, Implementación de conectores metálicos en Central termoeléctrica Campiche

Item	Designación	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Unidad	m² en Obra	Días en obra	Costo Total [€]
Equipos de Apoyo								
	1.- Alzaprimado							
1.1	Losa inferior	207,00	m²	\$ 1,02	[US\$/m² día]	207,00	29	\$ 3.287.514,00
1.2	Losa superior	353,00	m²	\$ 1,68	[US\$/m² día]	353,00	152	\$ 48.318.723,00
SUBTOTAL CAPITULO 1								\$ 51.606.237,00
	2.- Moldaje Columnas							
2.1	Columnas	-	m²	€ 163,98	[€/día]	-	44	\$ 4.802.881,20
2.2	Piñones adicionales	196	ecu	\$ 15.000,00	[US\$]	-	-	\$ 2.940.000,00
SUBTOTAL CAPITULO 2								\$ 7.742.881,20
Materiales propios de la tecnología								
	3.- Coplas							
3.1	Coplas 16mm	350	ecu	\$ 7,53	[US\$]	-	-	\$ 1.415.264
3.2	Coplas 22mm	150	ecu	\$ 9,58	[US\$]	-	-	\$ 771.669
SUBTOTAL CAPITULO 3								\$ 2.186.932,50
Mano de obra y maquinaria propia de la tecnología								
	4.- Mano de Obra							
4.1	Confeccion de Hilos	10,00	días	€ 25	[US\$]	-	10	\$ 3.356.250,00
SUBTOTAL CAPITULO 4								\$ 3.356.250,00
	5.- Mano de Obra Obras de Apoyo							
5.1	Losas	9126	HH	\$ 3.156,00	[\$/HH]	-	-	\$ 28.801.656,00
5.2	Columnas	3888	HH	\$ 3.156,00	[\$/HH]	-	-	\$ 12.270.528,00
SUBTOTAL CAPITULO 5								\$ 41.072.184,00
SUBTOTAL								\$ 105.964.484,70

Tabla B-11: Análisis de Costos, no implementación de conectores metálicos en Central termoeléctrica Campiche

Item	Designación	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Unidad	m ² en Obra	Días en obra	Costo Total [€]
Equipos de Apoyo								
1.- Alzaprimado								
1.1	Losa inferior	207,00	m ²	\$ 1,74	[US\$/m ² día]	207,00	166	\$ 32.015.403,00
1.2	Losa superior	353,00	m ²	\$ 1,25	[US\$/m ² día]	353,00	152	\$ 36.049.884,00
SUBTOTAL CAPITULO 1								\$ 68.065.287,00
2.- Moldaje Columnas								
2.1	Columnas	-	m ²	\$ 324,47	[US\$/día]	-	50	\$ 10.280.328,00
SUBTOTAL CAPITULO 2								\$ 10.280.328,00
3.- Mano de Obra Obras de Apoyo								
3.1	Losas	10755	HH	\$ 3.156,00	[\$/HH]	-	-	\$ 33.942.780,00
3.2	Columnas	6480	HH	\$ 3.156,00	[\$/HH]	-	-	\$ 20.450.880,00
SUBTOTAL CAPITULO 3								\$ 54.393.660,00
SUBTOTAL								\$ 132.739.275,00

b. Memoria Térmica

Los polímeros son procesados y moldeados por medio de técnicas comunes, como inyección o extrusión, termo conformado, a altas temperaturas. El polímero se funde, obteniendo la forma del molde de manera definitiva, esta se denomina forma "permanente".

Al siguiente paso se le llama *programación del sistema* e incluye el calentamiento de la muestra hasta alcanzar una temperatura de transición, temperatura inferior a la de fundición. A esa temperatura el polímero es deformado, alcanzando una forma llamada "temporal". Inmediatamente después se hace descender la temperatura de la muestra.

La memoria térmica se denomina a lo siguiente. Si el polímero que se encuentra en la forma "temporal" es calentado nuevamente a la temperatura de transición, éste recupera la denominada forma permanente.

