

# propagación del fuego en paramentos exteriores

tema de arquitectura  
escuela de arquitectura

profesor guía: **eduardo cruzat f.**  
/ facultad de arquitectura

alumna: **maritza ortiz madariaga**  
/ universidad de valparaíso

1987

I N D I C E

	Página
1. INTRODUCCION	6
2. OBJETIVOS	8
3. HIPOTESIS DE TRABAJO	10
4. METODOLOGIA	12
5. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	14
5.1 ASPECTOS QUIMICOS Y FISICOS DEL FUEGO	14
5.1.1 Triángulo y Tetraedro de la Combustión	15
5.2 ASPECTOS QUIMICOS Y FISICOS DEL INCENDIO	22
5.2.1 Fases de un Incendio	
5.3 FORMAS DE PROPAGACION DEL FUEGO EN EDIFICIOS	27
5.3.1 La Conducción	27
5.3.2 La Convección	28
5.3.3 La Radiación	28
5.4 INFLUENCIA DE LAS VENTANAS EN EL DESARROLLO Y PROPAGACION DEL FUEGO	30
5.4.1 La ventanas como elemento de desarrollo del incendio.	30
5.4.1.1 Con Pequeñas áreas de "ventanas"	31
5.4.1.2 Con grandes áreas de "ventanas"	33
5.4.2 Las ventanas como elemento de propagación del incendio.	35
5.4.2.1 Propagación horizontal y vertical del fuego a través de las ventanas.	36
5.4.3 Influencia del tipo de abertura de los paramentos exteriores en la velocidad del incendio.	40
5.4.4 El comportamiento del fuego en los paramentos exteriores y el Método FS 3 del Instituto Americano del Acero ( AISI)	44
5.4.5 Comportamiento de las Estructuras frente al Fuego	59
5.4.6 Estructuras de Hormigón Armado	66

5.4.6.1	Losas de hormigón armado	68
5.4.6.2	Muros de hormigón armado	71
5.4.6.3	Pilares de hormigón armado	71
5.4.6.4	Vigas de hormigón armado	71
5.4.6.5	Tabiques	74
5.4.6.6	Muros de ladrillos	75
5.5	TRANSMISION DEL FUEGO ENTRE EDIFICIOS	78
5.5.1	La transmisión del calor por convección	79
5.5.2	La transmisión del calor por radiación	79
5.5.3	Funciones y características de los paramentos exte riores	81
5.5.4	Protección de los edificios en relación a la trans misión del calor por radiación.	84
5.5.4.1	Tipos de barrera contra la radiación	85
6.	ESTUDIO DE UN METODO DE EVALUACION DEL RIESGO DE PROPAGACION DEL FUEGO A TRAVES DE LOS PARAMENTOS EXTERIORES	87
6.1	EL EDIFICIO EN ALTURA	87
6.2	DESCRIPCION DE UN CASO REAL: EL INCENDIO DEL EDIFICIO JO- ELMA DE SAO PAULO, BRASIL	90
6.3	VARIABLES A CONSIDERAR EN LA EVALUACION DE LA PROPAGACION DEL FUEGO A TRAVES DE LOS PARAMENTOS EXTERIORES	98
6.4	ELABORACION DE UNA HERRAMIENTA GENERAL PARA EVALUAR EL RIESGO DE PROPAGACION DEL FUEGO A TRAVES DE LOS PARAMEN - TOS EXTERIORES EN EDIFICIOS EXISTENTES	106
6.5	APLICACION DE LA HERRAMIENTA A EDIFICIOS EN ALTURA EXIS - TENTES	110
6.6	CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACION DE LA HERRAMIENTA	129
7.	ANALISIS CRITICO DE LAS NORMAS Y ORDENANZAS APLICABLES EN CHI- LE	132
7.1	DEFINICION DE ASPECTOS CONSIDERADOS COMO MATERIA DE NORMA	133
7.1.1	Factores que determinan la Reacción al Fuego de un material	135
7.1.2	Factores que determinan la Resistencia al Incendio de un elemento	138

7.2	ESTUDIO DE UNA NORMA DE COMPARACION PARA EL ANALISIS DE LA NORMA CHILENA	141
7.2.1	Cualidades del Método Seleccionado	143
7.2.2	Normativa sobre Resistencia al Incendio	146
7.3	CONCLUSIONES CRITICAS RELACIONADAS CON LA NORMA CHILENA.	147
7.4	CONCLUSIONES CRITICAS RELACIONADAS CON LA ORDENANZA GENERAL DE CONSTRUCCIONES Y URBANIZACIONES	151
8.	COMENTARIO FINAL Y OBSERVACIONES	157
9.	BIBLIOGRAFIA	160

1. I N T R O D U C C I O N

Esta línea de investigación relacionada con el fenómeno de -  
nominado incendio se inserta dentro de un campo que actual -  
mente está siendo investigado por diversos países y, por lo  
tanto, debe considerarse como una ciencia relativamente nue-  
va que recién está en etapa experimental, es decir, sus plan  
teamientos descansan sobre resultados de ensayos que se van  
afinando en la medida que se realizan descubrimientos que a-  
portan mayor claridad respecto del fenómeno.

