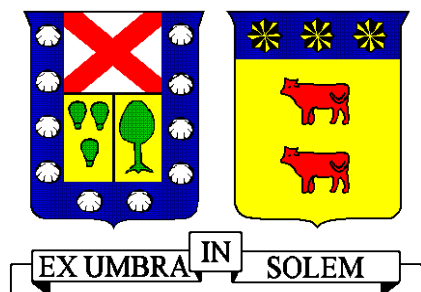


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO-CHILE



MORTERO PROYECTADO COMO PROTECCIÓN PASIVA EN
ESTRUCTURAS DE ACERO

Memoria de titulación presentada por

JORGE PENROZ ACUÑA

Como requisito para optar al título de

CONSTRUCTOR CIVIL

Profesor Guía

Isaac Flores Gutiérrez

Agosto 2016

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por ayudarme y estar conmigo siempre.

También quiero agradecer a mi madre, que es un pilar fundamental en mi vida. Por todas las veces que llegaba tarde y cansado de la universidad, y tú me esperabas con una rica comida. Por hacer mucho más fácil mi vida de estudiante. Por apoyarme, darme ánimo y guiarme.

Quiero también agradecer a mi padre, por su apoyo incondicional, y por estar siempre cuando te necesito.

Agradecer a Pía, mi polola, porque gracias a ella, mi caminar en la vida tomó un giro para bien en todo ámbito. Gracias por tu apoyo, tu ayuda, y tu amor. Te Amo.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos, compañeros, cada uno de los que estuvo conmigo en la carrera.

DEDICATORIA

A mi madre, a mi padre y hermana, y en especial a mis abuelos, a quienes considero como un tesoro que Dios aún los tiene con vida.

RESUMEN

El acero se ha instaurado en el mundo de la construcción como un material fundamental, el 80% de la demanda de acero en Chile está dada por la minería y la construcción, debido a sus múltiples propiedades. Las vigas y pilares de acero se encargan de proporcionar alta resistencia y estabilidad a las edificaciones, lo que se traduce en construcciones más seguras.

Sin embargo, sus propiedades mecánicas se ven altamente afectadas, pudiendo incluso llegar al colapso, cuando es sometido a temperaturas por sobre los 500 °C, lo que ocurre en pocos minutos a causa del fuego generado en un incendio. Con esto, la seguridad que genera una edificación de acero se reduce al mínimo frente a este tipo de desastres.

En la industria de la construcción, existen altas probabilidades de que ocurran este tipo de accidentes, al trabajar con distintos tipos de hidrocarburos, por lo que se deben reducir considerablemente tanto las probabilidades del génesis de un incendio como los daños que puede generar éste en el acero.

Actualmente, existen diversos métodos de protección contra incendios, de los cuales sólo están asociadas a la construcción la protección integral (detectores automáticos), protección activa (red contra incendio) y la protección pasiva (protección de la estructura mediante materiales adheridos al acero). El siguiente trabajo da a conocer el sistema de mortero proyectado como método de protección pasiva en el acero, se establece un procedimiento constructivo, se analizan los materiales y equipos a utilizar. Además se analiza un caso aplicado en ENAP Refinería Aconcagua, con lo que se entregan tablas de rendimientos y costos asociados al proyecto. A partir de este caso aplicado es importante mencionar las posibles fallas de la normativa chilena para el aseguramiento de la protección deseada.

Palabras Claves: Fuego, Ignífugo.

ABSTRACT

In the world of construction, steel has been established as a fundamental material, 80% of steel demand in Chile is given by mining and construction, due to its many properties. The steel beams and columns are responsible for providing high strength and stability to the edifications, resulting in safer buildings.

However, when rising the temperature above 500 ° C, its mechanical properties are highly affected and may even collapse, which occurs in a few minutes because of the heat generated in a fire. Consequently, the security generated by a steel building is minimized against such disasters.

In the construction industry, there are high chances that such disasters occur when working with different types of hydrocarbons, so both the probability of originating a fire and the damages that the fire can cause to the steel must be reduced considerably.

Currently, there are several methods of fire protection, which are only associated with the construction of comprehensive protection (automatic detectors), active protection (fire-protection network) and passive protection (protection of the structure by adhering materials to steel). The following paper discloses the sprayer mortar system as a method of steel passive protection, it establishes a constructive procedure, and gives an analysis of the materials and equipment used. In addition, an applied case in ENAP Refinería Aconcagua is analyzed. Consequently, yield tables and costs associated with the project are given. From this applied case it is important to mention the possible failure of the Chilean regulations in order to ensure the desired protection.

Keywords: Fire, flame retardant.

GLOSARIO

°C: Grados Celsius según sistema internacional de unidades.

°F: Grados Fahrenheit.

AENOR: Asociación española de normalización y certificación.

ASR: Análisis sistemático de riesgos, consiste en una reunión previa a la realización de una maniobra riesgosa. En esta reunión participan todos los involucrados, como por ejemplo: Supervisores de empresa contratista; Inspectores de obras; Personal de operaciones de la planta.

ASTM: American Society for Testing Materials, organismo de normalización de Estados Unidos.

CFC: clorofluorocarbono.

DICTUC: Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Sus líneas de servicio son asesorías, certificación y servicios de laboratorio, emprendimiento e innovación.

E: Integridad, es el tiempo durante el cual el elemento impide el paso de las llamas y la producción de gases calientes en la cara no expuesta al fuego.

EI: Tiempo en el que un elemento conserva su integridad y aislamiento ante el fuego.

ENAP: Empresa Nacional del Petróleo.

EPP: Elementos de protección personal.

ERA: ENAP Refinería Aconcagua.

FEMA: Federal Emergency Management Agency, Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos.

HCFC: hidroclorofluorocarbono.

I: Aislamiento, que es el tiempo durante el cual el elemento cumple su función de aislante térmico para que no se produzcan temperaturas excesivamente elevadas en la cara no expuesta al fuego

IDIEM: Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Es un centro de ingeniería y tecnología dedicado al análisis y resolución de problemas de la Ingeniería Nacional. El IDIEM ofrece los servicios de ingeniería, ensayos, inspección, y certificación.

INN: Instituto Nacional de Normalización. Organismo chileno encargado de elaborar normas técnicas.

K: Grados Kelvin según sistema internacional de unidades.

m: Metros según sistema internacional de unidades.

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Cuya misión es "Posibilitar el acceso a soluciones habitacionales de calidad y contribuir al desarrollo de barrios y ciudades equitativas, integradas y sustentables, todo ello bajo criterios de descentralización, participación y desarrollo, con el propósito que las personas, familias y comunidades, mejoren su calidad de vida y aumenten su bienestar"¹.

OGUC: La Ordenanza general de urbanismo y construcción "es el reglamento de la ley general de urbanismo y construcciones y contiene las disposiciones reglamentarias de la ley, regula los procedimientos administrativos, el proceso de la planificación urbana, la urbanización de los terrenos, la construcción y los estándares técnicos de diseño y construcción exigibles en la urbanización y la construcción"¹.

R: Capacidad portante, es el tiempo durante el cual el elemento mantiene su resistencia mecánica.

t: Tonelada según el sistema internacional de unidades.

UNE: Una norma española.

W: Watt según el sistema internacional de unidades.

¹ MINVU

INDICE DE CONTENIDOS

<u>1</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>14</u>
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo general	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
<u>2</u>	<u>ANTECEDENTES</u>	<u>17</u>
2.1	EL INCENDIO	17
2.2	COMPORTAMIENTO DEL ACERO FRENTE A LA ACCIÓN DEL FUEGO	18
2.3	MASIVIDAD	20
2.4	MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	21
<u>3</u>	<u>TEORÍA DEL MORTERO IGNÍFUGO PROYECTADO</u>	<u>23</u>
3.1	MORTERO IGNÍFUGO PROYECTADO	23
3.2	COMPOSICIÓN DEL MORTERO IGNÍFUGO	23
3.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS DEL MORTERO IGNÍFUGO	24
3.4	MECANISMO DE ACCIÓN	26
3.5	CARACTERÍSTICAS GENERALES Y USOS RECOMENDADOS	26
3.5.1	Características	26
3.5.2	Usos Recomendados	27
<u>4</u>	<u>ANÁLISIS DEL MORTERO IGNÍFUGO</u>	<u>28</u>
4.1	ESTRUCTURA DEL MORTERO IGNÍFUGO	28
4.1.1	Imprimante	29
4.1.2	Clavos de fijación	29
4.1.3	Malla de refuerzo	29
4.1.4	Separadores	29
4.1.5	Esquinero	29
4.1.6	Mortero ignífugo	29
4.2	CÁLCULO DEL ESPESOR DEL MATERIAL	30
4.3	EQUIPOS PARA APLICACIÓN	31
4.4	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	32
4.4.1	Montaje de andamio	32
4.4.2	Limpieza química o mecánica	32
4.4.3	Imprimación	33
4.4.4	Colocación clavos de sujeción	33
4.4.5	Instalación malla	33
4.4.6	Instalación separadores	33
4.4.7	Instalación esquineros	33

4.4.8	Aplicación de mortero	33
4.4.9	Retiro de andamios	34
4.5	TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y RENDIMIENTOS	34
4.6	ENSAYOS DE RESISTENCIA AL FUEGO	34
4.7	ANÁLISIS DE RESISTENCIA	36
5	<u>OTROS MÉTODOS DE PROTECCIÓN</u>	38
5.1	RECUBRIMIENTOS CON PLANCHAS	38
5.1.1	Usos	38
5.1.2	Propiedades	38
5.1.3	Determinación del espesor	39
5.2	PINTURAS INTUMESCENTES	40
5.2.1	Usos	40
5.2.2	Propiedades	40
5.2.3	Preparación de la superficie	40
5.2.4	Condiciones de aplicación	41
5.2.5	Determinación del espesor	41
5.3	COMPARACIONES	43
5.3.1	Costos	43
5.3.2	Tiempo de ejecución	44
5.3.3	Resistencia al fuego	45
5.3.4	Factibilidad de aplicación	45
6	<u>NORMATIVA CHILENA</u>	46
6.1	INICIOS DE LAS NORMAS EN CHILE	46
6.2	NORMAS COMPLEMENTARIAS A LA OGUC	46
6.3	ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA OGUC	47
6.4	LISTADO OFICIAL DE COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DE LA CONSTRUCCIÓN	51
6.4.1	Morteros ignífugos existentes en el mercado nacional	51
6.5	ORGANISMOS FISCALIZADORES	53
7	<u>CASO PRÁCTICO EN ENAP REFINERÍA ACONCAGUA</u>	54
7.1	ADJUDICACIÓN DEL CONTRATO	54
7.2	DOSSIER DE CALIDAD	55
7.3	CARTA GANTT	55
7.4	PLANOS DEL PROYECTO Y CUBICACIÓN	58
7.4.1	Cubicación	59
7.5	INSTALACIÓN DE FAENA	61

7.6	AVANCE SEMANAL Y CURVA "S"	63
7.7	RENDIMIENTOS DURANTE EL PROCESO	67
7.7.1	Rendimientos obtenidos	70
7.8	RECEPCIÓN, MANTENCIÓN E INSPECCIÓN DEL MORTERO IGNÍFUGO	71
7.8.1	Responsabilidades del encargado de calidad	71
7.8.2	Responsabilidades del mandante	71
7.8.3	Responsabilidades del fabricante	71
7.8.4	Pruebas de recepción	72
7.8.5	Conservación y mantenimiento del mortero ignífugo	72
7.9	COSTOS TOTALES DEL PROYECTO	72
7.9.1	Arriendo de andamios	72
7.9.2	Equipos	72
7.9.3	Compra de materiales	72
7.9.4	Mano de obra directa	73
7.9.5	Gastos generales	73
7.10	ENTREGA DEL PROYECTO	77
<u>8</u>	<u>CONCLUSIÓN</u>	<u>78</u>
<u>9</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>80</u>
<u>10</u>	<u>ANEXOS</u>	<u>82</u>
A.	CÁLCULO DE MASIVIDAD	82
B.	TABLA DE ESPESORES DE CADA FABRICANTE	87
C.	FORMATO DE OFERTA ECONÓMICA ERA	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Gráfico de disminución de la resistencia del acero.....	19
Figura 2.2. Gráfico curva-deformación del acero.....	19
Figura 2.3. Comparación de masividad.....	20
Figura 4.1. Mortero con malla de refuerzo.	28
Figura 4.2. Mortero sin malla de refuerzo.	28
Figura 4.3. Bomba helicoidal con mezcladora	32
Figura 5.1. Elemento de acero protegido con planchas de yeso cartón.	38
Figura 5.2. Estructura de un perfil de acero protegido con pintura intumescente.	40
Figura 7.1. Carta Gantt Rev 1 del contrato ignifugado.....	56
Figura 7.2. Carta Gantt Rev 2 del contrato ignifugado.....	57
Figura 7.3. Estructuras a ignifugar de la planta Topping 1.	58
Figura 7.4. Dibujo de la estructura a ignifugar de la planta Topping 1.	59
Figura 7.5. Perfil HN25x76,5.....	59
Figura 7.6. Perfil protegido con encajonamiento de mortero.	60
Figura 7.7. Vista aérea Barrio contratista ENAP Refinería.....	62
Figura 7.8. Imagen satelital de la ubicación del barrio contratista en ERA.	62
Figura 7.9. Gráfico de curva "S" del proyecto de ignifugado	67
Figura 7.10. Andamios en planta Topping 1.....	68
Figura 7.11. Trabajos de ignifugado en planta LPG	68
Figura 7.12. Perfiles de planta Alquiler.	69
Figura 7.13. Gráfico comparativo de la cantidad de mortero de cada planta.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Espesores de revestimiento, para protección de elementos estructurales de acero horizontales y verticales.	30
Tabla 4.2. Ranking del mejor mortero ignífugo según el tiempo de resistencia y la masividad cubierta.	31
Tabla 4.3. Resistencia a la compresión y flexión de distintos morteros.	36
Tabla 5.1. Espesor de placas según resistencia al fuego y masividad	39
Tabla 5.2. Espesor pintura Fire Control.	42
Tabla 5.3. Presupuesto recubrimiento con yeso-cartón para F-30.	43
Tabla 5.4. Presupuesto pintura intumescente para F-30.	43
Tabla 5.5. Presupuesto mortero proyectado para F-30.	44
Tabla 5.6. Presupuesto recubrimiento con yeso cartón para F-180.	44
Tabla 5.7. Presupuesto mortero proyectado para F-180.	44
Tabla 6.1. Clasificación de los elementos de construcción una vez sometidos al ensayo de resistencia al fuego, según su duración.	47
Tabla 6.2. Resistencia al fuego requerida para los elementos de construcción de edificios	48
Tabla 6.3. Clasificación según superficie edificada en m ²	49
Tabla 6.4. Clasificación según máximo de ocupantes.	50
Tabla 6.5. Clasificación según densidad de carga combustible.	50
Tabla 6.6. Pilar protegido con estuco F-120, producto Cafco-800.	51
Tabla 6.7. Pilar protegido con estuco F-150, producto igniplaster.	52
Tabla 6.8. Pilar protegido con estuco F-120, producto Blazes-shield II.	52
Tabla 6.9. Pilar protegido con estuco F-180, producto Rocky 1005 3FP.	53
Tabla 6.10. Pilar protegido con estuco F-120, producto Hibar.	53
Tabla 7.1. Cubicación cantidad de mortero en contrato de ignifugado.	61
Tabla 7.2. Control de avance utilizada.	64
Tabla 7.3. Avance semanal porcentual.	65
Tabla 7.4. Datos para graficar de los porcentajes semanales de avance programado y real.	66
Tabla 7.5. Tabla de rendimientos.	70
Tabla 7.6. Costos de andamios.	72
Tabla 7.7. Detalle del costo de equipos.	72
Tabla 7.8. Costo de materiales.	73
Tabla 7.9. Costos de mano de obra en contrato de ignifugado en ERA.	73
Tabla 7.10. Costos de instalación de faena.	74
Tabla 7.11. Costos indirectos del contrato de ignifugado en ERA.	74
Tabla 7.12. Detalle de los EPP exigidos por ENAP.	75
Tabla 7.13. Detalle de los costos del personal de oficina central involucrados en el estudio de la propuesta.	75
Tabla 7.14. Detalle de los gastos que se generan en la faena.	76
Tabla 7.15. Tabla resumen de los valores del proyecto.	76
Tabla 7.16. Presupuesto en formato de precio unitario.	76
Tabla 10.1. Cálculo de área y perímetro.	83

Tabla 10.2. Cálculo de área y perímetro.	84
Tabla 10.3. Cálculo de área y perímetro.	85
Tabla 10.4. Masividad de perfiles IN.	86
Tabla 10.5. Espesores según masividad del perfil.	87
Tabla 10.6. Espesores según masividad del perfil.	87
Tabla 10.7. Espesores según masividad del perfil.	88
Tabla 10.8. Espesores según masividad del perfil.	89
Tabla 10.9. Espesores según masividad del perfil.	90
Tabla 10.10. Espesores según masividad del perfil.	90
Tabla 10.11. Formato de oferta económica ERA.	91

1 INTRODUCCIÓN

El acero es uno de los materiales más utilizados en la construcción a nivel mundial y particularmente en nuestro país en el sector industrial y minero, debido a su alta resistencia y ductilidad, lo que le permite tener un buen comportamiento frente a un sismo. Además, se destaca por la rapidez de su instalación, lo que permite entre otros beneficios, disminuir costos de mano de obra y costos indirectos.

Sin embargo, el acero tiene desventajas importantes a considerar. Una de ellas es la degradación natural que se produce al estar en contacto con el aire y la humedad, con lo que se oxida y corroe respectivamente. Esta desventaja se soluciona aplicando capas de anticorrosivo y pintura, disminuyendo casi por completo la aparición de corrosión, pero se deben realizar mantenciones (nuevas capas de pintura) a futuro. La otra gran desventaja que tiene esta aleación de hierro es que a pesar de no ser un material combustible, sus propiedades mecánicas se ven altamente afectadas a elevadas temperaturas.

El acero, al entrar en contacto directo con el fuego, puede alcanzar temperaturas cercanas a 1000 °C, lo que provocaría un colapso en un corto período de tiempo. En un incendio, la temperatura ambiente puede alcanzar los 500 °C en 5 minutos, esta temperatura es superior a la temperatura crítica del acero y esto, sumado a que el acero presenta un coeficiente de conductividad térmica muy alta (50,2 W/(m·K)), alcanzaría rápidamente la temperatura ambiente.

El acero no se quema, pero al estar a una temperatura de 500 °C pierde su resistencia mecánica, lo que podría conducir a una gran catástrofe, como lo sucedido en las Torres Gemelas de New York en 2001.

En Chile, las protecciones contra los incendios se comenzaron a normar después del incendio en la Torre Santa María en el año 1981. El MINVU es el organismo que regula la prevención de incendio en edificios, y a través de normas y documentos, señala los diferentes métodos de protección contra el fuego y el tiempo que entrega cada protección

Actualmente, existen diversos métodos de protección contra incendios, donde sólo están asociados a la construcción: la protección integral (detectores automáticos), la protección activa (red contra incendio) y la protección pasiva, que consiste en elementos constructivos dispuestos para evitar el inicio del fuego (ignifugación de los materiales), evitar que se propague (compartimentación), evitar que afecte estructuralmente al edificio (protección estructural), facilitar la evacuación de las personas (señalización luminiscente), y una actuación segura de los equipos de extinción.

Para evitar que el incendio afecte estructuralmente un edificio, se utilizan las pinturas intumescentes, encajonamiento con yeso-cartón, y el mortero ignifugo. Estos productos se aplican a la estructura portante (viga, pilar, etc.) de un edificio, con el fin de aumentar su estabilidad al fuego.

En el sector industrial y minero, la gran mayoría de las construcciones están hechas con perfiles de acero, además, debido a la habitual utilización de compuestos inflamables, como por ejemplo el

oxígeno, existe una alta probabilidad de generarse un incendio. Por otra parte, la presencia de distintos ácidos, impide que otro tipo de protecciones con mayor factibilidad constructiva sean utilizadas, como sucede con las pinturas intumescentes y el yeso-cartón. Es por esto, que el material más utilizado es el mortero ignífugo, que además de proteger al acero del fuego por un tiempo de hasta 2,5 horas, también presenta un excelente comportamiento frente a la corrosión y los ácidos industriales. En edificios, también se está empleando el mortero como protección pasiva, como es el caso de la "Nueva Torre Santa María" en que la estructura primaria está protegida por un tiempo mínimo de dos horas.

