



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Ingeniería en Construcción

"PINTURAS INTUMESCENTES, PROTECCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ACERO CONTRA LOS EFECTOS DEL FUEGO"

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor.

Profesor Guía:
Sr. Osvaldo Rybertt Maldonado.
Constructor Civil.

PAULA VALESKA SOTO PAILLALEF
VALDIVIA -CHILE
2005.

Esta tesis va dedicada
con mucho amor para la Señora
Norma Paillalef Aburto, mi
madre, quien fue mi pilar
fundamental en mi desarrollo
académico, brindándome su
incondicional apoyo día día.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada agradezco a mi madre, ya que como Bibliotecaria pudo interceder ante sus colegas de la Universidad de Chile (Sra. Carolina Campillay), Universidad Central en Santiago (Sra. Andrea Tobar Vallejos) y Universidad Federico Santa María con sede en Talcahuano, facilitándome el material necesario para el desarrollo del tema.

La realización de esta tesis no hubiera sido posible sin el gran apoyo y total cooperación del Sub-Gerente de asistencia técnica de Empresas Sherwin Williams Chile S.A. Sr. Luciano Repossi, Sra. Cecilia Garrido de Sherwin Williams de la ciudad de Los Ángeles, Sr. Eduardo Raffo Ingeniero Químico de Pinturas Creizet, Sr. Miguel Berríos Gerente técnico industrial de Pinturas Ceresita y Sr. Rodrigo Infante Tirado Licenciado en Química de la Pontífice de la Universidad Católica, quienes aportaron con su experiencia en el tema de extinción de incendios, además de su disponibilidad de tiempo y orientación permanente.

Hago extensiva mi gratitud a la Sra. Lorena Rolack, Constructor Civil de Empresas CMG S.A., encargada de la obra Serviteca en la ciudad de Los Ángeles, por haberme permitido realizar el seguimiento de la aplicación de la pintura intumescente en dicha obra.

Finalmente quiero agradecer al Sr. Raúl Galaz y Sr. Gustavo Diocares, por su ayuda emotiva la cual fue de bastante ayuda.

INDICE

RESÚMEN
INTRODUCCIÓN
OBJETIVOS

CAPÍTULO I: MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS PARA ESTRUCTURAS DE ACERO

1.1. Antecedentes	1
1.2. Protección contra incendios	1
1.2.1. Protección pasiva	2
1.2.2. Protección integral	2
1.2.3. Protección activa	2
1.2.4. Protección financiera	2
1.3. Estucos de cemento	2
1.4. Morteros de yeso	4
1.5. Fibras aplicadas por proyección	5
1.6. Yeso cartón	6
1.7. Protección por rociadores (sprinklers)	7

CAPÍTULO II: TEORÍA DE LA INTUMESCENCIA

2.1. Antecedentes	9
2.2. Teoría de la intumescencia	9
2.2.1. Modo de actuar de los revestimientos	11
2.3. Modelos existentes	12
2.3.1. Modelos unidimensionales de transferencia de calor	12
2.3.2. Modelo cilíndrico de transferencia de calor	14
2.4. Comparación y análisis de los modelos	15
2.5. Otros modelos similares a un comportamiento intumescente	16
2.5.1. Modelo de expansión basada en espuma (no intumescente)	16
2.5.2. Modelo de expansión basada en la gasificación termoplástica	16
2.5.3. Modelo de expansión basados en la pirólisis del carbón	17
2.5.4. Modelo con radiación	17
2.6. Análisis y cuadro de resumen	17

CAPÍTULO III: PROTECCIÓN DE ACERO CON PINTURAS INTUMESCENTES

3.1. Antecedentes	20
3.2. Definición de intumescente	20
3.3. Formulación de la intumescencia	21
3.3.1. Catalizadores	22
3.3.2. Agente carbonífico	22
3.3.3. Agente espumificante o intumescente	22
3.3.4. Ligante	23
3.4. Estructura de un sistema protector intumescente	25
3.5. Definición de masividad	26
3.6. Requisitos y cálculo del espesor del revestimiento	30
3.7. Aplicación de la pintura intumescente	31
3.7.1. Preparación para la aplicación	32
3.7.2. Preparación de superficie del acero	33
3.7.3. Aplicación de imprimante (capa primera)	34
3.7.4. Aplicación de la pintura intumescente (capa intermedia)	37
3.7.5. Aplicación del topping o sellados (capa de terminación)	40
3.8. Equipos para la aplicación de la pintura	41
3.8.1. Equipos airless (sin aire)	41
3.8.2 Equipos convencionales (atomización con aire)	42
3.8.2.1. Por gravedad	43
3.8.2.2. Por succión	43
3.8.2.3. Por presión	44
3.8.3. Brocha o rodillo	44
3.9. Control de espesor de la pintura intumescente	45
3.9.1. Control de los espesores húmedos	45
3.9.2. Control de los espesores secos	45
3.9.3. Criterios de aceptación del espesor de película seca	46
3.9.4. Procedimiento de corrección	46
3.9.5. Daño a las capas existente	47
3.9.6. Inspección	47
3.10. Recepción	48
3.11. Vida útil	48
3.12. Utilización de pintura intumescente en otros materiales	48

**CAPÍTULO IV:
ANÁLISIS DE REGLAMENTACIÓN VIGENTE Y ORGANISMOS
CERTIFICADORES**

4.1. Antecedentes	51
4.2. Ordenanza General de Urbanismo y Construcción	51
4.2.1. Normas Chilenas de comportamiento al fuego	52
4.2.2. Resistencia al fuego de los elementos de construcción	53
4.2.3. Clasificación de las construcciones para la aplicación de la tabla de resistencia al fuego	54
4.3. Listado oficial de comportamiento al fuego (Decreto Exento N°447 de Febrero de 1993)	54
4.3.1. Subtítulo I (Resolución N° 447 D.E. de 1993 página 22)	54
4.3.2. Resistencia de pilar protegido con pintura F - 15	55
4.3.3. Resistencia de pilar protegido con pintura F - 30	55
4.3.4. Resistencia de pilar protegido con pintura F - 60	56
4.3.5. Resistencia de pilar protegido con pintura F - 90	57
4.3.6. Tablas de correlación entre masividad y espesor de pinturas para determinada resistencia al fuego	57
4.4. Norma Chilena NCh 935/1 Of.97	59
4.5. Organismos certificadores	62
4.5.1. IDIEM	62
4.5.2. DICTUC	63
4.6. Exigencias para el producto intumescente	63
4.7. Realidades en Chile	67
4.7.1. Aplicación	67
4.7.2. Errores que se cometen en la actualidad durante la aplicación	68
4.7.2.1. Aplicación a la intemperie	68
4.7.2.2. Aplicación directa al sol	69
4.7.2.3. Control de condiciones medio ambientales	70
4.7.2.4. Uso de las estructuras luego de ser pintadas	71
4.7.2.5. Cuidado de la estructura después de ser protegidas	72

**CAPÍTULO V:
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE PINTURA INTUMESCENTES**

5.1. Antecedentes	73
5.2. Evaluación económica	73
5.2.1. Cálculo del espesor	74
5.2.2. Pinturas Ceresita S.A.	74
5.2.3. Pinturas Creizet	78
5.2.4. Empresas Sherwin Williams Chile S.A.	82
5.3. Comparación con otras protecciones al fuego	88
DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	89
ANEXO A: Comportamiento de estructuras metálicas frente al fuego	95
ANEXO B: Clasificación de los elementos de construcción para cálculo de resistencia al fuego según Ordenanza General y Urbanismo y Construcción	103
Parte 1: Ejercicio explicativo para cálculo de resistencia al fuego	106
Parte 2: Ejercicio explicativo de cálculo de espesor de pintura intumescente para una masividad dada	107
ANEXO C: Cálculo de masividad para diversos perfiles ocupados en Chile	108
ANEXO D: Traducción Norma Británica BS 8202: Parte 2: 1992	120
ANEXO E: Determinación del espesor de película seca en elementos de acero	132
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	135

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I: MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS PARA ESTRUCTURAS DE ACERO

Figura 1.1. Protección con estuco	3
Figura 1.2. Protección de columna de acero por mortero de cemento (F-60)	4
Figura 1.3. Protección de viga de acero por mortero de cemento (F-60)	4
Figura 1.4. Protección de columna de acero con mortero de yeso	5
Figura 1.5. Protección de columna de acero con amianto proyectado (F-90)	6
Figura 1.6. Encajonamiento de perfil con yeso-cartón	6
Figura 1.7. Instalación de equipos de rociadores con caudal suficiente y baja presión	8
Figura 1.8. Rociadores. Falabella de la ciudad de Los Ángeles	8

CAPÍTULO II: TEORÍA DE LA INTUMESCENCIA

Figura 2.1. Estructura de acero revestida con pintura intumescente	9
Figura 2.2. Espuma de una pintura intumescente	10
Figura 2.3. Desarrollo típico de la intumescencia en función de la temperatura para una pintura intumescente	12
Figura 2.4. Típico modelo unidimensional para protecciones intumescentes	12
Figura 2.5. Esquema de la geometría utilizada en el modelo cilíndrico de transferencia de calor	14

CAPÍTULO III: PROTECCIÓN DE ACERO CON PINTURAS INTUMESCENTES

Figura 3.1. Reacción de la pintura intumescente	21
Figura 3.2. Explicación de composición	22
Figura 3.3. Explicación de estructuración de un sistema intumescente	26
Figura 3.4. Distintas masividades para perfiles de acero	27
Figura 3.5. Estructura de acero limpia de impurezas	34
Figura 3.6. Medición del espesor de la capa intermedia	36
Figura 3.7. Aplicación del imprimante en construcción de Serviteca de la ciudad de Los Ángeles	36
Figura 3.8. Pintura intumescente aplicada en la intemperie Polideportivo Estadio Español Santiago	37
Figura 3.9. Estructura imprimada y con pintura intumescente	38
Figura 3.10. Medición del espesor de la capa intumescente	39
Figura 3.11. Estructura metálica protegida con pintura intumescente	39
Figura 3.12. Estructura metálica protegida con pintura intumescente	39
Figura 3.13. Estructura metálica con pintura de terminación	40
Figura 3.14. Terminal de pasajeros aeropuerto Arturo Merino Benitez	40
Figura 3.15. Equipo Airless	42
Figura 3.16. Pistola alimentada por gravedad	43
Figura 3.17. Pistola alimentada por succión	43
Figura 3.18. Pistola alimentada por presión	92
Figura 3.19. Medidor de espesor de imprimante y pintura intumescente	44
Figura 3.20. Acero galvanizado	45
Figura 3.21. Estructura de acero galvanizado sin pintar	49
Figura 3.22. Acero galvanizado con imprimante	49
Figura 3.23. Midiendo espesor de imprimante en galvanizado	50
Figura 3.24. Estructura galvanizada pintada con intumescente	50

**CAPÍTULO IV:
ANÁLISIS DE REGLAMENTACIÓN VIGENTE Y
ORGANISMOS CERTIFICADORES**

Figura 4.1. Edificio Joelma de Sao Paulo Brasil	51
Figura 4.2. Torre Santa María	52
Figura 4.3. Probetas ensayadas	60
Figura 4.4. Probetas después de alcanzada 90 minutos	61
Figura 4.5. Hornos de ensayo de resistencia	61
Figura 4.6. Quemador de gas natural del horno de ensayo	61
Figura 4.7. Pintado de estructura a la intemperie de cine Alto Las Condes	69
Figura 4.8. Líder de Rancagua	69
Figura 4.9. Estructuras pintadas con intumescente directamente al sol	70
Figura 4.10. Mega Jhonson Viña del mar	70
Figura 4.11. Estructura metálica de techumbre en cúpula Mall Plaza Vespuccio	71
Figura 4.12. Estructura metálica de techumbre en Mall Plaza de Los Ángeles	71

**CAPÍTULO V:
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE PINTURA INTUMESCENTES**

Figura 5.1. Curva de resistencia al fuego para distintos espesores	84
--	----

ANEXO A

Figura A.1. Generación de humos	96
Figura A.2. Transmisión del calor por convección en el inicio de un incendio	96
Figura A.3. Mecanismos de transmisión del calor durante un incendio	97
Figura A.4. Desarrollo en el tiempo de distintos incendios	97
Figura A.5. Curva normal tiempo - temperatura	98
Figura A.6. Diagrama tensión - deformación	100
Figura A.7. Variación de límite de fluencia de aceros nacionales de la temperatura	100
Figura A.8. Variación del límite de rotura de aceros nacionales en función de la temperatura	101
Figura A.9. Variación del módulo elástico en función de la temperatura	101

ANEXO E

Micrómetro magnético	132
Medición en forma perpendicular al plano	133

RESÚMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la fenomenología de la protección pasiva contra incendios que brindan las pinturas intumescentes sobre estructuras de acero.

Dado que este producto se ha introducido recientemente en el medio local, existe un alto desconocimiento en cuanto a su aplicabilidad, tanto por parte de los profesionales de la construcción como de los organismos controladores del país.

El estudio consistió en desarrollar un análisis técnico, para explicar el comportamiento físico-químico del producto. En Chile, no existen normas técnicas para determinar su comportamiento frente al fuego, por lo que se propone una solución para determinar como será su comportamiento ante las distintas condiciones medio ambientales a las cuales se puede ver enfrentado en nuestro país.

SUMMARY

The purpose of the present work to study the phenomenology of the passive protection against fire that is caused by the intumescent paints on the steel structures.

Since this product has been recently introduced in the local environment, there is a not a wide knowledge in relation to its application, on the side of the building professionals as well on the side of the controller organizations of the country.

The study consisted in developing a technical analysis, to explain the physical-chemical behaviour of this intumescent product. In Chile, there are not technical norms to determine the behaviour against the fire, reason why a solution is proposed to determine what the behaviour will be like against different environmental conditions to which it can be confronted in our country.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras de acero, es cada día más común su utilización en nuestro país y en el mundo entero; sin embargo el limitado desarrollo tecnológico de materiales constructivos complementarios hace que el crecimiento de este tipo de estructuras sea lento, pese a la gran cantidad de ventajas que ofrece.

El acero presenta una alta resistencia y gran ductilidad, las cuales son propiedades importantes para un buen comportamiento al momento de soportar las actividades sísmicas.

Sin embargo, por desgracia el acero presenta desventajas de gran interés a considerar. Uno de los problemas que presenta es la degradación medio ambiental a través de la corrosión y la oxidación; producto del aire y la humedad respectivamente. Por otro lado el acero, pese a ser un material no combustible, al ser expuesto al fuego sufre un gran deterioro en sus propiedades mecánicas, lo cual conlleva a que una estructura de acero colapse a los pocos minutos de iniciado un incendio, si no cuenta con la debida protección.

Expuesto al fuego, el acero puede alcanzar temperaturas cercanas a los 1000°C en un período muy corto, en este caso el acero estructural tiende a colapsar muy rápidamente. El acero no se quema pero pierde su resistencia a alrededor de los 500°C. Es por esto, que debido a la baja resistencia mecánica que presenta el acero frente a la acción del fuego, puede ser catastrófica en caso de incendio.

En un incendio la temperatura ambiente alcanza los 500°C al cabo de 5 minutos, y como el acero se verá expuesto a temperaturas superiores a su temperatura crítica al poco tiempo de iniciado el fuego, y debido que la conductividad térmica del acero es muy alta, alcanzará rápidamente dicho nivel térmico.

Lo anterior nos deja claro que si se presenta un incendio en edificios de estructuras de acero sin protección alguna, puede transformarse en pocos minutos en una catástrofe lamentable. En el mundo son numerosos los ejemplos de incendios en edificios que han provocado grandes tragedias, como por ejemplo las torres gemelas de New York, edificio Joelma de Sao Paulo Brasil, Torres de Santa María

Santiago de Chile, por lo que nos lleva a pensar la importancia que tiene la protección de las estructuras de acero contra el fuego.

Con el fin de proteger dichas estructuras de acero del fuego, podemos encontrar varias soluciones, las cuales cumplen con la particularidad de cubrir el acero, como es el caso del yeso-cartón, estuco, maderas, morteros de yeso, entre otros. A pesar que estos materiales permiten cumplir con la resistencia al fuego exigida, presentan la desventaja de ser materiales con un elevado peso por metro lineal, lo cual tiene por consecuencia un aumento considerable del peso propio de una estructura y por lo tanto, se necesitan estructuras de mayores dimensiones con el costo que ello conlleva.

Como se sabe el riesgo de un incendio en una edificación siempre estará presente, por lo que debemos estar conscientes de sus devastadoras consecuencias. Por esto, nace en el mercado un tipo de material que cumpliera la función de proteger el acero del fuego; el cual en condiciones normales presenta un espesor de pocos milímetros y que bajo la influencia del calor aumenta su volumen; de esta manera creando una separación entre el fuego y el acero, además permite ver la forma propia del acero, y de esta manera no se verá afectado el diseño de la estructura metálica.

El resultado de esta búsqueda de protección son los llamados productos intumescentes (***Pinturas intumescentes***) el cual presenta similitudes características con las pinturas tradicionales; pero tiene la gran particularidad de expandirse cuando se ve expuesto a altas temperaturas (fuego) creando una barrera de espuma de entre 20 y 30 veces su espesor original, y durante su proceso de expansión expelle vapor de agua, lo que fuera de la espuma en sí, sirve de barrera aislante, permitiendo de esta manera que los perfiles metálicos (a los que haya sido aplicados), no lleguen a la temperatura crítica de fluencia del acero en un período de tiempo definido; lo cual ayuda a reducir daños del material y además permite ganar tiempo, minimizando el riesgo de desgracias humanas. Por lo tanto el trabajo de una ***pintura intumescente***, es mantener la temperatura del acero por debajo de los 500

°C tanto tiempo sea posible. Buenas formulaciones pueden mantener la temperatura del acero bajo los 500°C hasta por 120 minutos.

Las pinturas intumescentes se presentan como una alternativa válida para el recubrimiento de metales, en especial para mantener la resistencia del acero cuando es sometido al fuego. Frente a estas ventajas que muestran las estructuras de acero recubiertas con productos intumescentes, surgen sin duda las interrogantes ¿cuánto tiempo va a retardar el colapso de una estructura con este producto?, ¿De qué elementos o factores depende que el tiempo de colapso sea mayor?. Las respuestas no son triviales, ya que hay muchos puntos a considerar como son: el tipo de material a proteger, su geometría, el espesor del recubrimiento, la correcta aplicación del producto, etc., es posible apreciar que el número de factores a analizar es muy alto.

En nuestro país existe una normativa, NCh 935/1 Of 97 “Prevención de incendios en edificios”, que detalla la forma en que se debe proceder durante los ensayos de este tipo de materiales. Por otro lado algunos fabricantes de pinturas intumescentes, presentan modelos que relacionan el retardo del tiempo de colapso del material con el espesor de la capa de pintura aplicada y un “índice de masividad”, propio del perfil.

En la actualidad existen empresas que distribuyen pinturas intumescentes, sin embargo aún somos un país en vías de desarrollo en materia de dicho material de protección, es por eso que se generan ciertas dudas y confusiones con respecto al correcto uso, aplicación y características de este revestimiento.

Dado que este producto se ha introducido recientemente en el medio local como solución estructural; existe un alto desconocimiento en cuanto a su aplicabilidad, tanto por parte de los profesionales de la construcción como de los organismos controladores del país.

Lo señalado anteriormente fue lo que me motivó al estudio y análisis del comportamiento del producto, su composición, forma de actuar, costos de implementación, aplicación etc., para que a raíz de este estudio me permita entregar una herramienta de análisis y evaluación frente a dicho producto intumescente.

Para ello ha sido necesario realizar una investigación profunda de los productos intumescentes, para desarrollar un análisis técnico y explicar el comportamiento de las pinturas intumescentes, apoyado de estudios experimentales a través de ensayos realizados por fabricantes que trabajan en este tipo de protección (Sherwin Williams, entre otras), analizando las normativas que regulan a los productos intumescentes, etc.

Finalmente, los resultados de éste trabajo constituirán una gran contribución para profesionales que se encuentran utilizando este tipo de protecciones, pues podrán saber efectivamente la correcta utilización de estos productos y de esta manera constatar si la pintura intumescente está protegiendo al acero, o simplemente no está dando la debida protección, lo cual llevará a perder cantidades importantes de dinero y lo que es más lamentable, llevará a poner en riesgo la seguridad de los seres humanos.

OBJETIVOS

- Caracterizar el acero estructural con el cual se construye en Chile.
- Demostrar la importancia real que tiene el fuego en caso de incendio.
- Se analizarán otras soluciones constructivas, que se ofrecen hoy en día para la protección del acero, frente a la acción del fuego.
- Análisis del producto intumescente.
- Identificar y analizar la utilización del producto intumescente en nuestro país.
- Análisis de los costos del producto intumescente.
- Análisis de la normativa existente, tanto en Chile como en el extranjero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Estudiar la fenomenología de la protección pasiva contra incendios que brindan las pinturas intumescentes.
- Realizar una profunda investigación con respecto a las pinturas intumescentes a través de experiencias y ensayos realizados por proveedores del producto y así entregar una información de gran utilidad tanto a profesionales de la construcción como organismos controladores sobre el comportamiento de las pinturas intumescentes.
- Entregar solución para determinar su comportamiento ante las distintas condiciones medio ambientales y de esta manera aportar para que el día de mañana pueda existir alguna normativa técnica mas completa referente a este tipo de revestimiento.

CAPÍTULO I: MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS PARA ESTRUCTURAS DE ACERO.

1.1.- ANTECEDENTES.

Las características principales que debe reunir un material para la protección contra incendios de un miembro de acero son su estabilidad a elevadas temperaturas, incombustible, baja conductividad térmica, forma en que pueda aplicarse a la sección, buena adherencia con el acero a elevadas temperaturas y económicamente factible.

Cada vez es más común ver en edificios que están estructurados en acero, lo cual tiene consecuencias, dado que el acero pierde su resistencia mecánica a los 500°C, tardando pocos minutos en alcanzarlo. Por eso es necesario proteger el acero del calor, para poder satisfacer los requerimientos necesarios, lo cual será estudiado más adelante.

Es importante considerar que los sistemas de protección que se aplican a vigas de acero puedan verse afectados por el esfuerzo de tracción al producirse la flexión de las vigas, por lo que se debe tomar las precauciones necesarias para que el sistema protector no sufra agrietamientos que faciliten la penetración del calor a la estructura que protege.

A continuación se describen algunas soluciones constructivas, las cuales son métodos típicos de protección ensayadas tanto en Chile como en el extranjero (España, Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos).

1.2.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.

La definición de protección contra incendios es algo bien amplio, porque se dice que es evitar la declaración y propagación de un incendio, su extinción en caso de ocurrir y la indemnización de los afectados en caso de falla de los mecanismos que ayudan al combate del incendio. Como vemos, su definición es muy amplia, por esto la protección contra incendio suele dividirse en los siguientes grupos:

1.2.1.- Protección Pasiva.

Es aquella protección que disminuye el riesgo de la ocurrencia de un incendio, esto mediante la reducción de la carga combustible, comportamiento, elección de materiales adecuados para la construcción de los recintos, protegiendo las estructuras principales por medio de recubrimientos adecuados.

Dentro de esta protección, encontramos la protección de las estructuras de acero. Para poder determinar el tipo de protección que se debe aplicar sobre el acero, es necesario conocer la propiedad de masividad de cada estructura, la cual será descrita más adelante.

1.2.2.- Protección Integral.

A diferencia de la protección anterior, esta actúa una vez producido el foco de incendio, detectándolo y combatiéndolo en forma automática. Consiste principalmente en detectores de fuego (tales como detectores de temperatura, humo, luz ultravioleta, etc.), alarmas (visuales y acústicas), aparatos que arrojan un producto extintor (agua, espuma, gas), iluminación de emergencia, puertas y cortinas cortafuego (cortafuego: elemento constructivo muy resistente al fuego, construido con materiales capaces de resistir a la acción de un incendio por largo tiempo. Se usa generalmente para separar edificios o parte de él).

1.2.3.- Protección Activa.

Este tipo de protección es el que realiza el cuerpo de bomberos, una vez declarado el siniestro, cuando los equipos de autoextinción no son suficientes.

1.2.4.- Protección Financiera.

Consiste en la evaluación de pérdidas e indemnización a personas afectadas, realizada a través, de pólizas de seguros.

1.3.- ESTUCOS DE CEMENTO.

Está compuesto por una mezcla de cemento y arena en dosificación típica de 1: 2½ a 3 (1 unidad de cemento por 3 unidades de arena), además contiene agua la cual en presencia de calor forma una barrera térmica.

Entre sus características destaca el tener una baja conductividad térmica, no ser inflamable ni combustible. Pero tiene una gran desventaja, que es el gran peso específico del estuco, lo que obliga a sobredimensionar las estructuras resistentes. Otra desventaja, es la mala adherencia que éste presenta en contacto con el acero. Por lo tanto, para permitir la adherencia del mortero al elemento de acero, es necesario colocar una malla de metal desplegada rodeando el perfil y firmemente adherido a este mediante puntos de soldadura.

Al exponerse al fuego, el agua incluida en el cemento del mortero se evapora a partir de los 100°C. Sin embargo, la vaporización del agua es incompleta y el agua atrapada en la masa del mortero puede provocar tensiones que terminan por agrietar la protección y permitir el paso del calor.

Tabla 1.1: Resistencia al fuego de elementos de acero protegidos con estuco para espesores variables.

Espesor de protección (mm.)	Temperatura crítica (°C)	Tiempo (mín.)	Resistencia al fuego (mín.)
0	480	7	-
10	480	52	F 30
15	480	85	F 60
20	480	116	F 90
25	480	140	F 120



Figura 1.1: Protección con estuco.

En las siguientes figuras se aprecia una forma de colocar el mortero de cemento para columnas y vigas, para alcanzar una resistencia al fuego de 60 minutos.

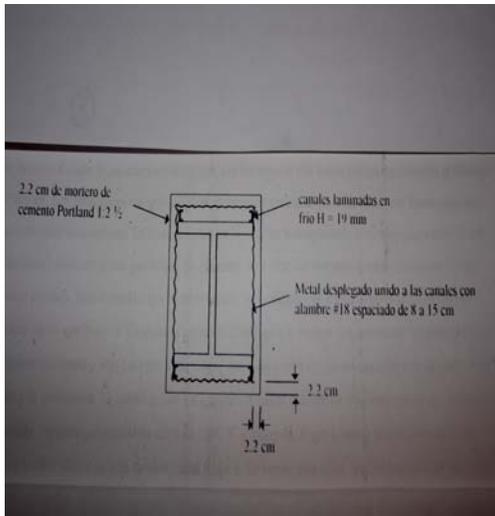


Figura 1.2: Protección de columna de acero por mortero de cemento (F60).

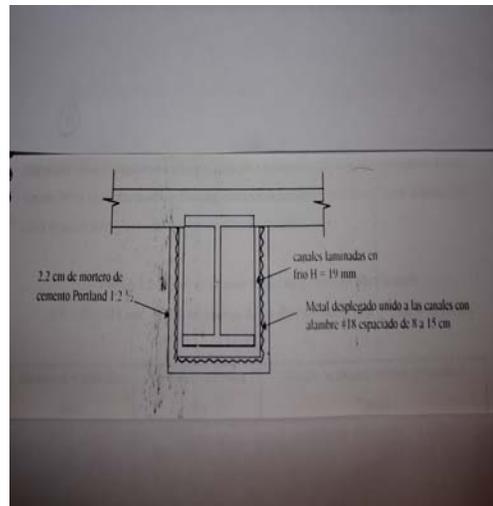


Figura 1.3: Protección de viga de acero por mortero de cemento (F60).

1.4.- MORTERO DE YESO.

El mortero de yeso está formado por azufre y oxígeno, separado por laminillas de calcio y por moléculas de agua. El yeso es un buen protector del acero, ya que cuando un mortero de yeso (sulfato de calcio semihidratada + agua) fragua, el agua queda químicamente ligada al yeso (dihidrato, es decir cada molécula de yeso se une con dos moléculas de agua). En estudios realizados se ha demostrado que al aumentar la temperatura entre 120 y 150°C el yeso pierde 1½ moléculas de agua por molécula de calcio, absorbiendo energía de alrededor de 170 Kcal / Kg de yeso, las que al evaporarse absorben más energía y que es alrededor de 130 Kcal / Kg lo que permite mantener la temperatura cercana de los 140°C. Entre los 180 y 300°C se libera la ½ molécula de agua, faltaba por liberarse.

Una gran ventaja del mortero de yeso es su bajo coeficiente de conductividad térmica (0,42 Kcal \ h*m*°C), lo que permite que para espesores de un 40% de los espesores del estuco de cemento se logren las mismas resistencias.

En cuanto a las desventajas se encuentra la corrosión al acero, lo que puede evitarse colocando una malla de acero galvanizado alrededor del perfil del acero.

Además, no conviene colocarlo en lugares expuestos a la intemperie, pues tiende a absorber agua disminuyendo sus propiedades mecánicas y aumentando su densidad. El mortero de yeso en presencia de incendio pierde cohesión, debido al agrietamiento que se produce por la liberación de agua.

Suele ocuparse con áridos livianos, tales como la perlita y la vermiculita, además de la arena (que retarda su fraguado).

En la figura 1.4 se puede apreciar un método de protección de mortero de yeso clasificado como F 120 (resistencia al fuego de 120 minutos).

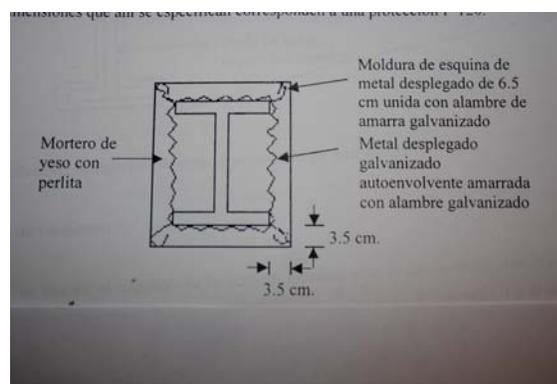


Figura 1.4: Protección de columna de acero con mortero de yeso.

1.5.- FIBRAS APLICADAS POR PROYECCIÓN.

Están formadas por lo general de amianto, asbestos minerales y cerámicas. Son materiales de baja densidad, incombustibles y químicamente inertes. Se adaptan muy bien a la forma del sustrato (acero), permitiendo cubrir uniones complejas en estructuras de acero. A pesar de que la adherencia es buena al estar eliminando el óxido y escamas de laminación del acero se suele utilizar un adhesivo o malla metálica desplegada sobre la superficie a proteger para aumentar la adherencia del revestimiento.

En general son mezclados con algún tipo de aglomerante, tal como el yeso o cemento.

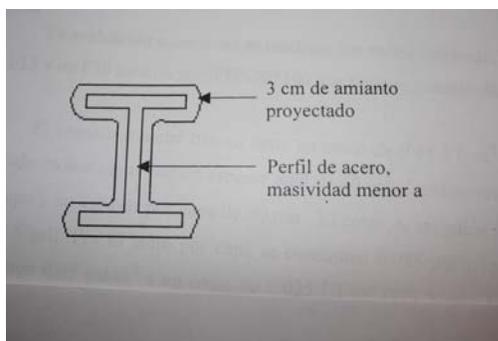


Figura 1.5: Protección de columna de acero con amianto proyectado (F 90).

1.6.- YESO CARTÓN.

Es una placa que está revestida por ambas caras con cartón y que se fabrican en espesores de 8, 10, 12.5, 15 y 25cm, con las que se puede obtener casi cualquier espesor de recubrimiento si es que se combinan adecuadamente. Otra característica es la facilidad con la cual se puede manejar este material.