En estas circunstancias, el aporte de datos al tema mundial  
del estudio del fuego es poco abundante en la literatura de-  
bido a que ellos se obtienen necesariamente de ensayos muy  
costosos.

En nuestro país, la Ordenanza General de Construcciones y Ur-  
banización fue modificada con motivo del incendio que afectó  
a la torre Santa María, en Santiago, el año 1981, lo cual  
constituye una muestra evidente del estado de la legislación  
relacionada con el tema por cuanto en la mayoría de los paí-  
ses se ha experimentado una situación similar que constitu-  
ye, sin lugar a dudas, sólo un paso necesario en el camino  
hacia la promulgación de legislaciones eficientes.

Todo ello nos sitúa en una perspectiva muy amplia respecto a  
la materia específica de este Seminario que se plantea como  
un estudio exploratorio cuyos objetivos están restringidos  
por las condiciones propias de una disciplina que aún no cuen-  
ta con modelos matemáticos capaces de prever la acción y e-  
fecto del fuego en un incendio.

El alto grado de especialización que requiere el tratamiento  
de estas materias se evidencia en el desconocimiento general  
que los profesionales de la construcción tienen de ellas y,

aún más, en los errores que muchas veces se cometen al interpretar los conceptos que sustenta tanto la Norma Chilena como la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización. Pero ello no debe extrañarnos por cuanto sólo son reflejo del estado actual de la investigación que se desarrolla en este campo y que, por su estado de evolución, todavía no tiene la precisión de una ciencia exacta.

## 2. O B J E T I V O S

Los objetivos de este Seminario están formulados en la convicción de que al abordar el problema de la propagación del incendio a través de los paramentos exteriores no sólo se toca un aspecto relacionado con el diseño adecuado para prevenir su ocurrencia sino que a la vez se relaciona con el origen mismo de este fenómeno de combustión incontrolada que tiene su raíz en el comportamiento físico y químico del fuego.

1. Presentar, a través del estudio de la propagación del incendio a través de los paramentos exteriores, el fenómeno del incendio como un problema que está relacionado con el control de sus aberturas en cuanto aporte de aire necesario para que se produzca el desarrollo del siniestro.
2. Alertar a los profesionales arquitectos acerca de otras variables que regulan la disposición de los vanos que componen una fachada.
3. Estudiar las regulaciones posibles de reglamentar con respecto a las aberturas en los paramentos exteriores de los edificios (disposición y forma de vanos, materialidad, etc.) que sirva de base para componer una legislación técnica adecuada para la prevención de la propagación del incendio a través de los paramentos exteriores.
4. Esclarecer la forma en que la legislación chilena ha abordado el problema y los principios que ha tenido en cuenta al dictar normas y ordenanzas que se refieren a esta materia.

5. Establecer una herramienta que permita clasificar los edificios existentes en función del grado de peligrosidad de propagación del incendio a través de sus paramentos exteriores, a todo el edificio o a otros edificios cercanos, con el fin de permitir al arquitecto comprender el riesgo de incendio que presentan las construcciones de altura en función de su envolvente perimetral.

### 3. H I P O T E S I S D E T R A B A J O

He denominado Hipótesis de Trabajo a las que aquí se plantean por cuanto su formulación guarda relación con el carácter de Estudio Exploratorio que he atribuído a este Seminario.

#### HIPOTESIS GENERAL

SI LA PROPAGACION VIA EXTERNA DEL INCENDIO ESTA RELACIONADA CON LOS TIPOS DE ABERTURAS Y MATERIALIDAD DE LOS PARAMENTOS EXTERIORES Y NUESTRA ARQUITECTURA SE CARACTERIZA POR LA DISPOSICION DE GRANDES VANOS Y EL USO DE MATERIALES DE RECIENTE CREACION, ENTONCES RESULTA NECESARIO ESTABLECER LAS BASES DE UNA DISCUSION TENDIENTE A DETERMINAR UNA REGULACION TECNICO-NORMATIVA DE ESTOS ASPECTOS PARA CONTROLAR EL FENOMENO.