En esta memoria se estudió el comportamiento que tiene el acero frente a la acción del fuego, a medida que comienza a aumentar la temperatura ambiente. Para esto, se analizó el sistema de mortero ignífugo como método de protección pasiva en el acero. Se estudiaron sus costos, tiempos de instalación, tiempo de protección, factibilidad constructiva, eficiencia, su uso en Chile y el extranjero. Se evaluó el aporte de resistencia que entrega el mortero a la estructura de acero. Se realizó una comparación con los otros métodos de protección pasiva estructural. Y se analizó un caso aplicado en ENAP Refinería Aconcagua.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Analizar el sistema de mortero proyectado como protección pasiva en acero estructural.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analizar el mortero proyectado y su aplicación en un caso real.
- Establecer un procedimiento de trabajo del mortero proyectado.
- Comparar con otros sistemas de protección pasiva.

2 ANTECEDENTES

2.1 EL INCENDIO

Antes de definir el incendio es necesario definir el fuego, el cual es un fenómeno químico exotérmico, con desprendimiento de calor y luz, y es el resultado de la combinación de combustible, calor y comburente. Mientras que el incendio, es un fuego descontrolado de grandes proporciones, el que no pudo ser extinguido en sus primeros minutos.

Combustible o agente reductor, se le llama a cualquier materia sólida, líquida o gaseosa que pueda arder. El término agente reductor se refiere a un compuesto con la capacidad de reducir un agente oxidante. El tipo de fuego y la velocidad de propagación dependen de la naturaleza del combustible.

Por otra parte, comburente se le llama a la sustancia que se combina con el combustible para iniciar el proceso de combustión. Por lo general, el comburente es el oxígeno del aire o agente oxidante.

Calor es la energía que inicia el proceso de ignición de un material combustible, este calor puede generarse por fricción, llama abierta, chispas, rayos solares, etc.

Se ha descubierto, con el avance de la ciencia, que en el proceso del fuego existe un componente que es llamado “reacción en cadena”, que hace diferenciar entre fuegos con la presencia de llamas y fuegos incandescentes.

En el caso del fuego con llama, la combustión es producida por la generación de gases o vapores de combustibles sólidos y líquidos, y la participación de oxígeno.

En el caso del Fuego Incandescente, la combustión es producida a nivel superficial de combustibles sólidos sin la presencia de gases o vapores.

La reacción en cadena se produce cuando un combustible comienza a arder en forma sostenida. Esta reacción química, genera que los gases o vapores por efecto del calor, comiencen a quemarse. Este proceso se mantiene mientras exista calor suficiente para poder continuar gasificando el combustible o exista una cantidad de combustible capaz de desprender gases o vapores.

La transferencia de calor o transferencia de energía calórica de un cuerpo a otro se produce sólo si existe diferencia de temperatura, la que se termina cuando las temperaturas se igualan. El calor se puede transferir por radiación, conducción, y convección. En la transferencia por radiación, el calor se traslada a través del espacio por ondas calóricas, que viajan en línea recta en todas direcciones. En la transferencia por conducción, el calor se mueve por contacto directo entre un cuerpo y otro. Mientras que en la transferencia por convección el calor se traslada por líquidos y gases calentados, que al ser más livianos que el aire tienden a elevarse.

Finalmente, el fuego se puede clasificar por el estado físico del combustible:

- Clase A: Fuegos que se producen por materiales sólidos ordinarios como madera, papel, cauchos, plásticos, telas. Su característica principal es la producción de brasas.
- Clase B: Son los que se producen por gases, líquidos inflamables y combustibles. Por ejemplo: gases, grasas, pinturas, solventes y derivados del petróleo.

- Clase C: Son fuegos en los que existe la presencia de sistemas o equipos energizados con corriente eléctrica.
- Clase D: Son los que se generan por la combustión de metales en calidad de partículas o virutas, como por ejemplo el aluminio, titanio y circonio. También se generan por la combustión de no metales como magnesio, sodio, potasio, azufre.

2.2 COMPORTAMIENTO DEL ACERO FRENTE A LA ACCIÓN DEL FUEGO

El someter una estructura de acero a un aumento de la temperatura tiene como consecuencia la disminución de sus propiedades mecánicas, como la tensión y el módulo de Young. Por consecuencia, un elemento de acero, frente a la acción del fuego disminuye su capacidad resistente.

El acero presenta una conductividad térmica alta, por lo que se calienta de manera inmediata, de tal forma que al ser sometido a un incendio, toda su sección alcanza la temperatura ambiente que se produce en el incendio.

No es necesario que la duración del incendio y su intensidad sean tan altas, para que la capacidad resistente del acero decaiga al valor de las cargas aplicadas, es decir, al colapso de la estructura.

La tensión de fluencia de aceros estructurales se mantiene por lo menos en un 85% de su valor normal hasta temperaturas de aproximadamente 427 °C (800 °F). La tensión continúa disminuyendo con el aumento de las temperaturas y alrededor de 704 °C (1300 °F), la tensión de fluencia puede ser solamente un 20% de su valor máximo, como se puede observar en la Figura 2.1, donde el acero expuesto a temperaturas cercanas a los 250 °C comienza a mostrar modificaciones en su resistencia. El módulo de la elasticidad también disminuye con las altas temperaturas. Así, resistencia y rigidez disminuyen con aumentos de temperatura (Figura 2.2).

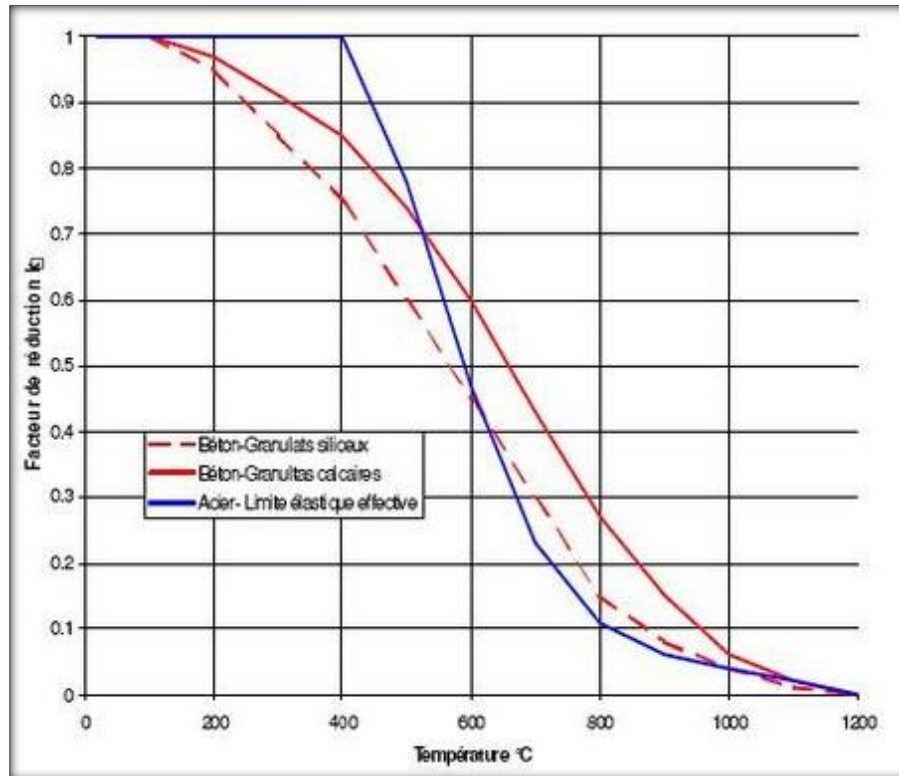


Figura 2.1. Gráfico de disminución de la resistencia del acero.
(Construmática, 2009).

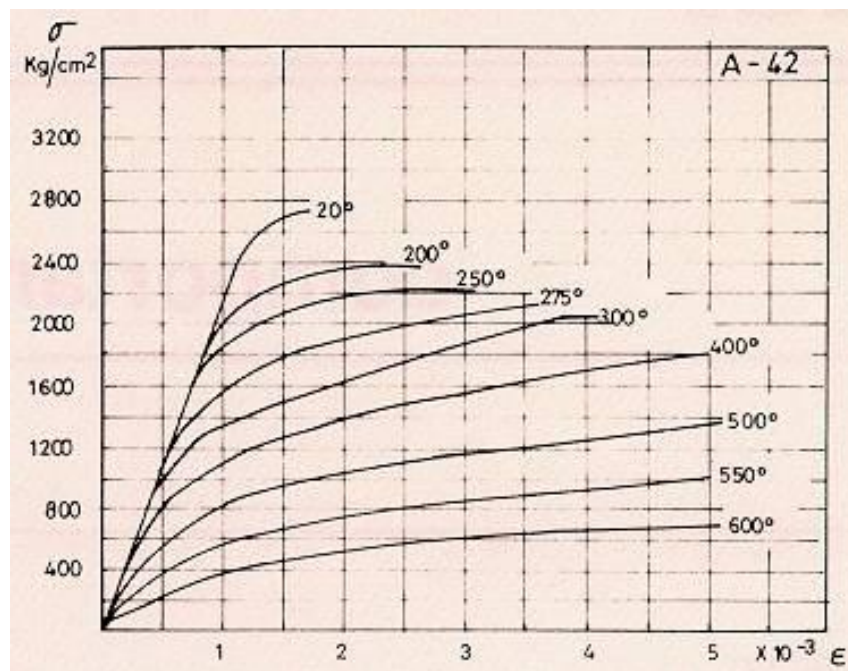


Figura 2.2. Gráfico curva-deformación del acero
(Ed. Mapfre, 1982).

En la Figura 2.2 se observa un gráfico que demuestra que las propiedades mecánicas del acero disminuyen considerablemente en temperaturas elevadas y más aún sobre su "temperatura crítica". Además, según lo indicado en normativas de FEMA, debido a la alta conductividad térmica, las zonas adyacentes a las zonas sometidas directamente al fuego, también sufren la misma pérdida de resistencia.

2.3 MASIVIDAD

La masividad de un elemento de acero es la razón entre el perímetro o área total expuesta al fuego y el área de la sección transversal o volumen del elemento. Si el perímetro expuesto al fuego es grande y el volumen es pequeño, se tiene una alta masividad (Figura 2.3) y el perfil se calienta más rápido que un perfil de baja masividad. Por lo tanto, la resistencia al fuego del acero es inversamente proporcional a su masividad, es decir, a mayor masividad es menor su resistencia al fuego y por ende, se necesita un mayor espesor de la protección pasiva para lograr los tiempos de retardancia requeridos.

La masividad de la estructura debe ser informada por el mandante, mientras que el Factor de Retardancia es requerido por la norma según el tipo de edificación a proteger. Cada fabricante tiene una tabla que determina los espesores de producto a aplicar. Esta tabla es específica para cada marca y producto en particular.

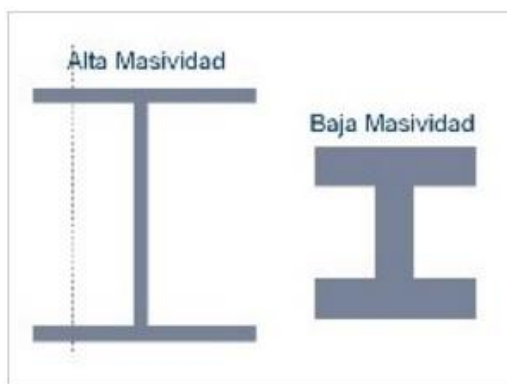


*Figura 2.3. Comparación de masividad.
(Sherwin-Williams, 2014).*

En la norma NCh 935/1 of 97 se define factor de masividad como: "la razón entre el perímetro expuesto al fuego de un elemento estructural y su sección transversal, se expresa en $[m^{-1}]$ ".

La norma establece que la relación entre la masividad y la resistencia al fuego del elemento depende del tipo de protección utilizada, por lo que esta relación se determina de forma experimental según la normativa vigente. (Cálculo de masividad según NCh 935/1 of 97 en Anexo A).

2.4 MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

La protección contra incendios consiste en evitar que el material utilizado pierda sus características, debido a las altas temperaturas que se alcanzan en este fenómeno, con el objetivo de mantener la estabilidad de las estructuras o construcciones y así, resguardar las vidas humanas.

Actualmente los tipos de protección contra incendio son:

a) Protecciones integrales:

Consiste en sistemas automáticos instalados previamente y que actúan una vez iniciado el fuego. Su funcionamiento comienza por la señal que envía un detector como lo son detectores de temperatura y/o humo. Su forma de actuar suele ser a través de alarmas.

Dentro de las protecciones integrales se encuentran las luces de emergencia, cortinas corta fuego, etc.

b) Protecciones financieras:

Consisten en pólizas de seguros que luego de evaluar los daños y pérdidas ocurridas por un incendio, proceden a entregar una indemnización.

c) Protecciones activas:

Consisten en las medidas que atacan y buscan extinguir el fuego a través de sistemas automatizados como los rociadores y bombas de espuma. También corresponde a protección activa, el uso de la red seca y red húmeda accionada por personal de bomberos o personas naturales respectivamente.

d) Protecciones pasivas:

Se refiere al "Conjunto de todas las acciones orientadas a que una construcción presente el máximo grado de resistencia a que se genere un incendio y en cualquier caso, si no fuese posible conseguir tal fin, que la propagación del mismo sea lo más lenta posible, para de esta manera, otorgar un mayor tiempo a los usuarios para que puedan realizar la evacuación de forma segura y también para minimizar los daños materiales que pudieran haberse producido en el edificio.

Congrega por un lado, la compartimentación de los espacios, creando espacios denominados "sectores de incendio", cuya única función es actuar como barrera, independizando las zonas para así evitar la propagación del humo y las llamas, de forma que el incendio queda localizado y centrado en un punto determinado.

Por otro lado, la utilización de materiales incombustibles y de soluciones constructivas resistentes al fuego, de forma que éstas soporten el contacto directo durante un determinado tiempo, impidiendo el paso del aire a elevadas temperaturas y sin que ello conlleve la pérdida de las propiedades mecánicas del elemento constructivo que conforma."²

² Atefuer, aislamientos térmicos

Los materiales más utilizados para este tipo de protección son pinturas intumescentes, sistemas de encajonamiento con yeso y aislante, y también el mortero ignífugo proyectado.

Es fundamental el concepto masividad para determinar el espesor y tipo de material a utilizar en este tipo de protecciones.

3 TEORÍA DEL MORTERO IGNÍFUGO PROYECTADO

3.1 MORTERO IGNÍFUGO PROYECTADO

Debido al incremento y la expansión de las empresas dedicadas al área industrial y minera, han aumentado también las construcciones en donde se utilizan estructuras metálicas, acrecentando con ello el riesgo de accidentes y de incendios que podrían ocurrir en las plantas.

Es por esto que se han creado normas para entregar un cierto rango de resistencia al fuego, en cada una de estas estructuras. La protección pasiva más utilizada en los sectores de trabajo antes mencionados es el mortero ignífugo proyectado, debido a su gran capacidad de resistencia al fuego, su compatibilidad con productos químicos y al ser desafecto a la corrosión.

El Mortero ignífugo es un mortero compuesto por áridos ligeros, ligantes inorgánicos y aditivos que aportan resistencia al fuego. Este método puede entregar una resistencia al fuego de hasta 240 minutos.

Generalmente se aplica sobre estructuras metálicas, sin embargo, también puede ser utilizado como protección de forjados e incluso puede proteger a la madera, como lo menciona Vimat-ignifugats o también Berbel Porcel al ofrecer su producto. Su aplicación es mediante proyección con una bomba mezcladora, aunque también es posible aplicarlo de forma manual usando las técnicas tradicionales de albañilería. El espesor a utilizar depende de la masividad del perfil y del máximo tiempo de exposición al fuego solicitado. Es necesario utilizar una malla metálica en casos en que el perfil esté previamente pintado con un esmalte o cuando la estructura está sometida a constantes vibraciones.

3.2 COMPOSICIÓN DEL MORTERO IGNÍFUGO

El mortero ignífugo se puede clasificar según su composición en rígido y flexible. Los morteros rígidos se caracterizan por ser muy resistentes mecánicamente, pesados y de poca capacidad para absorber los movimientos estructurales, mientras que los morteros flexibles son más ligeros, de menor densidad, capaces de absorber los movimientos y vibraciones de la estructura, y son indicados para estructuras no expuestas.

Los morteros ignífugos rígidos y flexibles presentan los siguientes compuestos:

- **Proyectados rígidos:**
 - Mortero de escayola y perlita: Se utiliza para revestimiento de paramentos interiores que requieren alta resistencia al fuego, alta dureza y una blancura superior. Cuenta además con excelentes propiedades térmicas y acústicas. Es ideal para revestir garajes, escaleras y otras zonas comunes de un edificio.
 - Mortero de cal y vermiculita: Protege frente al fuego las estructuras de acero, de hormigón armado y estructuras mixtas de hormigón con chapa de acero. Está formulado a base de sulfato cálcico (muy resistente al calor), áridos ligeros y diversos aditivos químicos. No contiene fibras ni sustancias nocivas.

- Mortero de cemento y vermiculita: Se utiliza para elaboración de placas o estructuras portantes, puertas contra fuego y/o resistentes a altas temperaturas. El cemento comúnmente utilizado es el cemento portland.

- **Proyectados flexibles:**

- Mortero de fibra mineral y ligantes hidráulicos: Es aplicado sobre estructuras metálicas, proporciona una estabilidad al fuego de hasta 240 °C en función de los espesores aplicados.
- Mortero de fibra mineral y cemento: Es un producto de cemento, muy ligero, mecánicamente resistente. Apto para ser aplicado en exposición limitada a exteriores. Estructura metálica, forjados de hormigón, forjados de bovedilla de hormigón y cerámica, y forjados de chapa colaborante.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS DEL MORTERO IGNÍFUGO

El mortero ignífugo se caracteriza por presentar dentro de sus componentes a la perlita (roca volcánica), vermiculita (sustancia mineral) o fibras minerales. Estos componentes se caracterizan por su capacidad protectora de aislamiento térmico, que se debe a su bajo coeficiente de conductividad térmica.

Las características más destacadas de cada compuesto son:

- **Perlita:** Es un mineral de origen volcánico que contiene agua molecular y cuenta con la propiedad de expandirse al exponerse a altas temperaturas, adquiriendo gran capacidad aislante. En estado expandido, la perlita tiene una densidad aproximada entre 30 a 150 kg/m³ y en estado no expandido crudo cerca 1100 kg/m³. Está compuesta de un 65 a un 75% de dióxido de silicio, 10 a 20% de óxido de aluminio, 2 a 5% de agua y pequeñas cantidades de sosa, potasa y cal. Se puede utilizar como aglomerante en los morteros aislantes y en hormigón ligero; como aislamiento en relleno de cámaras y en ladrillos refractarios; como aislante acústico y térmico, y como protector frente al fuego. El proceso de fabricación de la perlita expandida, es a través un choque térmico a una temperatura aproximada de 900 °C expandiendo el material hasta 20 veces el volumen original, donde el producto resultante es de un color blanco brillante, debido a la reflectividad de las burbujas atrapadas. (C y M San Pascual Construcción y Montaje)

Sus propiedades son:

- Densidad= 350-400 Kg/m³
- Densidad Aparente (Peso a granel): 40-120 Kg/m³ dependiendo de la granulometría.
- Coeficiente de conductividad térmica= 0.05773 Kcal/m.h.°C
- pH= 12
- pH (de la pasta aguada): 6,5 - 8,0
- Color: Blanco

- Índice Refractivo: 1,5
 - Humedad libre máxima: 0,5% HR
 - Gravedad específica: 2.2.2
 - Tamaño disponible de las micro celdas: El que se desee 4 - 8 y más fino
 - Punto de Ablandamiento: 1600 - 2000 °F (871 - 1093 °C)
 - Punto de fusión: 2300 - 2450 °F (1260 - 1343 °C)
 - Calor Específico: 0.2 Btu/lb °F 837 J/kg.k
 - Conductividad térmica a (24 °C) 04 - 06 W/m.k
 - Solubilidad: Soluble en HF y álcali concentrado caliente.
 - Moderadamente soluble (<10%) en 1N NaOH.
 - Ligeramente soluble (<3%) en ácidos minerales.
 - Muy soluble (<1%) en agua o ácidos débiles.
- **Vermiculita:** Muy estable hasta 750 °C , cuando recibe calor por encima de éste, se desprende vapor de agua de constitución. Si la temperatura no es muy elevada, el material está en estado de expansión con un mínimo de cohesión, siempre y cuando no se enfríe bruscamente. Los volúmenes entre estos estratos se comunican de tal manera que el vapor de agua se elimina progresivamente y es reemplazado por aire. El volumen resultante puede representar entre 30 a 40 veces el volumen inicial, dependiendo del origen de la vermiculita y la temperatura de tratamiento. La vermiculita conserva su estructura foliada y resistente a la acción de temperaturas elevadas hasta prácticamente su fusión 1350 °C. A esta temperatura los estratos pierden completamente su adherencia y el material se hace polvo.