Este efecto no es una propiedad natural del polímero, sino que resulta de una adecuada programación del sistema con la química adecuada.

Para que un polímero presente este efecto es necesario que posea dos componentes a nivel molecular: enlaces (químicos o físicos) para determinar la forma permanente y segmentos "disparadores" con una temperatura de transición que fijan la forma temporal.

C. Anexo: Implementación de Tuberías de PEX y PPR



Figura C-1: Participación del Presupuesto de materiales en sistemas PEX.

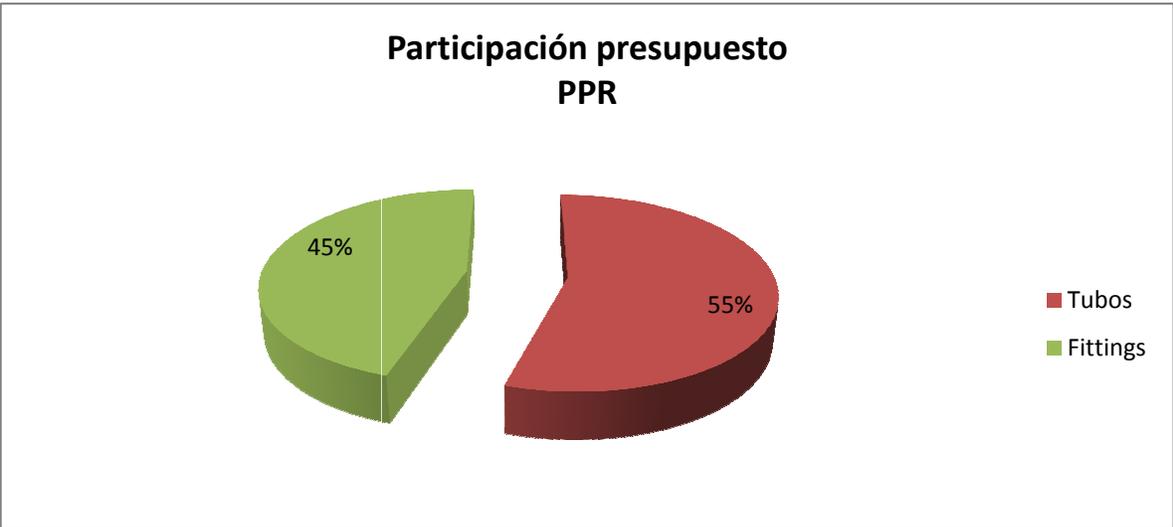


Figura C-2: Participación del Presupuesto de materiales en sistemas PPR.



Figura C-3: Participación del Presupuesto de materiales en sistemas de cobre.

Tabla C-1: Costos de red agua fría PEX Hidrocableado

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario US\$	Precio Unitario	Descuento	Total
Pex 25 mm	ml	12	\$ 1,54	\$ 823,90	20%	\$ 7.909
Corrugado Azul 40 mm	ml	12	\$ 0,53	\$ 283,55	20%	\$ 2.722
Pex 16 mm	ml	34	\$ 0,79	\$ 422,65	20%	\$ 11.496
Corrugado Azul 25 mm	ml	34	\$ 0,33	\$ 176,55	20%	\$ 4.802
Colector 4 vias 1"X16c/llave	un	1	\$ 25,22	\$ 13.492,70	20%	\$ 10.794
Codo 16X1/2" Hi	un	4	\$ 3,14	\$ 1.680,28	20%	\$ 5.377
Codo Colector 25X1" Hi/He	un	2	\$ 7,83	\$ 4.189,05	20%	\$ 6.702
TOTAL						\$ 49.803