#### HIPOTESIS PARCIALES

1. [La forma y el tamaño de las aberturas determinan las características de la propagación del incendio] a través de los paramentos exteriores.
2. [La materialidad de los paramentos <sup>interiores</sup> exteriores determina algunas características de la propagación del incendio a través de esta vía.]
3. Las formas de propagación del calor <sup>de las defensas</sup> <sup>y riesgos de combustión</sup> determinan diferentes necesidades de protección contra el incendio en los paramentos <sup>interiores</sup> exteriores de los edificios. <sup>hospitales</sup> <sup>zonas.</sup>
4. En nuestro país, la regulación técnico-normativa de la propagación del fuego a través de los paramentos exteriores se encuentra en una etapa de desarrollo tendiente a lograr eficiencia.
5. En las etapas de desarrollo de la legislación, los profe- <sup>si</sup>

establecer este problema, deben  
sionales de la construcción necesitan conocer formas de  
evaluar el problema que, aunque sean generales, permitan  
adoptar soluciones inmediatas o al menos tomar decisio -  
nes apropiadas para evitar la propagación del fuego a  
través de los paramentos exteriores.

#### 4. M E T O D O L O G I A

En orden a clarificar el proceso metodológico de este estudio exploratorio, los aspectos que se resumen a continuación se refieren a las líneas generales mantenidas durante el curso del Seminario y por ello no incluyen explícitamente los aspectos particulares que obligaron a la inclusión de determinados temas de interés.

1. Definición del marco de referencia del problema mediante el estudio de los diversos Seminarios realizados en esta línea de investigación en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso.
2. Comprensión del fenómeno desde el punto de vista físico y químico, de la terminología técnica correspondiente, de los aspectos que involucra y del estado de avance que presenta la ciencia que lo estudia mediante la lectura de textos especializados, para determinar el grado de aproximación que tendrán los objetivos de este estudio.
3. Análisis de estudios extranjeros relacionados con la propagación del fuego en paramentos exteriores que constituyen aportes actuales a la investigación a nivel mundial.
4. Análisis crítico de las Normas y Ordenanzas aplicables en Chile en relación al fenómeno, fundamentado en algunos estudios teóricos realizados en los países desarrollados y en los aspectos que se recogen en sus respectivas normas y ordenanzas.
5. Determinación de los parámetros a considerar en la elaboración de una herramienta que permita reconocer el riesgo de propagación de incendios a través de los paramentos exteriores en edificios de altura.
6. Aplicación de la herramienta elaborada a edificios de altura existentes para corregir su eficacia en función del

reconocimiento efectivo de los parámetros determinados y evaluación de los resultados obtenidos.

- afirmación de las hipótesis para obtener*
- U, 7. Conclusiones relacionadas con el estado de avance que presenta nuestra legislación tendiente a prevenir y evitar el riesgo de propagación de incendios a través de los paramentos exteriores en edificios de altura y conclusiones relacionadas con la aplicación de la herramienta elaborada.
- J 8. Formulación de nuevos problemas y sugerencias relacionadas con la propagación del fuego en paramentos exteriores como consecuencia de los resultados de este estudio exploratorio.

## 5. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

### 5.1 ASPECTOS QUIMICOS Y FISICOS DEL FUEGO

Los aspectos químicos y físicos del fuego han sido ya descritos en varios Seminarios insertos dentro de esta línea de investigación. No obstante debido a la especificidad de las materias a que se refiere este estudio exploratorio, he decidido recordarlos por cuanto su comprensión actualizada resulta indispensable para entender el problema que aquí se plantea.

El fuego es una reacción química rápida o combustión de un material con el oxígeno del aire, con desarrollo de una gran cantidad de calor y en algunos casos, luminosidad de llamas.

En la combustión una determinada cantidad de materia se combina con el oxígeno y por oxidación conforma una nueva sustancia : un óxido.

En muchos casos la ciencia se ve imposibilitada de asimilar la combustión a fórmulas por la complejidad de los fenómenos físicos, químicos y moleculares de cada reacción, a pesar de que cada reacción es específica para cada material o elemento.

" El conocimiento de las condiciones que determinan cuando ocurrirá la rápida oxidación de una sustancia con desprendimiento de calor y luminosidad es esencial para la comprensión de los principios subyacentes en la prevención, control y extinción del fuego"

### 5.1.1. TRIANGULO Y TETRAEDRO DE LA COMBUSTION

Para que se produzca la combustión es necesario que se combinen tres elementos : Combustible, oxígeno y calor.