Se caracteriza por:

- Su buena resistencia al choque térmico.
 - Excelente aislamiento térmico.
 - Baja capacidad calorífica.
 - Peso muy liviano.
 - Origen mineral.
 - Incombustible.
- **Fibra mineral o lana mineral:** Es una lana mineral basada en roca basáltica. Su mecanismo de acción es más sencillo y es que debido a su capacidad térmica de aislamiento (conductividad térmica 0,035 W [m.K]) y a que es un producto mineral, no orgánico e incombustible que no genera humos o gases tóxicos. Tiene un excelente comportamiento en un incendio.

Sus características se pueden resumir en:

- Alta densidad (2 a 16 lb/pie³).
- Excelente eficiencia térmica (bajo K).
- Excepcionales propiedades acústicas.
- Gran capacidad para soportar picos de temperatura.

- No corrosiva (Contenido de cloruros máximo de 1.46 ppm).
- Resistente a la humedad.
- Resistente a la compresión.
- Amigable con el medio ambiente (pH Neutro, no contiene CFC ni HCFC).
- Fácil de manejar, ajustar e instalar.

3.4 MECANISMO DE ACCIÓN

El mortero ignífugo, al actuar como aislante térmico posee las funciones propias de un material aislante:

- Minimiza el paso de calor a través de los cerramientos (aislación completa), reteniendo el calor en el interior de los edificios (aislación del frío) o evitando su ingreso (aislación del calor).
- Controlar las temperaturas superficiales de los cerramientos, manteniéndolas suficientemente altas para evitar las condensaciones o suficientemente bajas para evitar elevadas temperaturas radiantes interiores.
- Modificar la inercia térmica de los cerramientos. En este caso los materiales aislantes generalmente se usan en combinación con materiales de elevada masa térmica.

El mecanismo de acción en que el mortero ignífugo protege al acero contra el aumento de temperatura, producido en un incendio, es mediante la conducción.

La conducción es la transferencia de calor entre dos o más objetos que están en contacto. Durante la conducción, la energía se transfiere del objeto con la mayor energía térmica a los objetos adyacentes con menor energía. Esta transferencia es el resultado de las colisiones entre las moléculas, átomos o electrones de cada objeto. Los aislantes térmicos que limitan la conducción, están hechos de materiales con una conductividad térmica baja. Estos materiales están colocados entre los objetos calientes y fríos, para evitar el flujo de calor entre ellos.

La mayoría de los metales tienen una alta conductividad térmica y son considerados aislantes térmicos pobres. Los aislantes térmicos fuertes hechos de materiales como la celulosa o la fibra de vidrio son más resistentes a los cambios en temperatura y a menudo se usan para aislar hogares.

Es por esto que el mortero ignífugo limita la conducción o la transferencia de calor producida por el fuego de un incendio hacia el acero.

3.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES Y USOS RECOMENDADOS

3.5.1 Características

- Aspecto rugoso uniforme.
- No es tóxico ni patógeno, está exento de amianto y sílice cristalina en estado libre.
- No emite gases tóxicos o peligrosos en caso de incendios.
- Imputrescible, no es atacado por hongos o roedores.
- Absorbente acústico de gran eficacia.

3.5.2 Usos Recomendados

- Protección de estructuras metálicas.
- Cortafuegos en cubierta.
- Proyección en techo de garaje.
- Aislamiento térmico.
- Protección de forjados colaborantes, madera etc.
- Actúa como control de condensación.

4 ANÁLISIS DEL MORTERO IGNÍFUGO

4.1 ESTRUCTURA DEL MORTERO IGNÍFUGO

La estructura del mortero ignífugo proyectado va a depender del espesor del mortero y de las vibraciones a las que se somete la estructura de acero. Es importante señalar que el mortero ignífugo cumple funciones anticorrosivas, pero de todas formas se recomienda aplicar al acero pintura anticorrosiva, por lo que el trabajo de ignifugado se debe realizar en un elemento de acero que ya tenga este tratamiento.

Cuando el espesor solicitado de mortero es mayor a 40 mm o en el caso en que la estructura de acero se someta a frecuentes vibraciones, es necesario incluir dentro de la estructura del mortero una malla de acero como refuerzo a la tracción, la que a su vez tendrá que llevar clavos de fijación. En los casos que se requieran espesores menores y además la estructura de acero no sea sometida a vibraciones, no es necesaria la utilización de la malla de refuerzo. Por lo tanto, para ambos casos, la estructura del mortero ignífugo está representada en la Figura 4.1 y Figura 4.2.

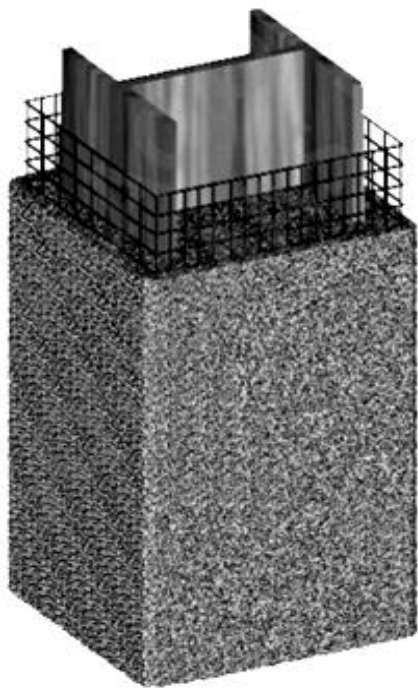


*Figura 4.1. Mortero con malla de refuerzo.
(Inabensa, 2014).*

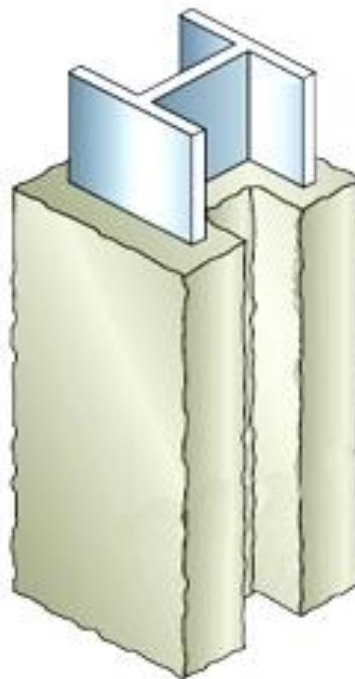


*Figura 4.2. Mortero sin malla de refuerzo.
(Teprosol, 2014).*

4.1.1 Imprimante

El imprimante es recomendado, pero no necesario. Se aplica sobre el elemento de acero con el objetivo de mejorar la adherencia con el mortero. Se utilizan los esmaltes alquídicos o esmaltes sintéticos.

4.1.2 Clavos de fijación

Se utilizan para afianzar la malla de acero al perfil estructural de acero. Se deben colocar mediante pistola de impacto. Es recomendado colocar los clavos antes de la malla para permitir que ésta última no se pegue al perfil estructural de acero y así evitar roturas de la malla. Estos clavos deben ser especiales para uso de fijaciones a base de pólvora.

4.1.3 Malla de refuerzo

Se debe utilizar una malla metálica galvanizada expandida de 3,4 lb por yarda cuadrada.

La malla metálica debe envolver el perfil de acero y debe quedar fuertemente asegurada a través de clavos y alambre. Además, debe quedar traslapada entre 1 ½ hasta 3 pulgadas.

4.1.4 Separadores

Con el fin de mantener la malla en el medio del espesor del mortero, se podrán colocar separadores entre la malla y el elemento de acero. Estos separadores se pueden fabricar artesanalmente extrayendo un trozo de la malla de refuerzo o se pueden utilizar separadores plásticos, usados en la confección de hormigón armado.

4.1.5 Esquinero

El esquinero es opcional, pero se recomienda para dar un mejor acabado. Se puede utilizar como "maestras" y ayuda para medir de mejor forma el espesor. El esquinero debe ser de malla galvanizada expandida de 3,4 lb por yarda con "patas" de 2 pulgadas para su apoyo.

4.1.6 Mortero ignífugo

La capa de mortero consta del mortero ignífugo y agua. Su dosificación dependerá del método de aplicación; para aplicación manual, se utiliza una relación de 20-22 litros agua por un saco de mortero ignífugo, mientras que para aplicación mecánica, se debe utilizar una relación de 28-30 litros de agua por saco de mortero. Estos sacos se venden en el comercio en formato de 24kg, el formato puede variar de 1 a 2 kg dependiendo del fabricante. No se le debe agregar arena. En el mercado existe una gran variedad de morteros ignífugos de distintos fabricantes, como por ejemplo:

- BlazeShield
- Fendolite
- Sprayfiber
- Tecwool
- Igniplaster
- Promill Ignífugo

4.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL MATERIAL

El cálculo del espesor del mortero ignífugo está directamente relacionado con la masividad del perfil de acero y con la resistencia que se solicita. Además, debido a la diversidad de tipos de morteros, es que cada fabricante tiene su propia tabla de espesores. Las tablas se entregan considerando una temperatura crítica de referencia 500°C.

En Chile, el MINVU entrega una tabla general con los espesores necesarios para cada resistencia como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Espesores de revestimiento, para protección de elementos estructurales de acero horizontales y verticales. (Minvu, 2014).

Espesor de revestimiento en mm	20	25	30	35	40	50	60 o más
Hormigón Fino de Cemento	F-0	F-30	F-30	F-60	F-60	F-120	F-120
Mortero de Yeso o Cemento	F-0	F-30	F-30	F-60	F-60	F-120	F-120
Mortero de Yeso Vermiculita/Perlita	F-0	F-30	F-30	F-60	F-60	F-60	F-120

Los distintos fabricantes de mortero ignífugo presentan sus propias tablas de espesores que se pueden revisar en Anexo B.

Al comparar las tablas entregadas por cada fabricante, no se puede establecer un patrón general que relacione el espesor con la resistencia que otorga cada mortero debido a la diferencia de materiales con los que puede estar compuesto el mortero ignífugo, incluso varía cuando el mortero utiliza los mismos elementos principales, ya que cada fabricante tiene diferentes fórmulas.

La norma chilena, a través del MINVU, entrega una tabla general, pero difiere de manera importante de la realidad de espesores establecida por cada fabricante.

De las tablas que entrega cada fabricante se puede generar un ranking del mejor mortero ignífugo en base al mayor tiempo de resistencia y la mayor masividad cubierta como se puede apreciar en la Tabla 4.2.

.

Tabla 4.2. Ranking del mejor mortero ignífugo según el tiempo de resistencia y la masividad cubierta.

Lugar	Mortero	Elemento base	Resistencia máxima; masividad que corresponde	Espesor para R180 a una masividad de 170m^{-1}	Espesor máximo efectivo
1°	Tecwool	Lana de roca	R330; 80m^{-1}	47mm	65mm
2°	Igniplaster	Perlita y vermiculita	R240; 320m^{-1}	47mm	63mm
3°	Sprayfiber	Vermiculita	R240; 180m^{-1}	46mm	57mm
4°	Promill	Perlita y vermiculita	R240; 75m^{-1}	43mm	44mm
5°	Blazeshield	Lana de roca	R240; 70m^{-1}	57mm	57mm

4.3 EQUIPOS PARA APLICACIÓN

Como ya se había mencionado anteriormente, el mortero ignífugo se puede aplicar mediante dos métodos, el primero y más importante, ya que es ampliamente recomendado, es a través de equipos mecánicos que proyectan por aspersión el mortero (Figura 4.3), el segundo método es a través de herramientas manuales como llana, espátula, etc. El método manual no es recomendado debido a su poca eficiencia.

En el mercado existe variedad de máquinas para proyectar el mortero, pero todas tienen el mismo funcionamiento de proyección. Se le llama enfoscadora, revocadora, o simplemente bomba helicoidal. Su funcionamiento se puede definir en estos cuatro pasos:

- Mezcla del mortero: La mayoría de estos equipos cuenta con betonera, aquí el mortero en polvo se mezcla con el agua.
- Recepción de mezcla en tolva: De la betonera se abre una compuerta que permite al mortero caer a la tolva.
- Empuje de tornillo: En la tolva se encuentra un tornillo sin fin que gira y empuja la mezcla de mortero hacia una manguera.
- Inyección de agua a compresión: El equipo debe estar conectado a un estanque o a una red de agua. En la última parte de la manguera se inyecta agua a compresión a través de un conducto unido al equipo. El objetivo, es dar velocidad al mortero para que salga proyectado de la manguera hacia el elemento.



Figura 4.3. Bomba helicoidal con mezcladora (Putzmeister, 2014).

4.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El siguiente procedimiento constructivo puede ser usado sobre cualquier estructura de acero pero está creado especialmente para estructuras de acero de instalaciones industriales:

4.4.1 Montaje de andamio

Los andamios son la primera partida en caso de trabajar en altura. Deben ser montados por una cuadrilla especializada con su respectivo supervisor. Generalmente los andamios se arriendan y la misma empresa que los arrienda cubre la cantidad necesaria para cubrir el proyecto. Esta herramienta constructiva tiene como objetivo permitir trabajar libremente y con seguridad al resto de trabajadores que ejecutan el mortero proyectado. Esta faena es considerada crítica cuando los trabajos sean sólo en alturas y en lugares de difícil acceso.

4.4.2 Limpieza química o mecánica

Por lo general, la superficie de una estructura metálica se encuentra con polvo, óxido, telarañas o cualquier otra suciedad, es por ello que antes de imprimir, colocar la malla de acero, o aplicar el mortero, se debe limpiar la superficie con detergente, solventes u otro producto químico. También en caso de que se requiera una limpieza más rápida y profunda se pueden utilizar herramientas mecánicas.

4.4.3 Imprimación

Para una mejor adherencia del mortero al acero se recomienda previamente una imprimación con esmaltes alquídicos o esmaltes sintéticos. Este producto puede ser aplicado con brocha o con rodillo.

4.4.4 Colocación clavos de sujeción

Para afianzar con mayor rigidez la malla de acero a la estructura de acero, se deben instalar clavos de fijación, para esto es necesario el uso de una pistola de fijación que funciona con pólvora. En las industrias, es muy probable la existencia de gases inflamables, es por esto que es importante despejar el área en donde se utilice la pistola. La pistola no emite una chispa visible, pero un gas inflamable como el oxígeno puede ingresar dentro de la pistola y explotar. El despeje se realiza cerrando el área con material plástico tipo carpa y se debe inyectar vapor de agua.

4.4.5 Instalación malla

Se deben cortar y doblar previamente trozos de malla. Ésta debe quedar a la medida del perfil de acero a ignifugar y debe formar un cajón o tomar la forma del perfil, dependiendo de lo solicitado. Mediante alambre se afirma la malla a los clavos y se tensa.

4.4.6 Instalación separadores

Se recomienda colocar los separadores después de haber puesto la malla para lograr amarrarlos en los puntos necesarios. Para su instalación, se le realiza un corte a la malla de acero en los puntos donde se requiere separador y luego, con alambre, se afirma a la malla y se cierra el corte que se le hizo.

4.4.7 Instalación esquineros

Los esquineros se cortan a la medida necesaria y se colocan en cada esquina externa del perfil de acero, se amarran a la malla con alambre y no deben presentar movimiento. Se puede utilizar este esquinero como maestras en caso de ignifugar perfiles de gran área, con el objetivo de medir el espesor del mortero.

4.4.8 Aplicación de mortero

Para la aplicación del mortero, no existe una restricción relacionada a la temperatura ambiente o a la humedad, sin embargo, es importante tener en cuenta la condición del tiempo, ya que el mortero no va a curar de manera óptima e incluso se puede deformar al ser sometido a una lluvia mientras se esté aplicando el producto.

La cuadrilla de albañiles debe realizar la mezcla en la betonera externa o incluida en la bomba, luego se pasa la mezcla a la tolva del equipo de proyección. Se verifica la presión de entrada a la manguera (20 bar) y luego, en la punta de la manguera, un maestro albañil debe apuntar con ella la zona donde se desea ignifugar. La forma de proyectar el mortero puede ser realizando pasadas horizontales o verticales, se realizan las pasadas necesarias hasta alcanzar el espesor solicitado en diseño. Finalmente un maestro albañil le puede dar un acabado liso con herramientas manuales como el platacho y la llana.

El mortero también se puede aplicar sin equipo proyector, es decir, de forma manual con espátula, platacho y llana. Se aplica una gran cantidad de producto de abajo hacia arriba, tratando de aplicar de una sola vez la cantidad de mezcla que entregue el espesor solicitado.

4.4.9 Retiro de andamios

Finalmente, en caso de uso, se retiran los andamios con la misma cuadrilla especializada.

En caso de llevar a cabo el trabajo de ignifugado en lugares distintos, se debe considerar el arriendo de andamios que cubra al menos 2 sectores, Ya que de lo contrario, se atrasarían considerablemente los trabajos.

4.5 TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y RENDIMIENTOS

Los tiempos de ejecución en trabajos de ignifugado de perfiles de acero, dependen considerablemente de las dimensiones de la estructura, y también, pero en menor medida, de la geometría de los perfiles. Esto se debe a que si la estructura tiene una altura mayor a dos metros, se deben poner andamios, partida que retrasa el resto de los trabajos. También, si el perfil a ignifugar tiene geometrías no rectas, se debe cortar la malla de tal forma que calce con el perfil, lo que es más lento comparado con los cortes rectos.

Con respecto a los rendimientos, tanto el rendimiento tangible, es decir, el rendimiento medible en cuanto a la cantidad de mortero aplicado y el rendimiento de cada partida involucrada, se mide en metros cuadrados.

La cubicación de mortero a aplicar también se realiza en metros cuadrados, ésta se utiliza para después calcular el rendimiento, ya que sabiendo la cantidad de metros cuadrados de un pilar, si se aplica el mortero en tres de esos pilares en un día, se sabe que el rendimiento es el total de metros cuadrados de los tres pilares por día.

En el caso del rendimiento de: montaje de andamios, instalación de malla y separadores, colocación de clavos y retiro de andamios, se consideran los metros cuadrados totales de la estructura y el tiempo en días en que demora el montaje de los andamios para esa estructura. Por esto, el rendimiento sería el total de metros cuadrados dividido en los días de ejecución de cada partida.

4.6 ENSAYOS DE RESISTENCIA AL FUEGO

Los productos importados desde el extranjero son en su mayoría españoles, y están normados por el instituto AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) a través de las Normas UNE (Una Norma Española) de resistencia al fuego.

En Chile, los productos nacionales y algunos importados presentan certificaciones entregadas por el IDIEM o el DICTUC los que ensayan los productos de acuerdo a la norma Nch 935.

Los fabricantes de mortero ignífugo presentan en sus fichas técnicas los respaldos de los ensayos realizados y las normas que los avalan, los que se presentan a continuación:

- **Sika**, con su producto Sikacrete® -215F presenta el siguiente respaldo:
 - Clasificación reacción al fuego (Euroclase): A1 (Incombustible) Cumple con UNE EN 13381: 2005. “ Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales”; en las siguientes partes:
 - Parte 3: “Protección aplicada a elementos de hormigón”
 - Parte 4: “Protecciones aplicadas a elementos de acero”
 - Parte 5: “Protección aplicada a elementos mixtos de hormigón/chapa de acero perfilada”.
 - En Chile presenta certificación IDIEM, Informe N° 877.410, “Mortero proyectado Sikacrete® - 215F(Copsafire)”

- **Perlita y Vermiculita**, con su producto Perfilog entrega una lista con los ensayos realizados a su producto:
 - Estructura metálica según EN 13381-4
Sistema clasificado hasta REI 240
 - Estructura de hormigón según EN 13381-3
Sistema clasificado hasta REI 240
 - Estructura mixta según EN 13381-5
Sistema clasificado hasta REI 240
 - Estructura de madera según EN 1363-1
Sistema clasificado hasta RF 120
 - Conductos de ventilación según EN 1366-1
Sistema clasificado hasta EI 180
 - Pared bloque de hormigón según EN 1364-1
Sistema clasificado hasta EI 240
 - Tabique Perlifoc según EN 1364-1
Sistema clasificado EI 120
 - Franja Cortafuegos según EN 1363-1 y protocolo “Ensayo de resistencia al fuego de franjas encuentro medianería/cubierta”.
Sistema clasificado hasta EI 120.

- **Inabensa**, con su producto Sprayfiber-V presenta el siguiente respaldo:
 - Ensayo según normativa UNE EN 13381-4:2005 ‘‘Método de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales.
 - Parte 4: Protecciones aplicadas a elementos de acero y siguiendo la curva de calentamiento definida en la normativa UL 1709:2005 ‘‘Rapid Rise Tests of Protection Materiales for Structural Steel’’
- **Accuratek**, con su producto Blaze-shield II presenta el siguiente respaldo:
 - Probado por Underwriters Laboratories (UL) y Underwriters Laboratories of Canada (ULC) para determinar una resistencia al fuego de hasta 240 minutos de acuerdo a los estándares de pruebas de resistencia al fuego UL-263 y BS-476. En Chile ha sido ensayado en IDIEM otorgando un retardo de 120 minutos en los siguientes sustratos:
 - Entramado de piso
 - Columnas
 - Vigas
 - Cerchas y elementos livianos
 - Entramado de techo
 - Muros y divisiones

4.7 ANÁLISIS DE RESISTENCIA

Con respecto a los ensayos destructivos que se realizan, los fabricantes presentan en sus especificaciones la resistencia a la compresión y también en algunos casos a la flexión (Tabla 4.3). La resistencia a la compresión se obtiene de acuerdo a las normas internacionales ASTM E 761 o a la NCh 158 Of 96.