La técnica que se utiliza para proteger los elementos estructurales (vigas, columnas u otro tipo de estructura), utilizando este material es el encajonamiento de la pieza. Para lo anterior la placa de yeso cartón estará en contacto con el acero y en caso de utilizar más placas estas estarán en contacto entre sí. Se utilizan más placas para lograr una mayor protección contra el fuego.

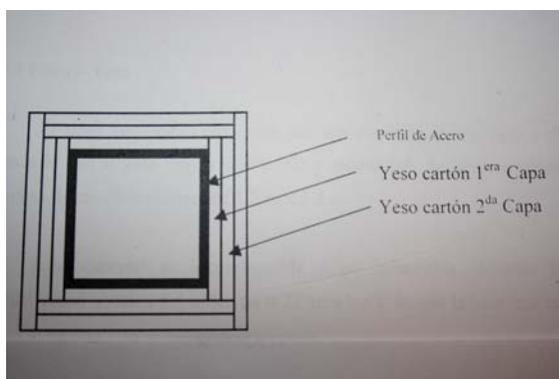


Figura 1.6: Encajonamiento de perfil con yeso – cartón.

Las uniones en los encuentros de las esquinas, se hacen con yeso especial para juntas, esto para evitar que queden espacios abiertos que permitirían el paso del calor o las llamas.

Tabla 1.2: Resistencia al fuego de un elemento de acero estructural protegido con yeso - cartón (Estudio realizado por Andrés Allende, 1991).

Espesor de protección (mm.)	Temperatura crítica (°C)	Tiempo (mín.)	Resistencia al fuego (mín.)
0	480	6	-
10	480	28	F 15
20	480	64	F 60
30	480	87	F 60

1.7.- PROTECCIÓN POR ROCIADORES (SPRINKLERS).

Este tipo de protección a diferencia de las anteriores (protección pasiva), es un método de protección integral, la cual es conveniente describir ya que se está ocupando en la actualidad en varias obras tales como centros comerciales y bancos.

El funcionamiento de los rociadores Sprinklers consiste en proyectar agua finamente pulverizada sobre el incendio en el comienzo de este, cuando aún no se ha extendido en superficie. El agua se vaporiza al contacto de las llamas, absorbiendo calor en el proceso, obteniéndose como resultado un enfriamiento rápido del incendio. En general, su puesta en marcha se produce por un detector de calor o de humos, o simplemente por la rotura de un termofusible.

Algunas de las ventajas que presenta este sistema son:

- Detecta automáticamente los incendios.
- Extinguen el 60% de los incendios declarados.
- Puede bajar el valor de las primas de seguros.

Las desventajas del sistema son:

- No es utilizable cuando existen productos de valor, almacenamiento de información y elementos frágiles, donde el agua puede causar más destrozos que el mismo fuego.
- La actividad de los rociadores puede deberse a causas no asociadas a incendios.

- No es utilizable en los casos de fuego de origen eléctrico, de hidrocarburos, de algunas materias primas.

El agua es conducida a través de cañerías que ascienden por muros y llegan al cielo de la dependencia sobre el cielo falso o directamente unida bajo el techo. En la superficie del techo se colocan rociadores para asegurar la protección del recinto.

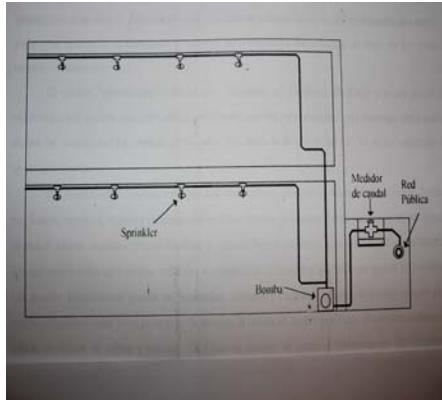


Figura 1.7: Instalación de equipos de rociadores con caudal suficiente y baja presión (izquierda). Sistema de rociadores Falabella de la ciudad de Los Ángeles (derecha).



Figura 1.8: Rociador. Falabella Los Ángeles.

CAPÍTULO II: TEORÍA DE LA INTUMESCENCIA.

2.1.- ANTECEDENTES.

Como ya sabemos las estructuras de acero al verse expuestas a temperaturas de nivel superior a la temperatura crítica pierde resistencias considerables. Ello sumado a la alta conductividad que presenta el acero, provocará que a pocos minutos de iniciado el incendio, el elemento metálico no protegido alcance su temperatura crítica y colapse.

Por esto, nace en el mercado un producto que protegerá al acero, brindándole muchas ventajas, los cuales son llamados *Intumescentes*.

A continuación, nos enfocaremos a los diversos modelos e hipótesis que han propuesto autores, que intentan describir el fenómeno de la intumescencia o parte de él. Algunos de estos modelos han sido recopilados y serán revisados a continuación.

2.2. TEORÍA DE LA INTUMESCENCIA.

En términos generales, los revestimientos intumescentes al ser expuesto al fuego directo o calor, se hincha (se inflaman) y se carboniza (figura 2.1.), incrementando su espesor entre 20 y hasta 200 veces su espesor original, formando una gruesa capa de escoria, firmemente adherida al sustrato, el cual actúa como aislante térmico del acero, es decir como barrera protectora que aísla la estructura del fuego, evitando que éste alcance la temperatura crítica, la cual es alrededor de 500°C. De esta forma, se protege el acero contra el acceso de oxígeno y la propagación de las llamas.



Figura 2.1: Estructura de acero revestida con pintura intumescente.

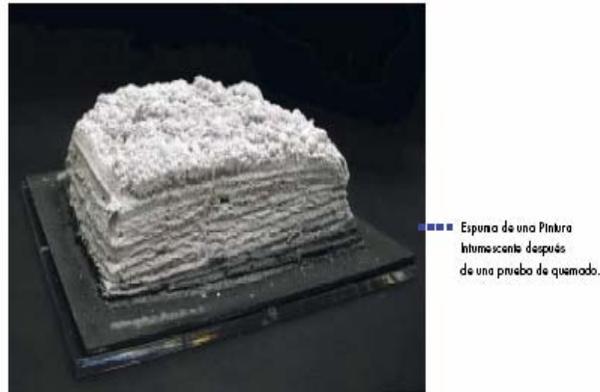


Figura 2.2: Espuma de una pintura intumescente.

Una hipótesis del funcionamiento de las sustancias intumescentes, presentada por Wladyka-Przybylak sugiere lo siguiente:

- En una primera etapa ocurre la descomposición de agentes deshidratantes, seguido por la formación de ácido desde su sal de amonio, amina o éster.
- El ácido reacciona con los grupos hidroxilo de la sustancia que se convierte en masa carbonosa, para formar un éster inestable térmicamente, en la presencia de un catalizador.
- Un mayor aumento de la temperatura resulta en la descomposición de los ésteres, con formación de carbón, ácido y dióxido de carbono.
- El ácido liberado reacciona nuevamente con los grupos hidroxilo de la sustancia que se convierte en masa carbonosa.
- La descomposición del éster va acompañado de la descomposición de una sustancia formadora de poros, que da origen a la emanación de considerables cantidades de gases no inflamables.
- La liberación de productos gaseosos causa el inflamiento en espuma del material carbonoso creado por la descomposición del éster. Esta espuma se ve como una gruesa capa aislante.
- Finalmente, la capa de espuma retarda la transferencia de calor y el acceso de oxígeno, protegiendo el material estructural.

A grandes rasgos, los distintos autores concuerdan con esta hipótesis, aunque difieren en la forma de describirla. La Dra. Kathryn M. Butler la explica de la siguiente forma:

Cuando la sustancia intumescente recibe un gran flujo de calor, se desencadena lo siguiente:

- Primero, un ácido inorgánico, típicamente presente en forma de una sal, es liberado.
- El ácido deshidrata un compuesto polihidrico rico en carbono, preparando la eventual formación de carbono sólido. Esta reacción puede ser catalizada por una amina o amida orgánica.
- La mezcla intumescente se funde. A una temperatura en que la viscosidad es adecuada, una reacción química endotérmica comienza a generar gases.
- Los gases se difunden en pequeñas burbujas, cuyo diámetro es del orden de los 10 a 60 micrones, formando una espuma.
- Finalmente, el material se solidifica en una gruesa capa de carbón multicelular.

2.2.1.- Modo de actuar de los revestimientos.

Todos los revestimientos intumescentes se basan en el mismo tipo de reacción. En general, a temperatura ambiente ellos son de un mismo espesor relativamente delgado (hasta 3mm aproximadamente), al aumentar la temperatura el ligante se plastifica (entre los 100°C y 300°C) y comienzan reacciones químicas que generan una corteza carbonosa expandible y gran cantidad de gases no combustibles que inflan al elemento ligante y a la corteza, formándose una especie de merengue de naturaleza carbonosa sobre el sustrato. Además los gases emanados desplazan al oxígeno de la fuente combustible, extinguiendo el fuego o al menos inhibiendo su desarrollo.

Lo anterior se resume en la siguiente figura:

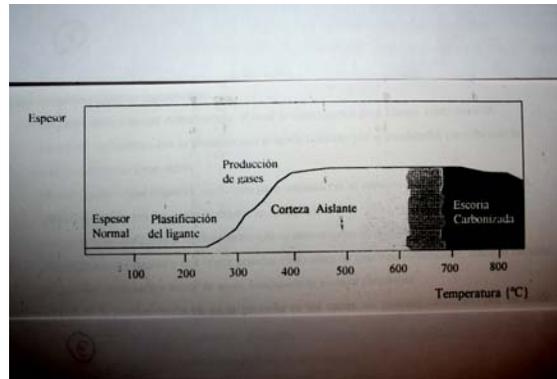


Figura 2.3: Desarrollo típico de la intumescencia en función de la temperatura.

2.3. MODELOS EXISTENTES

Hoy en día, las capacidades de los materiales intumescentes para lograr aislación térmica y conservar la masa son conocidas y aplicadas en la industria, sin embargo, los mecanismos que determinan las propiedades de protección de estos materiales no han sido comprendidos del todo.

Existen modelos propuestos que tratan la intumescencia, los cuales serán revisados a continuación. También existen modelos que no tratan de sustancias intumescentes, sin embargo presentan características que hacen que algunas fases de sus procesos sean similares a un comportamiento intumescente.

2.3.1. Modelos unidimensionales de transferencia de calor.

Los modelos unidimensionales desarrollados para investigar el comportamiento de las sustancias intumescentes se basan en las ecuaciones de conservación de energía y masa, aplicadas a algunas variaciones de la geometría que se ilustra en la figura.

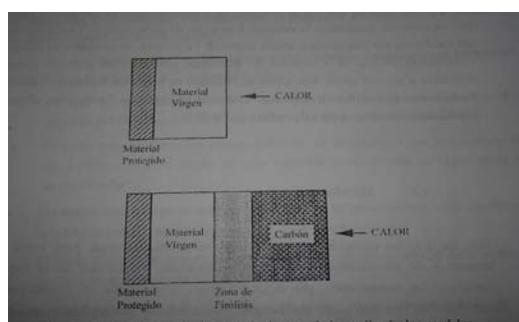


Figura 2.4: Típico modelo unidimensional para protecciones intumescentes. Configuración inicial (arriba) y configuración durante el proceso de expansión (abajo).

Uno de los primeros modelos unidimensionales fue desarrollado por Cagliostro, Riccitiello, Clark y Shimizu. Este es un modelo común en que la conductividad K es reemplazada por un término de conductividad "efectiva": K/E , donde E es un factor de expansión, función del tiempo y de la distancia que recorre un punto de la capa intumescente durante el inflado. De acuerdo a este modelo se logra una mejor aislación cuando la expansión es rápida, la capa protectora es más gruesa cuando la reacción es endotérmica. De acuerdo a los experimentos hechos, el modelo explica el comportamiento en un 20%. Un acercamiento similar fue tomado por Zverev, Isakov, Nesmelov y Nazarenko.

Anderson y Wauters, proponen un modelo en el que existe una zona de pirolisis entre el material virgen y la capa de carbón. Esta zona es el lugar activo del comportamiento intumescente. Así como el de Cagliostro, este modelo también considera un factor de expansión, pero además introduce la velocidad en cada punto. En el material virgen la velocidad es cero y en la capa carbonosa la velocidad es constante. En la zona de pirolisis la velocidad es función del factor de expansión y de la razón de pérdida de masa. También se incluyen las pérdidas de calor por radiación en la superficie y en dirección al material a proteger. Dadas las funciones empíricas de pérdida de masa y de parámetros termodinámicos como función de la temperatura, se puso en marcha el modelo y las temperaturas calculadas se contrastaron con datos experimentales, mostrando que era necesario desarrollar mejor el factor de expansión.

De acuerdo a datos experimentales, se observó que la zona de pirólisis es delgada comparada al espesor de la capa intumescente. A partir de eso Buckaster, Anderson y Nachman, desarrollaron un modelo en que la zona de pirólisis es reducida a un delgado frente que separa dos zonas en que las propiedades del material, la velocidad y el gradiente de temperatura son discontinuos. La temperatura en el frente se considera fija, a un valor crítico especificado. El problema se resuelve fácilmente en forma numérica. Los resultados de este modelo muestra que, en acorde cualitativo con los experimentos, la temperatura del material protegido tiende a mantenerse constante mientras que el frente atraviesa la capa intumescente, luego

aumenta rápidamente. Este comportamiento de la temperatura es atribuida a la convección asociada a la expansión, que contrarresta el flujo de calor conductivo. El carácter endotérmico de las reacciones químicas favorecen que la temperatura en el material se mantenga constante. Este modelo fue comparado con datos experimentales por Anderson, Dziuck, Mallow y Buckmaster.

Anderson, Ketchum y Mountain, estudiaron el efecto de las propiedades aislantes de la capa carbonosa usando un modelo de resistencia térmica simple. Las conductividades térmicas de las muestras fueron estimadas de datos de temperatura versus tiempo y comparadas a los valores calculados asumiendo un material poroso, que puede ser representado por múltiples capas de sólido y gas confinado. Los autores concluyen que los gases confinados en la capa carbonosa probablemente explican la baja conductividad térmica de ésta.

Los modelos unidimensionales mencionados anteriormente se basan en información empírica sobre la velocidad de expansión y la expansión total. El alcance de estos estudios se limita a la transferencia de calor y no proporciona ningún conocimiento sobre el proceso de inflado de la espuma.

2.3.2. Modelo cilíndrico de transferencia de calor.

Pehrson y Barnett, desarrollaron un modelo numérico simple, tridimensional, para investigar la transferencia de calor en la geometría partícula del sello de un cañón de horno con una losa. El cañón es un cilindro y la losa se modeló como un anillo de concreto alrededor del cilindro, dejando una luz para el sello de material intumescente, así como lo ilustra la figura.

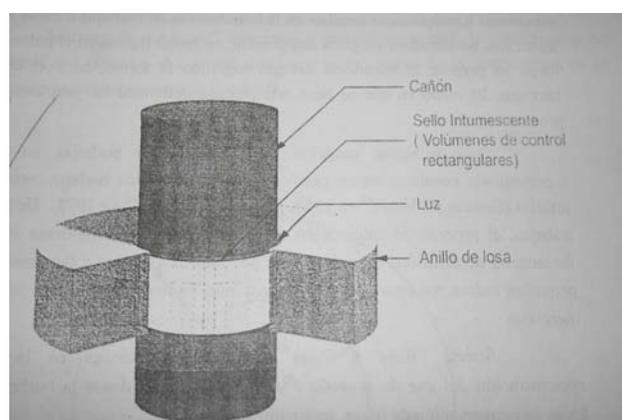


Figura 2.5: Esquema de la geometría utilizada en el modelo cilíndrico de transferencia de calor.

El cañón no está necesariamente centrado en la losa, de hecho, el caso más crítico debería ocurrir cuando éste está en contacto con el interior del anillo de concreto. El sello, de espesor uniforme inicialmente, fue modelado como un conjunto regular de pequeños volúmenes de control rectangulares, y cada uno se multiplica en un cierto número de nuevos elementos carbonosos cuando absorben una cantidad suficiente de calor. El problema de transferencia de calor, que incluye radiación, convección y conducción tanto para el cañón como para el material de concreto, se resuelve mediante cálculos de diferencias finitas. La temperatura, como función del tiempo, es estimada tanto al interior del sello como a lo largo de las paredes del cañón y del concreto. Los resultados obtenidos muestran un acorde cualitativo sólo aproximado con las mediciones tomadas con termopares, en pruebas hechas en juntas de tamaño natural. Se acepta que las mayores limitaciones del modelo tienen su origen en la manera de abordar el volumen de control, en la representación simplista de la expansión intumescente y en la dificultad de obtener datos precisos acerca de las propiedades térmicas de la capa carbonosa.

2.4. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS MODELOS.

Mediante los modelos de transferencia de calor se ha logrado un cierto nivel de comprensión de los mecanismos que permiten la protección térmica. Estos trabajos modelan el material expandido como una simple capa cuyo parámetro físico varían con el tiempo, o bien como un conjunto de capas constituido por el polímero virgen, una zona intermedia de pirólisis y una capa carbonosa. Dentro de estos modelos se distinguen dos mecanismo distintos responsables de la protección térmica, la gasificación y la aislación. La gasificación absorbe energía calórica durante el proceso de expansión, por ser una reacción química endotérmica.

La aislación se consigue gracias a la baja conductividad térmica de la capa carbonosa.

En estos modelos, la tasa de expansión es un dato de entrada y es provisto por las observaciones experimentales, por lo que es imposible que el modelo

entregue un conocimiento acabado sobre la complicada secuencia de eventos físicos, químicos y térmicos que caracterizan el comportamiento intumescente.

2.5.- OTROS MODELOS SIMILARES A UN COMPORTAMIENTO INTUMESCENTE.

2.5.1.- Modelo de expansión basada en espuma (no intumescente).

Un proceso típico usado en la industria para la formación de espumas de estructuras termoplásticas consiste en la introducción de burbujas durante el moldeo por inyección. Se introduce un gas a alta presión, en forma líquida en el polímero fundido y luego se permite la expansión del gas logrando la formación y el crecimiento de burbujas. El modo en que se hace este proceso determina las propiedades físicas del producto final. Este modelo es aplicable a espumas estructurales en las que el gas en la mezcla que rodea las burbujas tiene su origen en la expansión de gases disueltos, sin embargo en espumas intumescentes. La química de gasificación es altamente dependiente de la temperatura, cuya importante variación espacial debe ser considerada.

2.5.2.- Modelo de expansión basado en la gasificación termoplástica.

Este modelo, a diferencia de los modelos de espuma, el gas no se produce por difusión y baja presión, sino que por simple ebullición dentro del material. Los materiales termoplásticos (que no se carbonizan) forman una capa fundida cuando alcanzan una cierta temperatura. En la superficie ocurre evaporación, pero al interior, la gasificación produce burbujas que transporta gas a la superficie.

Sin embargo, a diferencia del fenómeno de intumescencia, como se trata de materiales termoplásticos, la gasificación no proviene de una reacción química, sino que de un cambio de estado, lo cual lleva finalmente a que las burbujas revienten liberando su contenido al medio ambiente (superficie) en lugar de quedar confinadas formando una capa espumosa sólida.

2.5.3.- Modelo de expansión basados en la pirólisis del carbón.

Los modelos basados en la pirólisis del carbón incluyen los mecanismos químicos de gasificación y solidificación, ambos fenómenos son de gran importancia en la intumescencia, sin embargo, es difícil aplicarlos directamente ya que existen diferencias significativas entre las pequeñas esferas de carbón isotérmicas y las extensas capas intumescentes que tienen un fuerte gradiente de temperatura. De ahí que no sólo haya diferencia en tamaño y geometría, sino que también en la transferencia de calor.

2.5.4.- Modelo con radiación.

De acuerdo a Reshetnikov y Khalturinskij, prácticamente todos los autores que han investigado el comportamiento intumesciente concuerdan en que las propiedades de aislamiento del calor de la espuma carbonosa es uno de los factores más importantes en la eficiencia de los recubrimientos intumescentes. Existe un cierto número de estudios en que se simula numéricamente el sistema intumesciente quemándose y se investiga la conductividad térmica de la capa espumosa. Sin embargo, casi en todos los estudios existentes, la superficie de la capa espumosa carbonosa ha sido considerada como un medio uniforme. Reshetnikov afirma que la radiación puede jugar un papel significativo y afectar los procesos de transferencia de calor en el medio poroso. De ahí que presentan un modelo matemático de transferencia de calor en espumas carbonosas que considera todos los mecanismos de transferencia de calor, como también la influencia de factores externos (pérdidas de calor hacia el material, flujo de calor externo, etc.).

2.6.- ANALISIS Y CUADRO DE RESUMEN.

Los modelos planteados para explicar el comportamiento de las sustancias intumescentes fueron desarrollados en los años setenta, desde ese momento, diversos autores se interesaron en el fenómeno, proponiendo año tras año un enfoque distinto o bien complementario a lo ya existente.

Los modelos existentes cubren, por separado, la mayoría de los aspectos de la intumescencia, pero no se ha logrado aún que algunos de ellos expliquen

cuantitativamente el fenómeno en forma adecuada. Está a la vista que los modelos de transferencia de calor ya integran los dos mecanismos principalmente (de aislamiento y sumidero de calor), pero todos los demás datos son obtenidos de las observaciones experimentales. Por su parte, los modelos de expansión incorporan distintos fenómenos que están presentes en el comportamiento intumescente, pero tienen diferencias esenciales que hacen que el ajuste sea menos que aceptable. El modelo de gasificación termoplástico, por ejemplo, es especialmente interesante por describir la formación, el crecimiento y el desplazamiento de las burbujas, así como las propiedades de aislamiento y el efecto gradiente de temperatura, pero a su vez está basado en un mecanismo de origen distinto (ebullición) y al final es un material que no va a carbonizar, ni va a dejar las burbujas confinadas en su interior. El modelo de pirólisis del carbón si se trata en forma adecuada las fases de gasificación y solidificación, pero a su vez existen diferencias geométricas y de transferencia de calor que no se pueden olvidar.

De esta forma, los estudios han continuado; los mencionados autores están en busca de mejorar y complementar los submodelos que han planteado, como también nuevos estudios que podrían ser incluidos en el modelo unificado. Se puede decir entonces que se ha avanzado mucho desde el punto de partida y que nos falta demasiado para llenar los espacios de los estudios existentes y presentar un modelo final que explique la intumescencia.

A continuación se presenta un cuadro que reitera las características más revelantes de los modelos mencionados: los aportes que hacen al estudio de las sustancias intumescentes, las diferencias con dichas sustancias y las omisiones que deben ser consideradas.

Tabla 2.1: Cuadro de resumen de los distintos modelos.

MODELOS	APORTE	DIFERENCIAS U OMISIONES
Lineales de transferencia de calor (2.3.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Comprensión de mecanismos de protección térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Expansión es un dato.
Cilíndrico de transferencia de calor (2.3.2)	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevo tipo de geometría. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de expansión extremadamente simplista. • Volúmenes de control inadecuado.
Espumas (2.5.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos de formación y crecimiento de burbujas. • Incluye factor de agotamiento y gradiente de temperatura y concentración. • Incluye transferencia de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustancia no intumescente. • Formación de burbujas por expansión de gases disueltos.
Gasificación termoplásticos (2.5.2)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de formación, crecimiento y desplazamiento de burbujas. • Modelos de transferencia de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustancia no intumescente. • Formación de burbujas por ebullición. • No carboniza (burbujas revientan en la superficie).
Pirólisis del carbón (4.5.3)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de formación de burbujas y solidificación. • Considera viscosidad y concentración. • Buena concordancia con experimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustancias no intumescente. • Esferas isotérmicas (versus con capa intumescente con importante gradiente de temperatura). • Propiedades físicas de polímero y gases son dato.
Radiación (2.5.4)	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevo enfoque. • Resultados congruentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo considera transferencia de calor. • No considera reacción endotérmica (subestima).

CAPÍTULO III: PROTECCIÓN DE ACERO CON PINTURAS INTUMESCENTES.

3.1.- ANTECEDENTES.

En todos los sistemas de protección pasiva descritos en el capítulo I, se pudo observar que un factor que influye en el cálculo de la estructura es el peso propio del elemento, el cual se debe incluir en el peso propio del elemento, lo que muchas veces significa cambiar dimensiones de los perfiles ocupados. Una de las características muy valorada por los arquitectos es mantener una buena apariencia y muchas veces un elemento protegido, ya sea por cemento, yeso, etc., pierde la estética de un elemento de acero. Además no se puede olvidar las uniones de acero los cuales presentan generalmente un problema de continuidad de las protecciones, por lo cual las zonas de nudos necesitan un tratamiento especial.

Como respuesta a los problemas citados anteriormente nacen los llamados revestimientos intumescentes, la cual es una alternativa de protección de bajo espesor en condiciones normales, permitiendo una reducción de peso por metro lineal considerable y que frente al fuego producen una reacción química de tal manera que su forma física varía produciendo una capa aislante de características similares al resto de las protecciones mencionadas.

En el capítulo anterior se explicó el proceso físico - químico por medio del cual este producto (intumescente) es capaz de proteger, en el presente capítulo se explicará la forma de aplicación, comportamiento frente a un incendio, ventajas y desventajas, estructura del sistema protector, entre otras.

3.2.- DEFINICIÓN DE INTUMESCENTE.

El vocablo intumescente viene del latín intumescere lo cual quiere decir hincharse. En Chile y en los países de habla - hispana el término adecuado debería ser revestimientos entumescentes, sin embargo dado que la comunidad internacional ha aceptado este vocablo latín, ya se ha convertido en un término técnico.

En general, la intumescencia es un recubrimiento que bajo la influencia del calor de una llama reacciona cambiando su estructura física y química, para hincharse a continuación formando una capa esponjosa que al carbonizarse se convierte en una cámara aislante del calor. A este proceso de cambio se le llama intumescencia. Su acción protectora la ejerce retardando el calentamiento del sustrato o soporte durante un cierto tiempo, gracias al aislamiento térmico que proporciona la espuma carbonosa de varios milímetros de espesor, formada en los primeros contactos con el calor o la llama.



Figura 3.1: Reacción de la pintura intumescente.

Comúnmente se confunde a las pinturas intumescentes con las pinturas ignífugas, pero ellas son totalmente distintas. La principal diferencia es que las pinturas ignífugas se ocupan para proteger elementos inflamables, como la madera, formando una película estanca sobre el material aislándolo de las llamas de producir gases no inflamables que retardan la pirolisis del material. En cambio las pinturas intumescentes se ocupan sobre sustratos incombustibles, como el acero, evitando que alcance su temperatura crítica.

3.3.- FORMULACIÓN DE LA INTUMESCECIA.

Las materias primas que componen las pinturas intumescentes se basan en una matriz ligante, una resina o emulsiones. Adicionalmente, una fuente de ácido (poli-fosfato de amonio), una de carbón (poli-alcohol), un agente propelente (melamina) y una sal metálica (dióxido de titanio) son necesario para obtener la espuma aislante.

La composición que a continuación se detalla, sólo ocurre para la pintura intumescente, no para el imprimante o para la pintura de terminación.

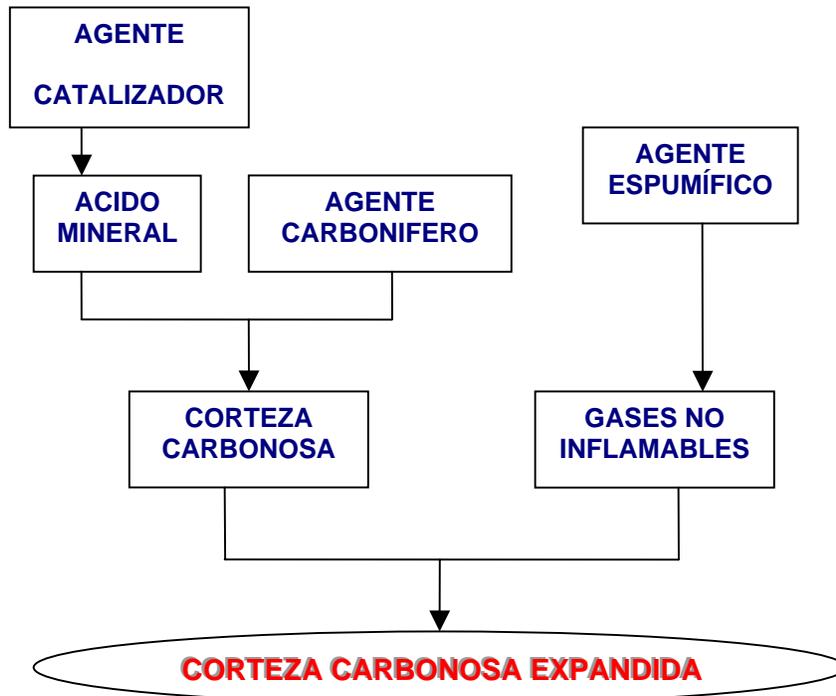


Figura 3.2: Explicación de composición.

3.3.1.- Catalizadores.

Los catalizadores que se utilizan en este tipo de reacciones son los fosfatos de amonio y los fosfatos de melamina. Dichos fosfatos se descomponen con la temperatura, produciendo ácido fosfórico y amoníaco.

3.3.2.- Agente carbonífero

Suele ser un material orgánico que contiene carbono en abundancia. Se incluyen los carbohidratos comunes como el almidón, dextrina, miembros de la familia del eritritol y materiales celulósicos. El agente carbonífero reacciona con el ácido fosfórico perdiendo agua y transformándose en una estructura carbonosa que puede ser expandida antes de rigidizarse.

3.3.3.- Agente espumificante o intumescente.

Suele ser la melamina y sus derivados, dicianodiamida o urea. Un factor importante a considerar en la composición de una pintura es el orden de la reacción. Para que la intumescencia sea exitosa, se debe producir el reblandamiento del material ligante y la liberación del ácido fosfórico de la corteza carbonosa en estado plástico, antes de que los gases del agente espumificante sean liberados y dichos

gases deban ser liberados antes que la corteza carbonosa se solidifique. Por ejemplo, si se ocupa monosfato de amonio como agente deshidratante (descompone a los 147°C), la urea será el agente espumificante adecuado (descompone a los 130°C), mientras que la melamina (1° sublimación =270°C) puede reaccionar demasiado tarde.

Durante esta reacción se liberan varios gases y cada uno cumple una función, estos son:

El vapor de agua tiene como función:

- a) Enfriar la corteza carbonosa absorbiendo el calor.
- b) Reducir la concentración de oxígeno alrededor de la estructura protegida, ayudando a disminuir la combustión.

El amoníaco cumple:

- a) Hinchar la corteza carbonosa.
- b) Desplazar el oxígeno del aire.

Por desgracia este elemento presenta un problema por ser un gas irritante para las vías respiratorias y es capaz de causar graves lesiones que pueden provocar la muerte sí es que se encuentran en el aire por media hora en concentraciones entre 0,25% y 0,65%. Pero dadas sus características irritantes y el fuerte olor que disipa, las personas no son capaces de estar en un lugar como ese.

El nitrógeno cumple la función:

- a) Ayuda al proceso de fosforilación catalizando el proceso.
- b) Disminuye la temperatura de descomposición de los carbohidratos aumentando la producción de corteza carbonosa y reduciendo la producción de gases inflamables provenientes de los carbohidratos.

3.3.4.- Ligante.

Se ocupan elementos incombustibles y que presenten una temperatura de ablandamiento compatible con las reacciones químicas que ocurren en la reacción. Entre ellos se pueden nombrar las resinas termoplásticas, resinas epóxicas y caucho clorado.

Las pinturas basadas en ésteres epóxicos tienen las siguientes características:

- Secan por oxidación con el aire atmosférico.
- Presentan gran adhesión al sustrato.
- Gran resistencia a la corrosión química.
- Su temperatura de ablandamiento es cercana a los 150°C.
- Tiene buena resistencia al agua.
- Regular resistencia a los ácidos.
- Buena resistencia a los solventes alifáticos y aromáticos.
- Buena resistencia a la luz solar.
- Buena resistencia al paso del tiempo.
- Regular resistencia a la abrasión.
- No presenta toxicidad una vez que ya está aplicado.