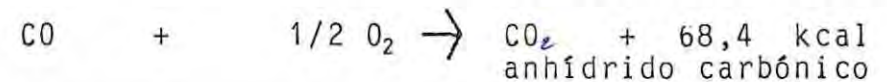
Combustible: La mayoría de los combustibles se componen de sustancias orgánicas que contienen los elementos químicos: carbono, hidrógeno y también otros como fósforo, sulfuros, amoníaco y celulosa.

Dentro de los combustibles están los hidrocarburos y los subproductos derivados de éstos como la gasolina, kerosene, propano y alcoholes.

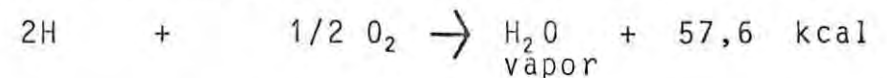
La madera es un combustible natural, con uso generalizado en la construcción, mobiliario. También son combustibles los textiles de origen vegetal como los algodones, yute, lino y cáñamo y los de origen animal como alpaca, vicuña, crin, etc. Los plásticos también son altamente combustibles y el producto de su combustión son gases tóxicos e irritantes, además de humos espesos y densos.

Oxígeno: Se encuentra en la atmósfera en una concentración de un 21% y es requerido para la oxidación del combustible. El exceso de oxígeno aumenta el fuego. La falta de éste disminuye la velocidad de la combustión hasta extinguirlo, produciendo el monóxido de carbono, gas venenoso e inodoro.

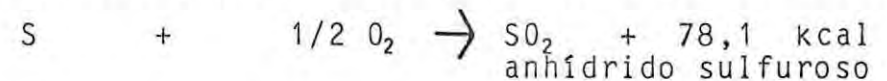
Calor : Como resultado de la reacción del combustible con el oxígeno, un monto de energía calórica es despedida por el combustible. Estas reacciones exotérmicas por molécula dan las siguientes kilocalorías :



El hidrógeno, muy ávido de oxígeno, forma directamente agua, que se desprende en forma de vapor



y el azufre, al quemarse, produce anhídrido sulfuroso, gas irritante y tóxico según la ecuación



(" Peligro de incendios en edificios altos". Revista del instituto de Investigación y Ensayos de Materiales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, U. de Chile, Vol. 17, N° 1 de Mayo de 1978. Gabriel Rodríguez Jaque ).

Temperatura de Ignición : Para que una materia entre en combustión es necesario elevar su temperatura hasta un punto en el cual se enciende y comienza a arder. Esta temperatura de ignición

es específica para cada material, después de la cual, aunque retirando la fuente inicial de calor, el material continuará por sí solo el proceso de combustión : una vez encendido, el calor desarrollado por la combustión eleva la temperatura de éste, aumentando continuamente la velocidad de la combustión. La combinación de combustible con el oxígeno produce algunos fenómenos físicos y químicos, antes de la ignición, Por ejemplo, una gran parte de los materiales sólidos al elevarse la temperatura, se desintegran, formando gases inflamables. Estos gases al mezclarse con el oxígeno del aire son los que forman las llamas. Los combustibles sólidos a mayor densidad de sus masas, mayor será la temperatura crítica de ignición ya que inicialmente el material debe ser calentado para dejar escapar los gases combustibles, siendo, al contrario, de más fácil ignición aquellos que a igual volumen tenga mayor superficie de contacto con el aire atmosférico ( materiales porosos )

Ignición Espontánea: Algunos combustibles líquidos o sólidos al ser guardados dejan escapar gases o exponen grandes áreas de su superficie a oxidación por el oxígeno del aire. A este contacto comienzan a experimentar una combustión lenta Si no existe una adecuada ventilación como para disipar el calor de la combustión que lentamente se realiza, en un determinado momento la subida de la temperatura alcanzará por sí sola su temperatura de ignición espontánea sobre ambientes saturados de gases combustibles, al aparecer una fuente piloto ya sea ocasionada por un roce, chispa, golpe eléctrico o estático.

Combustión Incompleta: Suele suceder que el pro

ceso no se desarrolla bajo las condiciones de un gran aporte de calor sino en forma de emanaciones de gases, humos y vapor y otros, por la carencia de oxígeno en el recinto donde se hallan en combustión.

Explosiones: La transición desde la combustión a la explosión es causada por una aceleración de la reacción inducida por la subida de la temperatura. La explosión está basada en la idea de que una subida progresiva de calor al grado de que el calor despedido por la reacción excede al grado de calor perdido por el área, a una presión y combinación de mezcla específica, junto con la temperatura de ignición, provoca la explosión.