Tabla 4.3. Resistencia a la compresión y flexión de distintos morteros.

Mortero	AI SLAMUR	Blaze shield II	Perfiloc	Sikacrete - 215F
Resistencia a la compresión [N/mm ²]	≥ 2	< 1	≥2	≈3
Resistencia a la flexión [N/mm ²]	≥2	s/i	s/i	≈1,5

Por lo general, la resistencia a la compresión del mortero ignífugo no supera los 3 N/mm² mientras que un mortero normal para estuco tiene una resistencia a la compresión de 6 N/mm².

Esto indica que, el mortero proyectado aporta una menor resistencia que un estuco común, a la estructura de acero y puede considerarse como una de sus desventajas ya que sólo aumenta el peso de la estructura. Sin embargo, al tener baja densidad, su masa también lo es:

Densidad mortero ignífugo 0,256 [Kg/L] < Densidad mortero estuco 1,7 [Kg/L]

Por ejemplo, en el caso de ignifugar una estructura de acero de una refinería de petróleo, cuyo peso aproximado es 50 [t], se le aplica un espesor de 3 [cm] de mortero ignífugo, lo que aumenta el peso en aproximadamente 1[t]. Al analizar una viga que conforma la estructura, cuyo perfil es HN20 de 8 metros de largo, se le aplica el mismo espesor mencionado de mortero, generando un aumento de 65[Kg] que es totalmente despreciable para una viga de esas dimensiones.

5 OTROS MÉTODOS DE PROTECCIÓN

Los métodos de protección pasiva estructural más utilizados, además del mortero proyectado, son el recubrimiento con planchas de yeso-cartón y la pintura intumescente:

5.1 RECUBRIMIENTOS CON PLANCHAS

También conocido como encajonamiento con planchas de yeso cartón. Es una alternativa para la protección de perfiles laminados en caliente. La plancha resistente al fuego (RF) es una plancha compuesta por un núcleo de yeso, aditivos especiales y fibra de vidrio, revestida en ambas caras por un cartón de alta resistencia de color rosado. Se comercializa en espesores de 12,5 mm y 25 mm con los que se logran altas clasificaciones EI. En la Figura 5.1 se puede observar un esquema de éste sistema.

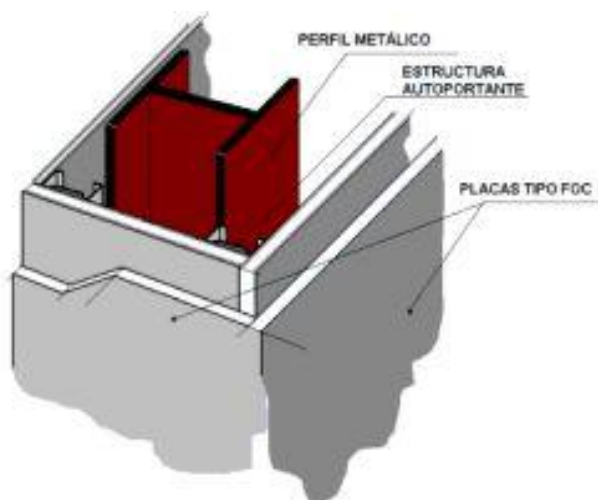


*Figura 5.1. Elemento de acero protegido con planchas de yeso cartón.
(Noex, 2015).*

5.1.1 Usos

- Tabiques.
- Cielos rasos.
- Protección de estructuras metálicas, vigas y pilares.
- Muros cortafuegos.
- Revestimientos interiores.

5.1.2 Propiedades

- Proporciona una resistencia al fuego desde F15 a F180.
- Reducción acústica igual o superior a 45dBA.
- Proporciona un gran confort y ahorro de energía.
- Resistencia a la humedad.

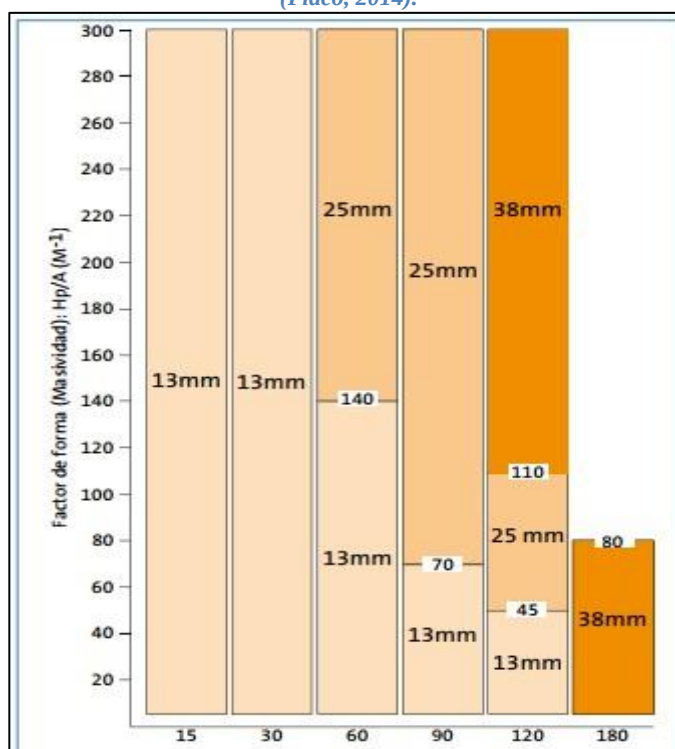
5.1.3 Determinación del espesor

El fabricante español "Placo" indica que, para determinar el espesor del revestimiento con placas "Glasroc F", se deben seguir los pasos siguientes:

- Determinar el periodo en minutos que se necesita.
- Fijar si la protección a realizar es a cuatro, tres caras, etc.
- Obtener el correspondiente factor de forma.

En el gráfico de la Tabla 5.1 se busca la columna que corresponde a los minutos de protección que se necesita, en el eje vertical el correspondiente factor de forma. El espesor total de las placas Glasroc F a utilizar, se indica en el interior de cada columna. Esta tabla está validada por el informe de Ensayo nº 5021295 del Applus según norma UNE-EN 1363-1:2000.

*Tabla 5.1. Espesor de placas según resistencia al fuego y masividad
(Placo, 2014).*



5.2 PINTURAS INTUMESCENTES

La empresa Sherwin Williams describe a su pintura intumescente "Fire Control" como un "Revestimiento en base de agua y bajo en compuesto orgánico volátil, desarrollado especialmente para la protección de estructuras metálicas contra la acción directa del fuego. Éste revestimiento, en presencia de fuego directo o calor, se hincha y se carboniza formando una gruesa capa de escoria que actúa como barrera aislante, retardando el tiempo en que el sustrato alcanza la temperatura de 500° C. El efecto de retardancia al fuego, dependerá sensiblemente del espesor de película aplicado, el cual estará debidamente especificado de acuerdo a la masividad de la estructura metálica."

5.2.1 Usos

Su uso es netamente para la protección de estructuras de acero. Es recomendado especialmente para edificios con gran afluencia de público como colegios, hospitales, supermercados, gimnasios, centros comerciales, etc.

5.2.2 Propiedades

- Proporciona una resistencia al fuego desde F15 a F90.
- Cumple con la resistencia al fuego exigida por la nueva Norma Chilena NCh 935/1 Of. 97

5.2.3 Preparación de la superficie

La superficie debe estar limpia, seca, y en buenas condiciones. Libre de aceite, polvo, grasa, suciedad, óxido y cualquier material extraño. Se debe realizar una limpieza manual mecánica, luego se debe aplicar un imprimante que por lo general es un anticorrosivo y posterior a la pintura intumescente se aplica un revestimiento sellante. La estructura de este sistema de protección se puede observar en la Figura 5.2.

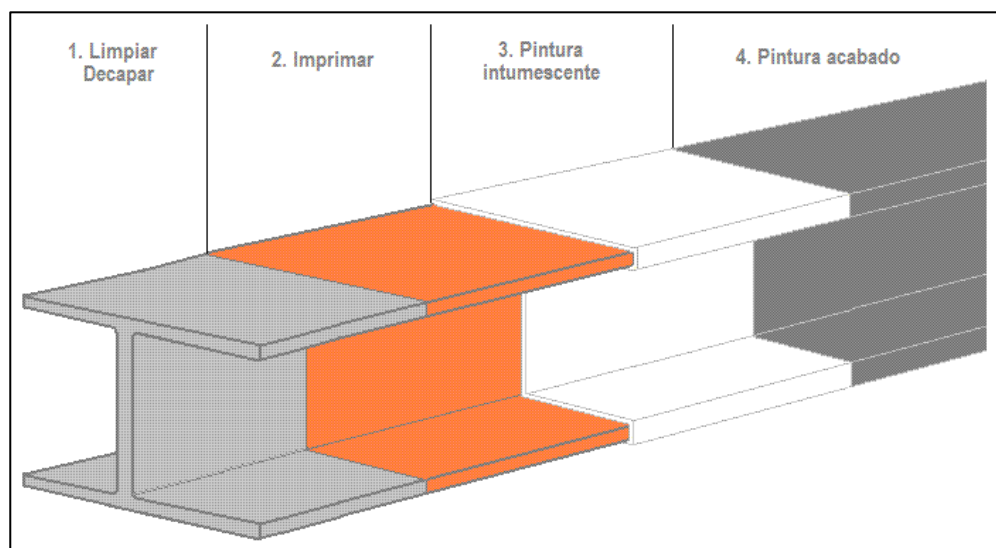


*Figura 5.2. Estructura de un perfil de acero protegido con pintura intumescente.
(pinturaintumescente.blogspot.cl, 2014)*

5.2.4 Condiciones de aplicación

- Temperatura: 10° C mínimo, 30° C máximo (aire, superficie y material)
- Humedad relativa: 85% máxima
- Por lo menos 3° C sobre punto de rocío.

5.2.5 Determinación del espesor

Sherwin Williams indica que el espesor recomendado por capa corresponde a:

Película húmeda: 21.0 - 26.3 mils (533,4 - 668,02 micras)

Película seca: 12.0 - 15.0 mils (304,8 - 381 micras)

El espesor de pintura que debe tener el elemento de acero depende de la masividad y de la cantidad de minutos que se requieran, estos datos son entregados por el IDIEM a través de la Tabla 5.2, en la que aparece el espesor en micras.

*Tabla 5.2. Espesor pintura Fire Control.
(IDIEM, 2004).*

MASIVIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO			
[M^-1]	F 15	F30	F60	F90
60	400	400	700	1300
70			750	1400
80			800	1450
90			850	1550
100				1650
110			900	1700
120			950	1800
130			1000	
140			1050	
150		450	1100	
160				
170		500	1150	
180			1200	
190			1250	
200		550	1300	
210				
220			1350	
230		600	1400	
240			1450	
250		650	1500	
260				
270			1550	
280		700	1600	
290			1650	
300				
310			1700	
320		750	1750	
330			1800	
340				
350				
360		800		
370	450			
380				
390				

5.3 COMPARACIONES

Los tres sistemas de protección presentados, se pueden comparar considerando: costos; tiempos de ejecución; resistencia entregada; y factibilidad de aplicación.

5.3.1 Costos

Se obtiene el presupuesto de los métodos, recubrimiento con yeso-cartón, pintura intumescente y mortero proyectado, calculando los costos por cada metro cuadrado de superficie de estructura metálica.

En la Tabla 5.3, Tabla 5.4 y Tabla 5.5 se encuentra el presupuesto de los métodos mencionados considerando una resistencia F-30 y masividad $218,1 \text{ m}^{-1}$ correspondiente a un perfil HEB 100 protegido por sus 4 caras.

Tabla 5.3. Presupuesto recubrimiento con yeso-cartón para F-30.

Descripción	Unidad	Cant.	Valor unit.	Valor total
Placa de yeso laminado 12,5mm	m2	0,48	\$ 14.000	\$ 6.650
Clip de acero galvanizado 60x60x48	ud	20,00	\$ 830	\$ 16.600
Tornillo autorroscante cabeza de trompeta 25mm	ud	35,00	\$ 6	\$ 221
Pasta de fraguado en polvo	kg	2,55	\$ 1.320	\$ 3.366
Maestro 1°	h	0,15	\$ 5.000	\$ 745
Ayudante	h	0,15	\$ 3.600	\$ 536
			Total	\$ 28.118

Tabla 5.4. Presupuesto pintura intumescente para F-30.

Descripción	Unidad	Cant.	Valor unit.	Valor total
Imprimación selladora aplicada con brocha	l	0,13	\$ 11.000	\$ 1.375
Revestimiento intumescente aplicado con pistola de alta presión o con brocha	kg	1,32	\$ 10.500	\$ 13.839
Maestro 1°	h	0,12	\$ 5.000	\$ 605
Ayudante	h	0,12	\$ 3.600	\$ 436
			Total	\$ 16.255

Tabla 5.5. Presupuesto mortero proyectado para F-30.

Descripción	Unidad	Cant.	Valor unit.	Valor total
Mortero ignífugo	m3	0,02	\$ 198.000	\$ 2.970
Mezcladora-bombeadora	h	0,22	\$ 5.000	\$ 1.105
Maestro 1°	h	0,24	\$ 5.000	\$ 1.215
Ayudante	h	0,24	\$ 3.600	\$ 875
			Total	\$ 6.165

En la Tabla 5.6 y Tabla 5.7 se encuentra el presupuesto del sistema con planchas de yeso y mortero respectivamente, considerando una resistencia F-180 y masividad 88 m⁻¹ correspondiente a un perfil HEM 220 protegido por sus 4 caras.

Tabla 5.6. Presupuesto recubrimiento con yeso cartón para F-180.

Descripción	Unidad	Cant.	Valor unit.	Valor total
Placa de yeso laminado 25mm	m2	0,53	\$ 23.000	\$ 12.075
Placa de yeso laminado 12,5mm	m2	0,55	\$ 14.000	\$ 7.644
Clip de acero galvanizado	ud	20,00	\$ 750	\$ 15.000
Tornillo autorroscante de 25mm	ud	35,00	\$ 6	\$ 210
Tornillo autorroscante de 55mm	ud	35,00	\$ 13	\$ 455
Pasta de fraguado	kg	2,55	\$ 1.300	\$ 3.315
Maestro 1°	h	0,34	\$ 5.000	\$ 1.685
Ayudante	h	0,34	\$ 3.600	\$ 1.213
			Total	\$ 41.597

Tabla 5.7. Presupuesto mortero proyectado para F-180.

Descripción	Unidad	Cant.	Valor unit.	Valor total
Mortero ignífugo	m3	0,05	\$ 195.000	\$ 9.750
Mezcladora-bombeadora	h	0,27	\$ 4.600	\$ 1.242
Maestro 1°	h	0,28	\$ 5.000	\$ 1.380
Ayudante	h	0,28	\$ 3.600	\$ 994
			Total	\$ 13.366

5.3.2 Tiempo de ejecución

Para calcular los tiempos de ejecución, se debe conocer el rendimiento que tienen los ejecutores de cada partida, los que se pueden obtener con la herramienta ONDAC. En la Tabla 5.3, Tabla 5.4 y Tabla 5.5, se encuentra la cantidad de horas necesarias del maestro 1° y ayudante para cubrir 1 m²

de estructura metálica. Se puede observar que para el mortero se requiere 0,24 horas, para la pintura se requiere 0,12 horas y para las planchas de yeso se requieren 0,15 horas. Por lo que se puede afirmar que, de estos métodos de protección, el mortero es el que tiene un avance más lento en su aplicación.

5.3.3 Resistencia al fuego

La resistencia máxima de algunos morteros ignífugos sobrepasa los 300 minutos, pero la mayoría alcanza una resistencia de 240 minutos. El método de recubrir la estructura metálica con planchas de yeso cartón aporta hasta 240 minutos de protección, mientras que la pintura intumescente alcanza sólo 120 minutos, es decir, cuando se requieren temperaturas mayores de protección, la pintura intumescente no sirve.

5.3.4 Factibilidad de aplicación

- **Recubrimiento con planchas:** En elementos de geometría compleja o en conexiones, su instalación es dificultosa. Como punto a favor es que es una faena seca, liviana y por su acabado liso, permite recibir pintura.
- **Pintura intumescente:** Requiere de situaciones climáticas específicas para su aplicación, se dificulta su aplicación en estructuras de acceso complejo y también controlar las posibles limitaciones de masividad y de resistencia exigida. Su durabilidad es limitada y se debe repintar. Su punto a favor es que permite expresar la estructura y arquitectura de la estructura de acero.
- **Mortero proyectado:** Si se requieren resistencias mayores o la estructura es sometida a frecuentes vibraciones, se debe colocar malla metálica para afirmar al mortero, lo que aumenta los costos y los tiempos de ejecución. Su punto a favor es el bajo costo, es de fácil aplicación usando la bomba helicoidal, gran resistencia al fuego, protege contra la corrosión y no es afectado por productos químicos.

6 NORMATIVA CHILENA

En Chile, las disposiciones generales de construcción, relacionadas a la protección contra incendios, son la Ordenanza general de urbanismo y construcción, la norma chilena NCh 935 y el listado oficial de comportamiento al fuego. Además, existen organismos certificadores los cuales son el IDIEM y el DICTUC, estos se encargan de ensayar los productos de acuerdo a la normativa ya mencionada.

6.1 INICIOS DE LAS NORMAS EN CHILE

A partir del incendio de la Torre Santa María ocurrido en marzo de 1981, que en Chile existe una preocupación por las consecuencias de un incendio en las construcciones. Es por esto que se genera la norma NCh 935 en 1984 y se incorpora al D.S. N°47 de 1992 "Ordenanza general de urbanismo y construcciones" el artículo llamado "De las condiciones de seguridad contra incendios", este capítulo tiene como objetivo fundamental que el diseño de los edificios asegure que se cumplan las siguientes condiciones:

- Facilitar el salvamento de los ocupantes de los edificios en caso de incendio.
- Reducir al mínimo el riesgo de incendio, en cada edificio.
- Evitar la propagación del fuego, tanto al resto del edificio como desde un edificio a otro.
- Facilitar la extinción de los incendios.

6.2 NORMAS COMPLEMENTARIAS A LA OGUC

El MINVU a través del D.S. 47 OGUC establece las normas que se deben tomar en cuenta en el comportamiento al fuego de los materiales.

Dentro de estas normas, la principal relacionada al mortero ignífugo es la NCh 935/1 of 97 cuyo nombre es "Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción en general" y su alcance es establecer las condiciones de ensayo y los criterios que permiten determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción en general.

Esta norma define la resistencia al fuego como la cualidad de un elemento de construcción para soportar las condiciones de un incendio estándar, sin deterioro importante de su capacidad funcional.

También, la norma establece que son los minutos la unidad de medida de resistencia en que la estructura debe mantener ciertos requerimientos, como su estabilidad mecánica, la suspensión de las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables. El tiempo de resistencia equivale al tiempo en que no se infringe ninguno de estos requerimientos en los ensayos.

La norma chilena define que la temperatura media de un elemento estructural no debe superar los 500 °C y la temperatura máxima en cualquier punto no debe superar los 650 °C.

Otros parámetros que establece la norma son:

- El programa térmico para el horno de ensayo.
- El procedimiento de los ensayos.
- El cálculo de masividad (Explicado en el punto 2.2).
- La clasificación de los elementos de construcción sometidos al ensayo de resistencia al fuego según su duración, como se muestra en la Tabla 6.1.

*Tabla 6.1. Clasificación de los elementos de construcción una vez sometidos al ensayo de resistencia al fuego, según su duración.
(NCh 935, 1997).*

Clase		Duración [min]		
F	0	$\geq$	0	$<$ 15
F	15	$\geq$	15	$<$ 30
F	30	$\geq$	30	$<$ 60
F	60	$\geq$	60	$<$ 90
F	90	$\geq$	90	$<$ 120
F	120	$\geq$	120	$<$ 150
F	150	$\geq$	150	$<$ 180
F	180	$\geq$	180	$<$ 240
F	240	$\geq$	240	

6.3 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA OGUC

La OGUC establece que los edificios deberán proyectarse y construirse según alguno de los cuatro tipos (a, b, c o d) que se señalan en la Tabla 6.2 y los elementos que se utilicen en su construcción deberán cumplir con la resistencia al fuego que se indica en la misma tabla.

Si a un mismo elemento le correspondieren dos o más resistencias al fuego, se debe respetar la mayor exigencia.

Tabla 6.2. Resistencia al fuego requerida para los elementos de construcción de edificios (OGUC, 2009).