La desventaja que presentan estos revestimientos es su alta dureza, tendiendo a quebrarse rápidamente a la intemperie. Esta dureza impide que la pintura forme una corteza carbonosa de alto espesor, pero es mucho más rígida capaz de resistir por mucho más tiempo la acción de un incendio. La mantención se debe realizar tomando las precauciones del caso, de modo de permitir buena adhesión entre el revestimiento antiguo y el nuevo. En general esta pintura es difícil de retocar.

Las pinturas basadas en caucho clorado tienen las siguientes características:

- Se diluye en un solvente aromático, como el xilol.
- Secado depende de la evaporación de este solvente.
- Su temperatura de ablandamiento es cercana a los 100°C.
- Excelente resistencia a la abrasión
- Excelente resistencia al agua.
- Muy buena resistencia a los ácidos.
- Buena adhesión al acero.
- Excelente adhesión entre las capas debido a que cada vez que se aplica una nueva capa se plastifica la zona inmediatamente inferior a ella.

- Buena resistencia a los solventes alifáticos.
- Buena resistencia a la intemperie.
- Buena resistencia a la luz solar
- Buena resistencia al paso del tiempo.
- Envejecimiento ocurre por la degradación gradual del caucho clorado a causa de las radiaciones ultravioletas.
- Fácil de retocar.
- Su toxicidad es alta al momento de aplicar debido al solvente, sin embargo una vez seco presenta toxicidad baja.

3.4.- ESTRUCTURA DE UN SISTEMA PROTECTOR INTUMESCENTE.

En general el producto intumescente está compuesto por tres capas: un imprimante, una pintura intumescente y un revestimiento de terminación. Estas capas constan de lo siguiente:

- La estructura una vez limpia de grasas, polvo y materiales ajenos a la estructura, se aplica directamente el imprimante, el cual usualmente es un anticorrosivo.

Esta capa debe ser inhibidora de la corrosión y además debe ser compatible con los pigmentos intumescentes, ya que en caso de incendio esta capa entraría en reacción química con el calor y por lo tanto disminuirá la adherencia con la estructura, lo que llevará a un posible desprendimiento de la protección.

En el caso de cualquier otro imprimante, debe venir especificado por el fabricante para lograr compatible con la pintura intumescente. Además debe especificar el número de capas de pintura y las micras por capa que se debe aplicar y el tiempo de secado.

- Posteriormente se aplica la pintura intumescente, el cual es el encargado de la protección. Este material reacciona con el calor por hinchamiento hasta más de 50 veces su espesor original (dependiendo del fabricante), para producir una capa carbonosa la cual actúa como aislante para proteger el sustrato.

Por experimentaciones de los fabricantes, se estima que la pintura intumescente comienza a hincharse entre los 200°C y 300°C.

El número de micras que se debe colocar de éste producto, dependerá de la masividad del elemento a proteger y según el factor de resistencia del fuego (F) requerido.

- Finalmente se recomienda aplicar un revestimiento sellante o revestimiento de terminación, donde su principal objetivo es proteger la pintura intumescente de la degradación del medio ambiente, como son la radiación ultravioleta y el más importante es la humedad excesiva, entre otro.

Este revestimiento al igual que el utilizado en la primera capa debe ser compatible con la pintura intumescente, debe tener una buena adherencia, por lo que no debe presentar pigmentos intumescentes, pero sí puede tener pigmentos de color para dar un carácter decorativo.

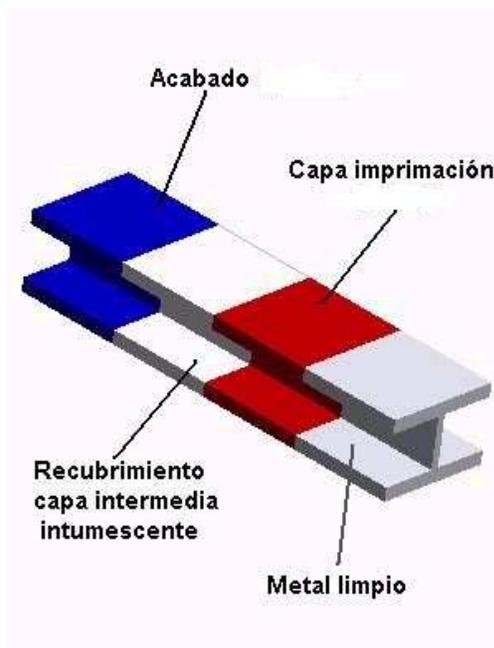


Figura 3.3: Explicación de estructuración de un sistema intumescente.

3.5.- DEFINICIÓN DE MASIVIDAD.

La masividad de un elemento se define como el cociente entre el perímetro del perfil expuesto al fuego y el área de la sección transversal del perfil.

Entonces cuando se expone un elemento de acero al calor, la temperatura que dicho elemento logre alcanzar, dependerá de la masa del elemento, es decir, de su superficie de transmisión del calor o superficie expuesta al fuego y de su capacidad térmica, directamente proporcional a la masa del elemento. Por lo tanto si un elemento posee una mayor superficie expuesta al calor, este aumentará su tasa de

transmisión de calor, en cambio si el elemento presenta una menor superficie expuesta al calor y mayor masa, éste tomará un mayor tiempo en llegar a altas temperaturas.

Masividad = Superficie expuesta / Masa del elemento

Superficie expuesta = Perímetro expuesto * Longitud del elemento.

Masa del elemento = Densidad del acero * Volumen del elemento.

Volumen del elemento = Sección transversal * Longitud del elemento.

Para fines prácticos la densidad del acero se considera como constante e igual a 7850 Kg/m^3 , sin importar el tipo de acero ocupado, por lo que se puede obviar este dato de la relación, con lo que, simplificando por la longitud del elemento, la masividad se puede escribir de una manera más sencilla:

$$M = P / A$$

M: Masividad del elemento considerado [m^{-1}]

P: Perímetro expuesto al fuego [m]

A: Sección transversal del elemento [m^2].

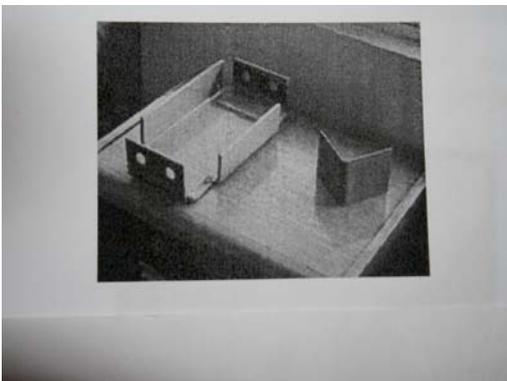


Figura 3.4: Distintas masividades para perfiles de acero.

En la figura 3.4 se observa claramente las diferencias de masividad. El perfil de la izquierda es de masividad menor que el perfil de la derecha. Se adjunta el anexo C con diferentes tipos de perfiles para construcción.

Para otras masividades, en rigor hay que solicitar un estudio al IDIEM o utilizar una tabla entregada por dicho instituto donde, para pasividades mayores, establece espesores mínimos de revestimiento intumescente.

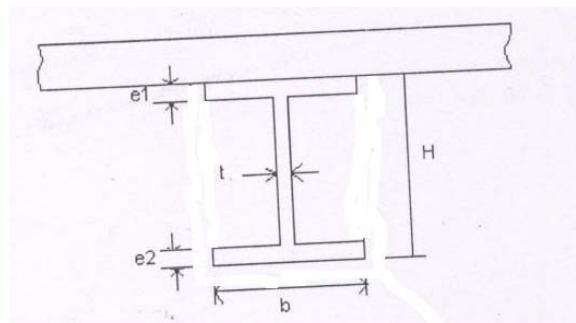
Para poder ver cual es el método para calcular masividad a continuación se presentan algunos ejemplos (ver anexo C cálculo de masividades para diversos perfiles ocupados en Chile):



Protección ocupando el contorno del perfil.

1. Perfil ocupado como viga: según norma ISO 834 (Artículo 6.1.2), las vigas deben ser expuestas al fuego por tres de sus caras (no en la cara superior de la viga).

Con ello el perímetro expuesto se calcula de la siguiente manera:



$$P = 2H + 3b - 2t$$

Donde:

H: Altura de la sección [m]

b: Ancho de ala [m]

t: Espesor de alma [m]

$$A = (b - t) * (e1 + e2) + Ht$$

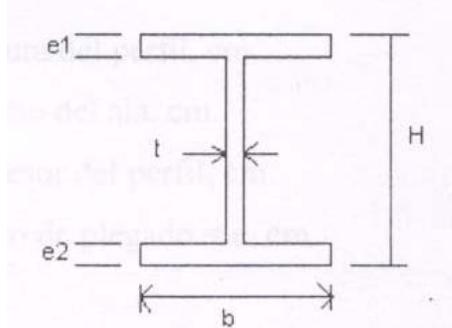
Por lo que su masividad sería:

$$M = (2H + 3b - 2t) / ((b - t) * (e1 + e2) + Ht)$$

Si las alas son de igual espesor ($e1 = e2$), se tiene:

$$M = (2H + 3b - 2t) / (2 * (b - t) * e1 + Ht)$$

2. Perfil ocupado como columna: según norma ISO 834 (Artículo 6.1.2), las columnas deben ser expuestas al fuego por sus cuatro lados. Con ello el perímetro expuesto se calcula de la siguiente forma:



$$P = 2H + 4b - 2t$$

Donde:

H: Altura de la sección [m]

b: Ancho de ala [m]

t: Espesor de alma [m]

$$A = (b - t) * (e1 + e2) + Ht$$

Por lo que su masividad sería:

$$M = (2H + 4b - 2t) / ((b - t) * (e1 + e2) + Ht)$$

Si las alas son de igual espesor ($e1 = e2$), se tiene:

$$M = (2H + 4b - 2t) / (2 * (b - t) * e1 + Ht)$$

Esta definición de masividad nos permite hacer comparables los distintos tipos de perfiles, y por lo tanto podemos comparar la resistencia al fuego y la protección que necesita cada uno. Por ejemplo si se tienen perfiles de distinta geometría, pero ambos con igual masividad, de inmediato se sabe que resistencia al fuego tienen y que tipo de protección es necesario para lograr una resistencia al fuego mayor.

El concepto masividad es fundamental, ya que de ésta forma se puede determinar el espesor necesario de pintura intumescente que se necesita ocupar, y de esta manera cumplir con la resistencia al fuego solicitada.

3.6.- REQUISITOS Y CÁLCULO DEL ESPESOR DEL REVESTIMIENTO.

Al igual que el resto de los sistemas de protecciones, para que el acero alcance una determinada resistencia al fuego es necesario suministrar un cierto espesor.

Una vez que los requerimientos de resistencia al fuego para el edificio sean conocidos, el espesor de la pintura puede ser determinado.

Los espesores de la pintura intumescente pueden ser obtenidos de los datos tabulados del fabricante para cada resistencia al fuego. La responsabilidad para especificar el espesor del revestimiento intumescente debe ser claramente identificada en la especificación del proyecto y puede ser indicada por el arquitecto, el ingeniero o el suministrador de los materiales.

En orden de establecer el correcto espesor requerido por la pintura intumescente para una específica resistencia al fuego la siguiente información debe estar disponible:

- Período de resistencia.
- Los planos deben indicar claramente los elementos que deben protegerse y la extensión de la protección.
- Sección, tamaño y peso de los elementos de acero.
- Naturaleza de cualquier protección del fuego parcial proporcionada por piso de concreto, murallas resistente al fuego, etc.

Con esta información será posible determinar el espesor del revestimiento o pintura intumescente obtenidos de las fichas técnicas del fabricante.

En general podemos decir que la resistencia al fuego de un elemento protegido, es directamente proporcional al espesor de la pintura intumescente e inversamente proporcional a la masividad. Por ello para poder diseñar un sistema protector intumescente son necesario dos parámetros, los cuales son: masividad del elemento y la resistencia al fuego que se desee alcanzar.

En caso que no venga especificado el espesor por el fabricante se puede obtener de la siguiente manera:

Resistencia al fuego = K (espesor de protección)^α / (masividad del elemento)^β

El óptimo para un sistema intumescente que el factor α sea lo más cercano a la unidad, de modo que al aumentar el espesor del elemento se logre aumentar efectivamente la resistencia al fuego. El factor β por su lado, depende intrínsecamente del material protegido, en este caso del acero, independiente del tipo de pintura intumescente aplicada e incluso para el acero sin proteger se obtiene el mismo valor.

Para el acero protegido con una pintura intumescente de tecnología nacional se tiene:

$$RF = 11,5 * e^{0,4476} / M^{0,4247}$$

Para el acero protegido con una pintura intumescente de tecnología importada tenemos:

$$RF = 43,5 * e^{0,3146} / M^{0,4650}$$

Cada fabricante de pintura intumescente debiera tener una tabla certificada por alguna institución oficial en la cual se pueda calcular el espesor de la protección dado los parámetros anteriormente señalados.

Como ejemplo se presenta la metodología de cálculo para una pintura extranjera, valida por The Underwriters Laboratorios of Canada. En la ficha de resistencia al fuego del producto se encuentra el siguiente modelo:

$$RF = (e/1000) * (2370/M + 29,49) \quad \text{para } 45 \leq M \leq 82$$

$$RF = (e/1000) * (4552/M + 7,66) \quad \text{para } 82 \leq M \leq 322$$

Ver Anexo A, parte 2 con ejemplo explicativo del cálculo de espesor.

3.7.- APLICACIÓN DE LA PINTURA INTUMESCENTE.

En nuestro país cada vez con más frecuencia se ha empezado a utilizar el producto intumescente sobre estructuras de acero. Si bien es una buena solución para proteger el acero del fuego, tiene el inconveniente de no ser muy conocida en Chile por lo que trae como consecuencia a que se utilice erróneamente. En este subcapítulo se da a conocer cual es la manera en que se debe aplicar un producto intumescente.

Debido a que las pinturas intumescentes son revestimientos técnicos, requieren de un cuidado especial en su aplicación. La responsabilidad para todas las aplicaciones que envuelven el uso de pinturas intumescentes, incluyendo diseño, especificaciones, documentación, aplicación y reparaciones, serán claramente establecidos entre especificadores, suministradores, contratistas y sub-contratistas.

3.7.1.- Preparación para la aplicación.

Es conveniente comprobar con el fabricante o el suministrador que las cantidades suficientes de los materiales especificados estén o estarán disponibles para cumplir con los programas de construcción. Además el responsable de la aplicación debe asegurarse que los materiales a utilizar se encuentren en buen estado operacional. Los materiales tomados de las bodegas de almacenamiento deben tener la temperatura recomendada antes de ser aplicados.

Por otro lado al momento de aplicar los productos, es recomendable que el aplicador tenga en su poder las hojas de seguridad de todos los productos y así evitar algún problema de salud o algún tipo de accidente mayor.

Adicionalmente se debe tener en consideración las condiciones del medio ambiente, la cual debe ser previa a la iniciación del trabajo. Como es sabido este tipo de protección es sensible a las condiciones medio ambientales, especialmente a la humedad y a la temperatura. En consecuencia, las condiciones medio ambientales que se deben tener para poder aplicar el producto intumescente son:

- La temperatura del medio ambiente no puede ser inferior a los 10°C o superiores a los 40°C. En caso de aplicar sobre los 40°C de temperatura, la pintura se comienza a evaporar de manera acelerada, lo cual significa que la composición química varíe.
- La humedad relativa del ambiente no puede ser superior al 75% durante la aplicación y el secado de la estructura. Si es aplicado con humedades relativas superiores a la señalada se estará incorporando agua al sistema protector a través del aire, lo que hace cambiar el comportamiento del sistema protector presentando por lo general problemas de adherencia.

- Para aplicar el producto existe un óptimo de aplicación, para esto se requiere que la temperatura ambiente sea de 20% y la humedad relativa esté entre los 40 y 60%. Con estos datos se ha comprobado empíricamente que bajo estas condiciones el producto intumescente funciona de manera óptima.
- Otro factor es el medio ambiental que debe ser controlado, son las sustancias en suspensión, estas pueden causar pérdidas de adherencia del sistema por lo tanto si existe mucho polvo en suspensión en el ambiente se deben limpiar las estructuras previo a cualquier aplicación.

En caso de que el recinto donde se esté aplicando el producto intumescente no cumpla con las condiciones anteriormente exigidas se pueden tomar las siguientes medidas:

- En caso de tener temperaturas menores a 10°C se puede controlar la temperatura con estufas. Pero se debe tener especial cuidado ya que algunas hacen variar la humedad, por lo que se recomienda utilizar estufas eléctricas o gas natural.
- Si la humedad es superior a los 75% se puede utilizar deshumificadores industriales los cuales hacen bajar la humedad del recinto.

Las especificaciones anteriores se deben cumplir para todas las capas de protección (imprimante, pintura intumescente, pintura de terminación).

3.7.2.- Preparación de superficie del acero.

La superficie del acero a proteger debe estar limpia y libre de polvo, grasas, aceites y cualquier otro tipo de impureza superficial. Además se deberá reparar los defectos de la construcción que exista como por ejemplo: cantos vivos, grietas, exfoliaciones, etc. El acero deberá quedar con una riguridad entre 50 y 75 micrones y no debiera exceder los 100 micrones y de ésta manera asegurar una óptima adherencia entre la pintura y el revestimiento.

Como método de limpieza del sustrato se recomienda la limpieza por arenado a metal blanco, que consiste en proyectar los granos del material abrasivo por medio

de aire comprimido hacia la superficie del material, erosionando al metal. Como material abrasivo puede ocuparse arena silíceo fina con granulometría de 0,6 a 0,2 mm ó abrasivo metálico (granalla de acero) con granulometría entre 0,3 a 0,2 mm.

Luego del arenado se debe aplicar lo antes posible el imprimante, de modo de evitar la oxidación de la superficie tratada. El tiempo máximo que puede transcurrir entre el arenado y la aplicación del imprimante es de 4 horas y en caso de no ser cubierta en las primeras cuatro horas se deberá realizar todo el procedimiento de nuevo, ya que el acero una vez transcurrido ese tiempo ya pierde sus condiciones de limpieza y comienza su período de oxidación.



Figura 3.5: Estructura de acero limpia de impurezas.

3.7.3.- Aplicación del imprimante (primera capa).

Como se señaló anteriormente, debe ser aplicado a la brevedad después de la preparación de la superficie siguiendo las instrucciones de la ficha técnica del producto.

El imprimante es una parte importante porque de éste dependerá en buena medida la adherencia del sistema protector. Por lo tanto antes de aplicar la pintura intumescente, las siguientes consideraciones deben tomarse en cuenta:

- El imprimante debería estar dentro de su período de repintado.
- La superficie del imprimante debería estar limpia, seca y libre de contaminación.
- Finalmente, y lo más importante, es que el imprimante debe ser 100% compatible con la pintura intumescente, ya que de lo contrario podría traer consecuencias al producto intumescente lo que llevaría a un comportamiento no deseado.

- El imprimante no puede contener pigmentos intumescentes, de lo contrario esta capa estaría en acción con el calor hinchándose y provocando un desprendimiento del sistema protector.

Al igual que todas las capas del sistema protector requiere de ciertas condiciones para poder ser aplicada y en caso de no cumplir con las condiciones exigidas se tendrá una serie de inconveniente que provocará problemas de adherencia, dichas condiciones son:

- La temperatura del acero no puede ser igual o menor a los 3°C, ya que ese es el punto de rocío. Si el acero se encuentra a esa temperatura, se estaría pintando sobre partículas de agua lo que para un imprimante en base solvente es prohibitivo.
- Las condiciones ideales para aplicar este tipo de producto son con una temperatura de 20°C y una humedad relativa que puede variar entre los 40 y 60%. Estos rangos también pueden venir dados por el fabricante ya que no todos los imprimante son iguales. Pero de igual manera debe venir certificado por un laboratorio competente.
- El imprimante debería estar intacto y libre de daños mecánicos y degradación. Si cualquiera de las consideraciones mencionadas está en duda, se debe conectar al fabricante de la pintura intumescente para su evaluación.

Las recomendaciones que se hacen para aplicar este tipo de producto son:

- El tiempo de secado del imprimante es de 24 horas aproximadamente entre cada mano si es que las condiciones de aplicación son las ideales (20°C y 40% a 60% de humedad relativa). Puede aplicarse dos capas, dependiendo de las recomendaciones del fabricante.
- No es recomendable utilizar la pintura imprimante diluida, pues en presencia de un incendio se produce un desprendimiento del sistema protector por falla de adherencia al producirse gases en el imprimante.

- Al secar la última capa de imprimante se debe medir el espesor de la película por medio de un micrómetro magnético. Se recomienda que esta capa tenga en promedio 50 micras (0,05mm) de imprimante para poder lograr una buena adherencia entre el producto intumescente y la estructura a proteger.



Figura 3.6: Medición del espesor de la capa de imprimante

- El modo de aplicación del imprimante puede ser con brocha, rodillos o pistola. En caso de utilizar brocha y rodillo se recomiendan capas de no más de 30 micras. Pero para pistola se recomienda utilizar una presión de 4000psi y 3 galones por minuto. Una de las ventajas de utilizar pistola es que el producto es aplicado de manera más homogénea que las otras soluciones y por lo tanto se logran espesores más parejos.



Figura 3.7: Aplicación del imprimante en construcción de Serviteca de la ciudad de Los Ángeles.

3.7.4.- Aplicación de la pintura intumescente (capa intermedia).

La aplicación de la capa intermedia de pintura intumescente debe ser llevada a cabo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante en la ficha técnica y los métodos establecidos.

Se recomienda que la pintura intumescente se aplique en ambientes ventilados y con temperaturas entre 10°C y 40°C y al menos 3°C sobre el punto de rocío. A temperaturas mayores a los 40°C la evaporación se acelera provocando algunos cambios químicos en el producto lo cual provoca un cambio de comportamiento y finalmente este no funciona adecuadamente.

La humedad relativa del ambiente no puede ser mayor a 75% ya que a humedades mayores el producto comienza a adquirir agua desde el ambiente, provocando un comportamiento menos efectivo.

Una de las desventajas que posee este producto es que no está diseñada para trabajar a la intemperie a menos que el fabricante diga lo contrario y esto esté certificado por algún laboratorio certificador, por lo tanto la aplicación se debe efectuar en estructuras que se encuentren bajo techo o protegidas de alguna otra forma, en las cuales se esté controlando las condiciones ambientales.



Figura 3.8: Pintura intumescente utilizada a la intemperie. Polideportivo Estadio Español Santiago.

Si es que las condiciones ambientales se cumplen, la pintura intumescente se aplica de la siguiente manera:

- La aplicación se puede hacer con brocha, rodillo o pistola.
- Si se ocupara brocha o rodillo se puede pintar en capas de no más allá de 250 micrones (0,25mm.). Sí se aplican capas superiores a los 250 micrones al estar

pintando con brocha o rodillo se incorpora aire con facilidad provocando pérdida de resistencia del sistema protector.

- En caso de ocupar pistolas es recomendable utilizar máquina que tenga compresor de 3000psi de presión y 4,7 litros/mín. Para este caso el espesor máximo por capa es de 1450 micras. Estos valores son variables dependiendo del fabricante, pero siempre debe venir certificado por el laboratorio competente.
- Se debe revolver el contenido del envase hasta lograr una homogeneidad eliminando totalmente los grumos e incorporar todos los sedimentos (al menos 5 minutos), es recomendable no batir el envase de modo de evitar la incorporación de aire a la pintura.
- Antes de aplicar el revestimiento se debe tener en consideración dos cosas: primero que la superficie esté totalmente imprimada con el anticorrosivo adecuado y haber calculado el espesor necesario por capa y según ello determinar la cantidad de solvente que se debe agregar a la pintura, en caso que lo requiera (las emulsiones acuosas por lo general no necesita solventes). Además en dicho cálculo se debe tomar en cuenta los espesores mínimos y máximos recomendados por el fabricante, de modo de permitir que la capa de pintura presente un porcentaje suficiente de pigmentos intumescentes. Para las pinturas ensayadas dichos espesores varían entre las 150 y 400 micras.



Figura 3.9: Estructura imprimada y con pintura intumescente.

- El tiempo de secado entre capas a 20°C varía entre 24 y 48 horas, pero puede rebajarse hasta 5 horas para revestimientos basados en emulsiones.
- Al finalizar el ciclo de capas de pintura intumescente y transcurrida el período necesario para el secado de la última capa se debe proceder a medir el espesor

de la película seca con un micrómetro, a fin de comprobar si se ha alcanzado el espesor requerido. Sólo se mide el espesor de la pintura intumescente, por lo que se le deberá restar el espesor de la capa imprimante y obtener el dato que se requiere.



Figura 3.10: Medición del espesor de la capa Intumescente



Figura 3.11: Estructura metálica protegida con pintura intumescente.



Figura 3.12: Estructura metálica protegida con intumescente.

- Otro factor importante es la condición de almacenamiento de este tipo de estructura, para lo cual es recomendable que sean almacenados en lugares secos y ventilado con temperaturas entre 5°C y 35°C, además los envases no se pueden exponer a los rayos del sol por mucho tiempo, ya que en ese caso se produciría un exceso de evaporación del producto.

Las recomendaciones descritas anteriormente son generales lo cual no quiere decir que todas las empresas actúen en los mismos rangos. Puede que algunas

estén fuera de estos rangos, pero no hay que olvidar que todas estas protecciones vienen certificadas por un laboratorio competente.

3.7.5.- Aplicación de la capa de terminación (sellador) o topping.

Como ya se ha dicho anteriormente, las pinturas intumescentes no poseen gran cantidad de pigmentos encargados de controlar los ataques del medio ambiente. Es por esta razón que se debe aplicar una pintura de terminación o topping al sistema de protección. De esta manera queda sellado y protegido de los agentes del medio ambiente, tales como la humedad, temperatura, rayos solares.

Es aplicada de acuerdo a las especificaciones del fabricante, además de ser compatible con el sistema intumescente. No es recomendable que sean pinturas epóxicas, esmaltes sintéticos, oleos, poliuretanos, pasta muro, ni otros de similares durezas, ya que cuando estos productos estén totalmente curados o secos su rigidez impedirá o retardaría el efecto de la intumescencia.

Para poder aplicar la pintura de terminación es necesario que haya transcurrido un mínimo de 24 horas entre la última mano de intumescente y la primera de terminación.

Esta pintura de terminación puede ser aplicada con brocha, rodillo y pistola sin aire. Esta capa no puede ser aplicada en capas de más de 100 micrones.



Figura 3.13: Estructura metálica con pintura de terminación.



Figura 3.14: Terminal de pasajeros Aeropuerto Arturo Merino Benítez.

IMPORTANTE:

Muchas veces se ha dado el caso que en su aplicación hayan sido adulteradas, debido a que generalmente en los intumescentes al agua se les agrega cargas de tizas, talco, pasta muro, los cuales no producen rechazos físicos. Este fin se hace para lograr un mejor rendimiento y por ende un mejor precio de oferta para el mandante. La manera para determinar si el producto fue adulterado o no, es por medio de un análisis químico de laboratorio, para el cual se deberá tomar muestras aleatorias en obra o aplicando fuego directo mediante un soplete sobre los elementos pintados y así determinar su reacción. Es por este motivo se hacen imperiosamente necesario estos dos requerimientos: que la protección sea aplicada por una persona con experiencia y conocimiento y que sea certificado cada envase por alguno de los dos laboratorios autorizados en Chile, los cuales son: IDIEM (Instituto de investigación y ensayos de materiales) y DICTUC.

3.8.- EQUIPOS PARA LA APLICACIÓN DE LA PINTURA.**5.8.1.- Equipos Airless (sin aire).**

Es el sistema en que la pintura se pulveriza por alta presión pero sin aire; el principio de funcionamiento es por compresión de la pintura, que se logra con bombas de pintura airless a pistón o a membrana. A la salida de la pistola, posee un orificio de salida muy pequeño con lo que al pasar la pintura sale pulverizada (por descompresión). Esta pulverización sin aire se logra con la utilización de una bomba de alta presión, para producir un abanico de pintura pura de finas gotas, prácticamente sin presentarse rebote o nube de pintura. La ausencia de aire en la pulverización permite aplicar un gran caudal de pintura que da como resultado una muy alta velocidad de trabajo.

Un equipo del sistema airless consta de tres elementos:

- La bomba de pintura, la cual se presenta en dos versiones estas son: bomba de membrana, la cual consiste en una bomba de membrana que comprime la pintura, accionándose eléctricamente; y la bomba de pistón, la cual consiste en la

compresión de pintura por medio de un pistón entregándola a presión en ambas carreras (subida y bajada), ya que son bombas con doble efecto y es accionada en forma neumática o eléctrica.

- La manguera de alta presión de pintura son las mismas que todos los sistemas.
- La pistola a su vez tienen tres versiones, cada una de las cuales son combinaciones con las bombas airless, formando distintos sistemas: pistola airless, pistola aircoat (airless + aire), pistola eléctrica.

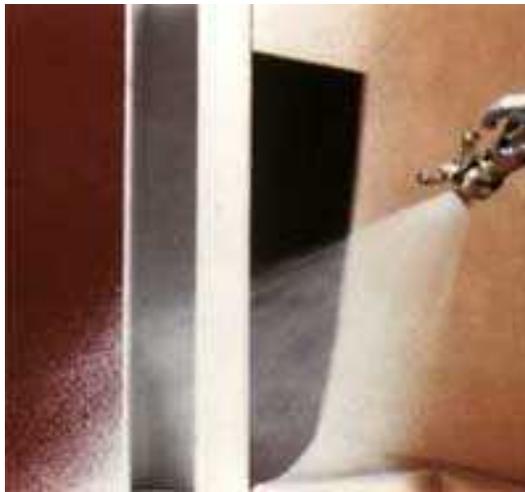


Figura 3.15: Equipo Airless

3.8.2.- Equipo Convencional (atomización con aire).

El primer componente en este sistema es la pistola de atomización y es donde se mezclan el aire y el mineral. Está diseñada de tal manera que el flujo puede ser dirigido fácilmente hacia la superficie a recubrir. En la mayoría de las pistolas de atomización existen dos dispositivos de ajuste, uno que regula la cantidad de fluido y otro que controla la cantidad de aire y que a su vez determina el tamaño del abanico.

En las pistolas de mezcla externa (son las más usuales), la corriente de aire entra en contacto con el mineral fuera de la pistola, a través de una boquilla específicamente diseñada. El número, posición y tamaño de los orificios en la boquilla determina la manera en que saldrá el aire.

El material sale de la pistola a través de un pequeño orificio en la tobera, cuenta también con una aguja que al ser operada controla el flujo de material a través de la misma. Así como las boquillas, las toberas son fabricadas en diferentes tamaños para los diferentes tipos de materiales, siendo el factor de diferencia el

diámetro del orificio. Muchos de los recubrimientos requieren de diferentes tipos de boquillas y toberas para que sean atomizadas adecuadamente, por esto hay que seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a la pistola de atomización, boquilla y tobera para la aplicación de un material específico. En general, los recubrimientos vinílicos, epóxicos y hules clorados, pueden atomizarse con una pistola estándar de tipo industrial.

La alimentación del material a la pistola puede ser por tres métodos: gravedad, succión y presión.

3.8.2.1.- Por gravedad.

En este tipo de alimentación el vaso de pintura va montado en la parte alta de la pistola; se utiliza para pinturas de baja o media viscosidad, en un proceso que se realicen frecuentes cambios de pintura.