Combustión completa de un material al aire libre. A partir de los tres parámetros básicos, el proceso comienza con el calentamiento del combustible, el cual liberará gases y que estos forman con el aire mezclas combustibles. Cuando la producción de gases es suficiente, ignitan y la combustión ocurre. Después de la ignición, el calor es traspasado al material haciendo continuo el proceso de la liberación de gases.

Existen una serie de otros fenómenos anómalos que no son explicados por el triángulo de la combustión, como por ejemplo, que el yodo es un agente extintor valiosísimo, sin que actúe sobre ninguno de los tres elementos enunciados. Similar acción tiene el bromo, cloro, y las sales metálicas alcalinas.

Otras observaciones han revelado que ciertos combustibles queman a una velocidad mayor cuando están sometidos a emanaciones radiactivas.

La amplia gama de velocidades de llama entre diferentes combustibles, que van desde los alquitranes que lo hacen a una velocidad muy baja, hasta la extraordinaria naturaleza explosiva de las reacciones de hidrógeno y oxígeno, presentan problemas adicionales. La variación de las energías mínimas de ignición, la existencia de llamas frías, la sensibilidad de la llama de ciertas vibraciones sónicas y supersónicas, la acción extintora de las ondas de detonación y la inhibición de las reacciones explosivas por la sola presencia de ciertos compuestos químicos como polvos inorgánicos en un estado suficientemente denso de suspensión en el aire son asuntos que deben ser explicados por un cuarto factor. Este cuarto factor, lo descubrió el doctor Artur Guiese, en Abril de 1960 y lo bautizó como " reacción en cadena ". Esta reacción en cadena es lo que se podría llamar " la sangre de la vida " del fuego. Al igual que el cuerpo humano necesita aire, alimento, temperatura normal del cuerpo, un sistema circulatorio, así el fuego necesita de reacciones en cadena sin impedimento.

Para representar la nueva teoría del fuego, el doctor Guiese propone un tetrahedro. La razón para emplear un tetrahedro y no un cuadrado, es que cada una de los cuatro elementos está directamente adyacente y en conexión con cada uno de los otros tres elementos. El retirar uno o más de los cuatro elementos del tetrahedro hará que este quede incompleto y, por consiguiente el resultado será la extinción del fuego.

La reacción en cadena : Supongamos tener un recipiente con combustible ardiendo. Sabemos que lo que se quema son los gases que se elevan del combustible, no encontrando ninguna separación entre combustible y llama, pero se puede aceptar que, ampliando muchas veces la imagen, apreciaríamos que hasta cierta línea hay combustible, a partir

de otra línea hay llama y entre estas dos líneas hay una " zona de nadie ". Esta zona de nadie es en la que se producen los fenómenos químicos que se traducen en una combustión.

Investigaciones serias han determinado que la combustión es esencialmente una reacción en cadena y la mayor o menor velocidad de esta se reflejará en una combustión más o menos violenta hasta alcanzar, cuando el proceso hace crisis, una explosión, que es una combustión con elevadísima velocidad de liberación de energía.

Durante la reacción en cadena se produce la formación de algo que los químicos llaman " especies activas " que transitan desde el combustible hasta el frente de llama.

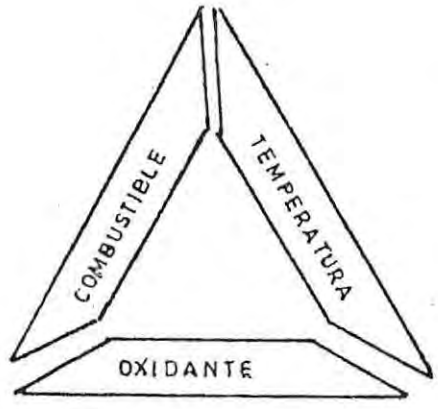
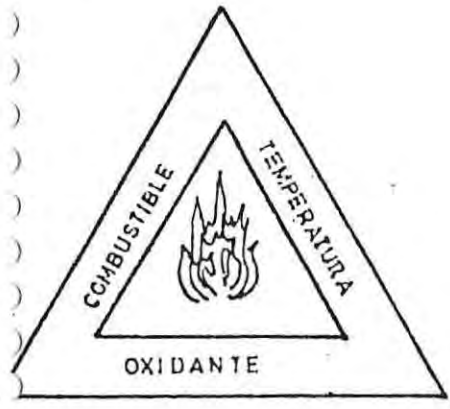
Estas " especies activas ", cuando se producen temperaturas inferiores a la de ignición son neutralizadas o capturadas por las paredes del recipiente u otras sustancias sólidas y pierden el carácter de " activas ", esto significa que no pueden iniciar una reacción en cadena.