ELEMENTOS DE CONSTRUCCION									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F- 30	F- 60	F-120	F- 60
b	F-150	F-120	F- 90	F- 90	F- 90	F- 15	F- 30	F- 90	F- 60
c	F-120	F- 90	F- 60	F- 60	F- 60	-	F- 15	F- 60	F- 30
d	F-120	F- 60	F- 60	F- 60	F- 30	-	-	F- 30	F- 15

- **Elementos verticales:** (1) Muros cortafuego; (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera; (3) Muros caja ascensores; (4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta); (5) Elementos soportantes verticales; (6) Muros no soportantes y tabiques.
- **Elementos verticales y horizontales:** (7) Escaleras.
- **Elementos horizontales:** (8) Elementos soportantes horizontales; (9) Techumbre incluido cielo falso.

El tipo a, b, c o d depende de la cantidad de pisos del edificio de la Tabla 6.3, Tabla 6.4 o Tabla 6.5, según corresponda. Estas tablas consideran la superficie edificada, la carga de ocupación y la densidad de carga combustible, respectivamente.

*Tabla 6.3. Clasificación según superficie edificada en m².
(OGUC, 2009).*

Destino del edificio	Superficie edificada (M2)	Numero de pisos 1 2 3 4 5 6 7 o más
Habitacional	Cualquiera	d d c c b a a
Hoteles o similares	Sobre 5.000 sobre 1.500 y hasta 5.000 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c b a a a a a c b b b a a a c c b b a a a d c b b a a a
Oficinas	Sobre 1.500 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c c b b b a a c c c b b b a d c c b b b a
Museos	Sobre 1.500 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c c b b b a a c c c b b b a d c c b b b a
Salud(clínica, hospitales y laboratorios)	Sobre 1.000 Hasta 1.000	c b b a a a a c c b b a a a
Salud (Policlínicos)	Sobre 400 Hasta 400	c c b b b b a d c c b b b a
Restaurantes y fuentes de soda	Sobre 500 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b a a a a a a c b b a a a a d c c b b a a
Locales comerciales	Sobre 500 Sobre 200 y hasta 500 Hasta 200	c b b a a a a c c b b a a a d c b b b a a
Bibliotecas	Sobre 1.500 Sobre 500 y hasta 1.500 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b b a a a a a b b b a a a a c b b b a a a d c b b a a a
Centro de reparación automotor	Cualquiera	d c c b b b a
Edificios de estacionamiento	Cualquiera	d c c c b b a

Tabla 6.4. Clasificación según máximo de ocupantes.
(OGUC, 2009).

DESTINO DEL EDIFICIO	MAXIMO DE OCUPANTES	NUMERO DE PISOS
		1 2 3 4 5 6 ó más
Teatros y espectáculos	Sobre 1.000	b a a a a a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b b a a a a
	Sobre 250 y hasta 500	c c b b a a
	Hasta 250	d d c c b a
Reuniones	Sobre 1.000	b a a a a a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b b a a a a
	Sobre 250 y hasta 500	c c b b a a
	Hasta 250	d c c b b a
Docentes	Sobre 500	b b a a a a
	Sobre 250 y hasta 500	c c b b a a
	Hasta 250	d c c b b a

Tabla 6.5. Clasificación según densidad de carga combustible.
(OGUC, 2009).

DESTINO DEL EDIFICIO	DENSIDAD DE CARGA COMBUSTIBLE (*)		NUMERO DE PISOS
	Media (MJ/m2) según NCh 1916	Puntual Máxima (MJ/m2) según NCh 1993	1 2 3 4 5 ó más
Combustibles, lubricantes, aceites minerales y naturales.	Sobre 8.000 sobre 4.000 y hasta 8.000 sobre 2.000 y hasta 4.000 hasta 2.000	Sobre 24.000 sobre 16.000 y hasta 24.000 sobre 10.000 y hasta 16.000 hasta 10.000	a a a a a b a a a a c b a a a d c b a a
Establecimientos Industriales.	Sobre 16.000 sobre 8.000 y hasta 16.000 sobre 4.000 y hasta 8.000 sobre 2.000 y hasta 4.000 sobre 1.000 y hasta 2.000 sobre 500 y hasta 1.000 hasta 500	Sobre 32.000 sobre 24.000 y hasta 32.000 sobre 16.000 y hasta 24.000 sobre 10.000 y hasta 16.000 sobre 6.000 y hasta 10.000 sobre 3.500 y hasta 6.000 hasta 3.500	a a a a a b a a a a c b a a a c c b a a d c c b a d d c c b d d d c c
Supermercados y Centros Comerciales.	Sobre 16.000 sobre 8.000 y hasta 16.000 sobre 4.000 y hasta 8.000 sobre 2.000 y hasta 4.000 sobre 1.000 y hasta 2.000 hasta 1.000	Sobre 32.000 sobre 24.000 y hasta 32.000 sobre 16.000 y hasta 24.000 sobre 10.000 y hasta 16.000 sobre 6.000 y hasta 10.000 hasta 6.000	b a a a a b b a a a c b b a a c c b b a d c c b b d d c c b
Establecimientos de bodegaje.	Sobre 16.000 sobre 8.000 y hasta 16.000 sobre 4.000 y hasta 8.000 sobre 2.000 y hasta 4.000 sobre 1.000 y hasta 2.000 sobre 500 y hasta 1.000 hasta 500	Sobre 32.000 sobre 24.000 y hasta 32.000 sobre 16.000 y hasta 24.000 sobre 10.000 y hasta 16.000 sobre 6.000 y hasta 10.000 sobre 3.500 y hasta 6.000 hasta 3.500	b b a a a c b b a a c c b b a d c c b b d d c c b d d d c c d d d d c

La norma NCh 933 define:

Carga combustible: Cantidad total de calor que se desprendería por combustión completa al incendiarse totalmente un edificio o parte de él y su contenido. Se expresa en J o sus múltiplos MJ o GJ. También en kcal o Mcal.

Densidad de carga combustible: Carga combustible de un edificio o parte de él dividida por la superficie de planta del mismo. Se suele expresar en MJ/m² o Mcal/m².

6.4 LISTADO OFICIAL DE COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DE LA CONSTRUCCIÓN

En este listado del MINVU se entregan las cualidades frente a la acción del fuego de los materiales del mercado nacional en los elementos y componentes utilizados en la construcción.

La información entregada en este listado indica: tipo de elemento, materialidad, dimensiones del elemento, masividad, elemento que lo protege, espesor del material que protege, caras del elemento protegidas y resistencia en minutos.

6.4.1 Morteros ignífugos existentes en el mercado nacional

- **Cafco-800 (U.S. Mineral products / dba isolatek international)**

*Tabla 6.6. Pilar protegido con estuco F-120, producto Cafco-800.
(MINVU, 2014).*

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN					
Pilar en base de perfil en acero estructural, de sección doble T 200 x 200 x 18 x 10 mm, su altura es de 2,10 m, y su masividad es de 133 m ⁻¹ . Este está protegido por todo su perímetro con material aislante térmico de densidad media a alta, proyectado y denominado “Cafco 800”, de 35 mm de espesor promedio. Las caras del pilar deben estar totalmente protegidas en toda su extensión y perímetro, sin dejar ningún intersticio a la vista.					
INSTITUCIÓN	Informe de Ensayo N°	Laboratorio	Fecha de Ensayo	Resistencia	Vigencia de la Inscripción
U.S. MINERAL PRODUCTS / DBA ISOLATEK INTERNATIONAL, STANHOPE NEW JERSEY - USA	238.342	IDIEM	11/01/1999	F-120	2015

- **Igniplaster (Promat Chile S.A.)**

*Tabla 6.7. Pilar protegido con estuco F-150, producto igniplaster.
(MINVU, 2014).*

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN					
Pilar en base de perfil en acero, de sección cuadrada 200 x 200 x 6 mm, su altura es de 2,05 m, y su masividad es de 171 m ⁻¹ . Este está protegido por todo su perímetro con un mortero liviano proyectado, denominado “Igniplaster”, constituido principalmente por ligantes hidráulicos, áridos ligeros y aditivos especiales y que tiene 40 mm de espesor promedio. La densidad media aparente del Igniplaster, ya colocado en su sitio y seco es de 800 kg/m ³ , aproximadamente. Las caras del pilar deben estar totalmente protegidas en toda su extensión, sin dejar ningún intersticio a la vista.					
INSTITUCIÓN	Informe de Ensayo N°	Laboratorio	Fecha de Ensayo	Resistencia	Vigencia de la Inscripción
PROMAT CHILE S.A.	238.145	IDIEM	11/01/2000	F-150	2015

- **Blazes-shield II (U.S. Mineral products / dba isolatek international)
(Accuratek)**

*Tabla 6.8. Pilar protegido con estuco F-120, producto Blazes-shield II.
(MINVU, 2014).*

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN					
Pilar en base de perfil en acero estructural, de sección doble T 200 x 200 x 18 x 10 mm, su altura es de 2,10 m y su masividad es de 133 m ⁻¹ . Este está protegido por todo su perímetro con material aislante térmico de densidad media, proyectado y denominado “Blaze Shield II” de 40 mm de espesor promedio. Las caras del pilar deben estar totalmente protegidas en toda su extensión y perímetro, sin dejar ningún intersticio a la vista.					
INSTITUCIÓN	Informe de Ensayo N°	Laboratorio	Fecha de Ensayo	Resistencia	Vigencia de la Inscripción
U.S. MINERAL PRODUCTS / DBA ISOLATEK INTERNATIONAL, STANHOPE NEW JERSEY - USA	238.341	IDIEM	11/01/1999	F-120	2015

- **Rocky 1005 3FP (Fire Stop Systems Chile S.A.)**

*Tabla 6.9. Pilar protegido con estuco F-180, producto Rocky 1005 3FP.
(MINVU, 2014).*

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN					
Columna de acero, tipo doble T, de dimensiones de 300 x 300 x 18 x 12 mm. La masividad del perfil utilizado es de 127 m ⁻¹ . Se aplicó al perfil una mano de pintura anticorrosiva, marca Sipa y una capa de pintura Thermalastic 83 R. La columna fue protegida con un panel de fibra mineral identificada como Rocky 1005 3FP, de aproximadamente 76 mm de espesor. La densidad promedio registrada para la fibra mineral fue aproximadamente 135 Kg/m ³ . Sobre la fibra mineral se aplicaron tres manos de pintura Thermalastic 83 R, altura de la columna: 2,1 m. No se aplicó carga.					
INSTITUCIÓN	Informe de Ensayo N°	Laboratorio	Fecha de Ensayo	Resistencia	Vigencia de la Inscripción
Fire-Stop Systems Chile S.A.	937.370	DICTUC	03/03/2011	F-180	2016

- **Hibar (Lagos&Castillo)**

*Tabla 6.10. Pilar protegido con estuco F-120, producto Hibar.
(MINVU, 2014).*

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN					
Columna doble T, IN de 200 x 200 x 22 x 10 (mm) y altura de 2, 10 m, que presenta una masividad de 114 m ⁻¹ . Esta está protegida contra el fuego con un mortero de fibras minerales aglomeradas con cemento, cuya denominación es "Hibar", distribuido en envase sellado y rotulado: "manufactured by Celufibre Industries". El espesor de la protección es de 55 mm, promedio. Las caras de la columna deben estar totalmente protegidas en toda su extensión, sin dejar ningún intersticio a la vista.					
INSTITUCIÓN	Informe de Ensayo N°	Laboratorio	Fecha de Ensayo	Resistencia	Vigencia de la Inscripción
LAGOS & CASTILLO S.A.	247.136	IDIEM	21/08/2000	F-120	2015

6.5 ORGANISMOS FISCALIZADORES

Como se había mencionado anteriormente, los organismos encargados de ensayar y certificar los productos utilizados en Chile son el IDIEM y el DICTUC, los ensayos los realizan conforme a la NCh935/1 of 97.

7 CASO PRÁCTICO EN ENAP REFINERÍA ACONCAGUA

Este caso práctico corresponde al contrato llamado "SERVICIO DE IGNIFUGADOS ESTRUCTURA SOPORTE LINEA TRANSFERENCIA E-132 Y OTROS PARA ENAP REFINERIA ACONCAGUA" realizado por la empresa ERRES LTDA. en las plantas: Topping 1; Topping 2; NHT; LPG; LPG3; Alquiler de ENAP Refinería Aconcagua. El proyecto consistía en aplicar 1200 m² de mortero ignífugo en las plantas mencionadas y el plazo era de 150 días corridos.

7.1 ADJUDICACIÓN DEL CONTRATO

En primer lugar, el proyecto de ignifugado, como todos los proyectos del área de construcción dentro de refinería, nacen como una necesidad que puede tener las siguientes causas:

- Aumento de producción
- Renovación de materialidad
- Cumplimiento de normas
- Prevención de riesgos

En este caso, la causa de la necesidad, es la prevención de riesgos, ya que al ser una refinería de petróleo, las probabilidades de un incendio son muy altas. También existe la necesidad de cumplir con las normas, como se puede apreciar en la Tabla 6.2. Un edificio destinado a combustibles, desde los 3 pisos de altura, debe tener una resistencia al fuego de al menos 120 minutos en todos sus elementos estructurales. Es por ello que ENAP licita este proyecto de ignifugado.

El proyecto es estudiado previamente por personal del área de construcción de refinería. Los proyectos que se estiman sobre los doscientos mil dólares son licitados abiertamente, mientras que bajo ese valor, se licita de forma cerrada, es decir, se invita personalmente a las empresas que se estimen convenientes.

Las licitaciones de ENAP se encuentran en la página web "portal de licitaciones" que se puede redirigir desde la página web principal (www.enap.cl). Aquí se encuentran las licitaciones abiertas a las empresas. En el caso de que una empresa se interese en una propuesta, puede descargar gratuitamente la minuta ejecutiva del proyecto, donde se encuentra un resumen del proyecto, se menciona el monto de la boleta de garantía y los tiempos de cada actividad (fechas de entrega de bases técnicas, de visita a terreno y de entrega de propuestas), entre otros datos. Las bases técnicas, planos y todo lo necesario para el buen estudio de la propuesta, son entregadas por correo electrónico a aquellas empresas que informaron a refinería que querían estudiar la licitación.

La licitación se realiza a través de la plataforma "Ariba". En ella, cada empresa sube su oferta técnica y oferta económica. En refinería se estudia en primer lugar la oferta técnica y las empresas que aprueben esta oferta pasan a la última etapa que es la oferta económica, donde finalmente el contrato se lo adjudica la empresa que oferte la menor cantidad de dinero.

Además, para que una empresa pueda adjudicarse un contrato, debe estar registrado en el "Registro de proveedores de bienes y servicios de grupo empresas ENAP".

7.2 DOSSIER DE CALIDAD

Una vez adjudicado el contrato y antes de comenzar con los trabajos, la empresa contratista debe entregar el "Dossier de Calidad", el cual es una carpeta que contiene todos los planes, procedimientos, esquemas, etc. detallados de los trabajos que se van a realizar conforme a estándares de calidad.

Esta carpeta debe ser revisada y aprobada por el área de construcción. La carpeta se guarda y es el único registro ante futuras discordancias en un trabajo a realizar.

7.3 CARTA GANTT

Además del Dossier de Calidad, el contratista debe entregar la Carta Gantt del proyecto. Ésta comienza con la instalación de faena y termina con la entrega del proyecto. La Carta Gantt presentada en este proyecto es la de la Figura 7.1.



Figura 7.1. Carta Gantt Rev 1 del contrato ignifugado.
(ERRES, 2014).

A medida que se avanza con el proyecto, el mandante puede requerir revisiones de la Carta Gantt, como ocurrió en este contrato y en donde se presentó la revisión 2, como se puede ver en la Figura 7.2.

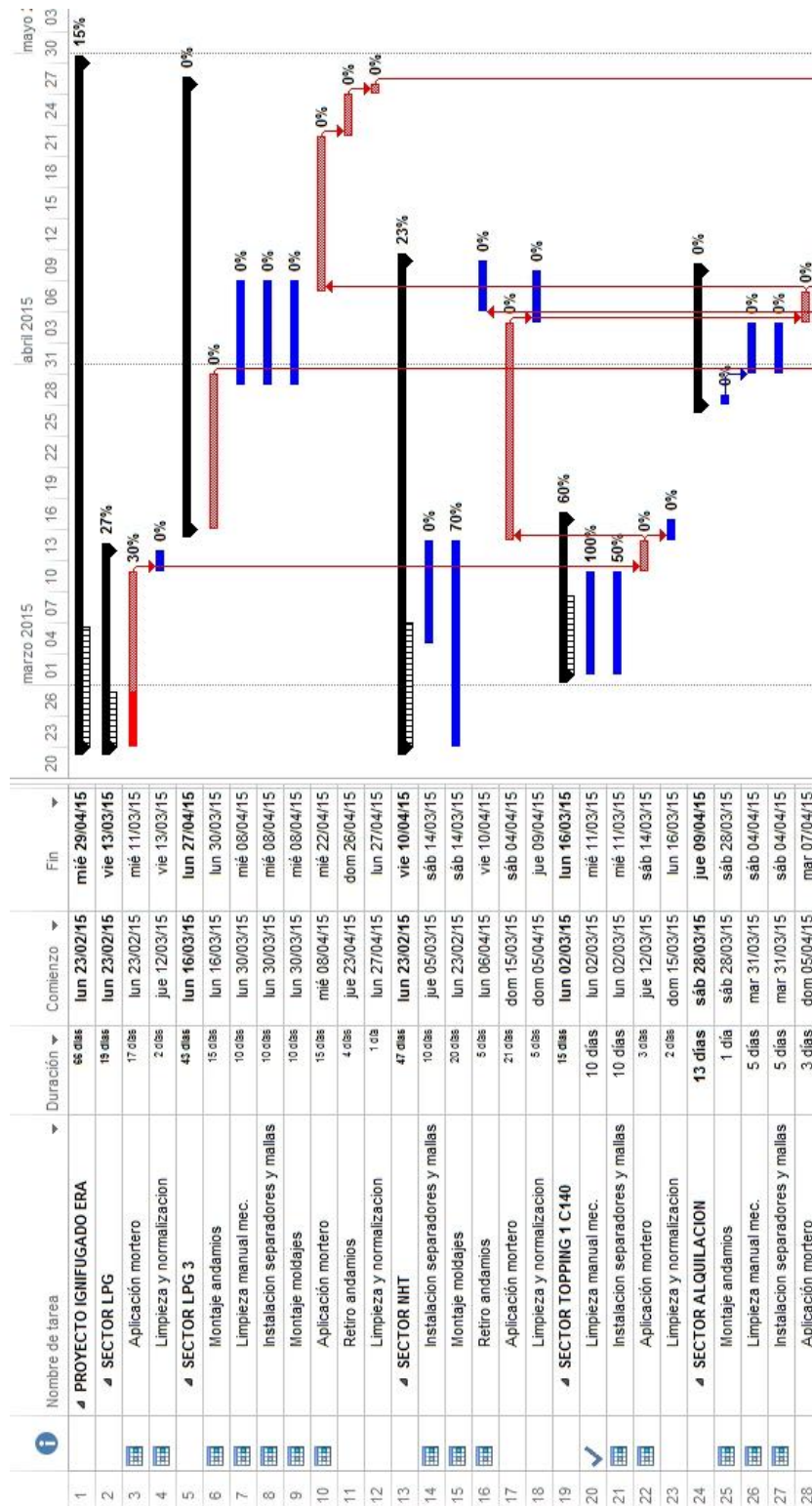


Figura 7.2. Carta Gantt Rev 2 del contrato ignifugado.
(ERRES, 2015).

7.4 PLANOS DEL PROYECTO Y CUBICACIÓN

Los planos con los que se dispone para realizar la cubicación, por lo general, no bastan para generar una idea del proyecto y poder cubicar. Por ese motivo, la visita a terreno durante el período de estudio de propuesta, es fundamental.

En las bases técnicas de esta licitación, se estipula que la cantidad total de mortero ignífugo a aplicar son 1200 m². Luego, una vez comenzados los trabajos, el contratista debió hacer un levantamiento real para determinar la cantidad de m² de ignifugado.

En la Figura 7.3 se muestra el plano que entrega refinoría de los perfiles que había que ignifugar de la planta Topping 1, y en la Figura 7.4 se muestra el plano dibujado de los perfiles a ignifugar.