Tabla C-2: Costos de red agua caliente PEX Hidrocableado

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario US\$	Precio Unitario	Descuento	Total
Pex 25 mm	ml	12	\$ 1,54	\$ 823,90	20%	\$ 7.909
Corrugado Azul 40 mm	ml	12	\$ 0,53	\$ 283,55	20%	\$ 2.722
Pex 16 mm	ml	24	\$ 0,79	\$ 422,65	20%	\$ 8.115
Corrugado Azul 25 mm	ml	24	\$ 0,33	\$ 176,55	20%	\$ 3.390
Colector 4 vias 1"X16c/llave	un	1	\$ 25,22	\$ 13.492,70	20%	\$ 10.794
Codo 16X1/2" Hi	un	3	\$ 3,14	\$ 1.680,28	20%	\$ 4.033
Codo Colector 25X1" Hi/He	un	2	\$ 7,83	\$ 4.189,05	20%	\$ 6.702
TOTAL						\$ 43.665

Tabla C-3: Máquinas y herramientas necesarias para la instalación de la red de PEX

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario US\$	Precio Unitario	Descuento	Total
Tijeras	un	1	\$ 20,37	10900		\$ 10.900
Llave	un	1	\$ 5,59	2990		\$ 2.990
Destornillador	un	1	\$ 1,10	590		\$ 590
TOTAL						\$ 14.480

Tabla C-4: Costos de red agua fría PPR

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Total
ppr 25	ml	14	\$ 1.170,00	20%	\$ 13.104,00
ppr 20 mm	ml	8,1	\$ 740,00	20%	\$ 4.795,20
Codo 25mm	un	4	\$ 208,00	20%	\$ 665,60
Tee 25X20X25	un	2	\$ 282,00	20%	\$ 451,20
Tee 25X20X20	un	1	\$ 298,00	20%	\$ 238,40
Codo 20 fusion	un	2	\$ 166,00	20%	\$ 265,60
Codo Fusion Hi 20X1/2"	un	4	\$ 1.026,00	20%	\$ 3.283,20
Llave paso fusion 25 campana cromada	un	1	\$ 6.428,00	20%	\$ 5.142,40
Llave paso fusion 20 campana cromada	un	1	\$ 5.870,00	20%	\$ 4.696,00
TOTAL					\$ 32.641,60

Tabla C-5: Costos de red agua caliente PPR

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Total
ppr 25	ml	13	\$ 1.170,00	20%	\$ 12.168,00
Ppr 20 mm	ml	7,5	\$ 740,00	20%	\$ 4.440,00
Codo 25mm	un	4	\$ 208,00	20%	\$ 665,60
Tee 25X20X25	un	1	\$ 282,00	20%	\$ 225,60
Tee 25X20X20	un	1	\$ 298,00	20%	\$ 238,40
Codo 20 fusion	Un	2	\$ 166,00	20%	\$ 265,60
Codo Fusion Hi 20X1/2"	un	3	\$ 1.026,00	20%	\$ 2.462,40
Llave paso fusion 25 campana cromada	un	1	\$ 6.428,00	20%	\$ 5.142,40
Llave paso fusion 20 campana cromada	un	1	\$ 5.870,00	20%	\$ 4.696,00
TOTAL					\$ 30.304,00

Tabla C-6: Máquinas y herramientas para la instalación de la red de PPR

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario US\$	Precio Unitario	Dimensiones	Total
Maquina electrofusion grande	un	1	\$ 2.477,82	\$ 1.325.636	25 mm a 160 mm	\$ 1.325.636,00
Maquina electrofusion	un	1	\$ 840,75	\$ 449.800	20 mm a 110 mm	\$ 449.800,00
Maquina Fusioterm c/ caja y soporte	un	1	\$ 147,07	\$ 78.680	800 watts	\$ 78.680,00
Maquina Fusioterm c/ caja y soporte	un	1	\$ 203,36	\$ 108.800	1200 watts	\$ 108.800,00
Maquina Fusioterm c/ banco s/dados	un	1	\$ 1.297,57	\$ 694.200	1800 watts	\$ 694.200,00
Maquina Fusioterm portatil c/dado 160	un	1	\$ 348,45	\$ 186.420	1800 watts	\$ 186.420,00
Llave	un	1	\$ 5,59	\$ 2990		\$ 2.990
Tijeras Corta Tubos	un	1	\$ 3,51	\$ 1.880	16 mm a 40 mm	\$ 1.880,00
Tijeras Corta Tubos	un	1	\$ 12,79	\$ 6.840	16 mm a 32 mm	\$ 6.840,00
Tijera Electrica c/ cargador	un	1	\$ 53,53	\$ 28.640	16 mm a 40 mm	\$ 28.640,00
TOTAL						\$ 2.883.886