Pero, a partir de la temperatura de ignición, si bien es cierto que las paredes del recipiente siguen capturando especies activas, ocurre que la producción de tales especies es mayor que la capacidad creciente y la llama se propaga rápidamente. En este caso se dirá que se están dando las condiciones químicas para la existencia del fuego.

Quiere decir, que, aumentando el traslado de especies activas o vivas entre el combustible y el frente de llama a través de la zona de nadie se

# TEORIA DEL FUEGO

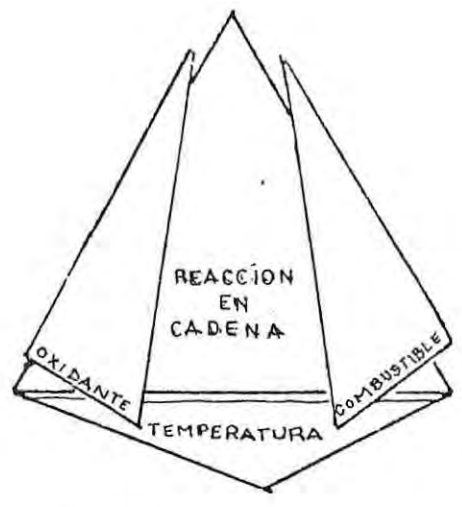
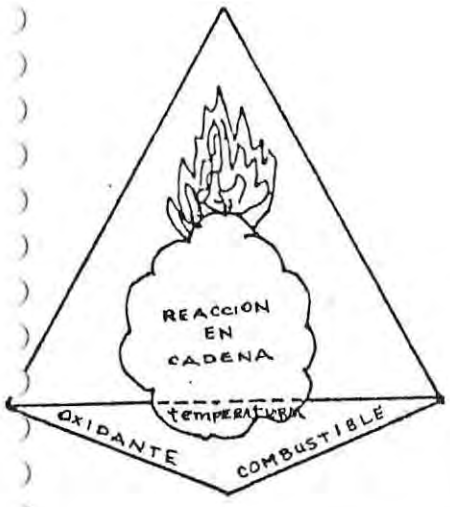
Fig. 1



TRIANGULO DEL FUEGO

logra incrementar o suprimir un fuego.

Por otra parte, se ha acumulado una gran cantidad de información espectroscópica y, a pesar que aún existen contradicciones aparentes entre los expertos, no cabe duda que son los procesos químicos los que mantienen un fuego en acción. El fuego vive de su propio calor generando radiaciones que continúan el proceso de combustión.



TETRAEDRO DEL FUEGO

## 5.2 ASPECTOS QUIMICOS Y FISICOS DEL INCENDIO.

A partir de las dediniciones del fuego entregadas anteriormente, variados autores concuerdan en definir el incendio como una combustión incontrolada que se desarrolla en el espacio y el tiempo, afectando a elementos que no están destinados a arder.

Entendiendo así el concepto de incendio, podemos señalar que iniciado el fuego con la inflamación de algún material, este desarrollará una cantidad de calor que puede llevar a otros materiales en el recinto a alcanzar sus temperaturas de ignición, los que al arder aportarán más calor haciendo que la temperatura suba rápidamente.

Experimentalmente se han medido las temperaturas y el tiempo en edificios cargados con su mobiliario en un incendio, quedando registrado en un gráfico el curso de las temperaturas y tiempo ( figura 2)

La curva nos muestra entre A y B el período de crecimiento en que la temperatura en el cuarto es baja, el peligro es relativamente pequeño, con posibilidades de propagarse a cuartos vecinos.

A medida que aumenta la temperatura, en B comienza el período de combustión que generalmente comienza con el flash, llamado así por la rapidez e instantaneidad con que se inicia el incendio. Los materiales combustibles empiezan a arder activamente y la temperatura a subir hasta que se balancea con la pérdida de calor a través de los muros que rodean el compartimiento en fuego; es un período de rápida destrucción, propagación del fuego y radiación de calor.

En C la temperatura comienza a decaer al consumirse la carga combustible y marca el fin del período de combustión.