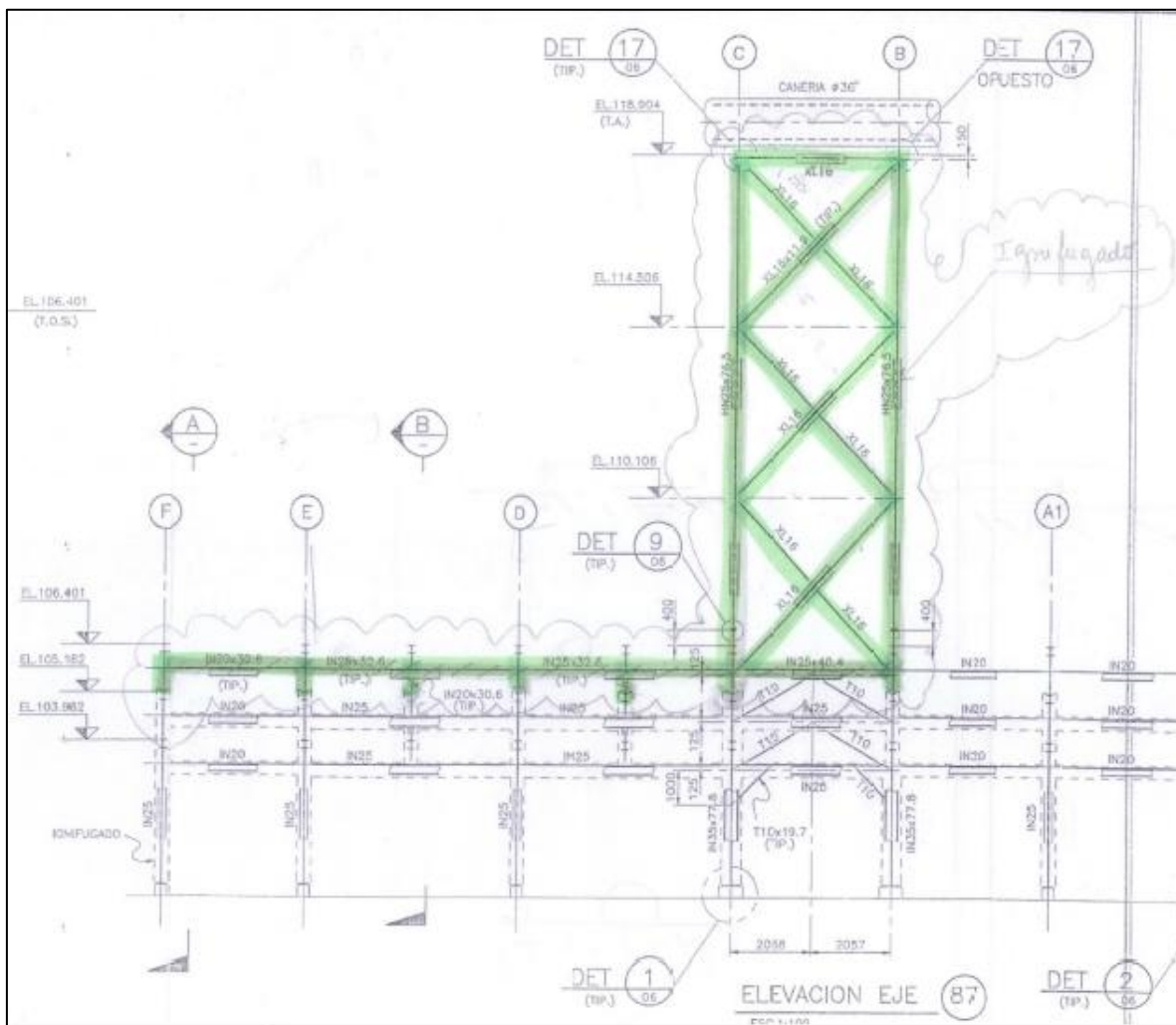


*Figura 7.3. Estructuras a ignifugar de la planta Topping 1.
(ENAP, 1996).*

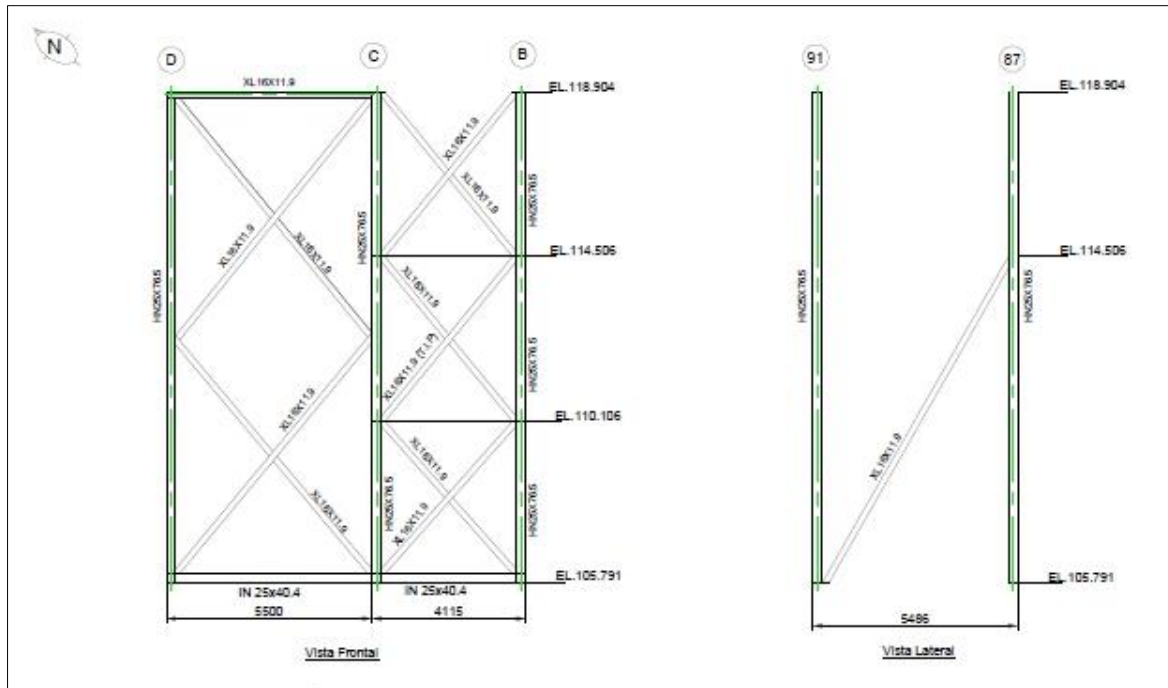


*Figura 7.4. Dibujo de la estructura a ignifugar de la planta Topping 1.
(ENAP, 2015).*

7.4.1 Cubicación

Una vez teniendo las dimensiones exactas de los elementos, se puede cubicar los m^2 de mortero a aplicar. El cálculo se detalla a continuación:

Tomando como ejemplo un perfil de acero HN 25X76,5 que se puede ver en la Figura 7.5. Perfil HN25x76,5Figura 7.5.

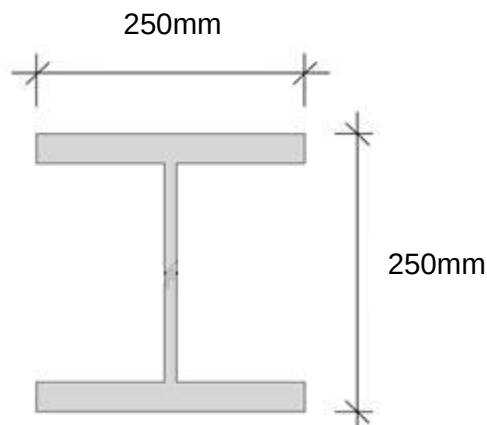


*Figura 7.5. Perfil HN25x76,5
(BIJIT, 2013).*

El método de protección utilizado en este caso práctico es el encajonamiento del perfil con el mortero ignífugo, por lo que a cada lado se le suman dos veces el espesor del mortero, como se puede observar en la Figura 7.6.

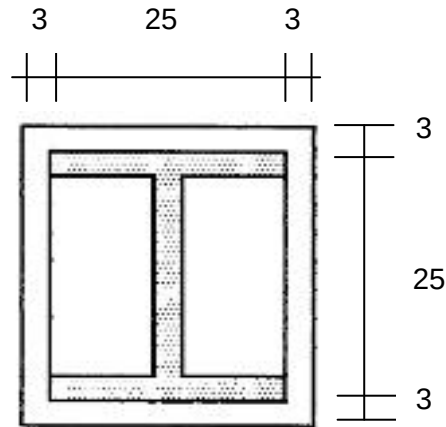


Figura 7.6. Perfil protegido con encajonamiento de mortero. (NCh935/1, 1997).

Luego su perímetro es:

$$P = 2 * (3 + 25 + 3) + 2 * (3 + 25 + 3)$$

$$P = 124 [cm]$$

$$P = 1,24 [m]$$

Considerando que el largo de ese elemento corresponde a 13,2 m.

Se tiene que los m^2 de mortero a aplicar en ese perfil, son:

$$m^2 \text{ de mortero} = 16,4 [m^2]$$

De esta forma, y sumando los m^2 de cada perfil se llega al valor total de mortero ignífugo.

Finalmente, se obtuvo la cubicación de cada planta, como se observa en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Cubicación cantidad de mortero en contrato de ignifugado.

Planta y/o Sector	M²
Topping 1	168,4
LPG	174,1
C-140	58,4
NHT	262,2
LPG3	333,4
Mesa de Vacío	38,3
Topping 2	288,9
Alquilación	50,2
Total M²	1085

Como se mencionó anteriormente, el proyecto se pactó por 1200 m², luego la cubicación real correspondía a 1085 m², por lo que se ignifugaron más perfiles de los estipulados en el contrato.

7.5 INSTALACIÓN DE FAENA

En refinería, se cuenta con un sector llamado "Barrio contratista" en donde se encuentran lotes que ya presentan baños tipo módulos, galpones para uso de bodega y oficinas. También hay lotes más pequeños donde las empresas contratistas puedan instalar sus contenedores y todo lo necesario para la ejecución del proyecto. Este sector también cuenta con un casino destinado exclusivamente para todos los trabajadores de empresas contratistas que se encuentren realizando trabajos dentro de refinería. Además, la empresa ejecutora puede instalar uno o más contenedores cerca del lugar de trabajo.

En la Figura 7.7 se pueden apreciar los galpones del barrio contratista, módulos de baño, calles, etc. La ubicación exacta del barrio contratista se observa en la Figura 7.8 encerrado en un círculo rojo y encerrado en círculos amarillos se ubican las plantas en donde se llevaba a cabo el proyecto. Se puede observar que, el barrio contratista, se encuentra colindante con el camino F-30-E mientras que los sectores de trabajo se distancian en hasta 7 cuadras, por lo que siempre es necesario contar con baños químicos y agua en cada planta en que se trabajaba. El traslado de los trabajadores desde el barrio contratista hasta el sector de trabajo debe ser en vehículo o en bicicleta industrial.



*Figura 7.7. Vista aérea Barrio contratista ENAP Refinería.
(ENAP, 2015).*



*Figura 7.8. Imagen satelital de la ubicación del barrio contratista en ERA.
(Google Earth, 2015).*

7.6 AVANCE SEMANAL Y CURVA "S"

Los resultados de avance semanal y el gráfico de curva "S" se obtuvieron en base al seguimiento realizado y apoyado por la herramienta computacional Excel (Office 2010), con la que se creó una tabla de mediciones que se aprecia en la Tabla 7.2, que considera las partidas y la duración de éstas según la Carta Gantt, a partir de estos datos mencionados y de las fechas de inicio y término del proyecto, la tabla entrega por cada partida, la incidencia, el porcentaje completado, el porcentaje de atraso, entre otros datos.

En la tabla se introduce el avance semanal porcentual de cada partida, los que se introducen en la Tabla 7.3 del mismo archivo Excel. Los valores se van sumando hasta llegar al número 100, lo que significa que la partida ya se completó. El valor porcentual que se introduce semanalmente, se calcula utilizando los valores de la cubicación, transformando ese avance de metros cuadrados a porcentaje.

Al introducir las fechas extraídas de la carta Gantt de cada partida, la tabla entrega el porcentaje semanal programado de la obra. Al introducir los valores porcentuales semanalmente, la tabla calcula el avance de la obra en la fecha que se está midiendo. Ambos porcentajes semanales van a una tabla (Tabla 7.4) que luego entrega el gráfico de la curva "S" real y programado del proyecto (Figura 7.9).

(ENAP, 2015).

PROGRAMACION DE OBRA "IGNIFUGADO"

*Tabla 7.3. Avance semanal porcentual.
(ENAP, 2015).*

9/Feb/15	12/Feb/14	19/Feb/15	26/Feb/15	5/Mar/15	12/Mar/15	19/Mar/15	26/Mar/15	6/Apr/15	
100									
100									
40	0	58	1	1					
90	5	3	1	1					
45	5	50							
25	0	0	22	39	14				
0	15	0	0	25	60				
0	0	0	0	0	30	30	40		
0	0	0	0	0	0	0	50	50	
0	0	0	0	0	0	0	40	55	
0	0	0	0	0	0	0	30	40	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100									
50	0	50							

*Tabla 7.4. Datos para graficar de los porcentajes semanales de avance programado y real.
(ENAP, 2015).*

	DATOS PARA GRAFICAR		
	Fechas de	Programa	Real
Semana	Control	86,35%	84,27%
1	01-dic-14	0,19%	1,00%
2	08-dic-14	1,56%	4,22%
3	15-dic-14	3,31%	6,82%
4	22-dic-14	6,04%	9,42%
5	29-dic-14	15,40%	12,42%
6	05-ene-15	27,10%	15,62%
7	12-ene-15	34,50%	19,42%
8	19-ene-15	41,33%	23,62%
9	26-ene-15	47,56%	28,62%
10	02-feb-15	52,24%	34,62%
11	12-feb-15	56,34%	42,82%
12	19-feb-15	58,67%	51,55%
13	26-feb-15	59,84%	54,15%
14	05-mar-15	63,35%	64,09%
15	12-mar-15	68,62%	68,98%
16	19-mar-15	71,93%	73,34%
17	26-mar-15	74,66%	77,24%
18	06-abr-15	86,35%	84,47%
19	09-abr-15	90,45%	
20	16-abr-15	94,74%	
21	23-abr-15	97,66%	
22	30-abr-15	100,00%	

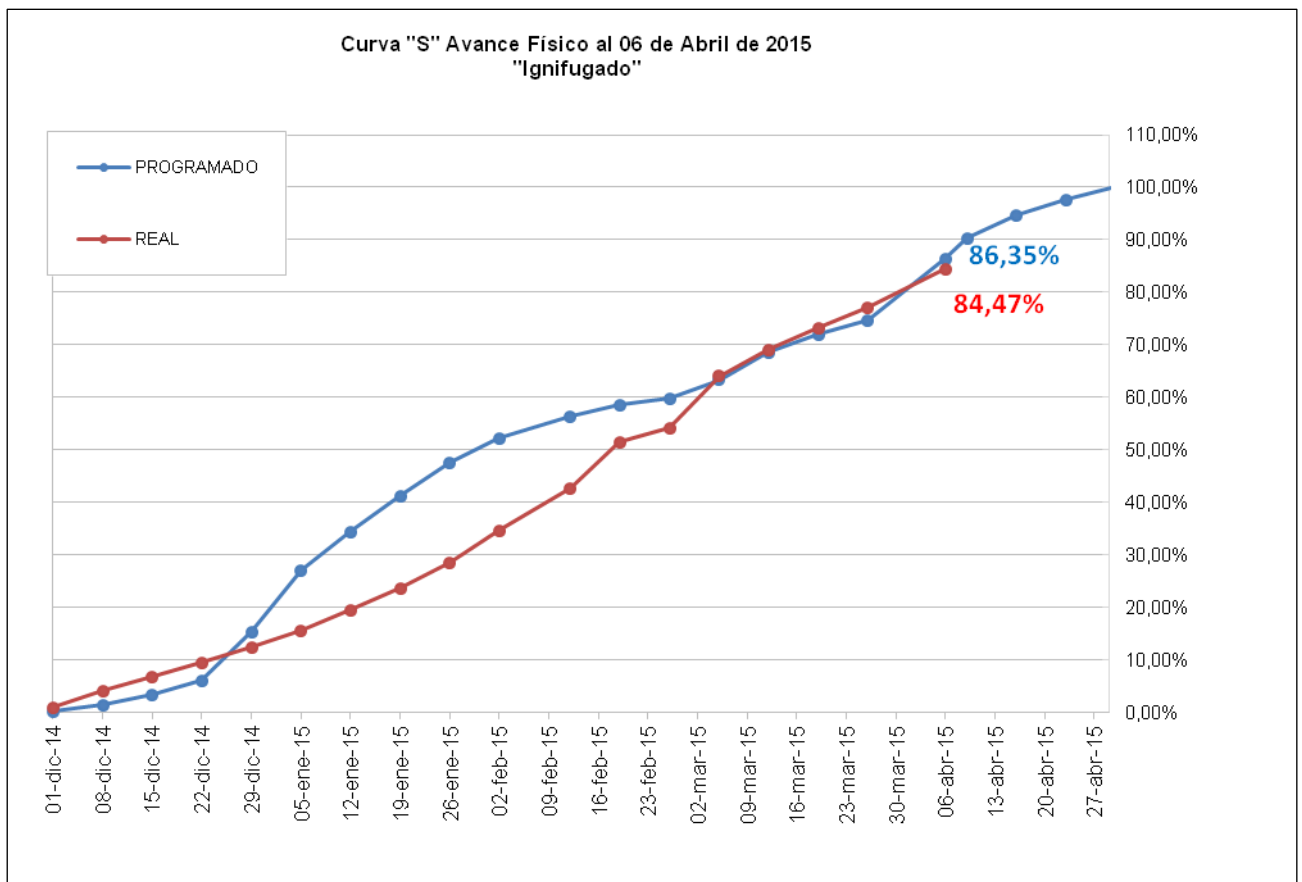


Figura 7.9. Gráfico de curva "S" del proyecto de ignifugado (ENAP, 2015).

7.7 RENDIMIENTOS DURANTE EL PROCESO

La mayoría de las plantas dentro de refinería que se debían ignifugar tienen las complejidades asociadas a la altura y la geometría de los perfiles. Esto significó que el rendimiento general del proyecto, fuera fuertemente decidido por los trabajos en estas plantas.

En la Figura 7.10 se puede observar la gran altura de la estructura a ignifugar, lo que implicó una duración de tres semanas en los trabajos de montaje de andamios.

Mientras que en la Figura 7.11, la estructura a ignifugar tiene una geometría en forma de media luna, lo que implicó realizar un corte a la malla con la misma forma, pero de igual forma generó una dificultad para darle rigidez.

Sólo una planta no presentaba los obstáculos anteriores, esta planta corresponde a la de Alquiler, que presenta perfiles rectos y a baja altura, como se puede apreciar en la Figura 7.12.



Figura 7.10. Andamios en planta Topping 1.



Figura 7.11. Trabajos de ignifugado en planta LPG (ERRES, 2015).



*Figura 7.12. Perfiles de planta Alquilación.
(ENAP, 2015).*

Las plantas que requerían de andamios para llevar a cabo el ignifugado son:

- Topping 1
- Topping 2
- NHT
- LPG3

De acuerdo a la Tabla 7.1, se pudo generar un gráfico (Figura 7.13) en el que se visualiza de mejor forma las diferencias de la cantidad de metros cuadrados de mortero de cada planta.

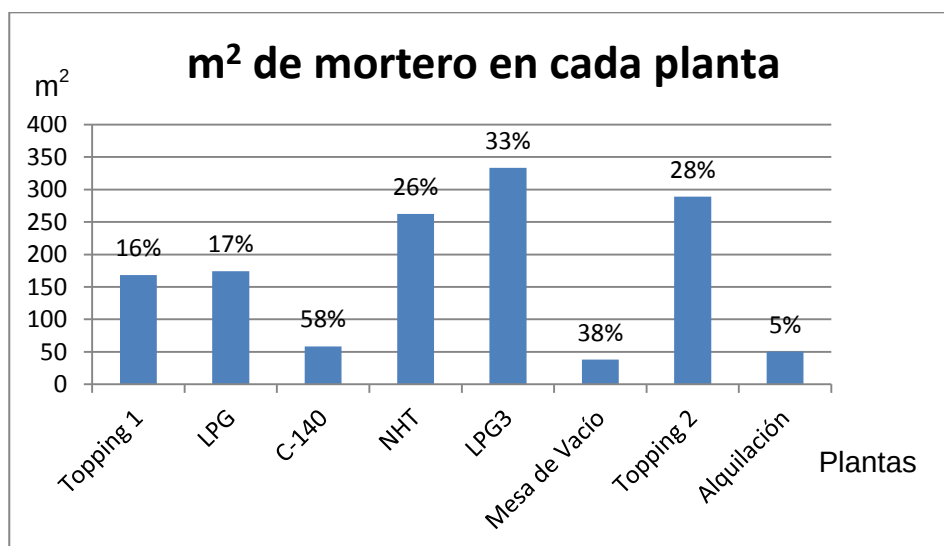


Figura 7.13. Gráfico comparativo de la cantidad de mortero de cada planta.

Con la información obtenida semanalmente, sobre el avance de la obra, se pudo determinar el rendimiento general de este contrato, el rendimiento de los trabajos por cada planta y el rendimiento de cada partida.