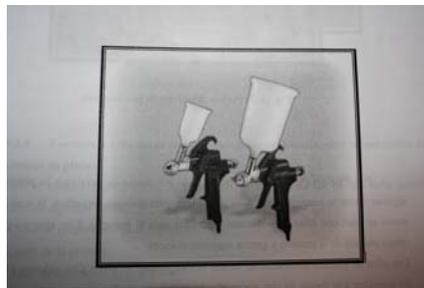


Figura 3.16: Pistola alimentada por gravedad.

3.8.2.2.- Por succión.

La pistola se encuentra unida a un recipiente o vaso de aproximadamente un litro de capacidad, este va montado bajo la pistola, cuando se acciona el gatillo se desarrolla una fuerza de succión en la tobera de la pistola, haciendo que el material fluya del vaso hacia la boquilla donde es atomizado. Presentándose en este tipo de equipo algunas limitaciones como el no atomizar materiales viscosos, presentan un avance lento. Necesita de constantes recargas al vaso.

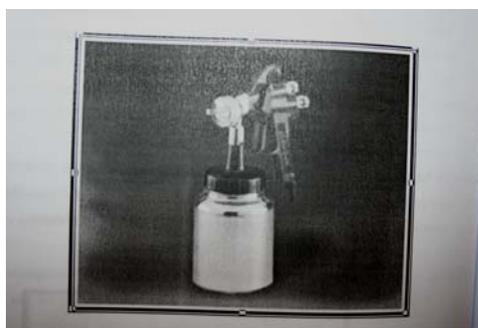


Figura 5.17: Pistola alimentada por succión.

3.8.2.3.- Por presión.

El fluido es alimentado por medio de presión a la pistola. Aunque algunas veces se ensambla con vaso de un litro para trabajos pequeños, la mayoría de las veces se usan ollas o recipientes separados para el material. Este sistema permite un mejor control de la presión y genera mayores avances.

Las ollas de presión generalmente tienen una capacidad de dos a diez galones (7 a 38 lts.). Se conectan a la fuente de aire por medio de manguera, preferentemente de una pulgada de diámetro interior. Una manguera para el material conecta la olla a la pistola. El aire se alimenta a la pistola. Parte de este aire se pasa a las mangueras que unen a la pistola. Es muy importante que se usen los tamaños correctos de manguera para el material y el aire.

Para la obtención de mejores resultados, la pistola deberá equiparse con mangueras para el aire de 5/16". Los diámetros menores en la manguera de aire deberán evitarse, ya que causan excesivas pérdidas de presión. Este sistema permite atomizar materiales de alta viscosidad, aplicar capas gruesas y mantener un avance mucho más rápido.



Figura 3.18: Pistola alimentada por presión.

3.8.3.- Brocha y rodillo.

Aplicar en capa gruesa directamente sobre la superficie limpia y seca, repasando cantos, borde, aristas y cordones de soldadura. No repasar en exceso, para mantener un buen espesor de película. Los espesores máximos alcanzados por estos métodos son 4 mils. (100 micras) de película seca por mano, sin dilución del producto.

3.9.- CONTROL DE ESPESOR DE LA PINTURA INTUMESCENTE.

3.9.1.- Control de los espesores húmedos.

Las medidas de los espesores húmedos deben ser controladas durante la aplicación, usando un medidor de espesor húmedo. Estas medidas proporcionan una guía para que el aplicador asegure que el espesor requerido sea alcanzado. Las medidas del espesor húmedo indican la medición de una capa individual. Se debe tener cuidado cuando se apliquen las capas siguientes porque las lecturas pueden ser erráticas debido que el medidor de espesor húmedo se hunde en la capa precedente reblandecida.

3.9.2.- Control de los espesores secos.

El espesor seco alcanzado incluyendo la capa de imprimante debería estar de acuerdo con lo requerido por la especificación. Un instrumento adecuado debe ser usado para las mediciones. Tal instrumento debe tener un rango apropiado al espesor seco solicitado y todas las lecturas deberían ser registradas. El instrumento debería ser calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante.



Figura 3.19: Medidor de espesor de imprimante y pintura intumescente.

Las medidas de los espesores secos deberían ser tomadas cuando la capa intermedia de la pintura intumescente esté suficientemente dura para prevenir que el probador se hunda en la pintura y previo a la aplicación de sello.

Las mediciones deberían ser tomadas en cada sección del acero como sigue:
Sección T, canales, ángulos, alas interiores y exterior: una lectura por metro de largo sobre la cara.

Alma: una lectura por metro de largo sobre cada cara.

Tubos: cuatro lecturas por metro de largo distribuidas alrededor de la sección.

Ninguna lectura ubicada a 25 mm de los bordes o cantos debe ser considerada. El espesor seco debería ser registrado, la estructura identificada, junto con el detalle del número de lecturas, el máximo, el mínimo y el promedio del espesor.

Estas lecturas forman parte de los registros de control de calidad.

3.9.3.- Criterios de aceptación del espesor de película seca.

La aceptación del criterio debería ser como sigue:

- El promedio del espesor debería ser igual o mayor al espesor especificado.
- Donde el espesor de una lectura es encontrado que sea menor que el 80% del espesor especificado, tres lecturas más deberían ser tomadas dentro de un radio de 300mm de la menor lectura. Si una o más de las lecturas adicionales son menores que el 80% del espesor especificado, mayor número de lecturas deberían ser tomadas para establecer la extensión del área de bajo espesor y el total del área debería ser llevada al espesor especificado.
- Lecturas individuales de espesores menores del 50% del espesor especificado no son aceptables.

3.9.4.- Procedimiento de corrección.

Donde el espesor sea menor a lo requerido por la especificación, se deberán aplicar las capas necesarias de pintura intumescente para alcanzar los espesores de la especificación.

Como se ha establecido, el espesor seco debería ser medido previo a la aplicación de la capa de sello o topping.

3.9.5.- Daño a las capas existentes.

En caso de daño mecánico a la pintura intumescente, eliminar toda la pintura suelta alrededor del área dañada. Si el daño llega a la base del metal eliminar toda presencia de óxido mediante lijado o herramienta motriz y aplicar un primer compatible, posteriormente recuperar el espesor de la capa de pintura intumescente hasta los espesores especificados.

Si solo la pintura intumescente ha sido dañada, aplicar capas de pintura intumescente hasta recuperar los espesores especificados. Si solo la capa de sello ha sido dañada, aplicar una capa de sello al área localizada o sobre espesores especificados.

Si en la eventualidad que mayores reparaciones sean requeridas (debido a un ataque químico o con agua) contactar al fabricante de la pintura intumescente para un consejo técnico.

3.9.6.- Inspección.

Es esencial que durante la aplicación el contratista retenga todos los registros de los controles de calidad. Estos registros deberían cubrir todos los pasos de la aplicación del sistema de la pintura intumescente.

Los registros deberían incluir los siguientes detalles:

- Referencia de materiales recibidos, lote, número de fórmula, cantidades.
- Controles diarios de las condiciones ambientales.
- Método de la preparación de superficie del acero.
- Existencia de imprimante, identificación y mediciones de espesores.
- Espesor seco de la capa de pintura intumescente.
- Espesor seco de la capa de terminación o topping.

Si los registros de los controles de la calidad, la inspección del trabajo terminado, llegan a ser más compleja los problemas asociados con la aplicación son más difíciles de resolver.

3.10.- RECEPCIÓN.

Verificación de especificaciones del fabricante debiendo presentarse el promedio del espesor igual o mayor al espesor especificado.

Para la recepción final de los trabajos de instalación, deberá solicitarse al proveedor emitir el correspondiente certificado de cumplimiento con las resistencias al fuego solicitadas a la pintura.

3.11.- VIDA ÚTIL.

En el Listado Oficial de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción N° 309, editado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el 2001 señala textualmente:

“Las pinturas intumescentes tienen una durabilidad muy inferior a la vida útil del elemento estructural al que protege, por lo tanto es necesario revisarlas anualmente y darles mantención con los mismos requisitos y calidad de la pintura especificada inicialmente en la obra; considerándose el espesor en condiciones de pintura seca”.

La vida para el primer mantenimiento de una pintura intumescente depende del medio ambiente al cual la pintura estará expuesta y a las propiedades del sistema seleccionado. En la mayoría de los casos la aplicación en el interior de un edificio y en condiciones secas requerirá muy poco o nada de mantenimiento durante la vida útil del edificio. Donde el mantenimiento es requerido es a menudo para preservar la apariencia estética demandada por especificaciones arquitectónicas y por lo tanto cae dentro de los ciclos de redecoración normal. Para severas condiciones ambientales requerirá un programa específico de mantenimiento.

3.12.- UTILIZACIÓN DE PINTURA INTUMESCENTE EN OTROS MATERIALES.

Como ya se ha señalado la pintura intumescente es aplicada sobre estructuras de acero previamente limpias de grasas y aplicado un imprimante; pero surge la duda con respecto a si la pintura intumescente se puede aplicar sobre otros materiales o sobre cualquier elemento de acero, la respuesta es clara, sólo es

aplicable sobre elementos estructurales de acero que poseen dimensiones mínimas y además puede ser aplicado sobre un perfil estructural de acero que tenga un tratamiento de galvanizado, aunque este último tiene algunas contradicciones, ya que como el acero galvanizado empieza a perder su resistencia a los 450°C aproximadamente, comienza a desprenderse el zinc antes de que la pintura intumescente se carbonice por lo que se desprendería en conjunto con el zinc. La ventaja que posee la pintura intumescente sobre el acero galvanizado es la vida útil, ya que es más durable que en elementos estructurales de acero. Sí bien es cierto muchas fábricas creen que es una pérdida de dinero aplicar intumescente sobre galvanizado, tienen que ser igualmente certificadas bajo la normas chilena.



Figura 3.20: Acero galvanizado.



Figura 3.21: Estructura de acero galvanizado sin pintar.

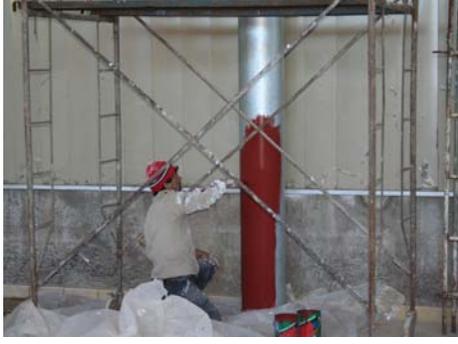


Figura 3.22: Acero galvanizado pintado con imprimante.



Figura 3.23: Midiendo espesor de imprimante en acero galvanizado.



Figura 3.24: Estructura galvanizada pintada con pintura intumescente.

Sí se aplicara sobre cualquier otro elemento, como por ejemplo hojalatería, placas de yeso cartón, fibrocemento, hormigón, cables eléctricos u otros, su aplicación no es eficiente, ya que de acuerdo a ensayos realizados la pintura intumescente aplicada sobre estos materiales no ofrecen resistencia al fuego. En el caso de las maderas la pintura intumescente cumple su objetivo solamente en forma parcial, por cuanto la madera tiende a emitir vapores a partir de los 200°C y el efecto intumescente comienza recién a los 200°C o más, en consecuencia es probable que la capa se englobe y desprenda antes que se produzca la espumación de la pintura.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE REGLAMENTACIÓN VIGENTE Y ORGANISMOS CERTIFICADORES.

4.1.- ANTECEDENTES.

Existe actualmente en Chile disposiciones generales de construcción, respecto al tema “protección contra incendio”, las cuales serán descritas en el presente capítulo como lo son: la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, Norma Chilena NCh 935/1 Of97 y el Listado Oficial de Comportamiento al fuego.

Además se realizará una crítica a la normativa vigente ya que presenta un vacío legal en lo que es control de este tipo de productos, ya que la norma solo exige un ensayo de resistencia al fuego. Para lo anterior se da una posible solución para poder tener una norma que si sea especializada en este tipo de protección.

Con respecto a los organismos certificadores de la pintura intumescente, en Chile existen actualmente dos, IDIEM y DICTUC, los cuales son los encargados de ensayar el producto de acuerdo a la NCh 935/1 Of97.

4.2.- ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCION.

La preocupación en Chile por la protección pasiva contra el fuego en edificios, nace en 1975 a partir del incendio del edificio Joelma de Sao Paulo, Brasil, de treinta pisos, donde murieron 185 personas.



Figura 4.1: Edificio Joelma de Sao Paulo.

A partir del incendio de la Torre Santa María en marzo de 1981 en Chile, se agrega un capítulo en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción denominado: “De las condiciones de seguridad contra incendios”. Con la entrada en vigencia de esta nueva normativa de resistencia al fuego, las empresas e industrias, principalmente, han desarrollado nuevos productos y soluciones constructivas para cumplir con dichas exigencias.



Figura 4.2: Edificio Torre Santa María.

El objetivo principal de las disposiciones de este documento es que el diseño de los edificios asegure que se cumplan las siguientes condiciones:

- Que se facilite el salvamiento de los ocupantes de los edificios en caso de incendio.
- Que se reduzca al mínimo, en cada edificio, el riesgo de incendio.
- Que se evite la propagación del fuego, tanto al resto del edificio como desde un edificio a otro.
- Que se facilite la extinción de los incendios.

4.2.1.- Normas Chilenas de comportamiento al fuego

D.S. 47 (MINVU) de 1992: Artículo 4.3.2.

Establece las Normas Chilenas de comportamiento al fuego. Dentro de las cuales se encuentra la Norma de Ensayo NCh 935/1. Ensayo de resistencia al fuego. Parte 1: Elementos de construcción general.

4.2.2.- Resistencia al fuego de los elementos de construcción.

D.S. 47 (MINVU) de 1992: Artículo 4.3.3.

Todos los edificios deberán proyectarse y construirse conforme a alguno de los cuatro tipos que se señalan en la siguiente tabla y los elementos que se utilicen en su construcción deberán cumplir con la resistencia al fuego que en dicha tabla se indica.

Si a un elemento le correspondiera dos o más resistencias al fuego, por cumplir diversas funciones a la vez, deberá siempre satisfacer la mayor de las exigencias.

Para determinar la resistencia al fuego de los elementos a que se refiere el presente artículo, como asimismo, cuando cualquier otro precepto de esta Ordenanza exija que se asegure una determinada resistencia al fuego.

Tabla 4.1: Resistencia al fuego requerida para los elementos de construcción de edificios.

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN.									
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

SIMBOLOGÍA:

Elementos verticales:

- (1) Muros corta fuego.
- (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera.
- (3) Muros de 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) Elementos soportantes horizontales.

(8) Techumbre incluido cielo falso.

4.2.3.- Clasificación de las construcciones para la aplicación de la tabla de resistencia al fuego.

D.S. 47 (MINVU) de 1992. Artículo 4.3.4.

Establece la clasificación de las construcciones para la aplicación de la tabla de resistencia al fuego y explica el cálculo de superficie para la aplicación de dicha tabla.

La forma de clasificar a un elemento constructivo dentro de alguno de estos cuatro tipos, se encuentra en el anexo B de esta memoria.

4.3.- LISTADO OFICIAL DE COMPORTAMIENTO AL FUEGO (Decreto exento N° 447 de Febrero de 1993).

No obstante lo dispuesto en el artículo 4.3.2., de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, habrá un Listado Oficial de Comportamiento al fuego, confeccionado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el cual se registrarán, mediante valores representativos, las cualidades frente a la acción del fuego de los materiales, elementos y componentes utilizados en la construcción.

Las características de comportamiento al fuego de los materiales, elementos y componentes utilizados en la construcción, exigidas expresamente en la Ordenanza, que no se encuentren incluidas en el Listado Oficial, deberán acreditarse mediante el certificado de ensaye correspondiente emitido mediante por alguna institución oficial de control técnico de calidad de los materiales y elementos industriales para la construcción.

4.3.1.- SUBTITULO I (Resolución N° 447 D.E. de 1993, página 22).

Materiales de protección a estructuras verticales.

La efectividad de estos productos estriba en la masividad, relación entre la sección del elemento protegido y la superficie expuesta con riesgo al fuego, y en proteger al material base de la estructura de modo que no alcance a llegar a su

temperatura crítica - en acero la temperatura media es de 500°C y la máxima en cualquier punto es de 650°C.

La protección con pinturas intumescentes no se debe aplicar en las estructuras diseñadas para resistir al fuego con características más altas que F-90.

Las determinaciones de comportamiento al fuego en los casos de ensayos con pinturas, son puntuales para esas masividades. No son válidas las extrapolaciones. Para extrapolar son válidas las tablas de curvas de ensayos presentadas más adelante.

A continuación se darán a conocer algunos de los elementos incluidos en este listado.

4.3.2.- Resistencia de pilar protegido con pintura F – 15.

- Nº 1 Elemento protegido: Intumescente Creizet 15

Descripción: pilar en base de perfil de acero 100 x 100 x 5mm y de 2.10m de alto: su masividad es de 209 m⁻¹. Este pilar va protegido por todo su perímetro con un recubrimiento intumescente a base solvente con un espesor de 256 micras (milésimos de milímetro). Este recubrimiento no debe dejar, sin pintar, ninguna parte de sus caras, rincones o aristas.

Institución: PINTURAS CREIZET S.A.

Certificado de ensaye IDIEM: Nº 240.227 según NCh 935/1 Of.97.

Vigencia hasta: 31-12-2006

4.3.3.- Resistencia de pilar protegido con pintura F – 30.

- Nº 1 Elemento protegido: Intumescente Creizet 30

Descripción: pilar en base de perfil de acero 100 x 100 x 5mm y de 2.10m de alto: su masividad es de 209 m⁻¹. Este pilar va protegido por todo su perímetro con un recubrimiento intumescente a base solvente con un espesor de 444 micras (milésimos de milímetro). Este recubrimiento no debe dejar, sin pintar, ninguna parte de sus caras, rincones o aristas.

Institución: PINTURAS CREIZET S.A.

Certificado de ensaye IDIEM: Nº 240.227 según NCh 935/1 Of.97.

Vigencia hasta: 31-12-2006

- Nº 2 Elemento protegido: Pintura Intumescente L04280t9100/30

Descripción: pilar en base de perfil de acero 100 x 100 x 5mm y de 2.05m de alto: su masividad es de 209 m⁻¹. Este pilar va protegido por todo su perímetro con un recubrimiento intumescente denominado Pintura Intumescente L04280t9100/30, con un espesor medio de 729 micras (milésimos de milímetro). Este recubrimiento no debe dejar, sin pintar, ninguna parte de sus caras, rincones o aristas.

Institución: SHERWIN WILLIAMS CHILE S.A.

Certificado de ensaye IDIEM: Nº 238.147 según NCh 935/1 Of.97.

Vigencia hasta: 31-12-2006

- Nº 3 Elemento protegido: Intumescente "X – 200 / 30".

Descripción: pilar en base de perfil de acero 200 x 200 x 5mm y de 2.10m de alto: su masividad es de 204 m⁻¹. Este pilar va protegido por todo su perímetro con un recubrimiento intumescente denominado Intumescente x - 200, con un espesor promedio de 594 micras (milésimos de milímetro). Este recubrimiento no debe dejar, sin pintar, ninguna parte de sus caras, rincones o aristas.

Institución: INDUSTRIAS CERESITA S.A.

Certificado de ensaye IDIEM: Nº 238.148 según NCh 935/1 Of.97.

Vigencia hasta: 31-12-2006

4.3.4.- Resistencia de pilar protegido con pintura F – 60.

- Nº 1 Elemento protegido: Pintura Intumescente L04280t9100/60

Descripción: pilar en base de perfil de acero 100 x 100 x 5mm y de 2.05m de alto: su masividad es de 209 m⁻¹. Este pilar va protegido por todo su perímetro con un recubrimiento intumescente denominado Pintura Intumescente L04280t9100, con un espesor medio de 1102 micras (milésimos de milímetro). Este recubrimiento no debe dejar, sin pintar, ninguna parte de sus caras, rincones o aristas.

Institución: SHERWIN WILLIAMS CHILE S.A.

Certificado de ensaye IDIEM: Nº 238.147 según NCh 935/1 Of.97.

Vigencia hasta: 31-12-2006

- Nº 2 Elemento protegido: Intumescente "X – 200 /60 - 1".

Descripción: pilar en base de perfil de acero 200 x 200 x 5mm y de 2.10m de alto: su masividad es de 204 m⁻¹. Este pilar va protegido por todo su perímetro con un recubrimiento intumescente denominado Intumescente x - 200, con un espesor promedio de 1483 micras (milésimos de milímetro). Este recubrimiento no debe dejar, sin pintar, ninguna parte de sus caras, rincones o aristas.

Institución: INDUSTRIAS CERESITA S.A.

Certificado de ensaye IDIEM: Nº 238.378 según NCh 935/1 Of.97.

Vigencia hasta: 31-12-2006

4.3.5.- Resistencia de pilar protegido con pintura F – 90.

- Nº 1 Elemento protegido: Intumescente "X – 200 /90".

Descripción: pilar en base de perfil de acero 200 x 200 x 5mm y de 2.10m de alto: su masividad es de 204 m⁻¹. Este pilar va protegido por todo su perímetro con un recubrimiento intumescente denominado Intumescente x - 200, con un espesor promedio de 2224 micras (milésimos de milímetro). Este recubrimiento no debe dejar, sin pintar, ninguna parte de sus caras, rincones o aristas.

Institución: INDUSTRIAS CERESITA S.A.

Certificado de ensaye IDIEM: Nº 238.378 según NCh 935/1 Of.97.

Vigencia hasta: 31-12-2008

4.3.6.- Tablas de correlación entre masividad y espesor de pinturas para determinada resistencia al fuego.

FIRE CONTROL

Producto intumescente base acuosa de Sherwin Williams Chile S.A. Informe IDIEM Nº 325.531.

Masividad	Resistencia al fuego			
	F – 15	F – 30	F - 60	F - 90
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				

STOFIRE

Producto Intumescente base acuosa de pinturas Creizet. Informe IDIEM N° 305.751.

Masividad	Resistencia al fuego			
	F - 15	F - 30	F - 60	F - 90
60	400	400	800	1500
70			850	1600
80			900	1700
90			950	1800
100			1000	
110			1050	
120		450	1100	
130			1150	
140			1200	
150		500		
160			1250	
170		550	1300	
180			1350	
190			1400	
200		600	1450	
210				
220			1500	
230		650	1550	
240			1600	
250				
260		700	1650	
270			1700	
280				
290			1750	
300		750	1800	
310				
320				
330		800		
340				
350				
360	450			
370				
380		850		
390				

CEREFIRE X – 200.

Producto intumescente base solvente. Industrias Ceresita S.A. Informe IDIEM N°
300.465

Masividad	Resistencia al fuego			
	F – 15	F - 30	F - 60	F - 90
60	400	400	750	1400
70			800	1500
80			850	1600
90		450	900	1650
100			950	1750
110			1000	
120			1050	
130		500	1100	
140			1150	
150			1200	
160		550	1250	
170			1300	
180			1350	
190		600	1400	
200			1450	
210			1500	
220		650	1550	
230			1600	
240			1650	
250		700	1700	
260			1750	
270				
280		750		
290				
300				
310		800		
320	450			
330	450			
340	450	850		
350	450	850		
360	450	850		
370	450	900		
380	500	900		
390	500	900		

4.4.- NORMA CHILENA NCh 935/1 Of.97

Para poder cuantificar la resistencia al fuego de un elemento constructivo es necesario realizar una operatoria de ensayo que sea repetible en nuevas experiencias. Por ello la prueba de resistencia al fuego está normalizada por NCh 935/1 Of.97 y NCh 935/2 Of.97. Bajo el criterio de dichas normas, la resistencia al fuego de un elemento constructivo, se define como cualidad (se mide por el tiempo en minutos durante el cual el elemento conserve la estabilidad mecánica, la estanquidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables) de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio estándar, sin deterioro importante de capacidad funcional.

En general, esta norma tiene como objetivo establecer las condiciones de ensayo y los criterios que permiten determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción en general.

Es importante señalar que el ensayo de resistencia al fuego puede ser usado sólo para la clasificación de un elemento completo de construcción y no para una clasificación de componentes individuales de un elemento.

En un ensayo de resistencia al fuego, las probetas deben representar de la mejor manera posible las condiciones reales de dimensión, ubicación, carga y apoyo, sujeto a los límites impuesto por el horno donde se instalará dicha probeta. Las probetas deben ser expuestas al fuego en el horno de la misma manera que se espera en la práctica. Esto implica que las columnas en general deben ser expuestas por sus cuatro costados, a no ser que uno de sus lados de la columna esté adosado a un muro, en cuyo caso la probeta puede ensayarse con tres lados expuestos al fuego. En el caso de vigas con losa resistente al fuego, ellas se pueden exponer al fuego por cuatro de sus caras. Para muros y tabiques, y en general, los elementos que tengan la función de separar espacios, la exposición se debe realizar sólo por cara. Por último, para aquellos elementos que deben resistir al fuego en cualquier dirección, se debe exponer al fuego en la posición que a juicio de los técnicos del laboratorio el elemento ofrece la menor resistencia.

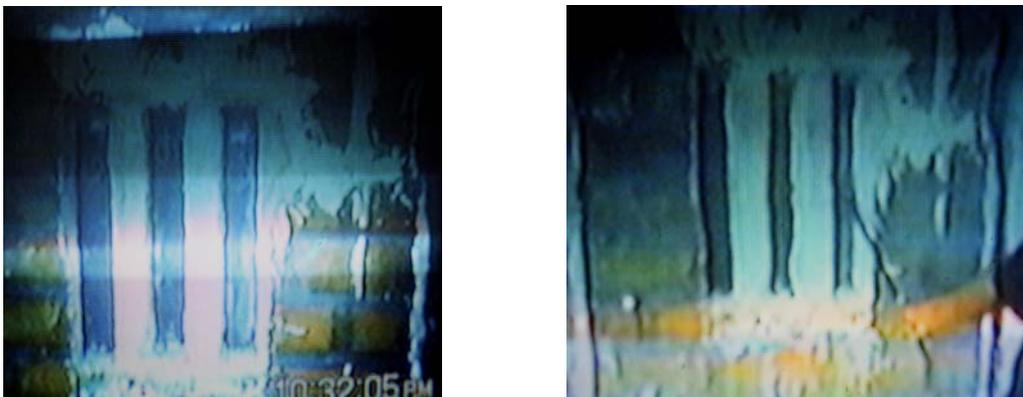


Figura 4.3: Probetas ensayadas.

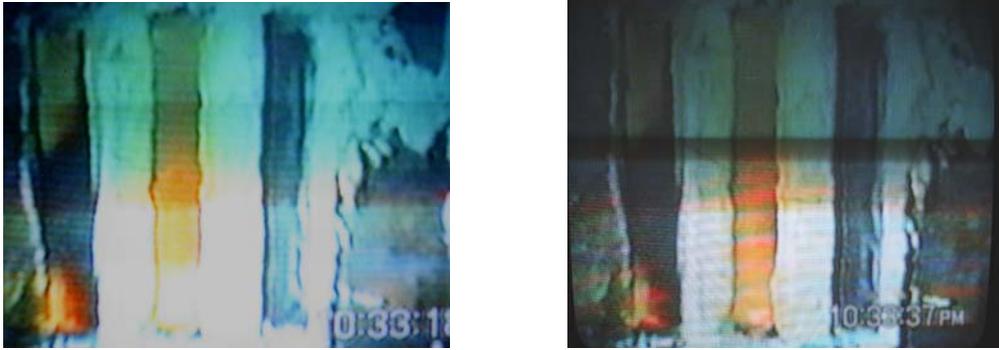


Figura 4.4: Probetas después de alcanzando los 90 minutos.

En cuanto a los hornos de ensayo, ellos deben presentar características de geometría interior, propiedades térmicas del revestimiento, ventilación, número de quemadores y combustible adecuado para ensayar a las probetas en las condiciones anteriormente descritas siguiendo la curva tiempo – temperatura.



Figura 4.5: Horno de ensayos de resistencia.



Figura 4.6: Quemador de gas natural de horno de ensayo.

Según el anexo A de la norma NCh 935/1, la resistencia al fuego de los elementos de construcción se clasifica según la siguiente tabla:

Tabla 4: Clasificación de los elementos de construcción según su resistencia al fuego.

Clase	Duración de ensayo de resistencia al fuego
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	≥ 240

Los ensayos de resistencia al fuego son efectuados en el IDIEM, según la NCh 935. Este ensayo consiste en verificar y registrar el aumento de temperatura en diferentes zonas de una pieza metálica en tamaño natural, que está protegida con un producto intumescente, la que se somete a condiciones de incendio en un horno a gas, que simula dichas condiciones. Los ensayos se efectúan en diferentes masividades, para considerar los diferentes tipos de perfiles de acero estructural de uso normal.

4.5.- ORGANISMOS CERTIFICADORES.

De acuerdo a lo exigido en el artículo 4.3.2., de la Ordenanza General señala que las características de comportamiento al fuego de elementos y componentes en la construcción que no se encuentren incluidas en el Listado Oficial, deben acreditarse mediante informe de ensaye emitidos por unas de las dos entidades reconocidas hasta la fecha, que son IDIEM y DICTUC.

4.5.1.- IDIEM.

Es el Instituto de Investigación y Ensaye de Materiales, dependiente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, orientada a la investigación y servicios tecnológicos para la industria y la construcción. Fue fundada en el año 1898 como taller de resistencia de materiales dependientes de la escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile por el profesor Sr. Carlos Koning, teniendo como objetivo principal ensayar y verificar la calidad del cemento a emplearse en la construcción, constituyéndose de esta manera en el primer laboratorio de control técnico de materiales que existió en nuestro país. En el año

1946 por decreto de rectoría de la Universidad de Chile N° 61 del 22 de enero, el taller cambió su nombre y pasó a llamarse como se conoce actualmente IDIEM.

4.5.2.- DICTUC.

Es la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile, siendo parte en 1938 de la escuela de Ingeniería de esa misma universidad llamándose, Instituto de Investigaciones de Materiales, para así posteriormente en enero de 1994 ampliarse creando DICTUC S.A., filial de la universidad, abocándose a dos grandes áreas: el desarrollo de tecnologías y la incubación de empresas. En 1996 se efectúa el traspaso de las actividades de estudios y servicios que se realizaban administrativamente dentro del DICTUC a la filial, con la finalidad de entregar un servicio más profesional orientado a la industria permitiéndoles un funcionamiento más fluido bajo el concepto de empresa privada. Actualmente posee una infraestructura óptima logrando satisfacer los requerimientos de los clientes tanto en laboratorios de análisis como en la certificación de productos, destacándose el horno abatible del laboratorio de resistencia al fuego y la cámara húmeda de resmat para el seguimiento de cementos y hormigón.

4.6.- EXIGENCIAS PARA EL PRODUCTO INTUMESCENTE.

El producto intumescente debe cumplir con las mismas exigencias contra el fuego que el resto de las soluciones constructivas. Por lo tanto no existe en nuestro país una norma especialmente diseñada para este producto, el cual es sensible a la humedad y a la temperatura. Al ser un producto sensible a las condiciones ambientales, se cree que la norma debería establecer una serie de ensayos para saber como se compone el producto ante distintas condiciones medio ambientales.

En Chile, bajo la normas NCh 935/1 Of.97 se certifica que un perfil de acero, con una masividad determinada, un espesor de pintura intumescente dado y a una humedad determinada, resiste una cierta cantidad de minutos a un incendio. Pero no se certifica que esa pintura intumescente pueda estar protegiendo el perfil de un incendio si es que la protección se encuentra en un ambiente de extrema humedad.