Fig. 2

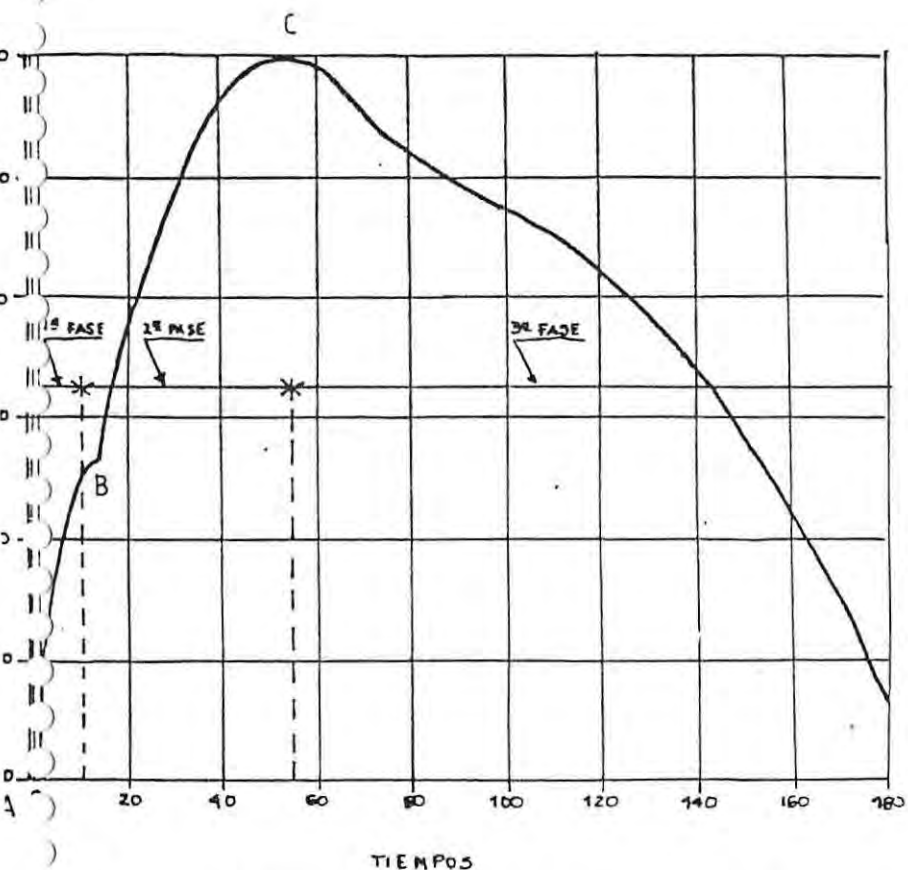


GRAFICO QUE MUESTRA LAS FASES DE UN INCENDIO.

También parte del período de decadencia encierra peligro ya que, aún, encierra altas temperaturas y puede provocar el colapso de la estructura.

Hasta el momento, por la complejidad de las reacciones químicas, los traspasos de temperatura y masa de los combustibles encierran dificultades de análisis.

En un modelo para observar su comportamiento se imponen dos condiciones: que cierto porcentaje de aire sea suministrado a través de las ventanas y que haya una uniformidad de los materiales de combustión.

#### 5.2.1. FASES DE UN INCENDIO.

E. W. Marchant en su obra " el fuego y los edificios" ( Editorial MAPFRE S.A., Madrid 1981), hace lo siguiente descripción de las fases de un incendio que grafica como se observa en la figura :

FASE I : Ignición y desarrollo del fuego. La velocidad de desarrollo de un incendio varía y depende de la ventilación, cantidad y distribución del contenido combustible y el tipo de materiales de revestimiento utilizados en el edificio. Debemos recordar que estas variables están directamente relacionadas con la distribución del calor procedente del foco del incendio a través de la convección, la radiación y la conducción.

Con un suministro de aire y ventilación adecuados el fuego se desarrollará produciendo humo y gases calientes que ascenderán al techo del recinto implicado. Los gases calientes aumentarán las temperaturas de todas las superficies con las que entren en contacto, propiciando las condiciones para la combustión súbita simultánea. Si la ventila

ción es inadecuada el fuego se verá privado de oxígeno y, una vez consumido éste en la habitación, disminuirá la intensidad y, en algunos casos, se extinguirá por sí mismo.

Cuando todas las superficies de los materiales combustibles presentes en una habitación están ardiendo, el fuego se considera como plenamente desarrollado.

La primera fase del desarrollo del fuego es de importancia crítica para las personas que ocupan el edificio. El humo y gases producidos en esta fase comprometen el escape y/o salvamento de las personas. Así, en esta etapa resulta importante que las vías de escape desde cualquier parte del edificio estén libres de humo y gases, de forma que los habitantes puedan ponerse a salvo antes de que la fase dos del incendio se inicie.