Es importante mencionar que, en una refinería de petróleo, los tiempos de ejecución son mucho más lentos, en comparación con trabajos de ignifugado en otro tipo de industrias. Esto se debe a los siguientes factores:

- Permisos de trabajo diarios, los que se realizan entre las 8:00 AM hasta las 9:00 AM, por lo que el trabajo se reduce de 9:00 AM hasta 18:00 horas. (Las charlas diarias de seguridad se hacen en esa primera hora de la mañana).
- Frecuentes paralizaciones de los trabajos por insuficiencia de seguridad observada por los inspectores, o por ocupación del sector de trabajo.
- Lentitud en las autorizaciones para comenzar los trabajos. Antes de comenzar los trabajos, el contratista debe entregar en detalle todos los procedimientos los que deben ser aprobados por personal de refinería. Además, durante los trabajos, antes de maniobras riesgosas se debe realizar una ASR.

7.7.1 Rendimientos obtenidos

- El rendimiento final calculado de todo el proyecto fue de 7m²/día. Considerando desde la adjudicación hasta la entrega del proyecto.
- El rendimiento del trabajo considerando limpieza, colocación de clavos, separadores, instalación de malla y aplicación de mortero, en un sector con estructuras de acero con geometrías cuadradas o rectangulares es de 9 m²/día.
- El uso de andamios disminuye 2 m²/día de rendimiento
- Las complicaciones por geometría disminuye 0,5 m²/día de rendimiento.

La Tabla 7.5 entrega el rendimiento por separado de cada etapa del procedimiento constructivo (Tabla elaborada a partir del seguimiento semanal del avance a la obra de ignifugado en ENAP Refinería Aconcagua). Cabe mencionar, que los rendimientos mostrados en esta tabla son calculados según lo explicado en el punto 4.5.

Tabla 7.5. Tabla de rendimientos.

Faena	Rendimiento (m²/día)
Montaje Andamios	22
Limpieza	33
Colocación clavos	9
Instalación malla	8.9
Colocación separadores	9.2
Colocación esquineros	13
Aplicación mortero	8.7
Desmontaje andamios	22

7.8 RECEPCIÓN, MANTENCIÓN E INSPECCIÓN DEL MORTERO IGNÍFUGO

Todas las entidades involucradas en el proyecto tienen responsabilidades en pro del correcto desarrollo del trabajo y la obtención de una buena entrega final. A continuación se explican en detalle las responsabilidades de las identidades involucradas, las pruebas que se deben realizar, y el mantenimiento del mortero ignífugo.

7.8.1 Responsabilidades del encargado de calidad

El mandante exige al contratista contar con una persona con el cargo de "Encargado de calidad", el que debe entregar semanalmente un informe con: las actividades realizadas durante el periodo, un registro fotográfico, carta Gantt con porcentajes de avance, curva "S" del proyecto y un informe de calidad. También es el responsable directo ante el mandante de la calidad con que se entrega cada parte de los trabajos, por ejemplo, se debe preocupar que la malla quede tensa, que esté la cantidad suficiente de separadores para que la malla no se pegue al perfil, que en el caso de utilizar esquineros estén bien tensos y dejando el mismo espesor de mortero, que el mortero presente un buen acabado final y que no presente fisuras.

El informe que entrega semanalmente debe ir acompañado de un informe de prevención de riesgos y de medio ambiente que realiza un prevencionista y un ingeniero ambiental, respectivamente.

7.8.2 Responsabilidades del mandante

El mandante, en este caso ERA, tiene al área de construcción que lo representa, en donde el jefe de obras civiles y un inspector de obras son los encargados del proyecto, siendo el inspector, el que está en contacto con el contratista para resolver cualquier problema y para inspeccionar los trabajos. El mandante debe exigir que se cumplan los protocolos que exige ERA, exigir el Dossier de calidad antes de comenzar los trabajos y al finalizarlos, y que sobre todo se cumpla con la higiene y seguridad de los trabajos, ya que son los responsables ante cualquier accidente.

Además, el inspector de obras es el encargado de obtener diariamente los permisos de trabajo en cada planta que se va a trabajar. También el inspector, se encarga de que los trabajos se entreguen con la calidad exigida, es decir, de todo lo que el encargado de calidad debería preocuparse en terreno. Uno de los puntos importantes es el espesor final del mortero, que se debe medir antes de ser colocado (medir la altura de las maestras) y una vez aplicado, antes que endurezca.

7.8.3 Responsabilidades del fabricante

El fabricante del mortero ignífugo debe presentar el producto certificado internacional o nacionalmente a través del IDIEM o el DICTUC. Además, es de suma importancia que presente la tabla que relaciona la masividad con la resistencia requerida para, determinar el espesor necesario de mortero ignífugo. Otro punto importante, es que en la ficha técnica del producto se encuentre la dosificación, es decir, la relación cemento-agua.

7.8.4 Pruebas de recepción

Las pruebas que se realizan al mortero una vez entregado son:

- ✓ Verificación de la existencia de aire entre el mortero y el acero.
- ✓ Homogeneidad de la mezcla.
- ✓ Creación de fisuras durante el curado.

7.8.5 Conservación y mantenimiento del mortero ignífugo

El mortero requiere que se proteja sólo cuando recién está aplicado en caso de lluvia, heladas y temperaturas elevadas. Al estar en un país sísmico, puede que aparezcan fisuras en el mortero, por lo que se recomienda sellar las fisuras con una lechada del mismo cemento utilizado.

7.9 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

La oferta económica que exige ERA en la propuesta es en precio unitario, por lo que se entrega el valor por metro cuadrado de mortero aplicado. En este valor se incluye todos los costos de los siguientes ítems:

7.9.1 Arriendo de andamios

Para el arriendo de andamios se consideran andamios tipo "Layher", los precios fueron cotizados con la empresa Montax (Tabla 7.6). Para mano de obra se consideran 4 andamieros con 1 supervisor, quienes trabajan durante toda la obra.

Tabla 7.6. Costos de andamios.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Precio Total
1	Arriendo andamios	5,0	GL/Mes	\$ 4.400.000	\$ 22.000.000
2	Cuadrilla Andamios	5,0	GL/Mes	\$ 2.700.000	\$ 13.500.000
3	Flete Andamios	2,0	C/U	\$ 150.000	\$ 300.000
				TOTAL	\$ 35.800.000

7.9.2 Equipos

Los equipos que se deben utilizar para este trabajo son: bomba helicoidal y pistola de fijación, se detallan los valores en Tabla 7.7. Se considera la compra de estos elementos, ya que es más económico que arrendar por 5 meses.

Tabla 7.7. Detalle del costo de equipos.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Precio Total
1	Bomba helicoidal	0,5	C/U	\$ 12.000.000	\$ 6.000.000
2	Pistola de fijación	0,5	C/U	\$ 350.000	\$ 175.000
				TOTAL	\$ 6.175.000

7.9.3 Compra de materiales

Los materiales utilizados son: mortero ignífugo, malla metálica galvanizada, imprimante, clavos de fijación, esquinero metálico galvanizado, agua dulce para mezcla y separadores (Tabla 7.8).

Para la valorización, se estima un rendimiento del mortero de 2,8 kg/m² para un espesor de 3 cm, por lo que se calcula la cantidad de materiales para cubrir 1200 m² de mortero ignífugo.

Tabla 7.8. Costo de materiales.

MATERIALES		1200	m2		
Item	Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Precio Total
1	Mortero ignífugo	2,800	kilo	\$ 1.500	\$ 4.200
2	agua dulce	3,500	lt	\$ 700	\$ 2.450
3	malla galvanizada	0,110	m2	\$ 27.490	\$ 3.024
4	esquinero galvanizado	2,000	C/U	\$ 500	\$ 1.000
5	clavos de fijación 30u	1,000	bolsa	\$ 1.790	\$ 1.790
6	separadores 500u	0,008	bolsa	\$ 6.000	\$ 48
7	Flete	0,008	C/U	\$ 50.000	\$ 400
				SUBTOTAL	\$ 12.912
				TOTAL	\$ 15.494.280

7.9.4 Mano de obra directa

Para mano de obra se consideran cuadrillas de albañiles, enfierradores y jornales (Tabla 7.9).

Tabla 7.9. Costos de mano de obra en contrato de ignifugado en ERA.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Meses	P. Unitario	Precio Total
1	cuadrilla albañiles	GL/Mes	7	5,0	\$ 850.000	\$ 29.750.000
2	cuadrilla enfierradores	GL/Mes	7	5,0	\$ 850.000	\$ 29.750.000
3	cuadrilla jornales	GL/Mes	4	5,0	\$ 350.000	\$ 7.000.000
					TOTAL	\$ 66.500.000

7.9.5 Gastos generales

En el ítem de gastos generales, se consideran los costos de instalación de faena, costos indirectos de la obra, insumos, gastos de combustible, costos del estudio de propuesta, almuerzo del personal, EPP, entre otros gastos que se detallan a continuación:

- Instalación de faena

Los costos de instalación de faena consideran: Contenedores; Baños químicos; Traslado de contenedores y baños; que se pueden observar en la Tabla 7.10.

Tabla 7.10. Costos de instalación de faena.

INSTALACION DE FAENA						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	V.UNITARIO	CANTIDAD	MESES	V. TOTAL
1	Arriendo container oficina	unidad	\$ 252.101	1	5	\$ 1.260.504
2	Arriendo container bodega	unidad	\$ 50.420	1	5	\$ 252.101
3	Arriendo Baños químicos	unidad	\$ 58.824	2	5	\$ 588.235
4	Flete	unidad	\$ 500.000	6	1	\$ 3.000.000
5	Agua en bidones	unidad	\$ 2.000	20	5	\$ 200.000
6	Lockers	unidad	\$ 246.000	0,5	1	\$ 123.000
SUBTOTAL						\$5.423.840

- Dirección y supervisión

Para este contrato, refinería exigía los siguientes cargos con su respectiva experiencia: administrador de obra (10 años); encargado de calidad (2 años); prevencionista de riesgos (sin requisitos); encargado de medio ambiente (sin requisitos). Además, dentro de los costos indirectos se considera al jefe de obra y supervisor de enfierradura (Tabla 7.11).

Tabla 7.11. Costos indirectos del contrato de ignifugado en ERA.

DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	V. UNITARIO	CANTIDAD	MESES	V. TOTAL
1	Administrador de obra	H-MES	\$ 1.500.000	1	5	\$ 7.500.000
2	Encargado de calidad	H-MES	\$ 1.000.000	1	5	\$ 5.000.000
3	Jefe de obra	H-MES	\$ 1.200.000	1	5	\$ 6.000.000
4	supervisor enfierradura	H-MES	\$ 900.000	1	5	\$ 4.500.000
5	Enc. de medio ambiente	H-MES	\$ 900.000	1	5	\$ 4.500.000
6	Prevencionista de riesgos	H-MES	\$ 900.000	2	5	\$ 9.000.000
SUBTOTAL						\$36.500.000

- EPP

El listado y precios de los EPP se detalla en la Tabla 7.12.

.

Tabla 7.12. Detalle de los EPP exigidos por ENAP.

EPP						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	V.UNITARIO	CANTIDAD	MESES	V. TOTAL
1	Detector h2s	unidad	\$ 393.360	30	0,1	\$ 1.180.080
2	Auto rescatador	unidad	\$ 20.000	30	1	\$ 600.000
3	Guantes	unidad	\$ 1.590	30	1	\$ 47.700
4	Lentes	unidad	\$ 1.000	30	1	\$ 30.000
5	Protector auditivo	unidad	\$ 960	30	1	\$ 28.800
6	Chaqueta	unidad	\$ 9.890	30	0,3	\$ 89.010
7	Arnes c/cuerda	unidad	\$ 34.000	30	0,2	\$ 204.000
8	Pantalón	unidad	\$ 5.890	30	0,3	\$ 53.010
9	Geologo	unidad	\$ 5.790	30	0,5	\$ 86.850
10	Casco	unidad	\$ 2.000	30	1	\$ 60.000
11	Zapatos	unidad	\$ 25.000	30	0,2	\$ 150.000
SUBTOTAL						\$2.529.450

- Costo de estudio de propuesta y oficina central

En el costo involucrado con el estudio de la propuesta se considera a un encargado del proyecto y al personal de oficina central, como se observa en Tabla 7.13.

Tabla 7.13. Detalle de los costos del personal de oficina central involucrados en el estudio de la propuesta.

ESTUDIO PROPUESTA Y OFICINA CENTRAL						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	V.UNITARIO	CANTIDAD	MESES	V. TOTAL
1	Ingeniero proyecto	H-MES	\$ 1.000.000	0,1	1	\$ 100.000
2	Recursos humanos	H-MES	\$ 500.000	0,05	1	\$ 25.000
3	Administración y finanzas	H-MES	\$ 900.000	0,05	1	\$ 45.000
4	Insumos	H-MES	\$ 80.000	0,05	1	\$ 4.000
5	Gerencia	H-MES	\$ 1.500.000	0,05	1	\$ 75.000
SUBTOTAL						\$249.000

- Gastos en faena de oficina, vehículos y almuerzos

En la Tabla 7.14 se detallan los gastos asociados al funcionamiento del personal en faena.

Tabla 7.14. Detalle de los gastos que se generan en la faena.

GASTOS EN FAENA						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	V.UNITARIO	CANTIDAD	MESES	V. TOTAL
1	Teléfono e internet	GL-MES	\$ 30.000	1	5	\$ 150.000
2	Impresora	C/U	\$ 40.000	0,2	1	\$ 8.000
3	Artículos de aseo	GL-MES	\$ 25.000	1	1	\$ 25.000
4	Radio	GL	\$ 150.000	0,1	1	\$ 15.000
6	Muebles de oficina	GL	\$ 70.000	2	0,1	\$ 14.000
7	Computador	UNIDAD	\$ 350.000	2	0,1	\$ 70.000
8	Papelería e insumos de oficina	GL-MES	\$ 35.000	1	5	\$ 175.000
9	Almuerzos	GL-DIA	\$ 3.500	540	5	\$ 9.450.000
10	Camioneta	GL-MES	\$ 233.000	1	5	\$ 1.165.000
11	Combustible	GL-MES	\$ 300.000	1	5	\$ 1.500.000
SUBTOTAL						\$12.572.000

Con los datos señalados, se entrega una tabla resumen con los valores del proyecto (Tabla 7.15. Tabla resumen de los valores del proyecto. Tabla 7.15).

Tabla 7.15. Tabla resumen de los valores del proyecto.

Ítem	Descripción		Valor
1	Andamios		\$ 35.800.000
2	Equipos		\$ 6.175.000
3	Mano de obra		\$ 66.500.000
4	Materiales		\$ 15.514.280
5	Gastos generales		\$ 57.274.290
6		Subtotal	\$ 181.263.570
7	Utilidad 25%		\$ 45.315.893
8		Total (6+7)	\$ 226.579.463

De acuerdo al valor anterior, se entrega el presupuesto por metro cuadrado de mortero ignífugo, como se observa en la Tabla 7.16.

Tabla 7.16. Presupuesto en formato de precio unitario.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Valor
1	Ignifugado estructuras metálicas	m2	1200	\$ 188.816	\$ 226.579.200

El formato original exigido por ERA, se puede observar en el anexo C.

7.10 ENTREGA DEL PROYECTO

Luego de realizados los trabajos contractuales del proyecto, el mandante analiza si va a requerir de los trabajos complementarios estipulados en la oferta económica. Finalmente, para la entrega del proyecto se debe crear otro Dossier de Calidad en que se muestra cada trabajo aprobado que se hizo, además de todos los procedimientos realizados. También se debe entregar la boleta de garantía de correcta ejecución de las obras. Por último, el mandante debe aprobar el estado de pago final del contratista y ejecutar el pago.

8 **CONCLUSIÓN**

Debido al gran aumento del uso de acero en Chile en áreas de minería y construcción, es muy importante la utilización del método de protección pasiva mortero proyectado, ya que la mayoría de los morteros ignífugos existentes en el mercado, permiten hasta 250 minutos de protección, tiempo que permite tanto el escape de personas dentro de un edificio, como el accionar de bomberos para la extinción del fuego. Además, debido a que no es afectado por la corrosión ni tampoco por el contacto con productos químicos, lo convierte en la mejor alternativa de protección pasiva en el área industrial.

El mortero proyectado, no posee limitaciones importantes en su aplicación, ya que aspectos ambientales como temperatura, humedad, etc. no son un condicionante. Sin embargo, si es importante que sea aplicado sobre una superficie limpia y además, se debe considerar el factor lluvia debido a que puede deformar el mortero en fresco, pero este factor puede sobrellevarse colocando carpas, o algún sistema en que la lluvia no entre en contacto con el mortero recién aplicado.

El sistema de protección permite ser utilizado también sobre la madera, lo que se traduce en un método de protección versátil que entrega más de una solución en cuanto a la protección contra el fuego, pero en este caso, la estructura adquiere un cambio de diseño más radical, comparado con la aplicación sobre el acero, sin embargo, es completamente subjetivo indicar que su uso genera una pérdida de diseño.

Una de las desventajas en comparación con la pintura intumescente, es que su uso implica una mayor carga de peso sobre la estructura de acero, pero analizando una viga por separado, se llega a la conclusión que con el espesor requerido para cualquier resistencia, no se genera una carga tal que afecte el comportamiento de la estructura. Esto se debe principalmente a que el mortero ignífugo tiene una densidad baja en comparación con otro tipo de morteros.

Constructivamente, el mortero proyectado en comparación con los otros métodos de protección pasiva como la pintura intumescente o el encajonamiento con paneles, es mucho más rápido de aplicar si es que sólo se requiere el mortero ignífugo y se proyecta con una bomba. Sin embargo, el uso de malla galvanizada, clavos de fijación y andamios, aumentan los tiempos de ejecución exageradamente ya que cada partida es crítica en el avance del proyecto.

En cuanto a la normativa que rige sobre el mortero proyectado, cabe mencionar que existe poca fiscalización sobre el mantenimiento que se debe realizar, al ser un material cementicio, se producen fisuras y grietas con el paso del tiempo, lo que significa una reducción de la capacidad protectora del mortero al permitir el contacto de las llamas o simplemente la temperatura ambiente del incendio con el acero. Otra deficiencia es que no existe una norma que exija comprobar el tiempo de protección una vez aplicado el producto, es decir, se hace la mezcla y luego se aplica el mortero ignífugo, pero no se comprueba si la mezcla que se hizo realmente cumple con el tiempo que indica su ficha técnica. Para solucionar esto, la norma debiese exigir ensayos en terreno en que se someta cada mezcla de mortero ignífugo a un soplete para verificar su real resistencia.

Sobre los costos del proyecto analizado, es importante indicar que la alta exigencia en estándares de seguridad y calidad en empresas ENAP, sumado a las dificultades por altura genera que el presupuesto total del proyecto sea muy alto, comparado con un presupuesto de mortero ignífugo en otro lugar de trabajo con menores estándares y exigencias.

Dentro de los costos del proyecto estudiado, es importante mencionar que la mayor incidencia en el valor final corresponde a la mano de obra calificada con un 29% del valor total. Mientras que los gastos generales, en donde se incluye la instalación de faena, EPP y gastos de funcionamiento en faena, corresponde a un 25% del valor total. El costo de arriendo de andamios también presenta un porcentaje de incidencia alto con un 15.8%. Por otro lado, los materiales, sólo tienen una incidencia del 6.8% del valor total.

Finalmente, según los datos obtenidos, el mortero proyectado o mortero ignífugo, es una excelente alternativa para ser utilizado como protección pasiva, ya sea en acero o también en madera y además se puede ocupar para dar un acabado arquitectónico a la estructura. Es ideal para plantas industriales petroquímicas, y el alto costo, se ve compensado con los resultados obtenidos de protección y seguridad para las personas que trabajan en dicha planta, como también la población que las rodea, ya que un pequeño incendio puede provocar otras consecuencias que afecten a la comunidad cercana.