Tabla C-7: Costos de red agua fría Cobre

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Total
Cu 3/4"	ml	14	\$ 6.203	40%	\$ 34.736,80
Cu 1/2"	ml	8,1	\$ 3.833	40%	\$ 12.417,30
Codo 3/4" SoSo	un	4	\$ 1.412	25%	\$ 1.412,00
Tee 3/4X3/4"X1/2"	un	2	\$ 1.575	25%	\$ 787,50
Tee 3/4X1/2"X1/2"	un	1	\$ 1.241	25%	\$ 310,25
Codo 1/2" SoSo	Un	2	\$ 532	25%	\$ 266,00
Codo SoHi 1/2"	un	4	\$ 1.007	25%	\$ 1.007,00
Llave So campana cromada 3/4"	un	1	\$ 9.792	25%	\$ 2.448,00
Llave So campana cromada 1/2"	un	1	\$ 8.220	25%	\$ 2.055,00
TOTAL					\$ 55.439,85

Tabla C-8: Costos de red agua caliente Cobre

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Total
Cu 3/4" termoaislado	ml	12	\$ 6.816,67	40%	\$ 49.080,00
Cu 1/2" termoaislado	ml	7,1	\$ 4.200,00	40%	\$ 17.892,00
Codo 3/4" SoSo	un	4	\$ 1.412,00	20%	\$ 4.518,40
Tee 3/4X1/2"X1/2"	un	2	\$ 1.241,00	20%	\$ 1.985,60
Codo 1/2" SoSo	Un	2	\$ 532,00	20%	\$ 851,20
Codo SoHi 1/2"	un	3	\$ 1.007,00	20%	\$ 2.416,80
Llave So campana cromada 3/4"	un	1	\$ 9.792,00	20%	\$ 7.833,60
Llave So campana cromada 1/2"	un	1	\$ 8.220,00	20%	\$ 6.576,00
TOTAL					\$ 91.153,60

Tabla C-9: Máquinas y herramientas necesarias para instalar red de agua potable de Cobre

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario US\$	Precio Unitario	Descuento	Total
Soplete Butano	un	1	\$ 22,41	11990		\$ 11.990
Llave	un	1	\$ 5,59	2990		\$ 2.990
Sierra Metalica	un	1	\$ 7,46	3990		\$ 3.990
Hoja de sierra	un	1	\$ 4,84	2590		\$ 2.590
TOTAL						\$ 21.560