Además se da en el ambiente una serie de otras condiciones ambientales que la norma no tiene contempladas y las cuales afectan directamente a este tipo de productos. Las condiciones que se pueden dar en Chile y que afectan a la pintura intumescente son:

- Envejecimiento, la pintura intumescente envejece con el paso de los años, por lo tanto es importante saber cuanto tiempo se mantiene la pintura sin sufrir daños por envejecimiento.
- Alta humedad, en nuestro país existen numerosas zonas en las cuales la humedad en los meses de invierno es alta. Además de las zonas en las cuales las altas humedades es una condición normal, también puede existir una fábrica en la cual la humedad ambiente sea muy alta.
- Combinación húmedo, frío, seco; esta combinación se da mucho en nuestro país, sobre todo se da en la cordillera, por lo tanto si se desea utilizar un producto intumescente en un ambiente como ese, se deben probar primero como se comporta.
- Zona salina, los ambientes marinos son salinos y estos son por lo general corrosivos para el acero. La pintura intumescente también es sensible a ella por lo tanto si se quiere utilizar este tipo de producto en un ambiente como ese, se deben realizar los ensayos o pruebas correspondientes.

Lo anterior nos indica claramente que nuestra legislación tiene un vacío, ya que no está controlando de una manera adecuada la utilización o certificación de este tipo de pintura. En estos momentos la pintura intumescente esta siendo utilizada en muchos lados sin tener una certificación adecuada, lo que pone en peligro a toda la comunidad.

Para poder solucionar lo anterior es necesario agregar lo que hace falta a la norma ya existente. Por lo tanto para poder certificar la pintura intumescente se debería realizar una serie de ensayos que ayuden a solucionar el vacío que actualmente tiene nuestra norma.

Los ensayos que se deben realizar son los que se están realizando hoy en día en Europa y Estados Unidos para poder certificar este tipo de protección contra incendios, los cuales garantizan que esta pintura se comporta adecuadamente en condiciones ambientales adversas.

En Estados Unidos se rigen por la norma UL1709, en esta norma le exige a las pinturas intumescentes pruebas de envejecimiento, condiciones de extrema humedad, condiciones de atmósfera industrial, zonas salinas, ciclos de frío y calor, ambientes ácidos y ambientes en los cuales existen solventes. Por lo tanto para poder comercializar este producto en Europa y Estados Unidos, se debe cumplir con una protección que sea capaz de resistir a los distintos ambientes que se exigen en la norma UL 1709. Los ensayos que se describen a continuación son los que se deberían exigir en Chile, para poder asegurar que las protecciones intumescentes se van a comportar adecuadamente a través del tiempo y ante distintas condiciones medio ambientales.

a) Pruebas de envejecimiento: este es un proceso de envejecimiento que se le realiza a una muestra de pintura intumescente, es una simulación que se realiza en un horno en el que circula aire a $70 \pm 2.7^{\circ}\text{C}$ por 270 días, para luego ser ensayado.

b) Alta humedad: este proceso se realiza a una muestra del producto intumescente en un lugar en el cual la humedad este controlada, esta humedad debe fluctuar entre los 97 y el 100% de humedad relativa y a una temperatura de $35 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ por 180 días.

c) Atmósfera industrial: el dióxido de azufre y el dióxido de carbono que existen en la atmósfera industrial puede ser simulada exponiendo una muestra por 30 días a una cantidad equivalente de SO_2 y CO_2 (1% de la cámara) que es lo que existe dentro de un recinto industrial. La cámara debe ser mantenida a $35 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$, además se le debe agregar una pequeña cantidad de agua en el fondo de la cámara. Luego de este proceso se debe ensayar el producto para saber cual es la resistencia al fuego que tiene.

d) Rociador de sal: la atmósfera corrosiva puede ser simulada exponiendo una muestra a un rociador de sal por 90 días, este test se describe de mejor manera en la norma ASTM B117 – 90.

e) Combinación húmedo, frío y seco: esta combinación puede ser simulado exponiendo una muestra a un ciclo, el cual consiste en una precipitación de 0,005 mm/seg de agua por 72 horas. Seguido por una temperatura de al menos 40°C por 24 horas y después una atmósfera seca de $60 \pm 2.7^\circ\text{C}$ por 72 horas. Este ciclo se debe repetir por 12 veces.

d) Rocío ácido: una atmósfera se puede simular exponiendo una muestra por 5 días a un rocío con ácido. Este ácido (HCl) se disuelve en agua al 2%, luego este rocío se le aplica a una razón de 1 a 2 milímetros de solución por hora a una muestra de 80cm^3 .

g) Rocío con solvente: para esto una muestra puede ser rociada con solventes reactivos a una temperatura de $21 \pm 2.7^\circ\text{C}$. Los solventes típicos son acetona y tolueno. La exposición a este rocío puede ser aplicada con una pistola para aplicar pintura, hasta que el área de la muestra quede completamente cubierta, sin que la protección lo absorba. Los excesos se deben sacar. Un ciclo de exposición debe consistir en el uso del solvente, se deja secar la muestra por 6 horas, se vuelve a utilizar y se deja secar la muestra por 18 horas más. El ciclo se debe realizar 5 veces.

Luego de haber sido sometida a diferentes ambientes, se procede a ensayar las muestras de la misma manera que se hace bajo la norma NCh 935, y se determina el comportamiento de la protección a si como su resistencia al fuego luego de haber sido sometida a un ambiente extremo.

Por otra parte, en Chile no se controla la aplicación de este tipo de producto, no existe una ley que exija el control de este tipo de aplicaciones, sólo se exige que certifique que la obra o la estructura tenga su protección contra el fuego, pero nadie controla si es que la protección fue aplicada de manera correcta. Por lo tanto también es necesario incluir en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción un reglamento que exija control durante y después de aplicar el producto

intumescente. Si no existe un adecuado control de este tipo de productos se pueden presentar los siguientes problemas:

- a) El producto intumescente puede ser utilizado en un ambiente para el cual no fue certificado, por ejemplo, si es utilizado en un espacio abierto a la intemperie, no estará siendo utilizado para lo cual se diseñó y certificó.
- b) Al ser aplicado el producto intumescente este puede haber estado expuesto por algunos días al calor, humedad o alguna lluvia, lo cual significa que el producto no se comportará como fue certificado en su oportunidad. Aunque después de haber sido pintada la estructura este quede protegido.
- c) Si no son verificadas las estructuras, éstas pueden estar protegidas por un espesor de pintura no adecuada, lo que significa que no se está protegiendo la estructura por el tiempo adecuado.
- d) Si no se utiliza el imprimante adecuado se pueden producir problemas de adherencia o de incompatibilidad química con la pintura intumescente, lo cual puede ocasionar que la protección actúe en el momento que se requiera.
- e) Durante la aplicación deben estar almacenadas a la temperatura que solicite el productor de pinturas intumescentes, de no ser así la pintura no puede ser aplicada, por posibles problemas en el futuro.

4.7. REALIDADES EN CHILE.

En la actualidad son numerosos los edificios donde se está utilizando este tipo de protección, esto porque permiten proteger el acero sin cambiar su figura, a diferencia de otras soluciones constructivas, las cuales hacen variar la forma.

En este subcapítulo se dará a conocer e informar la forma en que las empresas están aplicando el producto intumescente. Con esto se desea detectar las malas prácticas que se llevan a cabo en nuestro país. Además se pretende dar ciertas recomendaciones para poder evitar que estas malas prácticas continúen.

4.7.1.- Aplicación.

En la práctica se está aplicando el producto intumescente de distintas maneras. Algunas empresas esperan a que las estructuras sean techadas para

poder pintarlas, otras no esperan a que esto ocurra y otras simplemente pintan sin techo, aunque se acerque la lluvia. En cuanto a controlar la temperatura y la humedad, son pocas las empresas que se preocupan de eso, en general se pinta sin tener en cuenta eso.

Otras veces al no estar cubierto o techado el recinto, se aplica el producto directamente al sol. En cambio al estar techado se desarrolla el pintado a la sombra.

Otras de las cosas que se hacen al aplicar la pintura y que es una de las diferencias entre una empresa y otra, es que al pintar, los obreros le echan agua a la pintura para diluirla. Lo anterior con el objetivo de lograr una pintura no tan espesa y por ende de fácil aplicación.

En resumen no hay una única manera de aplicar el producto intumescente, en Chile se realiza de distintas maneras, pero eso no quiere decir que todas estén correctas.

4.7.2.- Errores que se cometen en la actualidad durante la aplicación.

En Chile el producto intumescente no siempre es aplicado siguiendo las especificaciones de los productores. Lo anterior tiene directa incidencia en la resistencia que posee el producto intumescente contra el fuego. En otras palabras, el producto intumescente se garantiza para una resistencia al fuego. Pero esta resistencia contra el fuego se cumplirá solamente si se aplica el producto siguiendo las especificaciones. En caso de hacerlo de otras maneras, el comportamiento de este tipo de protección puede variar y tener una resistencia distinta a la sabida.

4.7.2.1.- Aplicación a la intemperie.

En Chile muchas veces se aplica este producto directamente a la intemperie. Lo anterior significa que no se está cumpliendo con las especificaciones del fabricante y por consiguiente nadie puede certificar, porque los ensayos de resistencia al fuego que se le hace a este tipo de pintura, son con probetas pintadas en recintos cerrados y no a la intemperie, por lo tanto el producto aplicado a la intemperie no se encuentra certificado por ningún laboratorio.



Figura 4.7: Pintado de estructura metálica a la intemperie de cerchas en Cine Alto Las Condes.



Figura 4.8: Líder de Rancagua

Como se ve en la figura 4.7 y 4.8, fueron pintadas las cerchas de acero a la intemperie. Por lo tanto en esta fotografía se puede ver claramente que los aplicadores del producto y empresas a cargo de esta obra, no siguieron las recomendaciones del fabricante de pinturas intumescentes. Las especificaciones de este tipo de producto prohíbe la aplicación de esta manera, ya que ellos no aseguran que el aplicar el producto de esta manera, reaccione o tenga la resistencia al fuego garantizada. Al aplicar la pintura intumescente a la intemperie se le está incorporando una mayor cantidad de agua en días húmedos y una rápida evaporación en días calurosos, ambos efectos son dañinos para este tipo de protección.

4.7.2.2.- Aplicación directa al sol.

Otro de los errores que se puede apreciar en la figura 4.7, es la aplicación de la pintura intumescente directamente a los rayos del sol. El problema de tener el acero directamente al sol, es que toma temperaturas mayores a los 45°C, lo cual no cumple con las especificaciones del producto intumescente. Dependiendo del fabricante de pintura intumescente va a ser la temperatura máxima que puede tener

el acero para poder aplicar la pintura intumescente. Si se aplica a temperaturas mayores a las especificadas por el fabricante, no se podrá garantizar la resistencia al fuego de esta. Si el acero se encuentra a temperaturas muy elevadas, los pigmentos intumescentes pueden entrar en acción hinchando la pintura intumescente, lo que ocasiona inmediatamente una pérdida de protección para futuros incendios.



Figura 4.9: Estructura pintada con intumescente directamente al sol.



Figura 4.10: Mega Jhonson Viña del mar

4.7.2.3.- Control de condiciones medio ambientales.

Las empresas que aplican este tipo de producto, por lo general no controlan la humedad y temperatura en el momento en que aplican el producto intumescente. En las figuras anteriores se puede ver que no fue controlada la temperatura y la humedad, sino se hubieran dado cuenta que la temperatura y humedad eran excesivas, tanto en el día como en la noche. En la noche la humedad alcanza porcentajes muy altos y en el día temperaturas muy altas, por lo tanto no se estaría cumpliendo las especificaciones que dan los productores de este tipo de protecciones. Otra cosa que no se está cumpliendo es el control del polvo en suspensión durante el proceso de aplicación de este tipo de protección. En el caso

de la figuras anteriormente señaladas, se puede deducir que existe una gran cantidad de polvos en suspensión, ya que la estructura pintada se encuentra a la intemperie y por alrededor de ella, circulan constantemente camiones que liberan una gran cantidad de polvo.

4.7.2.4.- Uso de las estructuras luego de ser pintadas.

Como ya se ha señalado, este tipo de protección debe aplicarse en recintos que se encuentren protegidos de la intemperie. Además las estructuras que se protegen con este tipo de pintura deben encontrarse protegidas de la intemperie durante su vida útil, ya que este tipo de protección es muy sensible a la humedad y a la temperatura. Por lo tanto si se protege una estructura en un lugar cerrado y luego ésta es puesta a la intemperie, la protección se dañará.



Figura 4.11: Estructura metálica de techumbre en cúpula Mall Plaza Vespucio. Santiago.



Figura 4.12: Estructura metálica de techumbre de Mall Plaza de Los Ángeles.

En la figura 4.11 y 4.12., se ve una estructura que está protegida con pintura intumescente. Pero presenta dos grandes problemas, el primero de ellos ocurrió al momento de pintar, ya que ello se realizó a la intemperie (después fueron colocados

los vidrios), por lo tanto esta estructura está pintada a la intemperie, con todos los problemas que esto puede acarrear y que se ha mencionado en este y en los capítulos anteriores. El otro problema es que en la cúpula de la figura 4.11, se produce condensación, porque ésta es de vidrio. Por lo tanto cuando se da este efecto los perfiles que se encuentran protegidos con pintura intumescente y que están sosteniendo vidrios que se ven afectados por las altas humedades, por lo tanto la protección se daña, haciendo disminuir la resistencia al fuego de estos perfiles. En general, para el caso de la cúpula, la pintura intumescente puede estar muy deteriorada, lo que hace dudar de su comportamiento en caso de incendio.

4.7.2.5.- Cuidado de la estructura después de ser protegidas.

Las estructuras que sean protegidas con pintura intumescente deben ser revisadas periódicamente por las empresas proveedoras, para estar seguro de su estado. Como se dijo en los capítulos anteriores este tipo de protección no es de por vida, por lo tanto es necesario que se le haga una reparación cada cierto tiempo. El tiempo de duración de este tipo de protecciones no es fijo, ya que depende de la temperatura, la humedad y las condiciones ambientales del lugar donde esté colocado este tipo de protección. Este tipo de ensayo no es certificado en Chile, por lo tanto es responsabilidad de las empresas estar haciendo revisiones periódicamente. En el extranjero se habla de una duración de alrededor de 7 años. Eso va a depender directamente de las condiciones bajo las cuales se mantiene este tipo de protección. Además hay que considerar que la duración también dependerá de cada productor, puesto que las soluciones son todas distintas.

Por lo tanto para poder saber cual es el tiempo de duración de un producto de estas características, es necesario que se le hagan ensayos, los cuales debe considerar distintos tiempos de envejecimientos y estos a su vez distintas condiciones ambientales.

Como podemos observar, nuestro país está bastante atrasado en comparación a otros que utilizan este mismo método de protección, en Chile solamente se exige un ensayo de resistencia al fuego, pero no sabemos que pasa con los materiales ante la acción de diversos agentes que están en el ambiente.

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE PINTURA INTUMESCENTE.

5.1.- ANTECEDENTES.

El mercado nacional de revestimientos intumescentes está compuesto por 5 empresas fabricantes. Dichas empresas son: Pinturas Ceresita S.A., Sociedad Química Chilcorrofin Ltda., Pinturas Creizet, Promat Chile S.A. y Sherwin Williams. Lamentablemente las empresas son bastante herméticas con respecto a su producto, es por eso que es muy difícil encontrar una mayor información sobre dichos revestimientos de protección.

Los productos comercializados pueden ocupar como vehículo al caucho clorado o ésteres epóxicos y de ellos depende el tipo de diluyente y el tiempo de secado de la capa de pintura. También de ellos dependerá la flexibilidad final del revestimiento, siendo en general más rígidos los revestimientos en ésteres epóxicos.

En el presente capítulo se realizará una evaluación económica del uso de la pintura utilizando 2 masividades distintas tanto en moneda nacional (pesos), como en moneda dura UF, considerando un valor de la UF de \$17.925, además se describirá los productos del ciclo de intumescencia de 3 empresas con sus respectivos valores y rendimientos. Para finalmente realizar una comparación de costos con otros sistemas de protección.

5.2.- EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Se hará un análisis por metro cuadrado de superficie para alcanzar una resistencia al fuego F-30 y F-60, para un perfil HN40*60 que tiene una masividad de 117 m^{-1} con la empresa Ceresita S.A. y otro análisis con una masividad de 171 m^{-1} para un perfil de acero de 200x200x6 mm., la cual a sido ensayado por la IDIEM, para las empresas Creizet y Sherwin Williams.

Como se explicó en el capítulo V, para aplicar el producto intumescente es necesario realizar: una limpieza al acero, aplicar un imprimante, luego según la

resistencia que se quiera alcanzar se debe aplicar el espesor de pintura intumescente y por último la aplicación del topping

5.2.1.- Calculo del espesor.

En el caso de la masividad de 117 m^{-1} debemos calcular el espesor de pintura intumescente necesario para alcanzar las resistencias que deseamos.

Para obtener el espesor necesario para alcanzar una resistencia al fuego de 60 minutos ocuparemos el modelo de la pintura extranjera

$$RF = (e/1000) * (4552/M + 7,66) \quad \text{para } 83 \leq M \leq 322$$

Despejando el espesor, se obtiene:

$$e = 1000*RF / (4552/M + 7,66)$$

Por lo tanto se tiene:

$$e = 1000*60 / (4552 / 117 + 7,66)$$

$$\mathbf{e = 1288 \text{ micras}}$$

Para obtener el espesor necesario para alcanzar una resistencia al fuego de 60 minutos ocuparemos el modelo de la pintura extranjera

$$RF = (e/1000) * (4552/M + 7,66) \quad \text{para } 83 \leq M \leq 322$$

Despejando el espesor, se obtiene:

$$e = 1000*RF / (4552/M + 7,66)$$

Por lo tanto se tiene:

$$e = 1000*30 / (4552 / 117 + 7,66)$$

$$\mathbf{e = 644 \text{ micras}}$$

5.2.2.- Pinturas Ceresita S.A.

Nombre del producto: **Cerfire x-200**

Descripción del producto: Pintura intumescente de un solo componente con base solvente para la pintura de protección del acero estructural. Formulada para el uso interior y exterior con resistencia hasta 90 minutos dependiendo del diseño. Proporciona una terminación lisa dura y decorativa. El Cerfire x-200 cumple con la norma chilena NCh 935/1 Of.97. Informe de la IDIEM N° 300.464.

Información técnica:

Color: blanco.

Sólidos por volumen: 64±2%

Peso específico: 1.34

Peso por galón: 4,94 Kg/galón.

Espesor seco por capa brocha: 350 micrones

Espesor húmedo (máx.) brocha: 450

Tiempo de secado: 24 horas a 10°C

Secado de Cerefire x-200: mínimo 5 días a 10°C antes de aplicar el sello

Método de aplicación: brocha y pistola airless

Diluyente: F 5507

Dilución recomendada: máximo 5% pistola y brocha

Condiciones durante la aplicación:

Temperatura superficie	Ambiente	Humedad relativa
Normal: 13 - 32°C	13 - 38°C	30% - 90%
Mínima: 2°C	2°C	0%

Valor: pintura intumescente base agua y base solvente \$ 48.380 IVA incluido, la tineta de 5 galones, certificada.

Se aconseja aplicar un anticorrivo epoxico (componente A) para la pintura intumescente base solvente, ya que los solventes del intumescente pueden remover el anticorrosivo, cuyo valor es \$ 5.500 IVA incluido el galón y catalizador epoxico (componente B) con un valor de \$6.200 IVA incluido, con un rendimiento de 40 m²/galón (mezcla 4 partes componentes A por 1 parte componente B) y una pintura de terminación alquídica como el esmalte acryl cuyo valor es \$ 9.900 el galón de color blanco, con un rendimiento de 40 m²/galón.

Tabla 5.1: Rendimiento de Cerefire x-200.

Resistencia al fuego	Espesor (micras)	Aplicación	Rendimiento m²/tineta
F-30	400	2 manos	38
F-60	800	3 a 6 manos	18
F-90	1800	6 a 10 manos	11

Limpieza del sustrato.

El arenado a metal blanco tiene un costo de 1854 \$/m² con un rendimiento de 8 m²/hora.

Aplicación del imprimante.

El imprimante se colocará en 2 manos. Se considera un rendimiento teórico de 40 m²/galón, con un espesor total de 60 micras. Su costo es de 11.700 \$/galón. Por lo tanto por capa se consume 0,025 gal/m² y al ser dos capas se consume 0,05 gal/m² a un costo de 585 \$/m².

Se usará una brocha de 5⁵⁸ de cerda marca cóndor de un valor de \$3.318. Para la aplicación del imprimante se considera que la brocha es utilizada en 0,01 por m² del valor total de la brocha. Por lo tanto el costo por m² de brocha es 33 \$/m².

Se ocupará un pintor el cual cobra 12.500 \$/día, con un rendimiento de 30 m²/día, es decir 0,03 día/m². Por lo que el costo por m² es de 375 \$/m².

Se debe considerar un 29% de leyes sociales.

Aplicación de pintura intumescente.

Para alcanzar una resistencia al fuego F-60, son necesarias 1300 micras de pintura intumescente lo que se alcanza en 6 capas de 216 micras. Se considera un valor de 48.380 \$/tineta y un rendimiento de 18 m²/galón, lo que significa 0,056 tineta/m², y al ser 6 capas son 0,336 tineta/m² a un costo de 16.256 \$/m².

Para alcanzar una resistencia al fuego F-30, son necesarias 650 micras de pintura intumescente lo que se alcanza con 3 manos de pintura intumescente con capas de 216 micras, con un rendimiento de 38 m²/tineta, por lo que se consume por capa 0,026 tineta/m², y al ser 3 capas se consume 0,079 tineta/m² a un costo de 3.820 \$/m².

Se usará una brocha de 5⁵⁸ de cerda de un valor de \$1.594. Para la aplicación del imprimante se considera que la brocha es utilizada en 0,01 por m² del valor total de la brocha. Por lo tanto el costo por m² de brocha es 16 \$/m².

Se ocupará un pintor el cual cobra 12.500 \$/día, con un rendimiento de 30 m²/día, es decir 0,03 día/m². Por lo que el costo por m² es de 375 \$/m².

Se debe considerar un 29% de leyes sociales.

Pintura de terminación.

Se aplicará en 2 manos. Se considera un rendimiento 30 m²/galón, con un consumo total de 0,067 gal/m², a un costo de 9.900 \$/m², por lo que se obtiene un costo total de 663 \$/m².

Tabla 5.2: Costo de revestimiento intumescente para alcanzar resistencia al fuego F-60.

Descripción	\$/m²	UF/m²
Limpieza del sustrato <ul style="list-style-type: none"> • Arenado a metal blanco 	1.854	0,10
Imprimante <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de imprimación • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	585 33 375 109	0,033 0,002 0,021 0,006
Ciclo intumescente <ul style="list-style-type: none"> • Pintura intumescente • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	16.256 33 375 109	0,909 0,002 0,021 0,006
Pintura de terminación <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de terminación • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	663 33 375 109	0,037 0,002 0,021 0,006
TOTAL	20.909	1,167

Tabla 5.3: Costo de revestimiento intumescente para alcanzar resistencia al fuego F-30.

Descripción	\$/m²	UF/m²
Limpieza del sustrato <ul style="list-style-type: none"> • Arenado a metal blanco 	1.854	0,10
Imprimante <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de imprimación • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	585 33 375 109	0,033 0,002 0,021 0,006
Ciclo intumescente <ul style="list-style-type: none"> • Pintura intumescente • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	3.820 33 375 109	0,213 0,002 0,021 0,006
Pintura de terminación <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de terminación • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	663 33 375 109	0,037 0,002 0,021 0,006
TOTAL	8.473	0,47

5.2.3.- Pinturas Creizet.

Nombre del producto **Stofire Acuoso.**

Color : Blanco

Aspecto : Pastoso

Acabado : Mate

Componentes : 1

Peso específico : 1,30 +/- 0.02 (gr/cm³)

Contenido sólido : 73 +/- 2% en peso

Contenido sólido : 65 +/- 2% en volumen

Secado al tacto : 4 horas (20°C)

Secado entre manos : 8 horas

Secado total : 7 días

Diluyente : Agua

Dilución : 1 a 2 lt. / Tineta de 5 Gal.

Valor: \$ 59.486 IVA incluido, la tineta de 5 galones, certificada.

Se aconseja aplicar un anticorrosivo tipo asimet (Alquídico), el cual su valor es \$ 8.260 IVA incluido el galón, con un rendimiento de 62 m²/galón y una esmalte acuoso luxal como pintura de terminación el cual cuesta \$ 9.263 el galón de color blanco, con un rendimiento de 55 m²/galón.

Tabla 5.4: Rendimiento pintura intumescente Stofire base acuosa.

Resistencia al fuego	Espesor (micras)	Aplicación	Rendimiento m²/tineta
F-15	125	1 mano	70
F-30	225	2 manos	44
F-60	775	3 manos	18
F-90	1560	6 manos	11

El costo por metro cuadrado para una masividad de 171 m⁻¹ es la siguiente:

Limpieza del sustrato.

El arenado a metal blanco tiene un costo de 1854 \$/m² con un rendimiento de 8 m²/hora.

Aplicación del imprimante.

El imprimante se colocará en 2 manos. Se considera un rendimiento teórico de 62 m²/galón, con un espesor total de 60 micras. Su costo es de 8.260 \$/galón. Por lo tanto por capa se consume 0,016 gal/m² y al ser dos capas se consume 0,32 gal/m² a un costo de 264 \$/m².

Se usará una brocha de 5⁵⁸ de cerda marca cóndor de un valor de \$3.318. Para la aplicación del imprimante se considera que la brocha es utilizada en 0,01 por m² del valor total de la brocha. Por lo tanto el costo por m² de brocha es 33 \$/m².

Se ocupará un pintor el cual cobra 12.500 \$/día, con un rendimiento de 30 m²/día, es decir 0,03 día/m². Por lo que el costo por m² es de 375 \$/m².

Se debe considerar un 29% de leyes sociales.

Aplicación de pintura intumescente.

Para alcanzar una resistencia al fuego F-60, son necesarias 640 micras de pintura intumescente lo que se alcanza en 3 capas. Se considera un valor de 59.486 \$/tineta y un rendimiento de 18 m²/tineta, lo que significa 0,56 tineta/m², y al ser 3 capas son 0,17 tineta/m² a un costo de 9.914 \$/m².

Para alcanzar una resistencia al fuego F-30, son necesarias 200 micras de pintura intumescente lo que se alcanza con 2 manos de pintura intumescente con un rendimiento de 44 m²/tineta, por lo que se consume por capa 0,023 tineta/m², y al ser 2 capas se consume 0,046 tineta/m² a un costo de 2.703 \$/m².

Se usará una brocha de 5⁵⁸ de cerda de un valor de \$1.594. Para la aplicación del imprimante se considera que la brocha es utilizada en 0,01 por m² del valor total de la brocha. Por lo tanto el costo por m² de brocha es 16 \$/m².

Se ocupará un pintor el cual cobra 12.500 \$/día, con un rendimiento de 30 m²/día, es decir 0,03 día/m². Por lo que el costo por m² es de 375 \$/m².

Se debe considerar un 29% de leyes sociales.

Pintura de terminación.

Se aplicará en 2 manos. Se considera un rendimiento 55 m²/galón, con un consumo total de 0,036 gal/m², a un costo de 9.263 \$/m², por lo que se obtiene un costo total de 337 \$/m².

Tabla 5.5: Costo de revestimiento intumescente para alcanzar resistencia al fuego F-60.

Descripción	\$/m²	UF/\$
Limpieza del sustrato <ul style="list-style-type: none"> • Arenado a metal blanco 	1.854	0,10
Imprimante <ul style="list-style-type: none"> • Pintura intumescente • Brocha 5⁵⁸ • Pintor • Leyes Sociales 	265 33 375 109	0,015 0,002 0,021 0,006
Ciclo intumescente <ul style="list-style-type: none"> • Pintura intumescente • Brocha 5⁵⁸ • Pintor • Leyes Sociales 	9.914 33 337 109	0,553 0,002 0,021 0,006
Pintura de terminación <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de terminación • Brocha 5⁵⁸ • Pintor • Leyes Sociales 	337 33 375 109	0,019 0,002 0,021 0,006
TOTAL	13.921	0,774

Tabla 5.6: Costo de revestimiento intumescente para alcanzar resistencia al fuego F-30.

Descripción	\$/m²	UF/\$
Limpieza del sustrato <ul style="list-style-type: none"> • Arenado a metal blanco 	1.854	0,10
Imprimante <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de imprimación • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	265 33 375 109	0,019 0,002 0,021 0,006
Ciclo intumescente <ul style="list-style-type: none"> • Pintura intumescente • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	2.703 33 375 109	0,151 0,002 0,021 0,006
Pintura de terminación <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de terminación • Brocha 5^{5/8"} • Pintor • Leyes Sociales 	337 33 375 109	0,019 0,002 0,021 0,006
TOTAL	6.710	0,376

5.2.4.- Empresas Sherwin Williams Chile S.A.

Nombre del producto: **Fire Control**

Descripción del producto: Fire Control revestimiento base agua desarrollado especialmente para la protección de estructuras metálicas contra la acción directa del fuego. El producto cumple con la resistencia al fuego exigida por la nueva norma chilena NCh 935/1 Of.97. Informe de la IDIEM N° 246.027 del 16 de mayo 2000.

Información técnica:

Color: blanco

Tipo: resina acrílica plastificada

Acabado: mate

Espesor recomendado por capa: 12 a 15 mils. (300 – 400 micras)

Sólidos por volumen: 57±2%.

Sólidos por peso: 69±2%.

Peso específico: 1.37±0,02.

Tiempo de secado a 20°C: tacto 1 hora, duro: 12 horas, tiempo de repintado 24 horas.

Método de aplicación: brocha y pistola airless y convencionales.

Diluyente: agua dulce limpia.

Dilución recomendada: máximo 5% pistola y brocha.

Envase de suministro: tineta plástica de 5 galones.

Vida útil en stock: 12 meses

Condición de almacenamiento: conservar la pintura en el envase cerrado en un recinto seco y ventilado con temperaturas entre 5 y 35°C.

Condiciones durante la aplicación:

Temperatura superficie	Ambiente	Humedad relativa
Mínima: 10°C	Mínima: 10°C	30% - 90%
Máxima: 35°C	Máxima: 35°C	0%

El producto Fire Control fue certificado por la IDIEM en mayo del 2000 utilizando un elemento de acero de 200x200x6 mm., con masividad 171 m⁻¹ y longitud 2,1 m.

Los pilares fueron expuestos al fuego por sus cuatro caras como exige la norma, obteniéndose los siguientes resultados:

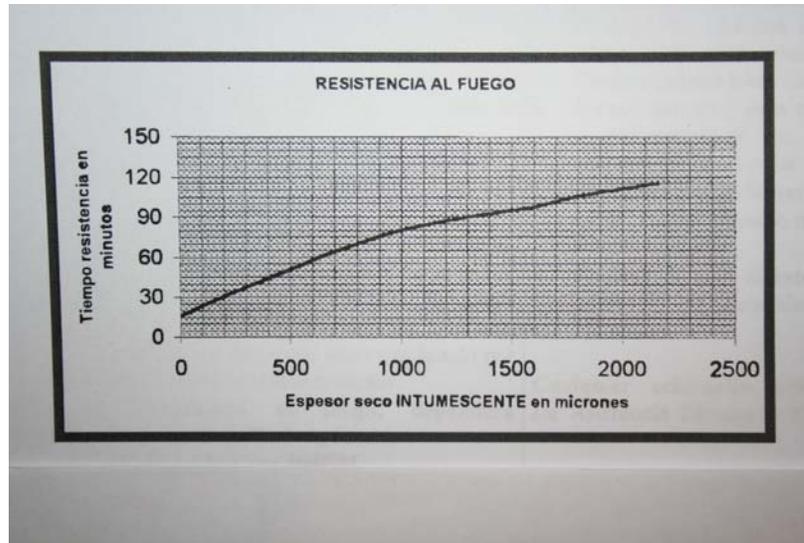


Figura 5.1: Curva de resistencia al fuego para distintos espesores.