9 **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ✓ ACCURATEK. Ficha técnica Blaze Shield II [En línea] <<http://www.especificar.cl/fichas/mortero-ignifugo-proyectado-blaze-shield-ii>> [Consulta: 12 de noviembre de 2015]
- ✓ ANDRADE Pérez, Alejandro, La importancia de las protecciones intumescentes en estructuras de acero, Memoria (Constructor Civil), Valparaíso, UTFSM, Departamento de Obras Civiles, 2014. 27 p.
- ✓ BERBEL Porcel. Tipos de mortero ignífugo [En línea] <<http://berbelporcel.com/servicios/morteros-ignifugos-de-perlita-vermiculita-o-lana-de-roca>> [Consulta: 13 de octubre de 2015]
- ✓ CISA. Tipos de mortero ignífugo [En línea] <<http://www.controlignifugo.es/producto-mortero-de-perlita-y-vermiculita/>> [Consulta: 13 de octubre de 2015]
- ✓ CONSTRUMATICA. Protección contra el fuego con mortero [En línea] <http://www.construmatica.com/producto/proteccion_contra_el_fuego_con_mortero/472> [Consulta: 10 de octubre de 2015]
- ✓ IGNIFUGOS Castañares. Soluciones contra incendio [En línea] <<http://www.ignifugoscatañares.com/soluciones-certificadas/List/listing/morteros-ignifugos-105/1>> [Consulta: 10 de octubre de 2015]
- ✓ IMOCOM. Máquinas de inyección y proyección [En línea] <<http://www.imocom.com/construccion/concretos/inyeccion-y-proyeccion/bomba-sinfin-putzmeister-s5-la-maquina-para-todo>> [Consulta: 15 de octubre de 2015]
- ✓ INABENSA. Ficha técnica Sprayfiber [En línea] <http://www.inabensa.com/export/sites/inabensa/resources/pdf/Fichas_tecnicas/nuestras_actividades/instalaciones_e_infraestructuras/Ficha_Txcnica_Sprayfiber-F.rev1.pdf> [Consulta: 12 de noviembre de 2015]
- ✓ INSTITUTO Nacional de Normalización(Chile). Ensayo de resistencia al fuego- Parte 1: Elementos de construcción general. NCh 935/1: Of. 1997. Santiago, 1997.
- ✓ ISOLATEK. Ficha técnica Fendolite [En línea] <[http://isolatek.com/productinfo/Spanish/TDS/CAFCO %20FENDOLITE%20M-II_I-TDS-ES_12-14.pdf](http://isolatek.com/productinfo/Spanish/TDS/CAFCO%20FENDOLITE%20M-II_I-TDS-ES_12-14.pdf)> [Consulta: 12 de noviembre de 2015]
- ✓ MERCOR Tecresa. Ficha técnica mortero ignífugo Tecwool. [En línea] <<http://www.mercortecresa.com/catalogos/mortero-tecwool--/#12>> [Consulta: 12 de noviembre de 2015]

- ✓ MINERALS Education coalition. Informaciones del mineral Perlita [En línea] <<http://www.mineral seducationcoalition.org/minerals/perlite>> [Consulta: 14 de octubre de 2015]
- ✓ MINVU (Chile), Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción, 14-1 ed. Santiago, 2014, 10 p.
- ✓ MINVU (Chile), Ordenanza general de urbanismo y construcciones, Título 4 - Capítulo 3: De las condiciones de seguridad contra incendios. Santiago, 2009.
- ✓ PLACO. Documentación técnica Glasroc F [En línea] < <https://www.placo.es/es-es/productos/placas-yeso-laminado/protecci%C3%B3n-pasiva-fuego-glasrocf> > [Consulta: 19 de abril de 2016]
- ✓ PROMAT. Ficha técnica Igniplaster [En línea] < <http://www.promat.es/es-es/productos/igniplaster>> [Consulta: 12 de noviembre de 2015]
- ✓ SHERWIN Williams. ¿Qué es la masividad? [En línea] <<http://www.preguntaleasherwin.cl/2013/que-es-la-masividad-y-en-que-influye-en-la-aplicacion-de-pintura-intumescente/sherwin-williams>> [Consulta: 25 de septiembre de 2015]
- ✓ SIKA. Ficha técnica Sikacrete-215f. [En línea] <<http://www.secur.cl/wp/wp-content/uploads/2013/10/Sikacrete-215F.pdf>> [Consulta: 12 de noviembre de 2015]
- ✓ SOL-ARQ. Materiales aislantes [En línea] <<http://www.sol-arq.com/index.php/caracteristicas-materiales/materiales-aislantes>> [Consulta: 20 de octubre de 2015]

10 ANEXOS

A. CÁLCULO DE MASIVIDAD

Dado que la sección transversal de un elemento de acero es una propiedad del perfil que se encuentra tabulada en manuales de diseño, el único valor que se debe determinar para calcular la masividad es el perímetro expuesto al fuego.

Para el cálculo de masividad se ocupa la siguiente nomenclatura:

A : sección transversal del elemento [m^2]

$P_{3 \text{ lados}}$: perímetro del perfil considerando 3 lados expuestos al fuego (exposición parcial) [m]. El lado no considerado corresponde al de menor longitud (b)

$P_{4 \text{ lados}}$: perímetro del perfil considerando 4 lados expuestos al fuego (exposición total) [m]

$M_{3 \text{ lados}} = \frac{P_{3 \text{ lados}}}{A} = \text{masividad del perfil considerando 3 lados expuestos al fuego } [\text{m}^{-1}]$

$M_{4 \text{ lados}} = \frac{P_{4 \text{ lados}}}{A} = \text{masividad del perfil considerando 4 lados expuestos al fuego } [\text{m}^{-1}]$

Existen dos tipos de perfiles para la determinación del perímetro, sin protección (Tabla 10.1) y con protección, éstos últimos pueden ser protegidos por el contorno o con encajonamiento tal como se puede observar en la Tabla 10.1 Tabla 10.2 y Tabla 10.3.

*Tabla 10.1. Cálculo de área y perímetro.
(NCh 935/1, 1997).*

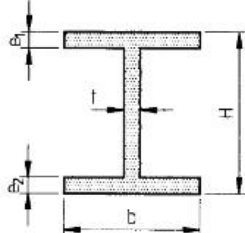
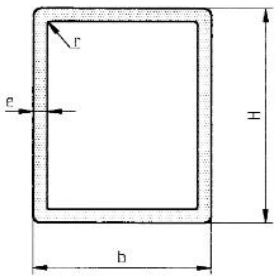
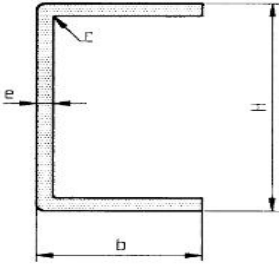
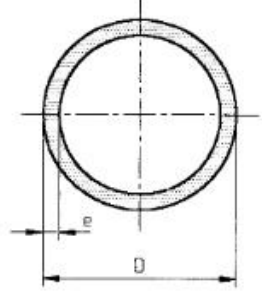
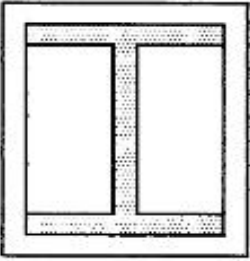
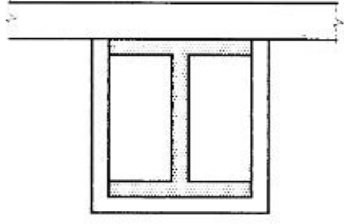
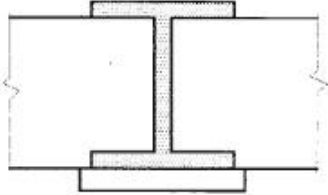
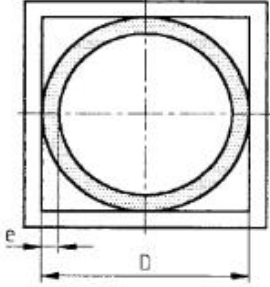
Perfiles sin protección		
Tipo de perfil	Fórmulas	Esquema
Series IN y HN soldados	$A = (b - t) * (e1 + e2) + H * t$ $P3 \text{ lados} = 2H + 3b - 2t$ $P4 \text{ lados} = 2H + 4b - 2t$ en que: H = altura del perfil (cm) b = ancho del ala (cm) t = espesor del alma (cm)	
Cajones plegados rectangulares o cuadrados	$A = 2 * e * (b + H - 8e) + 3 * p * e^2$ $P3 \text{ lados} = 2 * [H + b/2 - 2 * (4 - p) * e]$ $P4 \text{ lados} = 2 * [H + b - 2 * (4 - p) * e]$ en que: H = altura del perfil (cm) b = ancho del perfil (cm) e = espesor del perfil (cm) r = radio de plegado = e (cm)	
Canal plegado	$A = e * (2b + H - 8e) + 3/2 * p * e^2$ $P3 \text{ lados} = 2H + 3b - 3 * (4 - p) * e$ $P4 \text{ lados} = 2H + 4b - 3 * (4 - p) * e$ en que: H = altura del perfil (cm) b = ancho del perfil (cm) e = espesor del perfil (cm) r = radio de plegado = e (cm)	
Tubos plegados	$A = p / 4 * [D^2 - (D - 2e)^2]$ $P = p * D$ en que: D = diámetro exterior del tubo (cm) e = espesor de la pared (cm)	

*Tabla 10.2. Cálculo de área y perímetro.
(NCh 935/1, 1997).*

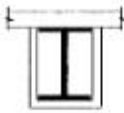
Perfiles protegidos por el contorno del perfil		
Tipo de perfil	Fórmulas	Esquema
Perfil ocupado como viga	$P3 \text{ lados} = 2H + 3b - 2t$ en que: H = altura del perfil (m) b = ancho del ala (m) t = espesor del alma (m) metros	
Perfil ocupado como columna	$P4 \text{ lados} = 2H + 4b - 2t$ en que: H = altura del perfil (m) b = ancho del ala (m) t = espesor del alma (m)	

*Tabla 10.3. Cálculo de área y perímetro.
(NCh935/1, 1997).*

Perfiles protegidos encajonando el perfil		
Tipo de perfil	Fórmulas	Esquema
Perfil ocupado como columna	$P4 \text{ lados} = 2 * b + 2 * H$ en que: H = altura del perfil (m) b = ancho del ala (m)	
Perfil ocupado como viga	$P3 \text{ lados} = b + 2 * H$ en que: H = altura del perfil (m) b = ancho del ala (m)	
Perfil ocupado como columna embebido en muro perimetral	(1 cara expuesta). Válido sólo si la resistencia al fuego del muro perimetral es igual o mayor que la exigida para el elemento estructural. $P1 \text{ lados} = b$ en que: b = ancho del ala (m)	
Tubos circulares	$A = p / 4 * [D^2 - (D - 2e)^2]$ $P = 4 * D$ en que: D = diámetro exterior del tubo (cm) e = espesor de la pared (cm)	

La norma NCh 935/1 entrega tablas de manuales de diseño en acero extraídas del ICHA'74 y CINTAC'93 modificadas con los valores de masividad correspondiente a cada perfil. Estos últimos son los más utilizados en Chile. Un ejemplo de estas tablas se puede apreciar en la Tabla 10.4.

*Tabla 10.4. Masividad de perfiles IN.
(NCh 935/1, 1997).*

 VIGAS SOLDADAS SERIE IN									
Designación	Dimensiones				Area	Masividad			
IN H · Peso	H	b	c	t	A				
cm · kgf/m	mm	mm	mm	mm	cm ²	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
IN 70 · 232	700	350	35	8	295	94	82	71	59
216	700	350	32	8	275	101	89	76	64
194	700	350	28	8	248	112	98	85	71
178	700	350	25	8	227	123	107	93	77
162	700	350	22	8	206	135	118	102	85
159	700	300	25	8	202	128	113	99	84
145	700	300	22	8	184	140	124	108	92
136	700	300	20	8	173	150	132	116	98
126	700	300	18	8	161	160	142	124	106
117	700	300	16	8	149	173	153	134	114
108	700	300	14	8	138	188	166	145	123
IN 60 · 184	600	300	32	8	235	101	89	77	64
166	600	300	28	8	212	113	99	85	71
152	600	300	25	8	194	123	107	93	77
139	600	300	22	8	176	135	118	102	85
129	600	300	20	8	165	145	126	109	91
121	600	250	22	8	154	141	125	110	94
114	600	250	20	8	145	151	134	117	100
106	600	250	18	8	135	162	143	126	107
98,5	600	250	16	8	125	174	154	136	116
90,9	600	250	14	8	116	189	167	147	125
83,3	600	250	12	8	106	206	182	160	137
IN 50 · 182	500	350	28	8	232	103	88	73	58
166	500	350	25	8	211	113	96	81	64
150	500	350	22	8	190	125	107	89	71
132	500	300	22	8	168	130	112	95	77
123	500	300	20	8	157	139	120	102	83
114	500	300	18	8	145	150	130	110	90
105	500	300	16	8	133	164	141	120	97
99,8	500	250	18	8	127	156	136	118	98
92,2	500	250	16	8	117	169	148	128	106
84,6	500	250	14	8	108	184	161	139	116
77,0	500	250	12	8	98	202	177	153	127

B. TABLA DE ESPESORES DE CADA FABRICANTE

b.1. Mortero "Blazeshield" del fabricante Accuratek (A base de lana de roca basáltica):

*Tabla 10.5. Espesores según masividad del perfil.
(Accuratek, 2015).*

Masi vidad	Espesor de Blaze-Shield (mm) para una estabilidad de:					
	30 (mn)	60 (mn)	90 (mn)	120 (mn)	180 (mn)	240 (mn)
30	15	15	15	20	30	48
50	15	15	15	22	38	52
70	15	15	17	24	42	55
90	15	15	20	27	44	–
110	15	15	22	30	47	–
130	15	17	24	35	50	–
150	15	18	25	37	53	–
170	15	18	27	38	57	–
190	15	19	30	40	–	–
210	15	20	32	43	–	–
230	15	22	33	44	–	–
250	15	23	34	47	–	–
270	15	24	37	48	–	–
290	15	24	37	48	–	–
310	15	26	40	52	–	–
330	15	27	43	57	–	–

b.2. Mortero "Fendolite" del fabricante Isolatek (Mortero en base de vermiculita):

*Tabla 10.6. Espesores según masividad del perfil.
(Isolatek, 2015).*

Clasificación de protección al fuego (En horas)	Espesor Mínimo mm (In.)	Espesor Mínimo mm (In.)
	Aplicación Contorno	Aplicación Cajón
3/4	17.5 (11/16)	17.5 (11/16)
1	20.7 (13/16)	20.7 (13/16)
1-1/2	27.0 (1-1/16)	23.9 (15/16)
2	31.8 (1-1/4)	23.9 (15/16)
2-1/2	36.6 (1-7/16)	30.2 (1-3/16)
3	39.7 (1-9/16)	36.6 (1-7/16)
4	47.6 (1-7/8)	47.6 (1-7/8)

b.3. Mortero ignífugo Sprayfiber del fabricante Inabensa (Base de cemento y vermiculita):

*Tabla 10.7. Espesores según masividad del perfil.
(Inabensa, 2015).*

Sprayfiber-V. Curva UL1709. UNE ENV 13381-4:2005 (Tª Acero 550°C)						
Masividad (m ²)	R30	R60	R90	R120	R180	R240
63	24	24	24	27	34	41
70	24	24	25	28	35	43
80	24	24	25	29	37	45
90	24	24	26	30	38	47
100	24	24	27	31	40	48
110	24	24	27	32	41	50
120	24	24	28	32	42	51
130	24	24	28	33	43	52
140	24	24	29	34	44	54
150	24	24	29	34	44	55
160	24	24	29	34	45	55
170	24	24	30	35	46	56
180	24	24	30	35	46	57
190	24	25	30	36	47	-
200	24	25	30	36	47	-
210	24	25	31	36	48	-
220	24	25	31	37	48	-
230	24	25	31	37	49	-
240	24	25	31	37	49	-
250	24	25	31	37	49	-
260	24	26	32	38	50	-
270	24	26	32	38	50	-
280	24	26	32	38	50	-
290	24	26	32	38	51	-
Masividad = Perímetro / Área						

b.4. Mortero ignífugo Tecwool del fabricante Tecresa (Mortero en base de lana de roca y cemento):

*Tabla 10.8. Espesores según masividad del perfil.
(Tecresa, 2015).*

Masividad (m ⁻¹)	R 15 min	R 30 min	R 45 min	R 60 min	R 90 min	R 120 min	R 180 min	R 240 min	R 300 min
63	[15]	[15]	[15]	[15]	[17]	[23]	[35]	[47]	[59]
70	[15]	[15]	[15]	[15]	18	24	36	49	61
80	[15]	[15]	[15]	[15]	20	26	38	51	[64]
90	[15]	[15]	[15]	[15]	21	27	40	53	—
100	[15]	[15]	[15]	[15]	22	28	42	55	—
110	[15]	[15]	[15]	16	23	29	43	56	—
120	[15]	[15]	[15]	17	24	30	44	57	—
130	[15]	[15]	[15]	17	24	31	45	58	—
140	[15]	[15]	[15]	18	25	32	45	59	—
150	[15]	[15]	[15]	18	25	32	46	60	—
160	[15]	[15]	[15]	19	26	33	47	61	—
170	[15]	[15]	[15]	19	26	33	47	62	—
180	[15]	[15]	16	19	26	34	48	62	—
190	[15]	[15]	16	20	27	34	48	[63]	—
200	[15]	[15]	16	20	27	34	49	[63]	—
210	[15]	[15]	17	20	27	35	49	[64]	—
220	[15]	[15]	17	20	28	35	49	[64]	—
230	[15]	[15]	17	21	28	35	50	[64]	—
240	[15]	[15]	17	21	28	35	50	[65]	—
250	[15]	[15]	17	21	28	36	50	[65]	—
260	[15]	[15]	17	21	28	36	51	[65]	—
270	[15]	[15]	18	21	29	36	51	—	—
280	[15]	[15]	18	21	29	36	51	—	—
290	[15]	[15]	18	22	29	36	51	—	—
300	[15]	[15]	18	22	29	37	51	—	—
310	[15]	[15]	18	22	29	37	52	—	—
320	[15]	[15]	[18]	[22]	[29]	[37]	[52]	—	—
330	[15]	[15]	[18]	[22]	[29]	[37]	[52]	—	—
340	[15]	[15]	[18]	[22]	[30]	[37]	[52]	—	—

b.5. Mortero ignífugo Igniplaster del fabricante Promat (Mortero en base de perlita y vermiculita):

*Tabla 10.9. Espesores según masividad del perfil.
(Promat, 2015).*

Factor de Forma (m ⁻¹)	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Espesor (mm) R (EF) 15	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
R (EF) 30	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	13	13	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16
R (EF) 60	11	11	12	13	14	15	15	16	16	17	18	18	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23
R (EF) 90	17	18	19	20	20	21	22	22	23	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	30
R (EF) 120	23	24	25	26	27	28	28	29	30	31	31	32	32	33	33	33	34	34	34	35	35	35	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36
R (EF) 180	36	37	38	39	40	41	41	42	43	44	45	45	46	46	47	47	47	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	50	50	50	50	50
R (EF) 240	49	50	51	52	53	54	55	55	56	57	58	59	59	60	60	61	61	61	62	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	-	-

b.6. Mortero "Promill Ignífugo" del fabricante Yesos Millán (Mortero en base de perlita y vermiculita):

*Tabla 10.10. Espesores según masividad del perfil.
(Yesos Millán, 2015).*

Masividad (m^{-1})	Clasificación de la Resistencia al Fuego					500°C		
	R15	R30	R45	R60	R90	R120	R180	R240
≤ 65	5	5	7	9	15	20	31	41
70	5	5	7	10	15	21	32	43
75	5	5	8	10	16	22	33	44
80	5	5	8	11	17	22	34	---
85	5	5	8	11	17	23	35	---
90	5	6	9	12	18	24	36	---
95	5	6	9	12	18	24	36	---
100	5	6	9	12	19	25	37	---
110	5	7	10	13	19	26	38	---
120	5	7	10	13	20	26	39	---
130	5	7	11	14	21	27	40	---
140	5	8	11	14	21	28	41	---
150	5	8	11	15	22	28	42	---
160	5	8	12	15	22	29	43	---
170	5	8	12	15	22	29	43	---
180	5	9	12	16	23	30	44	---
190	5	9	12	16	23	30	44	---
200	5	9	12	16	23	30	---	---
210	5	9	13	16	24	31	---	---
220	6	9	13	16	24	31	---	---
230	6	9	13	17	24	31	---	---
240	6	9	13	17	24	32	---	---
250	6	10	13	17	24	32	---	---
260	6	10	13	17	25	32	---	---
270	6	10	14	17	25	32	---	---
280	6	10	14	17	25	32	---	---
290	6	10	14	18	25	33	---	---
300	6	10	14	18	25	33	---	---

C. FORMATO DE OFERTA ECONÓMICA ERA

Tabla 10.11. Formato de oferta económica ERA.

 enap refineras ACONCAGUA Construcción				PROYECTO N°		IGNIFUGADO ESTRUCTURA SOPORTE LINEA TRANSFERENCIA TOPPING 2 Y OTROS EN REFINERIA ACONCAGUA			
				PROPUESTA					
				FORMULARIO DE PRESUPUESTO REVISION 0		ago-15		HOJAS :	
OBRA A REALIZAR		COSTO UNITARIO \$				VALOR \$			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	VALOR \$				
1	FIREPROOFING A ESTRUCTURA Y EQUIPOS	M2	1200	\$ 188.816	\$ 226.579.463				
2	TRABAJOS COMPLEMENTARIOS (10%ITEM 1)	GL	1		\$ 22.657.946				
	VALOR NETO (SUMA ITEM 1 @ 2)				\$ 249.237.409				
	19%IVA				\$ 47.355.108				
	VALOR TOTAL				\$ 296.592.517				

Nombre y Firma Contratista