D. Anexo: Hormigones Autocompactantes

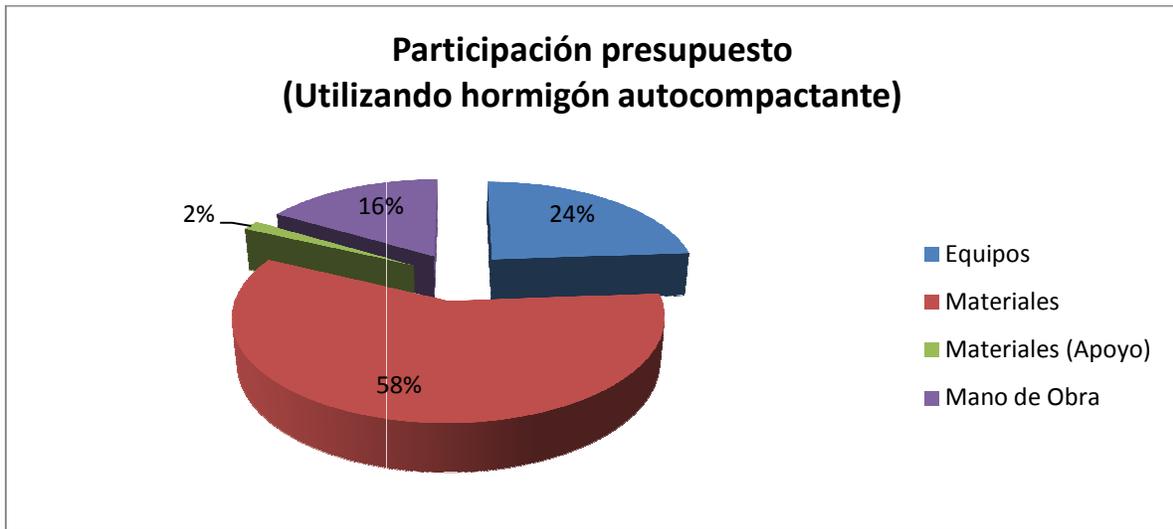


Figura D-1: Participación de presupuesto utilizando hormigón autocompactante

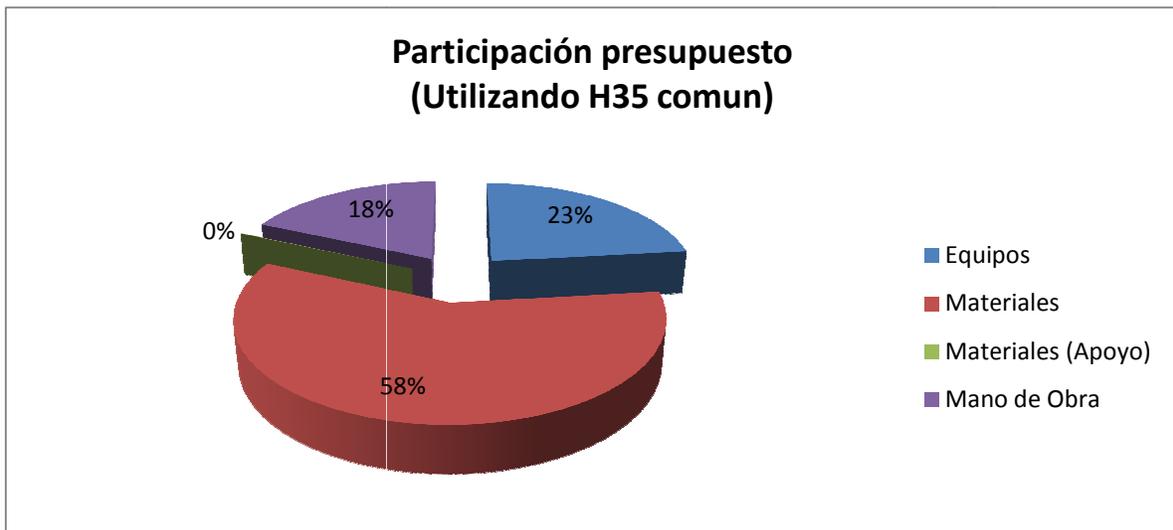


Figura D-2: Participación del presupuesto utilizando hormigón normal.

D-1:

D-2: Proporciones que han entregado resultados satisfactorios de HAC¹⁵

Volumen de Áridos	28% a 32% con Tmax 12mm
Volumen de Pasta de cemento	34% a 40% del volumen total de la mezcla
Volumen Mortero	68% a 72% del volumen total de la mezcla
Razón Agua Cemento	0,32 a 0,45
Cantidad de Cemento	386 a 475 kg/m ³