Tabla 5.7: Resistencia al fuego pintura intumesciente “Fire Control”.

Espesor seco en micrones	Resistencia al fuego en minutos	Clasificación según NCh 935/1 Of. 97
0	16	F-15
335	40	F-30
972	79	F-60
1620	98	F-60
1780	105	F-60
2160	115	F-90

El espesor seco se refiere sólo al espesor de pintura intumesciente. De estos resultados de ensayo se obtiene los parámetros recomendados por Sherwin Williams.

Resistencia al fuego	Espesor seco (micras)	Rendimiento teórico m ² /tineta
F-15	100	107
F-30	200	53,8
F-60	640	16,8
F-90	1340	8,0

El costo por metro cuadrado para una masividad de 171 m⁻¹ es la siguiente:

Limpieza del sustrato.

El arenado a metal blanco tiene un costo de 1854 $\$/m^2$ con un rendimiento de 8 m^2 /hora.

Aplicación del imprimante.

El imprimante se colocará en 2 manos. Se considera un rendimiento teórico de 40 m^2 /galón, con un espesor total de 60 micras. Su costo es de 5.939 $\$/m^2$. Por lo tanto por capa se consume 0,025 gal/ m^2 y al ser dos capas se consume 0,05 gal/ m^2 a un costo de 297 $\$/m^2$.

Se usará una brocha de 5 ⁵⁸" de cerda marca cóndor de un valor de \$3.318. Para la aplicación del imprimante se considera que la brocha es utilizada en 0,01 por m^2 del valor total de la brocha. Por lo tanto el costo por m^2 de brocha es 33 $\$/m^2$.

Se ocupará un pintor el cual cobra 12.500 $\$/día$, con un rendimiento de 30 m^2 /día, es decir 0,03 día/ m^2 . Por lo que el costo por m^2 es de 375 $\$/m^2$.

Se debe considerar un 29% de leyes sociales.

Aplicación de pintura intumescente.

Para alcanzar una resistencia al fuego F-60, son necesarias 640 micras de pintura intumescente lo que se alcanza en 3 capas. Se considera un valor de 131.000 $\$/tineta$ y un rendimiento de 16,8 m^2 /tineta, lo que significa 0,06 tineta/ m^2 , y al ser 3 capas son 0,18 tineta/ m^2 a un costo de 23.580 $\$/m^2$.

Para alcanzar una resistencia al fuego F-30, son necesarias 200 micras de pintura intumescente lo que se alcanza con 2 manos de pintura intumescente con un rendimiento de 53,8 m^2 /tineta, por lo que se consume por capa 0,019 tineta/ m^2 , y al ser 2 capas se consume 0,037 tineta/ m^2 a un costo de 4.870 $\$/m^2$.

Se usará una brocha de 5 ⁵⁸" de cerda de un valor de \$1.594. Para la aplicación del imprimante se considera que la brocha es utilizada en 0,01 por m^2 del valor total de la brocha. Por lo tanto el costo por m^2 de brocha es 16 $\$/m^2$.

Se ocupará un pintor el cual cobra 12.500 $\$/día$, con un rendimiento de 30 m^2 /día, es decir 0,03 día/ m^2 . Por lo que el costo por m^2 es de 375 $\$/m^2$.

Se debe considerar un 29% de leyes sociales.

Pintura de terminación.

Se aplicará en 2 manos. Se considera un rendimiento 30 m²/galón, con un consumo total de 0,067 gal/m², a un costo de 9.519 \$/m², por lo que se obtiene un costo total de 638 \$/m².

Tabla 5.8: Costo de revestimiento intumescente para alcanzar resistencia al fuego F-60.

Descripción	\$/m ²	UF/m ²
Limpieza del sustrato <ul style="list-style-type: none"> • Arenado a metal blanco 	1.854	0,10
Imprimante <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de imprimación • Brocha 5⁵⁸ • Pintor • Leyes Sociales 	297 33 375 109	0,017 0,002 0,021 0,006
Ciclo intumescente <ul style="list-style-type: none"> • Pintura intumescente • Brocha 5⁵⁸ • Pintor • Leyes Sociales 	23.580 33 375 109	1.316 0,002 0,021 0,006
Pintura de terminación <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de terminación • Brocha 5⁵⁸ • Pintor • Leyes Sociales 	638 33 375 109	0,036 0,002 0,021 0,006
TOTAL	27.920	1,556

Tabla 5.9: Costo de revestimiento intumescente para alcanzar resistencia al fuego F-30.

Descripción	\$/m²	UF/m²
Limpieza del sustrato <ul style="list-style-type: none"> • Arenado a metal blanco 	1.854	0,10
Imprimante <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de imprimación • Brocha 5⁵⁸, • Pintor • Leyes Sociales 	297 33 375 109	0,017 0,002 0,021 0,006
Ciclo intumescente <ul style="list-style-type: none"> • Pintura intumescente • Brocha 5⁵⁸, • Pintor • Leyes Sociales 	4.870 33 375 109	0,272 0,002 0,021 0,006
Pintura de terminación <ul style="list-style-type: none"> • Pintura de terminación • Brocha 5⁵⁸, • Pintor • Leyes Sociales 	638 33 375 109	0,036 0,002 0,021 0,006
TOTAL	9.210	0,512

5.3.- COMPARACIÓN CON OTRAS PROTECCIONES AL FUEGO.

Se observa que para alcanzar una resistencia al fuego F-60 para un perfil de masividad 171 m^{-1} , el costo del revestimiento es bastante alto, $13.921 \text{ \$/m}^2$ con pinturas Creizet y $27.920 \text{ \$/m}^2$ con Sherwin Williams comparado, por ejemplo, con un estuco simple de 25 mm $0,17 \text{ UF/ m}^2$ o dos placas de yeso cartón de 15 mm de $0,41 \text{ UF/ m}^2$, por lo que podemos concluir que el proteger un perfil con pintura intumescente su costo es mucho más elevado, pero con mejores resultados si es bien aplicado.

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Discusiones.

El acero estructural es incombustible, pero el aumento de su temperatura supone importantísimas pérdidas en su capacidad mecánica. Expuesto al fuego, el acero puede alcanzar temperatura crítica (500°C) en un intervalo de 20 a 30 minutos aproximadamente, dependiendo fundamentalmente de su masividad, por lo que se hace necesario proteger las estructuras de acero.

Hoy en día hay varias posibilidades de proteger el acero contra el fuego tanto en Chile como en el mundo entero, por ejemplo revistiéndolo con morteros livianos, paneles de fibrocemento, planchas de yeso cartón. Cabe destacar que en los últimos años se ha desarrollado un nuevo sistema de protección conocidos como “productos intumescentes” lo cual está siendo utilizado en nuestro país como en el extranjero.

A continuación se presentan las siguientes discusiones, a raíz de este nuevo producto de protección:

- A pesar que el producto intumescente se encuentra certificado por organismos oficiales (IDIEM, DICTUC), no se sabe con certeza como y cuando debe aplicarse. Ello se debe al desconocimiento de los profesionales y técnicos a cargo de la aplicación.
- Los laboratorios en Chile ensayan el producto intumescente bajo condiciones climáticas de laboratorio, por lo que se desconoce cual será su comportamiento bajo condiciones críticas ambientales que tendrán una vez que los productos lo comercialicen. Muchas veces es aplicado en lugares con alto contenido de humedad o a la intemperie, principales factores que afectan a los productos intumescentes.
- Con respecto a la inspección que realiza la ITO durante la aplicación del producto en obra, debemos señalar que es ineficiente, por un desconocimiento parcial o total del producto. Muchas veces no son capaces de saber si un producto está adulterado o si fue correctamente aplicado.

- Otro tema, es con respecto a la vida útil del producto. En Chile no se han preocupado de su vida útil, por lo notoriamente podemos decir que existe una total despreocupación por parte de las autoridades y de los productores, por lo que nos podemos preguntar ¿Qué pasará en 15 años más con las estructuras de acero que se encuentran con productos intumescente?, la respuesta la seguiremos esperando. Sin embargo en países donde este producto tiene un alto desarrollo ya encontraron respuesta a través de estudios realizados y han concluido que la vida útil de este producto es de 7 a 10 años, bajo condiciones menores o igual a 60% de humedad relativa.
- El producto intumescente tiene un período de mantención, por lo que no debemos esperar 7 o 10 años para cambiarla, sino que se debe revisar el estado de la protección periódicamente. Pero ¿Quién asegura que esto se cumpla, si la autoridad no lo exige y existe falta de conocimiento por parte de nuestros profesionales?
- Las ventajas que presenta el producto intumescente es ser muy liviano, manteniendo la estética del diseño y además es de fácil aplicación; pero también presenta desventajas como ser sensible a la humedad, a los agentes químicos y a las zonas salinas. Por lo tanto, si es utilizado en zonas de baja humedad ambiental, sin agentes químicos, puede ser un producto que presente un buen comportamiento, de lo contrario será ineficiente.
- En sí el costo de proteger un edificio de lacero contra el incendio normalizado es costoso, por lo cual es fundamental lograr soluciones además al proyecto. Muchas veces se aplica pintura intumescente por razones estéticas sin ser la solución más adecuada para el lugar y a consecuencia de ello pierde el concepto de seguridad y además se pierden considerables sumas de dinero.
- En nuestro país existe un desconocimiento de las características técnicas del producto intumescente, por parte de las autoridades, ingenieros y técnicos. En general, no se sabe cuales son las óptimas condiciones de aplicación y como se controla el producto.

Todo esto genera una gran cantidad de dudas sobre el comportamiento de este tipo de protección a lo largo del tiempo.

Conclusiones.

Acero:

El acero siempre ha sido sinónimo de seguridad, obviamente cuando su previo cálculo de diseño ha sido óptimo, pero su seguridad se ve afectada por el voraz ataque del fuego el cual con su acción y rápida propagación lo deja vulnerable, llevándolo alcanzar su temperatura crítica, llevándolo finalmente al colapso.

Pinturas intumescentes:

Una protección contra incendios de un miembro de acero, debe presentar características fundamentales, como son: estabilidad a altas temperaturas, baja conductividad térmica, fácil fijación al perfil y buena adherencia.

Como se puede apreciar en el capítulo III, en la actualidad existen diversas soluciones para proteger el acero del fuego, pero por desgracia, la mayoría de los métodos de protección presentan un alto peso por metro lineal, por lo que las estructuras de acero terminan con una apariencia semejante a los edificios de hormigón.

El producto intumescente se presenta como una solución estética, pues permite que las estructuras de acero mantengan su esbeltez y apariencia original, además por ser liviano le da varias ventajas sobre el resto de protecciones, como por ejemplo: el uso en edificios ya construidos en los cuales no se producirá sobrepeso, ya que presenta un espesor final de una de milímetros. Otra ventaja que presenta es la rapidez y facilidad de aplicación, ya que puede ser aplicado con brocha o rodillo sin necesidad de gran tecnología.

Las pinturas intumescentes reciben su nombre del hecho de presenta el esquema común de pintura (vehículo y pigmento) y del hinchamiento que sufre bajo la influencia del calor. El esquema de una revestimiento intumescente corresponde a una pintura de imprimación con pigmentos anticorrosivos, una pintura intumescente

con pigmentos escogidos para llevar a cabo tal expansión y una pintura de terminación que protege del ambiente a la pintura intumescente.

En presencia del calor, las pinturas intumescentes se descomponen liberando gran cantidad de gases no combustibles que expanden al ligante de la pintura, a la vez que es rigidizada por un agente carbonífero, formando una pantalla frente al sustrato que lo aísla del calor. Al liberar los gases, gran cantidad de calor es absorbido en el proceso, disminuyendo la temperatura que rodea el elemento metálico.

Si bien es cierto, el producto intumescente presenta una gran cantidad de ventajas, no es menos cierto que presenta algunas reacciones y desventajas las cuales deben conocerse al momento de su utilización, ellas son:

- Cuando la pintura intumescente entra en reacción libera gases, los cuales son tóxicos tanto para las vías respiratorias como para la vista. Es por ello que en caso de incendio dichos gases presentan un gran problema, ya que estos gases al ser calientes suben a los pisos superiores afectando a las personas que se encuentren en esos lugares.

En el producto nacional, falta controlar los productos residuales de la reacción de la intumescencia, para así evitar la generación de estos gases tóxicos.

- No se debe ocupar jamás la pintura intumescente como imprimante, ya que no posee pigmentos inhibidores de la corrosión. Además, disminuye la adherencia de la corteza carbonosa al no presentar una interfase entre la corteza y el metal base.
- Estos revestimientos no deben ser expuestos al roce mecánico ni agentes abrasivos, ya que la pintura intumescente en esos casos se desprende con facilidad quitando la protección al perfil.
- El imprimante debe ser compatible con el resto de protección. En caso contrario algunas de las capas va ha reaccionar deteriorando la protección intumescente.
- La resistencia a la humedad y radiación ultravioleta de las pinturas intumescentes por sí solas es mediocre, limitando su utilización a interiores y ambientes pasivos, pudiendo ocuparse en la zona central y norte del país. No es conveniente utilizar

este producto en zonas lluviosas (zona sur). Es necesario proteger a la pintura intumescente con un revestimiento sellante superior de baja carga combustible.

- El topping o pintura de terminación debe ser compatible con la pintura a proteger. En caso de ser una pintura muy dura, ésta no deja que la pintura intumescente entumezca, lo cual deja al perfil con menos resistencia al fuego pues la protección no puede hincharse para aislar el calor del perfil.
- Las pinturas intumescentes protege sólo elementos de acero que son estructurales y que poseen dimensiones mínimas, no es aplicable sobre láminas de acero galvanizado, hojalatería, zinc o zincalum de bajo espesor no presenta efectividad.
- Si se aplican altos espesores de pintura intumescente en condiciones de incendio perjudicaría la efectividad de la protección contra el fuego, porque al expandirse la pintura, esta caería por su propio peso.
- Las pinturas intumescentes no ofrecen resistencia al fuego si fuera aplicada sobre placas de yeso cartón, fibrocemento, maderas, hormigón, etc.

Las pinturas intumescentes comercializadas en Chile deben ser avaladas por ensayos de resistencia al fuego según normativa vigente. Basado en dichos ensayos se debiera entregar una curva o tabla de doble entrada para calcular el espesor el espesor ah aplicar sobre el perfil metálico en función de la masividad del elemento y la resistencia al fuego necesaria.

Todavía somos un país en vías de desarrollo con respecto al tema del correcto uso de los productos para la construcción y, si bien es cierto existe una norma chilena NCh 935/1 Of.97 se hace indispensable legislar sobre un ensayo para determinar la resistencia al fuego de elementos de acero mediante la aplicación de protecciones a los elementos de acero con pinturas intumescentes, normas que si existen en otros países y que son aplicadas con el mismo criterio para los distintos laboratorios de ensayos al fuego. Al respecto, en el anexo C de esta tesis se encuentra un extracto de la norma Británica BS 8202 Parte 2, donde se puede notar el vacío que existe en nuestra normativa.

De la misma manera debiera existir alguna normativa de mediciones para este tipo de pinturas, que controle mediante alguna metodología su funcionalidad y su vida útil en cualquier evento de un incendio y, en lo posible a lo largo de la vida útil del edificio.

Lamentablemente en Chile es muy poca la información con respecto a la pintura intumescente y por desgracia los que podrían facilitarla, como son los proveedores de pinturas intumescentes, en su mayoría suelen ser muy herméticos y no facilitan la información necesaria para que profesionales del rubro conozcan y sepan de que se trata el fenómeno de la intumescencia y de esta manera adquirir un mayor conocimiento para así poder aplicarla correctamente como está utilizando en países de Europa como Estados Unidos.

ANEXO A:

COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS FRENTE AL FUEGO

1. Antecedentes.

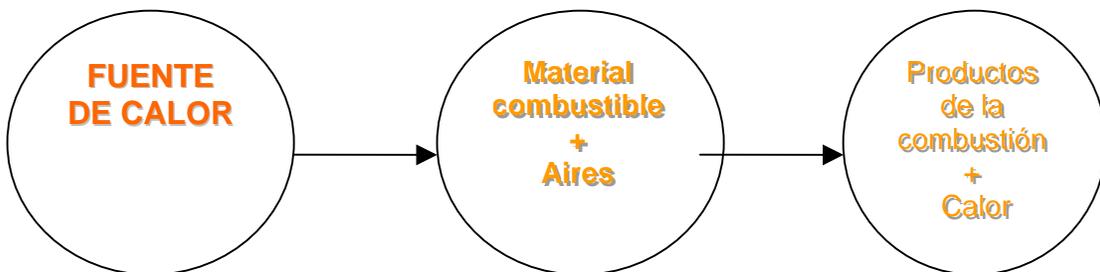
Si bien es cierto que la principal amenaza para los ocupantes de un edificio viene representada por el humo y los gases desprendidos que se desprenden en un incendio (que son los que ocasionan el 90% de las muertes entre los ocupantes), también es cierto que el colapso de los elementos estructurales y el consiguiente derrumbre del edificio representa un peligro gravísimo para las personas que ocupan el edificio como el personal de extinción. Este riesgo materializa dolorosamente año tras año en todo el mundo provocando pérdidas humanas. De aquí la importancia del tema.

Es necesario aclarar primero algunos conceptos relacionados con el tema.

2.- Definición de incendio.

Se entiende por incendio a todo fuego de efectos perjudiciales, sea cual sea la causa que lo provoque.

El fuego es una combustión viva, producida por una reacción química exotérmica (es decir, que produce calor) entre un material combustible (sustancia o mezcla de ellas que es capaz de entrar en combustión en presencia de un comburente) y un elemento comburente (sustancia que reacciona químicamente con un combustible, permitiendo la combustión de este último), tal como el oxígeno presente en el aire. Dicha reacción puede escribirse de la siguiente forma:



Dentro de los materiales combustibles se encuentran aquellos que están constituidos por carbono e hidrógeno, tales como: madera, petróleo, plástico, textiles, etc. Dentro de los productos de la combustión se encuentran gases, humos y

cenizas. El tipo de gas que se forma en un incendio depende de factores tales como la composición química del material combustible, la cantidad de oxígeno disponible y la temperatura.

El incendio viene representado principalmente por: generación y opacidad de humo y generación de gases tóxicos o nocivos, principales factores que ocasionan la muerte.

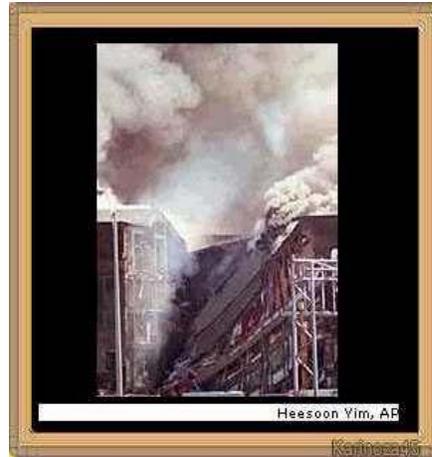


Figura A.1: Generación de humos.

3.- Mecanismos de transmisión del calor.

El calor es el principal responsable de la propagación del fuego en las edificaciones, ya que permite que material combustible lejano a la fuente de ignición se deponga y alimente al incendio.

La Norma Chilena NCh 933 Of97 “Prevención de incendios en edificios” define que calor es la energía térmica desarrollada en la combustión. Se propaga por radiación, conducción y convección.

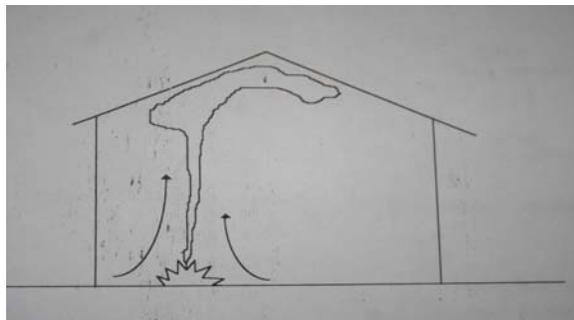


Figura A.2: Transmisión del calor por convección en el inicio de un incendio.

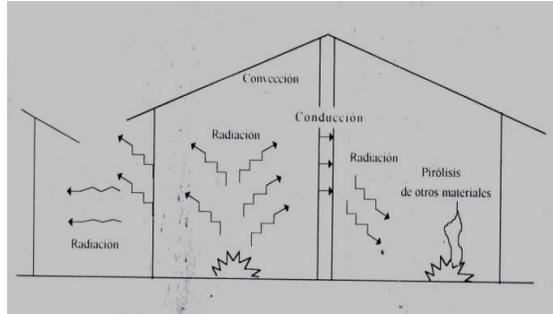


Figura A.3: Mecanismo de transmisión del calor durante un incendio.

4.- Incendio normalizado.

Las normas ISO 834 y NCh 935/1 fijan los criterios para determinar la resistencia al fuego de los diferentes tipos de estructuras y elementos de la construcción.

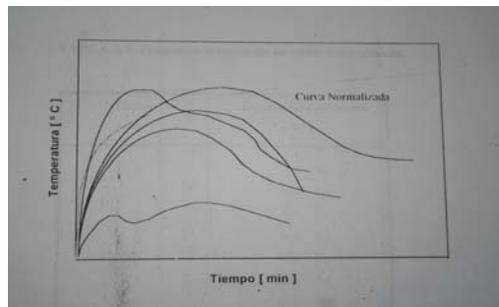


Figura A.4: Desarrollo en el tiempo de distintos incendios

En un incendio normalizado que consideran, la variación de la temperatura dentro de un horno o sector de incendio responde a la ecuación:

$$T - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1)$$

Donde:

t = es el tiempo expresado en minutos contado desde el inicio del ensayo.

T = es la temperatura del horno en el instante t , medida en °C.

T_0 = es la temperatura inicial del horno, medida en °C, la que estará comprendida entre 0 y 40°C.

De esta ecuación se obtiene la siguiente tabla de valores que representa la elevación de temperatura en el horno considerada en minutos.

Programa térmico para el horno

Tiempo, en minutos	0	1	2	3	4	5	10	15
Elevación de la T° del horno (T - T ₀) en °C	0	329	425	482	525	556	658	719

Tiempo, en minutos	30	60	90	120	150	180	240	360
Elevación de la T° del horno (T - T ₀) en °C	822	925	986	1029	1062	1090	1133	1194

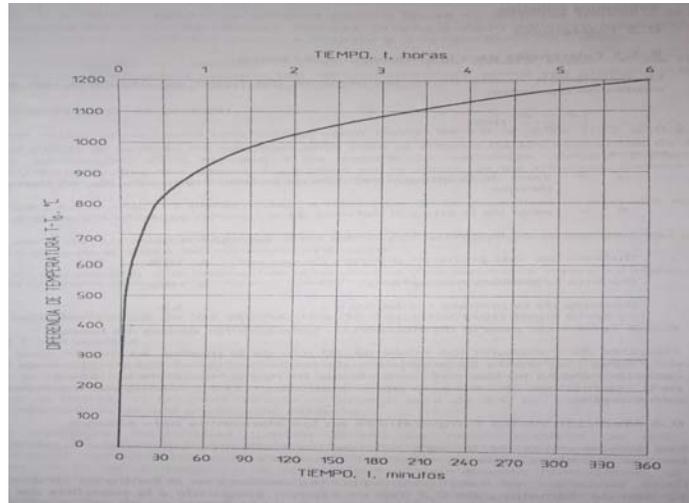


Figura A.5: Curva normal tiempo – temperatura.

5.- Incendio real.

El incendio real de diferencia notable en su desarrollo con respecto al incendio normalizado, cuantifica el riesgo de incendio en una edificación ocupando un parámetro conocido como carga combustible o carga de fuego, el cual indica la cantidad total de calor generado por combustión completa de una parte o totalidad de un edificio, expresándose en Kcal., Mcal, o MJ (1 MJ = 238,85 Kcal.).

La carga combustible se determina de la siguiente ecuación:

$$C_c = \sum m_i \times P_{ci} \text{ [Kcal.]}$$

Donde:

m_i = masa de los materiales combustibles contenidos en el recinto.

P_{ci} = poder calorífico de los materiales combustibles.

C_c = carga combustible en el recinto.

6. - El acero y los incendios.

El acero tiene muy buenas cualidades, como son su alta resistencia, homogeneidad en la calidad y fiabilidad de la misma, soldabilidad, etc., necesitando poca inspección y pudiéndose hacer ésta a posteriori (al contrario que el del

hormigón armado), resultando en definitiva fácil y rápido el montaje de las estructuras.

El acero da una falsa sensación de seguridad al ser incombustible, pero sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas por las altas temperaturas que pueden alcanzar los perfiles en el transcurso de un incendio.

La acción del fuego es un problema difícil de resolver para las estructuras de acero, debido a que se trata de un metal que comienza a perder su capacidad resistente a los 500°C, reduciéndose a menos de un tercio de ella a los 600°C. A esta temperatura que es fácilmente alcanzada en un incendio, empieza a producirse el colapso de los elementos resistente de acero.

El recurso más frecuente para proteger de este peligro a los esqueletos de acero, es por medio de un revestimiento de material aislante de la temperatura, como lo son las pinturas intumescentes.

6.1.- Propiedades mecánicas afectadas por la temperatura de un incendio.

6.1.1.- Temperatura crítica (T_c).

Se llama temperatura crítica a aquella temperatura por sobre la cual no se puede garantizar la estabilidad mecánica de un elemento estructural de acero. Esto quiere decir que la temperatura crítica es aquella para la cual la tensión de fluencia o de rotura del acero cae por debajo de lo necesario para poder soportar las tensiones de trabajo del elemento.

6.1.2.- Diagrama tensión – deformación.

La correspondencia entre tensión aplicada y de formación obtenida se ve alterada con el aumento de temperatura interna del perfil.

La ilustración del siguiente diagrama de un acero estructural, da a conocer las distintas propiedades y zonas de trabajo que se presentan en el acero como material estructural al ir aumentando la carga en él, sin intervención de aplicación de temperaturas.

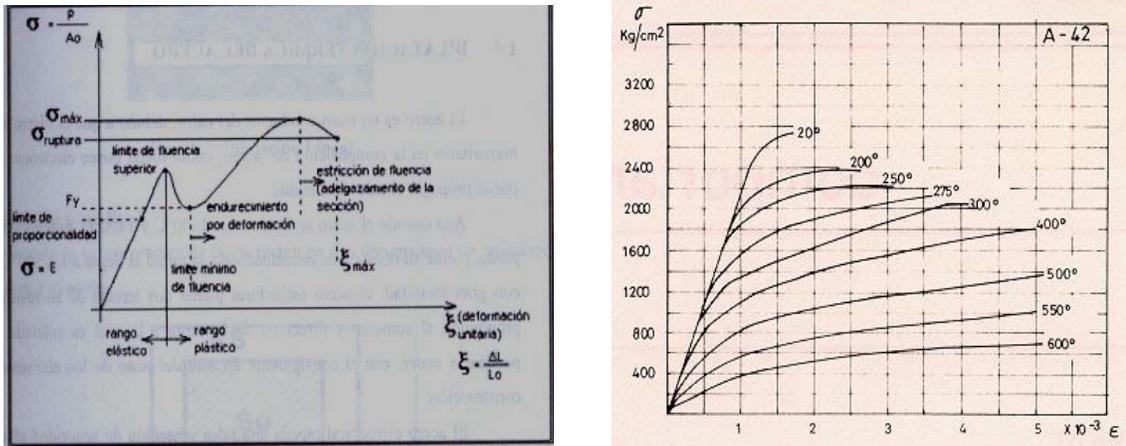


Figura A.6: Diagrama Tensión – Deformación.

6.1.3.- Variación del límite elástico.

Con el límite elástico (valor de las tensiones de trabajo a partir del cual las deformaciones que sufre la pieza son permanentes y no recuperables una vez cesada la actuación de la carga) ocurre algo parecido: al incrementarse la temperatura del perfil, el límite elástico desciende notablemente.

A partir de los 1000°C de temperatura interna el acero pierde totalmente sus propiedades mecánicas.

6.1.4.- Tensión de fluencia.

La tensión de fluencia es la que limita el rango elástico del material, si el material sobrepasa dicho límite, este sufre un aumento de deformación sin aumentar la tensión aplicada, no siendo aplicable la Ley de Hooke.

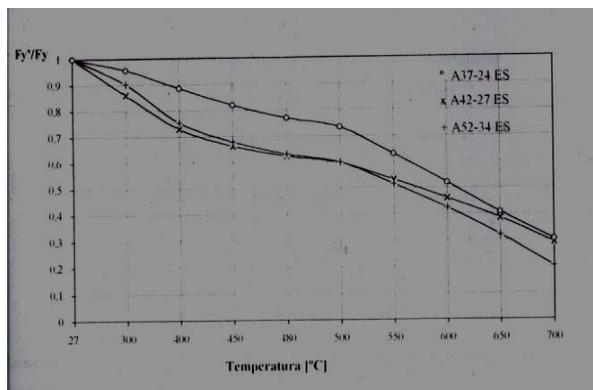


Figura A.7: Variación del límite de fluencia de aceros nacionales en función de la temperatura.

6.1.5.- Tensión de rotura.

Durante un incendio la resistencia a la rotura del acero, se ve incrementada aproximadamente en un 20% debido al endurecimiento y pérdida de ductilidad antes

de los 300°C. Sin embargo, al sobrepasar los 300°C, comienza un fuerte descenso de tensión, en donde a los 400°C aproximadamente se vuelve a la resistencia inicial. A los 500°C se tiene una resistencia última del 80% del valor inicial, y a los 700°C la resistencia última equivale a un 25% del valor inicial.

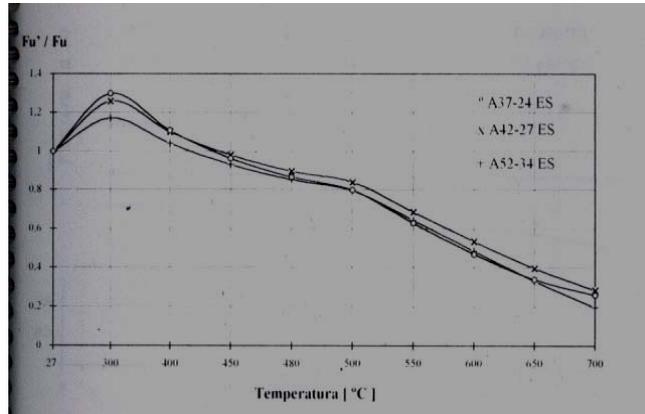


Figura A.8: Variación del límite de rotura para aceros nacionales en función de la temperatura.

6.1.6.-Variación del módulo de elasticidad.

Según estudios realizados en Estados Unidos, el módulo de elasticidad decae ante los efectos de la temperatura. Los resultados revelan que hasta los 370°C, el módulo de elasticidad decae linealmente. Pasados los 370°C el módulo de Young decae muy rápidamente y sobre los 700°C no es posible medir la disminución del módulo.

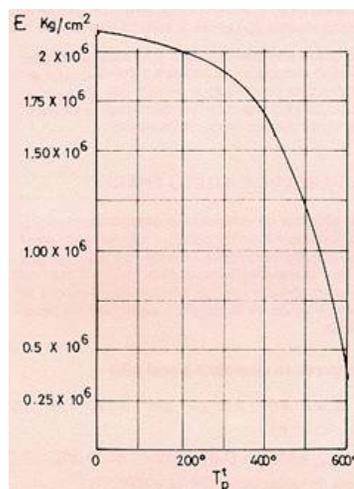


Figura A.9: Variación del módulo elástico en función de la temperatura.

6.1.7.- Variación de la conductividad térmica.

La conductividad térmica del acero disminuye con la temperatura hasta los 750°C, permaneciendo constante por encima.

6.1.8.- Dilatación térmica.

Como ya es sabido, el acero es un buen conductor del calor, debido a que el hierro siendo el elemento mayoritario en la composición del acero, como metal posee electrones libres con el que puede fácilmente propagar el calor.

El coeficiente de dilatación térmica [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] es la tasa a la cual se expande un material, como resultado de la temperatura. De modo que si un material es solicitado por un incremento de temperatura ΔT , sufrirá un cambio de longitud, dado por:

$$\Delta = \alpha * L * \Delta T$$

En el rango de temperaturas de 25°C a 100°C , el coeficiente de dilatación térmica se mantiene aproximadamente constante, para dicho rango de temperaturas el valor es:

$$\alpha = 11,7 * 10^{-6} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

Para temperaturas mayores, el coeficiente de dilatación ya no es constante, por lo tanto para el rango de temperaturas entre 90°C y 600°C el coeficiente aumenta según la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ a la cual se expone el acero y el valor es:

$$\alpha = (11,1 + 0,0061 * T) * 10^{-6} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

Al aumentar la temperatura por sobre los 600°C el coeficiente disminuye a cero a los 800°C , para luego aumentar a un valor mayor. Este comportamiento se debe al cambio en la composición cristalina del acero cerca de los 760°C , de ferretina y perlita a ferrita y austenita.

ANEXO B:**CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN PARA CÁLCULO DE RESISTENCIA ALFUEGO, SEGÚN ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIÓN.**

En la tabla 4.1 se dividen los elementos de construcción dentro de cuatro grupos para el cálculo de la resistencia al fuego exigida a dichos elementos. Para clasificar a un elemento en alguno de estos grupos la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en su artículo 4.3.3, considera el uso de tres tablas en las cuales el calculista debe ingresar con el destino del edificio y el número de pisos, además de uno de los tres siguientes parámetros: superficie edificada, máximo de ocupantes o densidad de carga combustible, según corresponda, como se señala a continuación.

Tabla 1: Clasificación de acuerdo a la superficie edificada.

Destino del edificio	Superficie edificada (m ²)	Número de pisos						
		1	2	3	4	5	6	7 o más
Habitacional	Unidad sobre 140	c	c	b	b	a	a	a
	Unidades hasta 140	d	d	c	c	b	b	a
Hoteles y similares	Sobre 5.000	c	b	a	a	a	a	a
	Sobre 1.500 hasta 5.000	c	b	b	b	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.500	c	c	b	b	a	a	a
	Hasta 500	d	c	b	b	a	a	a
Oficinas	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a
	Hasta 500	d	c	c	b	b	b	a
Museos	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a
	Hasta 500	d	c	c	b	b	b	a
Salud (Clínicas, hospitales y laboratorios)	Sobre 1.000	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 1.000	c	c	b	b	a	a	a
Salud (Policlínicos)	Sobre 400	c	c	b	b	b	b	a

	Hasta 400	d	c	c	b	b	b	a
Restaurantes y fuentes de soda	Sobre 500	b	a	a	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a	a
Locales comerciales	Sobre 500	c	b	b	a	a	a	a
	Sobre 200 y hasta 500	c	c	b	b	a	a	a
	Hasta 200	d	c	b	b	b	a	a
Bibliotecas	Sobre 1.500	b	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.500	b	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	b	a	a	a
	Hasta 250	d	c	b	b	a	a	a
Centro de reparación automotriz	Cualquiera	d	c	c	b	b	b	a
Edificios de estacionamiento	Cualquiera	d	c	c	c	b	b	a

Tabla 2: Clasificación de acuerdo al máximo de ocupantes.

Destino del edificio	Máximo de ocupantes	Número de pisos					
		1	2	3	4	5	6 o 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 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 3: Clasificación de acuerdo a la densidad de carga combustible.

Destino del edificio	Densidad de carga combustible (MJ/m ²) según NCh 1916 y NCh 1993	Número de pisos				
		1	2	3	4	5 o más
Combustible, lubricantes, aceites minerales y naturales	Sobre 8.000	a	a	a	a	a
	Sobre 4.000 hasta 8.000	b	a	a	a	a
	Sobre 2.000 y hasta 4.000	c	b	a	a	a
	Hasta 2.000	d	c	b	a	a
Establecimientos industriales	Sobre 16.000	a	a	a	a	a
	Sobre 8.000 y hasta 16.000	b	a	a	a	a
	Sobre 4.000 y hasta 8.000	c	b	a	a	a
	Sobre 2.000 y hasta 4.000	c	c	b	a	a
	Sobre 1.000 y hasta 2.000	d	c	c	b	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	d	d	c	c	b
Supermercados y centros comerciales	Sobre 16.000	b	a	a	a	a
	Sobre 8.000 y hasta 16.000	b	b	a	a	a
	Sobre 4.000 y hasta 8.000	c	b	b	a	a
	Sobre 2.000 y hasta 4.000	c	c	b	b	a
	Sobre 1.000 y hasta 2.000	d	c	c	b	b
Establecimientos y bodegaje	Sobre 16.000	b	b	a	a	a
	Sobre 8.000 y hasta 16.000	c	b	b	a	a
	Sobre 4.000 y hasta 8.000	c	c	b	b	a
	Sobre 2.000 y hasta 4.000	d	c	c	b	b
	Sobre 1.000 y hasta 2.000	d	d	c	c	b
	Sobre 500 y hasta 1.000	d	d	d	c	c
Hasta 500	d	d	d	d	c	

$$1 \text{ MJ/m}^2 = 238,85 \text{ Kcal/m}^2$$

$$1 \text{ MJ} = 0,06 \text{ Kg. madera equivalente de } 4.000 \text{ Kcal/Kg.}$$

PARTE 1: EJERCICIO EXPLICATIVO CÁLCULO DE RESISTENCIA AL FUEGO

En el siguiente ejercicio se realizarán los cálculos necesarios para la determinación de la resistencia al fuego que requieren los distintos elementos soportantes para una bodega de almacenaje. Primero se darán los pasos a seguir.

1.- Fórmulas para determinación de resistencia al fuego.

1.1.- Cálculo de carga combustible.

C: $Cc1 * M1 + Cc2 * M2 + \dots + Ccnx * Mn$; donde:

Cc: calor de combustión de los materiales combustibles integrantes en MJ/Kg ó Mcal/Kg.

M: masa de los materiales combustibles integrantes expresados en Kg.

1.2.- Cálculo de densidad de las cargas combustibles.

Dc: $(C1 + C2 + \dots + Cn) / S$; donde:

C: carga combustible expresada en MJ ó Mcal.

S: superficie contenedora, expresada en m².

Ejemplo: un recinto de bodega de neumáticos de un solo nivel, con elementos estructurales verticales de perfiles de acero.

Productos almacenados en bodega.

Un stock de neumáticos: 1250 unidades (80% de neumáticos de automóviles y 20% de neumático para camionetas).

1000 neumáticos de automóviles x 6 Kg de peso promedio = 6000 Kg.

250 neumáticos de camiones x 9 Kg de peso promedio = 9000 Kg.

Total de Kgs: 8250 Kg.

Carga combustible de neumáticos.

Material poliisopreno (goma natural vulcanizada)

Carga combustible del poliisopreno = 44,2 MJ/Kg.

Superficie bodega.

140,00 m²

Cálculo de carga combustible.

$$C = C1 \times M1 = 44,2 \times 8250 = 364.650 \text{ MJ.}$$

Densidad carga combustible.

$$Dc = C/S = 364.650 / 140 = 2.604,64 \text{ MJ/ m}^2$$

Resistencia al fuego de los elementos de construcción.

Según el artículo 4.3.4 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, en la tabla 3 hace mención que para estacionamientos de bodegaje en un piso y con densidad de carga combustible entre 2000 y hasta 4000 MJ/ m² corresponde a la clasificación de tipo d. de acuerdo a la tabla de requerimientos de resistencia al fuego para los electos de construcción para edificios, se tiene:

(5) elementos soportantes verticales (muros, pilares, entre otros) se requiere F30.

PARTE 2: EJERCICIO EXPLICATIVO DE CÁLCULO DE ESPESOR DE PINTURA INTUMESCENTE PARA UNA MASIVIDAD DADA.

Se tiene una columna HN 40*160, conectadas a vigas IN 30*50,7 con losas colaborantes. El edificio es de 3 pisos y está destinado a oficinas de 1000m² de superficie edificada. Según la tabla 1 del presente anexo, para un edificio de dichas características, este edificio pertenece al grupo C. Entrando en la tabla 4.1, tenemos que para elementos soportantes verticales y horizontales se obtiene una resistencia al fuego exigida de F-60 (es decir, la duración en un ensayo de incendios normalizado del sistema constructivo debe durar entre 60 y 89 minutos). Del anexo B se obtienen las masividades para los elementos anteriores, considerando a la columna expuesta por sus cuatro lados y a la viga expuesta por tres lados:

$$\text{Columna HN 40*160, } M = 117 \text{ m}^{-1} \quad \text{Viga IN 30*50,7, } M = 184 \text{ m}^{-1}$$

Con los datos señalados en el capítulo III (3.6), se ingresa, por ejemplo, en el modelo de pintura extranjera:

$$RF = (e/1000) * (4552/M + 7,66) \quad \text{para } 82 \leq M \leq 322$$

Despejando el espesor, se obtiene:

$$e = 1000*RF / (4552/M + 7,66)$$

Se tiene: $e \geq 1300$ micras y $e \geq 1900$ micras

ANEXO C:**CÁLCULO DE MASIVIDAD PARA DIVERSOS PERFILES OCUPADOS EN CHILE.**

Debido a la importancia que presenta la masividad para el cálculo de la resistencia al fuego de un elemento de acero y la determinación de la protección necesaria para cumplir con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, en el presente anexo se encuentran tabuladas las masividades de los perfiles comerciales comúnmente ocupados en Chile. En dichas tablas se incluyen la denominación comercial del perfil, sus dimensiones nominales, área y masividad considerando las condiciones de exposición al fuego más probable para dicho perfil de modo de incluir la posibilidad de ocupar el elemento como viga o columna.

Se define la masividad de un elemento de acero con o sin protección como la razón entre el perímetro expuesto al fuego del elemento constructivo y la sección transversal del elemento de acero.

Debido a que la sección transversal del elemento de acero es una propiedad del perfil que se encuentra tabulada en manuales de diseño, el único valor a determinar para el cálculo de la masividad de un perfil metálico es su perímetro expuesto al fuego.

En caso que el elemento constructivo quede expuesto al fuego en alguna otra situación no contemplada en las tablas siguientes, siempre y cuando los elementos que rodean el perfil en sus lados no expuesto presenten una estabilidad al fuego mayor que la exigida por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción para el elemento constructivo, podrá calcularse la masividad como el perímetro expuesto al fuego (calculado manualmente) dividido por el área de la tabla correspondiente al perfil en estudio.

Para la determinación de las masividades tabuladas se ocuparon las siguientes nomenclaturas y relaciones:

A: sección transversal del elemento [m²].

P_{3 lados}: perímetro del perfil considerando 3 lados expuestos al fuego (exposición parcial) [m]. Lado no considerado a aquel de menor longitud (b).

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

$M_{3 \text{ lados}}$: $P_{3 \text{ lados}} / A$ = masividad del perfil considerando 3 lados expuesto al fuego
[m⁻¹].

$M_{4 \text{ lados}}$: $P_{4 \text{ lados}} / A$ = masividad del perfil considerando 3 lados expuesto al fuego
[m⁻¹].

PERFILES SIN PROTECCIÓN.

a) Cajones plegados rectangulares y cuadrados.

$$A = 2e * (b + H - 8e) + 3\pi * e^2$$

$$P_{3 \text{ lados}} = 2*(H + b/2 - 2(4 - \pi)*e).$$

$$P_{4 \text{ lados}} = 2*(H + b - 2(4 - \pi)*e).$$

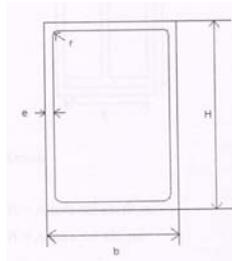
Donde:

H: Altura de la sección [cm.]

b: Ancho de ala [cm.]

t: Espesor de alma [cm.]

r: Radio de plegado [cm.]



b) Canal plegado.

$$A = e * (2b + H - 8e) + 3/2\pi * e^2$$

$$P_{3 \text{ lados}} = 2H + 3b - 3(4 - \pi)*e.$$

$$P_{4 \text{ lados}} = 2H + 4b - 3(4 - \pi)*e.$$

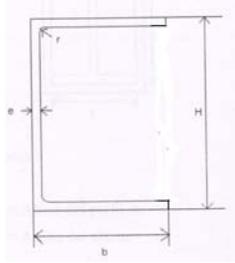
Donde:

H: Altura de la sección [cm.]

b: Ancho de ala [cm.]

t: Espesor de alma [cm.]

r: Radio de plegado [cm.]



PERFILES PROTEGIDOS.

En este caso el cálculo del perímetro puede simplificarse al no considerar el espesor de la protección. De este modo cuando el perfil posee una protección que sigue su contorno, el perímetro corresponderá al mismo del perfil sin protección, mientras que si el perfil es encajonado por la protección su perímetro corresponderá al del contorno interno de la protección. A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de masividad para un perfil IN.

1.- Protección encajonada al perfil.

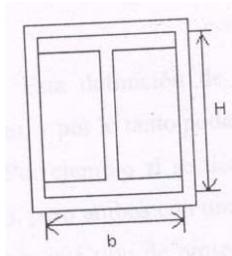
a) Perfil ocupado como columna (4 lados expuestos al fuego).

$$P = 2b + 2H$$

Donde:

H: Altura de la sección [m]

b: Ancho de ala [m]



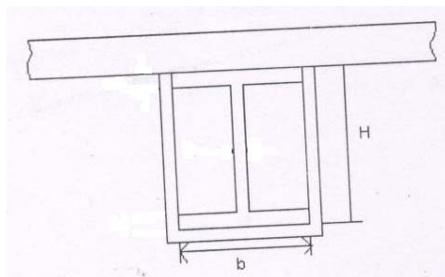
b) Perfil ocupado como viga (3 lados expuestos al fuego).

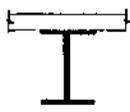
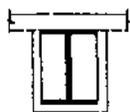
$$P = b + 2h$$

Donde:

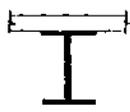
H: Altura de la sección [m]

b: Ancho de ala [m]



 VIGAS SOLDADAS SERIE IN									
Designación	Dimensiones				Area	Masividad			
IN H · Peso	H	b	e	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

 VIGAS SOLDADAS SERIE IN									
Designación	Dimensiones				Area	Masividad			
IN H · Peso	H	b	e	t	A	m ¹	m ¹	m ¹	m ¹
cm · kgf/m	mm	mm	mm	mm	cm ²				
IN 45 · 157	450	300	28	8	200	104	89	75	60
143	450	300	25	8	182	115	98	82	66
129	450	300	22	8	164	127	108	91	73
120	450	300	20	8	153	136	117	98	79
112	450	250	22	8	142	132	115	98	81
104	450	250	20	8	133	142	123	105	87
96,6	450	250	18	8	123	153	133	114	93
89,1	450	250	16	8	113	166	144	123	101
82,5	450	200	18	8	105	160	141	124	105
76,5	450	200	16	8	97	173	152	133	113
70,5	450	200	14	8	90	188	165	145	123
64,4	450	200	12	8	82	205	181	158	134
IN 40 · 140	400	300	25	8	178	111	95	79	62
126	400	300	22	8	160	124	105	87	69
111	400	300	20	6	142	140	119	99	78
109	400	250	22	8	138	129	111	94	76
95,5	400	250	20	6	122	147	126	107	86
87,8	400	250	18	6	112	160	138	116	94
80,1	400	250	16	6	102	175	151	127	103
73,7	400	200	18	6	94	169	148	128	107
67,6	400	200	16	6	86	184	161	139	116
61,5	400	200	14	6	78	203	177	153	128
55,4	400	200	12	6	71	225	197	170	142
49,3	400	200	10	6	63	253	221	191	159
IN 35 · 137	350	300	25	8	174	108	91	75	57
123	350	300	22	8	156	120	101	83	64
109	350	300	20	6	139	136	115	94	72
106	350	250	22	8	134	125	107	89	71
93,1	350	250	20	6	119	142	121	101	80
85,4	350	250	18	6	109	155	132	110	87
77,8	350	250	16	6	99	170	145	121	96
71,3	350	200	18	6	91	164	142	121	99
65,2	350	200	16	6	83	179	155	132	108
59,1	350	200	14	6	75	198	171	146	119
53,0	350	200	12	6	68	220	191	163	133
46,9	350	200	10	6	60	249	215	184	151

 VIGAS SOLDADAS SERIE IN									
Designación	Dimensiones				Área	Masividad			
IN H · Peso	H	b	e	t	A				
cm · kgf/m	mm	mm	mm	mm	cm ²	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
IN 30 · 102	300	250	22	8	130	121	102	84	65
90,7	300	250	20	6	116	137	116	95	74
83,1	300	250	18	6	106	150	126	104	80
75,4	300	250	16	6	96	165	139	114	88
69,0	300	200	18	6	88	158	135	114	91
62,9	300	200	16	6	80	173	148	125	100
56,8	300	200	14	6	72,3	192	164	138	111
50,7	300	200	12	6	64,6	215	184	155	124
44,6	300	200	10	6	56,8	244	209	176	141
41,3	300	150	12	6	52,6	226	197	171	143
36,7	300	150	10	6	46,8	254	222	192	160
32,2	300	150	8	6	41,0	289	253	219	183
IN 25 · 72,7	250	200	20	6	92,6	139	117	97	76
66,6	250	200	18	6	84,8	152	128	106	83
60,5	250	200	16	6	77,1	167	141	117	91
54,4	250	200	14	6	69,3	186	157	130	101
46,6	250	200	12	5	59,3	218	184	152	118
43,4	250	150	14	6	55,3	197	170	145	117
37,1	250	150	12	5	47,3	230	199	169	137
32,6	250	150	10	5	41,5	263	227	193	157
27,7	250	100	12	5	35,3	252	224	198	170
24,7	250	100	10	5	31,5	283	251	222	190
21,7	250	100	8	5	27,7	321	285	253	217
18,8	250	100	6	5	23,9	372	331	293	251
IN 20 · 50,1	200	150	18	6	63,8	155	131	110	86
45,6	200	150	16	6	58,1	170	144	121	95
41,1	200	150	14	6	52,3	189	160	134	105
35,2	200	150	12	5	44,8	221	188	156	123
30,6	200	150	10	5	39,0	254	215	179	141
25,7	200	100	12	5	32,8	241	210	183	152
22,8	200	100	10	5	29,0	272	238	207	172
19,8	200	100	8	5	25,2	313	274	238	198
16,8	200	100	6	5	21,4	369	322	280	234
13,8	200	100	5	4	17,6	450	393	341	284

 COLUMNAS SERIE HN									
Designación	Dimensiones				Area	Masividad			
HN H · Peso	H	b	e	t	A	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
cm · kgf/m	mm	mm	mm	mm	cm ²	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
HN 50 · 462	500	500	50	22	588	50	42	34	26
380	500	500	40	20	484	61	51	41	31
336	500	500	35	18	427	69	58	47	35
306	500	500	32	16	390	76	63	51	38
269	500	500	28	14	342	87	72	58	44
246	500	500	25	14	313	95	79	64	48
223	500	500	22	14	284	105	87	70	53
208	500	500	20	14	264	112	93	76	57
192	500	500	18	14	245	121	101	82	61
177	500	500	16	14	226	132	110	89	67
HN 45 · 341	450	450	40	20	434	61	51	41	31
301	450	450	35	18	383	69	58	47	35
275	450	450	32	16	350	76	63	51	39
241	450	450	28	14	307	87	72	59	44
194	450	450	22	12	247	108	90	73	55
180	450	450	20	12	229	117	97	79	59
166	450	450	18	12	212	126	105	85	64
152	450	450	16	12	194	138	115	93	70
139	450	450	14	12	177	151	126	102	76
HN 40 · 301	400	400	40	20	384	61	51	42	31
266	400	400	35	18	339	70	58	47	35
243	400	400	32	16	310	76	64	52	39
214	400	400	28	14	272	87	72	59	44
190	400	400	25	12	242	98	82	66	50
172	400	400	22	12	219	109	90	73	55
160	400	400	20	12	203	117	97	79	59
147	400	400	18	12	188	127	105	85	64
135	400	400	16	12	172	138	115	93	70
123	400	400	14	12	157	152	126	102	77
HN 35 · 232	350	350	35	18	295	70	58	47	36
212	350	350	32	16	270	77	64	52	39
186	350	350	28	14	237	87	73	59	44
166	350	350	25	12	211	98	82	66	50
150	350	350	22	12	191	109	90	73	55
134	350	350	20	10	171	122	101	82	61
124	350	350	18	10	157	132	110	89	67
113	350	350	16	10	144	145	120	97	73
102	350	350	14	10	130	160	133	108	81
91,5	350	350	12	10	117	178	148	120	90

115

 COLUMNAS SERIE HN									
Designación	Dimensiones				Area				
HN H · Peso	H	b	c	t	A				
cm · kgf/m	mm	mm	mm	mm	cm ²	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
HN 30 · 180	300	300	32	16	230	77	64	52	39
159	300	300	28	14	202	88	73	59	45
141	300	300	25	12	180	99	82	67	50
128	300	300	22	12	163	109	91	74	55
115	300	300	20	10	146	122	101	82	62
106	300	300	18	10	134	132	110	89	67
92,2	300	300	16	8	117	152	126	102	77
83,0	300	300	14	8	106	169	140	113	85
73,9	300	300	12	8	94	190	158	128	96
64,7	300	300	10	8	82	217	180	146	109
HN 25 · 131	250	250	28	14	167	88	73	60	45
117	250	250	25	12	149	99	82	67	50
106	250	250	22	12	135	110	91	74	56
95,0	250	250	20	10	121	122	102	83	62
87,4	250	250	18	10	111	133	110	90	67
76,5	250	250	16	8	97	152	127	103	77
68,9	250	250	14	8	88	169	141	114	85
57,7	250	250	12	6	74	202	168	136	102
50,1	250	250	10	6	64	233	194	157	118
42,4	250	250	8	6	54	275	229	185	139
HN 20 · 90,3	200	200	25	10	115	103	85	70	52
81,3	200	200	22	10	104	114	95	77	58
75,4	200	200	20	10	96	123	102	83	63
69,4	200	200	18	10	88	133	111	90	68
60,8	200	200	16	8	77	153	127	103	77
54,8	200	200	14	8	70	170	141	115	86
46,0	200	200	12	6	59	203	169	137	102
39,9	200	200	10	6	51	234	194	157	118
33,8	200	200	8	6	43	276	230	186	139

CAJONES PLEGADOS								
Designación	Dimensiones			Area	Masividad			
H · B · Peso	H	b	e	A				
cm · cm · kgf/m	mm	mm	mm	cm ²	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
□ 25-25- 59,5	250	250	8	75,8	128	95	132	99
45,2	250	250	6	57,6	170	127	174	130
38,0	250	250	5	48,4	203	152	207	155
□ 25-20- 53,2	250	200	8	67,8	129	99	133	103
40,5	250	200	6	51,6	170	132	174	136
34,0	250	200	5	43,4	204	157	208	161
□ 25-15- 46,9	250	150	8	59,8	129	104	134	109
35,8	250	150	6	45,6	171	138	175	142
30,1	250	150	5	38,4	204	165	209	169
□ 25-10- 31,1	250	100	6	39,6	171	146	177	151
26,2	250	100	5	33,4	205	175	210	180
□ 20-20- 46,9	200	200	8	59,8	129	96	134	100
35,8	200	200	6	45,6	171	127	175	131
30,1	200	200	5	38,4	204	152	209	156
24,3	200	200	4	30,9	254	189	258	194
□ 20-15- 40,7	200	150	8	51,8	130	101	135	106
31,1	200	150	6	39,6	171	134	177	139
26,2	200	150	5	33,4	205	160	210	165
21,2	200	150	4	26,9	255	199	260	204
□ 20-10- 26,4	200	100	6	33,6	172	143	178	149
22,3	200	100	5	28,4	206	170	212	176
18,0	200	100	4	22,9	255	212	261	218
□ 15-15- 26,4	150	150	6	33,6	172	128	178	134
22,3	150	150	5	28,4	206	153	212	159
18,0	150	150	4	22,9	255	190	261	196
13,7	150	150	3	17,4	339	253	345	258
□ 15-10- 21,7	150	100	6	27,6	173	137	181	145
18,3	150	100	5	23,4	207	164	214	171
14,9	150	100	4	18,9	257	204	264	211
11,3	150	100	3	14,4	340	270	347	278
□ 15- 5- 14,4	150	50	5	18,4	209	181	218	191
11,7	150	50	4	14,9	258	225	268	234
8,96	150	50	3	11,4	342	298	351	307
□ 10-10- 17,0	100	100	8	21,6	175	129	185	139
14,4	100	100	5	18,4	209	154	218	163
11,7	100	100	4	14,9	258	192	268	201
8,96	100	100	3	11,4	342	254	351	263
6,04	100	100	2	7,7	508	379	517	388
□ 10- 5- 10,5	100	50	5	13,4	212	174	225	187
8,59	100	50	4	10,9	261	216	274	228
6,6	100	50	3	8,4	345	285	357	297
4,5	100	50	2	5,7	511	424	523	436

 CANALES PLEGADOS								
Designación	Dimensiones			Area	Masividad			
C · H · Peso	H	b	e	A				
cm · kgf / m	mm	mm	mm	cm ²	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
30 · 43,4	300	100	12	55,3	175	157	145	127
36,7	300	100	10	46,7	209	187	171	150
29,7	300	100	8	37,9	258	232	211	185
26,6	300	75	8	33,9	259	237	221	199
20,3	300	75	6	25,8	343	314	291	261
17,0	300	75	5	21,7	409	375	346	311
15,1	300	50	5	19,2	410	384	365	339
12,1	300	50	4	15,5	510	478	452	420
10,7	300	50	3,5	13,6	582	545	515	478
9,19	300	50	3	11,7	677	634	598	555
25 · 32,7	250	100	10	41,7	210	186	168	144
26,6	250	100	8	33,9	259	230	207	177
23,5	250	75	8	29,9	261	236	217	192
17,9	250	75	6	22,8	344	311	285	252
15,1	250	75	5	19,2	410	371	339	300
13,1	250	50	5	16,7	412	382	360	330
10,6	250	50	4	13,5	512	475	445	408
9,30	250	50	3,5	11,8	583	541	506	464
8,01	250	50	3	10,2	678	629	588	539
6,71	250	50	2,5	8,54	812	753	702	644
22,5 · 21,9	225	75	8	27,9	261	235	215	188
16,7	225	75	6	21,3	345	309	281	246
14,1	225	75	5	17,9	411	369	335	293
11,4	225	75	4	14,5	511	459	415	363
8,60	225	75	3	11,0	678	609	548	479
5,78	225	75	2	7,37	1011	909	814	712
14,4	225	50	6	18,3	346	319	300	273
12,1	225	50	5	15,4	413	381	356	324
9,79	225	50	4	12,5	513	473	441	401
7,42	225	50	3	9,45	679	626	582	529
5,00	225	50	2	6,37	1013	934	864	785
20 · 20,3	200	75	8	25,9	262	233	212	183
15,6	200	75	6	19,8	345	308	278	240
13,1	200	75	5	16,7	412	367	330	285
11,1	200	50	5	14,2	414	379	353	317
9,01	200	50	4	11,5	514	470	436	392
7,93	200	50	3,5	10,1	585	536	495	446
6,83	200	50	3	8,70	680	623	574	517
5,73	200	50	2,5	7,29	814	745	685	617
4,61	200	50	2	5,87	1014	928	852	767
6,71	200	75	8	25,9	262	233	212	183

 CANALES PLEGADOS								
Designación	Dimensiones			Area	Masividad			
C · H · Peso	H	b	e	A	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
cm · kgf/m	mm	mm	mm	cm ²				
C 17,5 · 14,4 12,1 10,1 8,22 7,24 6,24 5,24 4,21	175	75	6	18,3	346	305	273	232
	175	75	5	15,4	413	364	324	275
	175	50	5	12,9	415	377	348	309
	175	50	4	10,5	515	468	430	382
	175	50	3,5	9,22	587	532	488	434
	175	50	3	7,95	682	619	566	503
	175	50	2,5	6,67	815	740	675	600
	175	50	2	5,37	1015	922	838	745
	C 15 · 11,1 9,01 9,17 7,44 6,55 5,66 4,74 3,82	150	75	5	14,2	414	361	317
150		75	4	11,5	514	449	392	327
150		50	5	11,7	417	374	343	300
150		50	4	9,47	517	464	422	369
150		50	3,5	8,35	588	528	479	419
150		50	3	7,20	683	614	555	486
150		50	2,5	6,04	817	734	662	579
150		50	2	4,87	1016	914	822	719
C 12,5 · 8,19 6,65 5,87 5,07 4,25 3,43		125	50	5	10,4	419	371	336
	125	50	4	8,47	519	460	413	354
	125	50	3,5	7,47	590	523	468	401
	125	50	3	6,45	685	608	542	465
	125	50	2,5	5,42	818	726	646	554
	125	50	2	4,37	1018	904	801	687
C 10 · 5,87 5,18 4,48 3,76 3,04	100	50	4	7,47	521	455	401	334
	100	50	3,5	6,60	593	517	455	379
	100	50	3	5,70	688	600	526	438
	100	50	2,5	4,79	821	717	626	521
	100	50	2	3,87	1021	891	775	646
C 8 · 3,54 2,98 2,41	80	40	3	4,50	693	605	533	444
	80	40	2,5	3,79	826	721	632	527
	80	40	2	3,07	1026	896	782	652
C 5 · 1,80 1,47	50	25	2,5	2,29	844	735	654	545
	50	25	2	1,87	1043	909	803	669

TUBOS					
Designación	Dimensiones		Area	Masividad	
O · D · Peso	D _{ext.}	e	A		
pulg · kgf/m	mm	mm	cm ²	m ⁻¹	m ⁻¹
O 5 · 15,0	127	5	19,2	208	265
	12,1	4	15,5	258	329
	9,17	3	11,7	341	435
O 4 1/2 · 13,5	114	5	17,2	209	266
	10,9	4	13,9	259	330
	8,23	3	10,5	342	436
	6,89	2,5	8,78	409	521
O 4 · 11,9	114	2	7,06	509	648
	102	5	15,2	210	268
O 4	102	4	12,3	260	331
	7,29	3	9,29	343	437
	6,11	2,5	7,78	410	522
	4,91	2	6,26	510	649
	102	5	13,2	212	270
O 3 1/2 · 10,3	88,9	5	13,2	212	270
	8,38	4	10,7	262	333
	6,36	3	8,10	345	439
	5,33	2,5	6,79	412	524
	4,29	2	5,46	512	651
O 3 · 8,78	76,2	5	11,2	214	273
	7,12	4	9,07	264	336
	5,42	3	6,90	347	442
	4,54	2,5	5,79	414	527
	3,66	2	4,66	513	654
O 2 1/2 · 7,21	63,5	5	9,19	217	276
	5,87	4	7,48	267	340
	4,48	3	5,70	350	445
	3,03	2	3,86	516	657
	2,29	1,5	2,92	683	869
	1,84	1,2	2,35	849	1081
	1,54	1	1,96	1016	1294
	63,5	5	8,69	218	278
O 2 3/8 · 6,82	60,3	5	8,69	218	278
	5,56	4	7,08	268	341
	4,24	3	5,40	351	447
	2,88	2	3,66	517	658
	2,18	1,5	2,77	684	870
	1,46	1	1,86	1017	1295
O 2 · 3,54	50,8	3	4,51	354	451
	2,41	2	3,07	520	663
	1,82	1,5	2,32	687	875
	1,47	1,2	1,87	853	1087
	1,23	1	1,56	1020	1299

ANEXO D

Traducción Norma Británica BS 8202: Parte 2: 1992.