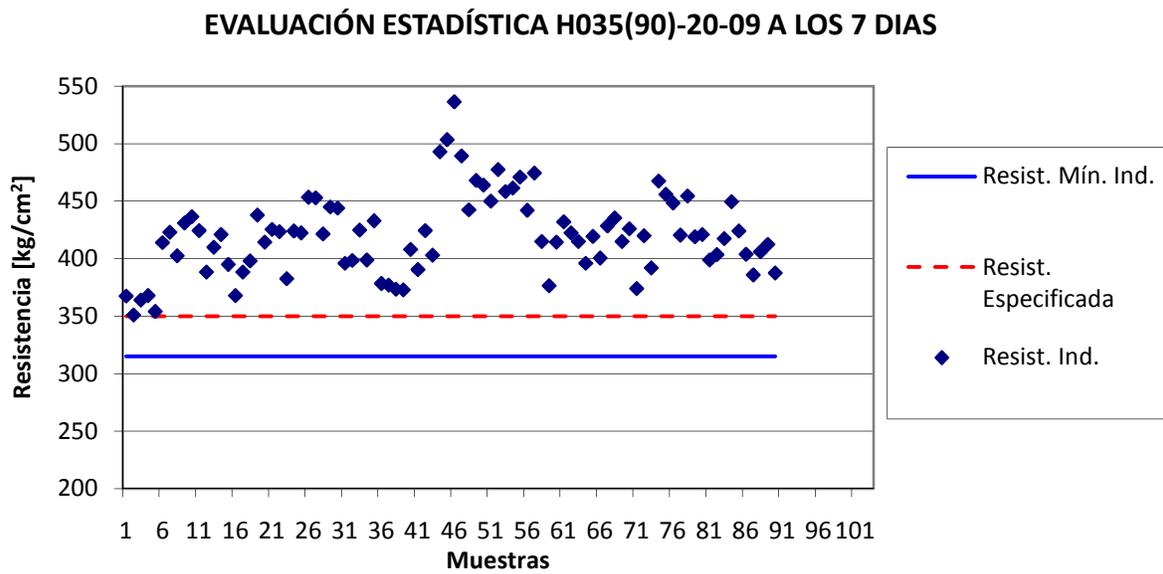


Figura D-3: Evaluación estadística de resistencia de muestras H35 a los 7 días.

¹⁵ Para más detalles favor dirigirse a documento "Self-Consolidating Concrete" ACI237R-07

EVALUACION ESTADISTICA H35 AGILIA

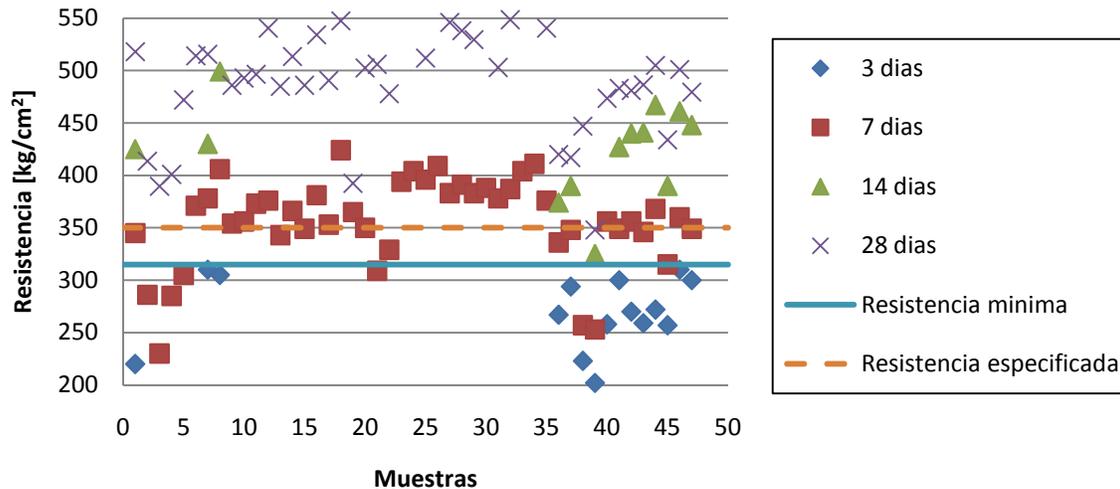


Figura D-4: Evaluación estadística de resistencia de muestras H35 (autocompactante).

Tabla D-3: Análisis de Costos, utilizando hormigón normal H35

Item	Designación	Cantidad	Unidad	Rendimiento	Unidad	Valor Unitario	Unidad	m² en Obra	Días en obra	Costo Total [\$]
	1.- Moldajes									
1.1	Rebalse	510,40	m²	-	-	\$110,02	[\$/m² día]	510,40	30	\$ 1.684.606,36
1.1	Fondo Losa	208,19	m²	-	-	\$ 618,81	[\$/m² día]	208,19	90	\$ 11.594.715,47
										SUBTOTAL CAPITULO 1
										\$ 13.279.321,83
	2.- Hormigón									
2.1	HB35 Losa	746,91848	m³	-	-	2,11	UF/m³	-	-	\$ 33.363.877,51
										SUBTOTAL CAPITULO 2
										\$ 33.363.877,51
	3.-Desmoldante									
3.1	Rebalse	510,40	m²	1	m²/m²	68,9	\$/m²	510,40	-	\$ 35.166,56
3.2	Fondo Losa	208,19	m²	1	m²/m²	68,9	\$/m²	208,19	-	\$ 14.344,29
										SUBTOTAL CAPITULO 3
										\$ 49.510,85
	4.- Mano de Obra									
4.1	Rebalse	1.577,14	HH	3,09	HH/m2	8,86	US\$/m²	510,40		\$ 7.405.915,23
4.2	Fondo Losa	643,31	HH	3,09	HH/m2	8,86	US\$/m²	208,19		\$ 3.020.841,48
										SUBTOTAL CAPITULO 4
										\$ 10.426.756,71
										SUBTOTAL
										\$ 57.119.466,90

Tabla D-4: Análisis de Costos, utilizando hormigón autocompactante.

Item	Designación	Cantidad	Unidad	Rendimiento	Unidad	Valor Unitario	Unidad	m ² en Obra	Días en obra	Costo Total [\$]
	1.- Moldajes									
1.1	Rebalse	510,40	m ²	-	-	\$0,60	[US\$/m ² día]	510,40	30	\$ 4.869.216,00
1.1	Fondo Losa	208,19	m ²	-	-	\$3,03	[US\$/m ² día]	208,19	90	\$30.089.908,89
										SUBTOTAL CAPITULO 1
										\$34.959.124,89
	2.- Hormigón									
2.1	Agilia	746,91848	m ³	-	-	5,4	UF/m ³	746,91848	-	\$85.386.226,80
										SUBTOTAL CAPITULO 2
										\$85.386.226,80
	3.-Desmoldante									
3.1	Rebalse	510,40	m ²	1	m ² /m ²	68,9	\$/m ²	510,40	-	\$35.166,56
3.2	Fondo Losa	208,19	m ²	1	m ² /m ²	68,9	\$/m ²	208,19	-	\$14.344,29
										SUBTOTAL CAPITULO 3
										\$49.510,85
	4.- Mano de Obra									
4.1	Rebalse	3.639,15	HH	7,13	HH/m ²	8,86	US\$/m ²	510,40		\$17.088.729,96
4.2	Fondo Losa	1.484,39	HH	7,13	HH/m ²	8,86	US\$/m ²	208,19		\$6.970.420,63
										SUBTOTAL CAPITULO 4
										\$24.059.150,59
	5.- Madera									
5.1	Rebalse	153,12	pg	0,3	pg/m ²	3,72	US\$/pg	510,4		\$301.891,39
										SUBTOTAL CAPITULO 5
										\$301.891,39
	6.- Placas									
6.1	Fondo Losa	208,19	m ²	1	m ² /m ²	12,77	US\$/m ²	208,19		\$1.409.050,74
										SUBTOTAL CAPITULO 6
										\$1.409.050,74
	7.- Tesamoll									
7.1	Rebalse	510,4	ml	1	ml/m ²	1,28	\$US/ml	510,40		\$346.255,36
7.2	Fondo Losa	270,65	ml	1,3	ml/m ²	1,28	\$US/ml	208,19		\$183.608,96
										SUBTOTAL CAPITULO 7
										\$529.864,32
										SUBTOTAL
										\$146.694.819,58