Revestimientos para protección contra incendios de elementos de edificios.

Parte 2: Código práctico para el uso de sistemas de revestimientos intumescentes sobre sustratos metálicos para proveer resistencia al fuego.

1.- ALCANCE.

Esta parte de BS 8202 da las recomendaciones para el uso de materiales intumescentes como un revestimiento para proveer una resistencia al fuego y protección al fuego al sustrato metálico. Este incluye:

- a) guía sobre la compatibilidad con el sistema imprimante y revestimientos de terminación.
- b) Guía para la apreciación de los datos del ensayo de incendios celulósicos normalizados.
- c) Métodos para estimar la durabilidad y el envejecimiento.
- d) Métodos de aplicación y procedimientos de control de calidad en terreno.
- e) Recomendaciones para la mantención durante la vida útil.

2.- ELECCIÓN DEL PRODUCTO.

Los revestimientos intumescentes son materiales versátiles que pueden cubrir superficies de regular e irregular forma y tamaño. Sin embargo, cada producto debiera ser escogido cuidadosamente para cumplir con los requerimientos particulares para una determinada finalidad. Por ejemplo, en una situación de exposición externa o en condiciones de humedad algunos productos pueden ser inadecuados o pueden requerir una protección adicional frente al medioambiente.

3.- MATERIALES, PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE Y REVESTIMIENTOS DE TERMINACIÓN.

3.1.- Composición.

Un revestimiento intumescente debiera contener ingredientes lo que reaccionan juntos en una secuencia controlada para producir el fenómeno conocido como intumescencia.

3.2.- Preparación de la superficie.

3.2.1.- General.

Evidencia del ensayo de incendios puede ser obtenida antes de recubrir con alguna combinación de revestimientos con un sistema de protección contra incendios intumescente. Donde dicha evidencia no exista el sustrato debiera ser preparado como se describe a continuación o, si el revestimiento es aplicado sobre una malla de alambre, como se describe 3.2.4.

3.2.2.- Preparación del sustrato metálico.

A menos que se especifique de otra manera en un informe de ensayo al fuego relevante, el sustrato de acero debiera ser preparado por raspado removedor y desprendimiento de la herrumbre, usando barrenado abrasivo para dar al menos segunda calidad. Métodos alternativos de preparación de superficie pueden ser usados si se demuestra que la resistencia al fuego y la durabilidad no son efectivos en forma negativa. La superficie debe estar libre de polvo.

Todo vestigio de humedad, tanto por ataque directo del agua o por condensación, debe ser removido a menos que sea convenido de otra manera. La referencia debe ser hecha con las instrucciones del fabricante.

3.2.3.- Imprimación.

La función principal de un imprimante es la de proveer protección a la corrosión para el acero. Puede proveer también adhesión al revestimiento intumescente. Se debe tener cuidado para asegurar que el imprimante es compatible con el revestimiento intumescente y que no afectará negativamente la resistencia al fuego. Distintas formulaciones de imprimantes dentro del mismo grupo genérico pueden producir diferentes reacciones con los revestimientos intumescentes. Los

imprimantes deben, por lo tanto, ser identificados por la descripción genérica y el nombre del producto.

Cunando son productos imprimantes para los cuales no son accesibles los datos de ensayos de incendio, un informe debe pedirse al fabricante o al proveedor del revestimiento intumescente sobre la compatibilidad química y adaptabilidad para aplicaciones resistentes al fuego.

3.2.4.- Retención mecánica.

Cuando un revestimiento intumescente es aplicado sobre una malla de alambre y la malla es mecánicamente retenida por una estructura soportante las recomendaciones 3.2.2 y 3.2.3 no son aplicables. El imprimante debe ser compatible con el revestimiento intumescente, pero no necesita adherir a la superficie de la estructura bajo las condiciones del ensayo de incendio, tomando la precaución de que el revestimiento y la malla demuestren ser capaces de cubrir el período requerido de resistencia al fuego independientemente de la adherencia al sustrato.

3.3.- Revestimientos de terminación.

3.3.1.- Terminaciones superficiales decorativas y protectoras.

Donde las terminaciones superficiales decorativas o protectoras son requeridas, inicialmente o posteriormente (debido a cambios de ocupación o uso del edificio), es esencial asegurar que la terminación aplicada es compatible con el revestimiento intumescente y no perjudica su funcionamiento.

Algunos factores que pueden afectar el funcionamiento son:

- Incompatibilidad química.
- Represión física de la intumescencia.
- Elasticidad.

Un material superficial debe satisfacer los requerimientos de algunas autoridades aprobatorias.

3.3.2.- Revestimiento sellante superior.

El espesor, cobertura e intervalo de recubrimiento del revestimiento sellante superior debe estar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El revestimiento sellante superior puede ser pigmentado y formar la terminación final. En este caso generalmente no es necesario determinar como el pigmento afectará la resistencia al fuego.

Alternativamente, el revestimiento sellante superior puede ser un revestimiento decorativo aplicado sobre este.

3.3.3.- Revestimiento decorativo.

El revestimiento decorativo puede ser aplicado directamente sobre el revestimiento sellante superior o directamente sobre el revestimiento intumescente. Este debe ser químicamente compatible con el revestimiento sobre el cual se aplicará y no debe inhibir el comportamiento al fuego. Se debe tener cuidado con las aplicaciones repetidas de revestimiento decorativo.

4.- RESISTENCIA AL FUEGO DE LA ESTRUCTURA.

4.1.- Miembros estructurales de acero a compresión y flexión.

La resistencia al fuego de vigas y columnas de acero estructural debe ser determinada por el método dado en BS 476 Parte 20, 1987. El tiempo de resistencia al fuego obtenido en un ensayo de acuerdo con esta norma depende de un número de factores, incluida la naturaleza del revestimiento, el espesor del revestimiento, el tamaño y forma de la sección de acero y ya sea usado en viga o columna.

Debido al rango de dimensiones de secciones de acero y formas disponibles es impracticable probar cada combinación de secciones de acero y espesores de revestimiento.

El espesor de la protección requerida para acero estructural es por lo tanto usualmente basada en estimaciones diseñadas para asegurar que el comportamiento adecuado sea obtenido, de acuerdo a las condiciones de calor de BS 476 Parte 21, 1987.

4.2.- Evaluación de miembros de acero estructural a tracción.

Como no hay pruebas apropiadas para evaluar el comportamiento de miembros traccionados protegidos, su comportamiento debe ser evaluado por medio de estimaciones.

4.3.- Evaluación de otros miembros en flexión y compresión (aluminio, planchas de hierro, etc.).

Donde los revestimientos intumescentes son usados en otros miembros estructurales el comportamiento debe ser evaluado por medio de pruebas separadas o estimaciones basadas en otros datos experimentales de BS 476 Parte 20, 1987.

4.4.- Retención de revestimientos y sistemas intumescentes.

La habilidad de la corteza intumescente para permanecer en su lugar bajo condiciones del ensayo de resistencia al fuego debe ser considerada. Esta es principalmente influida por lo siguiente:

- La presencia de un imprimante u otra terminación superficial.
- Las propiedades adhesivas y cohesivas de la capa de espuma carbonizada (comúnmente referida como "stickability").
- La forma y dimensiones del miembro.
- Condiciones medioambientales y condiciones de terreno.

El medio de asegurar una adecuada retención del aislante al sustrato dependerá del sistema de revestimiento intumescente.

Cuando son usadas técnicas de retención mecánica, los detalles deben ser registrados en un informe experimental apropiado.

4.5.- Exposición a otras condiciones de calor a aquellas especificadas en BS 576: Parte 20: 1987.

Estimaciones bajo exposición a otras condiciones de calor que las especificadas en BS 476 deben ser consideradas cuando se requiera satisfacer especificaciones necesarias.

5.- DURABILIDAD.

5.1.- General.

Los sistemas de revestimiento intumescente deben ser evaluados por durabilidad como se describe el anexo A y tabla 1.

Para una durabilidad satisfactoria, la probeta climatizada en cada caso debe tener un tiempo de resistencia al fuego dentro de un 25% del tiempo de resistencia de la probeta de control y el acero no debe alcanzar en promedio una temperatura mayor que la temperatura crítica a la cual el material fue evaluado para columnas de sección "I" hasta después de 54 minutos.

Si los fabricantes pueden proveer estimaciones independientes de durabilidad y ensayos de incendios basados en casos reales, algunos o todos los programas de ensayos dados en la tabla 1 pueden no ser necesarios. Cuando los sistemas de revestimiento intumescente son usados en condiciones ambientales específicas otros ensayos pueden ser necesarios o algunos de los límites dados en la tabla 1 pueden necesitar modificaciones.

5.2.- Ambientes especiales.

Cuando los sistemas de revestimiento intumescente son requeridos en áreas en condiciones ambientales específicas, otros ensayos además de aquellos dados en la tabla 1 deben llevarse a cabo. Algunos de los ejemplos más comunes son los siguientes:

- Abrasión mecánica e impacto.
- Lavado de alta presión frecuente y fraguado, por ejemplo en mataderos y planta química.
- Derrame de solvente o salpicaduras, por ejemplo en fabricas de pinturas o plantas petroquímica.
- Contaminación radiactiva, por ejemplo en estaciones de energía nuclear y laboratorios radioquímicos.
- Grasas calientes y aceites, por ejemplo en cocinas y plantas de procesamiento de alimentos.

- Químicos corrosivos (ácido, álcalis, agentes reductores y oxidantes), por ejemplo en plantas químicas, plantas de procesamiento de alimentos y piscinas.
- Ambientes de calor húmedo, por ejemplo, invernaderos.

6.- CONTROL EN TERRENO.

6.1.- General.

La aplicación correcta de los revestimientos intumescentes es esencial, ya que espesores más delgados que los espesores recomendados por los fabricantes pueden dar una resistencia al fuego inadecuada. El espesor no debe exceder el máximo rango del revestimiento para el cual el producto ha sido validado.

6.2.- Antes de la aplicación.

6.2.1.- Para alcanzar el estándar requerido de control en la aplicación del revestimiento intumescente se necesita un alto grado de experiencia y cuidado y el trabajo debe por lo tanto ser llevado a cabo sólo por personas calificadas.

NOTA: un chequeo debe ser hecho para asegurar que la persona que aplique el revestimiento es aceptable para el fabricante o proveedor, ha recibido instrucción o entrenamiento considerando satisfactorio por el fabricante o el proveedor y que tiene experiencia en la aplicación de todos los productos que forman parte del sistema de revestimiento intumescente.

6.2.2.- Antes de que comiencen los trabajos en terreno, una especificación para el sistema de revestimiento intumescente adoptado debe ser preparado con la siguiente información:

- Situación de exposición para la cual el revestimiento ha sido determinado (ver tabla1).
- Dimensiones y área de las estructuras de acero a ser protegidas, incluyendo largos aproximados, masa por unidad de largo y kilogramos por metro y número de miembros individuales.
- Para cada miembro, espesor de capa seco del material a ser aplicado y cual lado del miembro será revestido.

- Detalles del imprimante, incluyendo acerca de la compatibilidad y un método de preparación apropiado.
- Detalles de la cala sellante superior y/o revestimientos decorativos, incluyendo información sobre compatibilidad.

6.2.3.- Cuando la superficie de terminación es importante, un panel de prueba o sección representativa de las superficies a ser revestidas debe ser preparada antes que comiencen los trabajos y guardada cuidadosamente en terreno para uso del control de calidad.

6.3.- Durante la aplicación.

6.3.1.- En el transporte del material intumescente especificado a terreno, el tiempo de almacenamiento y fecha de expiración debe ser chequeado antes de la aplicación. El material debe ser guardado de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

6.3.2.- El sustrato debe limpiarse y prepararse.

6.3.3.- Las condiciones ambientales deben ser monitoriadas para asegurar que el revestimiento es aplicado sólo bajo condiciones de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

6.3.4.- El revestimiento debe ser aplicado como es descrito en las instrucciones del fabricante, por ejemplo usando spray, brocha o llama.

6.3.5.- El espesor promedio aplicado para cada revestimiento debe ser, chequeado como es descrito en las instrucciones del fabricante.

6.3.6.- El espesor seco de capa promedio debe medirse usando instrumentos calibrado adecuados, por ejemplo micrómetro de inducción magnética. Las medidas del espesor deben ser tomadas en todas las áreas expuestas de la sección en intervalos de 500mm como máximo y un mínimo de tres medidas deben ser tomadas en cualquier cara.

6.4.- Después de la aplicación.

Un chequeo final debe ser hecho antes de confirmar que el sistema de revestimiento ha sido aplicado satisfactoriamente.

Las desviación estándar del espesor de película seca con respecto a la media no debe ser mayor que 0,15 o la desviación estándar notada en los informes de ensayos de incendio.

El máximo espesor de película seca total no debe exceder el máximo espesor para el cual el producto ha sido aprobado.

Si este criterio no es satisfecho, la distribución de espesores debe ser examinada con más detalle para determinar las acciones necesarias para remediar la situación.

7.- MANTENIMIENTO.

Recomendaciones deben darse para revestimientos decorativos y mantenimiento superficial en catálogos de mantenimiento para estructura para asegurar que el revestimiento intumescente básico no se degrade. En donde los revestimientos intumescentes son usados en exteriores o donde la protección es alcanzada por la aplicación de un revestimiento sellante superior, entonces es esencial asegurar que el revestimiento superior es mantenido adecuadamente así como quedar sin perforaciones.

Una inspección regular es esencial e impactos, rasmilladuras, abrasiones, etc., deben ser reparadas apropiadamente. En donde los revestimientos intumescentes son usados con carácter decorativo del edificio una cubierta puede ser necesaria en intervalos periódicos y una limpieza o lavado puede ser necesario en áreas en donde la fricción, restregado o depósito de partículas ocurre.

La referencia debe ser hecha en catálogos de mantención por el hecho que el revestimiento aplicado al acero u otros sustratos es aquí específicamente para propósitos de protección estructural al fuego, necesita ser mantenida de forma particular y nunca debe ser removida a menos que se reemplace por un material similar.

Anexo A (normativa).**Procedimiento para la estimación de la durabilidad.**

A.1. Seleccione la situación de exposición enumerada en la tabla 1 correspondiente a las condiciones ambientales para las cuales el sistema de revestimiento ha sido diseñado para determinar el programa de ensayos adecuado.

A.2. Prepare una probeta para cada ensayo en el programa más una probeta para usar como control. La probeta debe consistir de secciones "I" de acero de dimensiones mínimas 152mm * 152mm* 37Kg/m* 500mm y mínimo $H_p/A = 165$.

Aplique el sistema de revestimiento intumescente al sustrato de acero dando un espesor para cada revestimiento del sistema dentro de un 10% del espesor de película seca encontrado para una resistencia al fuego de 1 hora sobre la sección en un ensayo previo según BS 476: Parte 20: 1987. Todas las probetas en un programa dado deben tener las mismas dimensiones.

A.3. Someta a cada probeta al ensayo apropiado dado en la tabla 1.

A.4. Someta a todas las probetas de durabilidad más la probeta de control al régimen de calor descrito en BS 476: Parte 20: 1987 por un período mínimo de 1 hora.

1. Programa de ensayo de durabilidad.				
Situación de exposición	Externa	Parcialmente externa	Interna con fase constructiva	Interna
Descripción	Exposición total al clima, incluyendo luz ultravioleta, ciclos de temperatura lluvia con viento, spray de sal	Totalmente expuesto al clima durante la construcción y posteriormente expuesto parcialmente	Parcialmente expuesto al clima sólo durante la construcción	No expuesto al clima pero sujeto a variación de temperatura y humedad por sobre el rango al cual se pudiera formar condensación, por ejemplo enfriamiento de puntales
Ensayo de exposición al calor: 6 meses de exposición a 50°C ± 2°C en un ambiente controlado	SI	SI	SI	SI
Ensayo de lavado: 20 ciclos, cada ciclo consiste de un remojo completo de la probeta con una solución de jabón pulverizado y agua y llevado al aire seco sin lavar	SI	SI	SI	SI
Ensayo del dióxido de azufre BS 3900: Parte F8: 1986, usando 0.2 l de SO ₂ por 300 l de carga	SI 20 CICLOS	SI 10 CICLOS	SI 5 CICLOS	SI 5 CICLOS
Ensayo de hielo-deshielo. Ciclo consiste de 24 horas a -20°C	SI	SI	SI	SI

seguido de 24 horas a +20°C.	10 CICLOS	10 CICLOS	5 CICLOS	5 CICLOS
Ensayo de humedad de acuerdo con BS 3900: Parte F2: 1973	SI 1000 h	SI 1000 h	SI 250 h	SI 250 h
Ensayo de media climática de acuerdo con BS 3900: Parte F3:1971 usando vigas	SI	SI	-----	-----
Ensayo de spray de sal de acuerdo con BS 3900 Parte F4: 1968	SI 2000 h	SI 1000 h	-----	-----
Ensayo de exposición natural a) en ambiente industrial b) en ambiente marino	SI 2 años mínimo	SI 1 año mínimo	SI 0,5 año mínimo	-----

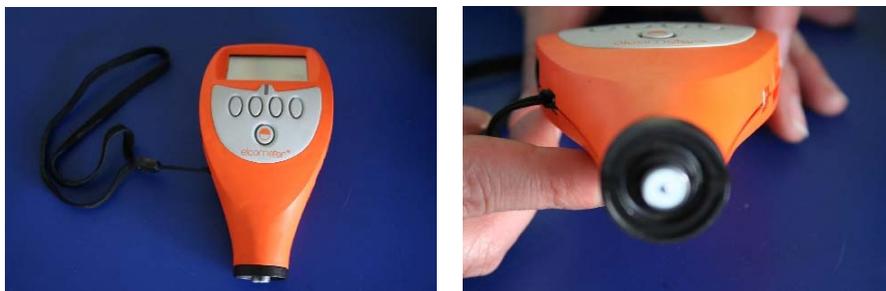
ANEXO E.

DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE PELÍCULA SECA EN ELEMENTOS DE ACERO.

El siguiente anexo entrega información complementaria a la NCh 1007 Of.89 sobre la determinación del espesor de la película seca del sistema protector intumescente. Lo siguiente es un extracto de dicha norma.

APARATOS.

Micrómetro magnético: operado en forma mecánica o eléctrica. Los instrumentos operados mecánicamente incluyen un magneto en forma de herradura cuyo contacto se coloca directamente sobre la superficie de la muestra. Los instrumentos operados eléctricamente utilizan una sonda instrumental separada que aloja el magneto la cual debe ser colocada directamente sobre la superficie de la muestra. En ambos casos, el espesor de película se lee en la escala del instrumento. De acuerdo a las instrucciones del aparato, la medición debe efectuarse en superficies planas, o curva y en forma horizontal o vertical.



Micrómetro magnético

CALIBRACIÓN DEL MICRÓMETRO MAGNÉTICO.

Calibrar el aparato en un área de campos magnéticos. No debe existir una vibración aparente en la pieza de ensayo cuando se esté calibrando el aparente.

Usar una sección de la lámina de ensayo que no esté recubierta. Si no existen zonas sin recubrimiento, pueden usarse láminas no recubiertas del mismo material sobre el cual se agregó el recubrimiento para efectuar el ensayo. La calibración del aparato debe efectuarse en un mínimo de tres puntos de la superficie no recubierta.

Usar hojas delgadas de material no magnético para efectuar la calibración, midiendo su espesor con un micrómetro, de acuerdo a las instrucciones dadas por el fabricante. Seleccionar las hojas delgadas cuyo espesor esté dentro del rango de espesores de la película del ensayo.

Sostener el contacto del instrumento firmemente sobre la superficie en forma perpendicular al plano de la medición tanto dure la calibración como en la medida de la muestra.



Medición en forma perpendicular al plano.

Seguir las instrucciones del fabricante para la calibración específica del aparato.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Cuando este método se use en terreno la muestra es la estructura recubierta o el artículo al cual se evaluará el espesor de película seca.

Para uso en la laboratorio aplicar el material de ensayo sobre láminas de composición y superficie predeterminada en la norma correspondiente.

Procedimiento.

Usar el aparato previamente calibrado. Asegurarse que el recubrimiento esté seco antes de usar el instrumento.

Verificar que el extremo magnético del aparato y la superficie de ensayo se encuentren limpias. Cualquier contaminante, ya sea magnético o no afectará las lecturas del aparato.

Efectuar las mediciones en áreas en las cuales no existan vibraciones o campos magnéticos.

Si las lecturas del espesor caen fuera del rango determinado durante la calibración, repetir el procedimiento de calibración en el rango de mediciones. Comprobar frecuentemente la calibración del aparato durante su uso, de modo de asegurar que el aparato sigue midiendo en forma apropiada.

Efectuar un número suficiente de lecturas para caracterizar la muestra, de acuerdo al siguiente criterio:

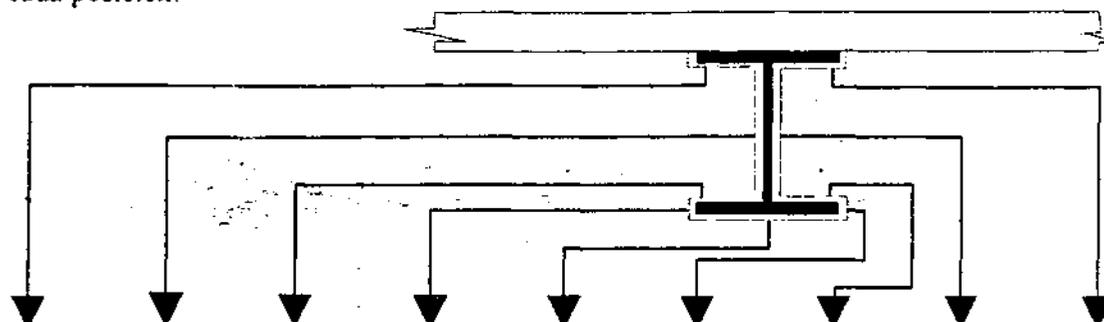
- En las determinaciones del laboratorio, el mínimo recomendable son tres determinaciones por cada lámina de 75*150mm, o proporcionalmente más lecturas si las láminas son de mayor tamaño.

- En las mediciones en terreno, el mínimo recomendable son cinco determinaciones al azar por cada 10m² de superficie. Cada una de las cinco determinaciones indicadas debe corresponder al valor promedio de tres lecturas separadas dentro del área de un círculo de 12mm de diámetro.

- Efectuar las mediciones como mínimo a 25mm de cualquier borde o esquina de la muestra. Si es necesario medir a una distancia menor a 25mm, volver a comprobar la calibración en el área específica para determinar el efecto, si es que existe, que causa el borde en la medición.

En las próximas páginas se entrega una recomendación de los puntos en los cuales se debe tomar las 3 medidas para obtener las determinaciones señaladas en la norma citada anteriormente.

1. Calibrar el micrómetro siguiendo el procedimiento entregado en la norma NCh 1007 of 89: Pinturas - Determinación del Espesor de Película Seca.
2. Cada medida puntual debe ser el promedio de tres lecturas individuales, moviendo el instrumento de 1 a 3 pulgadas (2,5 a 7,5 cm) entre cada lectura. Se deben descartar aquellas lecturas inusualmente altas o bajas que no son representativas y no pueden ser repetidas.
3. Tome 12 medidas en cada posición.



UBICACIÓN		SITIO: 1	SITIO: 2	SITIO: 3	SITIO: 4	SITIO: 5	SITIO: 6	SITIO: 7	SITIO: 8	SITIO: 9	TOTAL	PROMEDIO
	1											
	2											
	3											
	Prom:											
	1											
	2											
	3											
	Prom:											
	1											
	2											
	3											
	Prom:											

Proyecto: _____

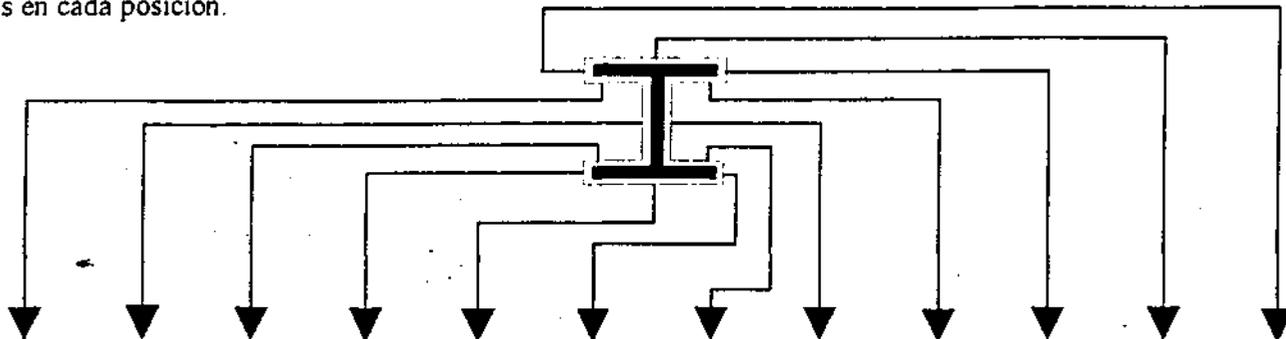
Promedio Requerido: _____

Inspeccionado por: _____

Promedio Registrado: _____

Fecha : _____

1. Calibrar el micrómetro siguiendo el procedimiento entregado en la norma NCh 1007 of 89: Pinturas - Determinación del Espesor de Película Seca.
2. Cada medida puntual debe ser el promedio de tres lecturas individuales, moviendo el instrumento de 1 a 3 pulgadas (2,5 a 7,5 cm) entre cada lectura. Se deben descartar aquellas lecturas inusualmente altas o bajas que no son representativas y no pueden ser repetidas.
3. Tome 12 medidas en cada posición.



UBICACIÓN		SITIO: 1	SITIO: 2	SITIO: 3	SITIO: 4	SITIO: 5	SITIO: 6	SITIO: 7	SITIO: 8	SITIO: 9	SITIO: 10	SITIO: 11	SITIO: 12	TOTAL	PROMEDIO
	1														
	2														
	3														
	Prom:														
	1														
	2														
	3														
	Prom:														
	1														
	2														
	3														
	Prom:														

Proyecto: _____

Promedio Requerido: _____
 Promedio Registrado: _____
 Fecha : _____

Inspeccionado por: _____

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

1. Anderson, Dziuck, Mallow y Buckmaster. Journal of Fire Science. 1985. pp 161-194.
2. Anderson, Ketchum y Mountain. Journal of Fire Science. 1988. pp 390-410.
3. Anderson y Wauters. International Engineering Science. 1984. pp 881-889.
4. Allende, Andrés. 1991. Estudio de protecciones para estructuras de acero contra incendios. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
5. Alvarado Bretón, Andrés Alberto. 2004. Estudio Térmico de Productos Intumescentes Aplicados Sobre Elementos Estructurales de Acero. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
6. Asociación española de normalización y certificación. UNE 23-093-81. Ensayo de la resistencia al fuego de las estructuras y elementos de la construcción. España 1981.
7. Bayón, René. 1978. La protección contra incendios en la construcción. España. Editores técnicos asociados.
8. Buckmaster, Anderson y Nachman. International Journal of Engineering Science. 1986. pp 263-276.
9. Buen uso de pinturas intumescentes: interrogantes que encuentran su respuesta. Septiembre 2003. En www.revistabit.cl
10. Bresler, Boris. 1970. Diseño de estructuras de acero. Editorial Limusa-Wiley, S.A. México.
11. Cagliostro, Riccitiello, Clark y Shimizu, Fire and Flam, 1975. pp 205-221.
12. Catálogo técnico de pinturas. Pinturas Creizet S.A. 2005.
13. Catálogo técnico de pintura intumescente Fire Control L04 280T. Pinturas Sherwin Williams S.A.
14. Catálogo técnico de pinturas Ceresita. 2005.
15. Charo Lacassie, Felipe. 2002. Propiedades y fundamentos de pinturas intumescentes. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, diploma en Ingeniería en mecánica. Pontificia Universidad Católica de Chile.

16. Contreras García, Carolina. 2005. Protección pasiva contra el fuego para estructuras de acero "Pinturas intumescentes". Trabajo para optar el título profesional de técnico universitario en proyecto y diseño estructural. Universidad Técnica Federico Santa María. Sede Talcahuano Rey Balduino de Bélgica.
17. Fuentes Morales, Miguel Alejandro. 1997. Protección Pasiva Contra Incendios de Estructuras de Acero por Medio de Pinturas Intumescentes. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
18. Gheri, E. Febrero 1985. The fire resistance of steel structures. Revista Fire Technology. Volumen 21 N°1. Estados Unidos.
19. González García, Santiago. Comportamiento frente al fuego (I) de estructuras metálicas. Gabinete técnico Provincial de Toledo. España.
20. Guzmán, Euclídes. Santiago 1981. Curso elemental de edificación. Volumen II. Editorial Universitaria.
21. Kathryn M. Butler, Physical Modeling of Intumescent Fire Retardant Polymers, Polymeric Foams: Science and Technology. Proceedings. American Chemical Society. ACS Symposium Series 669. Chapter 15. 1997. Khemani, K. C., American Chemical Society, Washington DC 1997. pp 214-230.
22. Kim, H J1. 2002. The thermomechanical stresses-strain response of intumescent mat.
23. Infante Tirado, Rodrigo. 2004. Como especificar y aplicar un correcto esquema de pinturas, sobre distintos materiales de construcción. Industrias Ceresita S.A.
24. Instituto Nacional de Normalización. NCh 1007 Of.89. Pinturas - Determinación del espesor de película seca.
25. Instituto Nacional de Normalización. NCh 935/1 Of. 97. Prevención de incendios de edificios - Ensayos de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción general. Santiago. 1997.
26. Instituto Nacional de Normalización. NCh 933 Of. 97. Prevención de incendio en edificios. Santiago. 1997.
27. Instituto Nacional de Normalización. NCh 203 Of. 77. Aceros para uso estructural - Requisitos. Santiago. 1977.

28. International Organization for Standardization. ISO 834 – 75. Fire resistance test. Elements of building construction. Suiza 1975
29. Materiales de construcción. Ensayos de Pintura. En <http://www.ucn.cl/FacultadesInsitutos/laboratorios/Propm5.htm>
30. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2004. Listado oficial de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción.
31. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2005. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
32. Ondac. El manual de la construcción. Edición 278. Mayo/Junio 2004.
33. Pehrson y Barnett. Journal of Fire Protection Engineering. 1996. pp 13-30.
34. Pinturas Ceresita. 2004. Protocolo para la especificación y uso de la pintura intumescente (PI).
35. Pinturas especiales: pincelada de vanguardia. Noviembre 2004. En www.revistabit.cl
36. Pinturas intumescentes: acero indestructible. Mayo 2004. En www.revistabit.cl
37. Reshetnikov y Khalturinskij. Three Dimensional of Heat Transfer in Foamed Chars. Polymer Burning Laboratory. Institute of Synthetic Polymeric Materials. Moscow 1997.
38. Rodríguez, Gabriel. 1989. Protección al fuego de estructuras de acero por medio de revestimientos intumescentes. I Encuentro internacional de centros de investigación y ensayos de incendios. Editorial universitaria. Santiago.
39. UL 1709. Rapid rise fire test of protection materials for structural steel. Underwriters Laboratories INC.
40. Underwriters Laboratories Inc. 1989. Fire resistance directory. Illinois, UL Inc.
41. Wladyka-Przybylak y Kizlowsky. 1999. The Thermal Characteristics of Different Intumescent Coatings, Fire and Materials.
42. Zverev, Isakov, Nsmelov y Nazarenko, Intl. J. Polym. Mat., 1993. pp 91-99.
43. http://www.isover.net/soluciones/contraincendios/estructuras_metalicas/princ
44. www.infoacero.cl