Podemos observar, de inmediato, que la propagación del fuego a través de los parámetros exteriores no está fuertemente ligada a esta etapa del desarrollo del incendio por cuanto al iniciarse el fenómeno éste permanece confinado al recinto que está afectando y la principal preocupación consiste en evacuar a las personas de modo que no se corran riesgos mayores.

#### FASE II : Incendio en pleno desarrollo.

En esta fase del incendio se producen muchas llamas y la mayor parte del material combustible se consume. En este período es cuando las estructuras del edificio corren peligro.

Durante esta segunda fase del incendio se produce

solamente una pequeña elevación de la temperatura ya que la mayoría de las superficies combustibles presentes están ardiendo. En este período es cuando el edificio presenta el mayor peligro para los edificios adyacentes y el grado de deterioro de la estructura queda establecido.

Las temperaturas máximas alcanzadas en los incendios de edificios oscilan entre 900 y 1.200°C..

La duración del fuego la limita la cantidad de aire que entra y la cantidad total de material combustible disponible. Estos dos factores determinan la severidad del incendio, pero el diseño de las ventanas determinará qué factor es la más importante. Esto es así porque el comportamiento del incendio cambia con la superficie de las ventanas en relación con la superficie del suelo.

Cuando las ventanas son pequeñas, se ve afectada la velocidad de combustión que es la que determina la severidad de un incendio.

Cuando las ventanas son grandes, la severidad del incendio está relacionada con la superficie y distribución de los materiales combustibles.

Lo anterior fija dos regímenes de comportamiento del fuego en relación a las ventanas que será analizado más adelante : A) con pequeñas áreas de "ventanas" y B) con grandes áreas de ventanas.

### FASE III : Decrecimiento del fuego.

En este período la temperatura decae y los materiales quedan en estado de brasas, debiendo efectuarse la extinción con precaución para no ocasionar

nar reacciones que puedan comprometer las condiciones de resistencia de la estructura.

Suele suceder en las capas inferiores de las brasas que el oxígeno baja a un porcentaje inferior a un 15%, por el espesor de las capas, impo-  
sibilitando la llegada del oxígeno para que se realice la combustión completa, existiendo el peligro de concentración de monóxido de carbono en los humos que se desprenden. Por lo tanto, hay que tener precaución de ventilar para evitar el monóxido, así como también de avivar el fuego.

### 5.3 FORMAS DE PROPAGACION DEL FUEGO EN EDIFICIOS

Una vez entendido el fenómeno que interesa estudiar, podemos abordar, en primer lugar las formas mediante las cuales éste se extiende en un edificio.

Los medios por los cuales se propaga el calor de un punto a otro son tres : conducción, convección y radiación. Se produce esta transferencia de calor cuando entre dos cuerpos existe una diferencia de temperaturas (  $\Delta t$  ) que cesará cuando sus temperaturas se igualen.

#### 5.3.1 La conducción

El calor pasa siempre de un cuerpo caliente a uno frío por contacto directo. El planchado de la ropa constituye un buen ejemplo.

No todos los cuerpos conducen el calor con la misma facilidad ( conductibilidad térmica ). Hasta la fecha ningún material aislante conocido ha podido detener la transmisión de calor por conducción y sólo se ha logrado retardar dicha transferencia.

La transferencia se hace entre moléculas y mientras más poroso sea el material, será menos conductor.

La conducción tiene importancia en la propagación de los incendios por los llamados puentes térmicos, los cuales son elementos de alta con -

ductibilidad que relacionan dos recintos, transmitiendo el calor y provocando la invasión de un nuevo recinto por el fuego sin existir ninguna abertura ( Ejemplo marcos metálicos en las puertas ).

Cada material tiene un coeficiente de Conductibilidad Térmica que corresponde al número de calorías transferidas por segundo a través de 1 cm de material, cuando el cambio de temperatura es de 1 grado centígrado

### 5.3.2 LA CONVECCION

Consiste en la propagación del calor por el movimiento de gases o líquidos calientes. Al calentarse el aire, éste se expande y asciende, ya que se hace menos denso y por lo tanto más liviano que el aire frío. El aire caliente puede ser llevado por corrientes de aire en cualquier dirección.

Los humos y gases calientes se elevan verticalmente y causan la transmisión del calor y del incendio por convección hacia los pisos superiores por las zonas verticales que actúan como chimenea. Las llamas también se elevan en la atmósfera alcanzando nuevos pisos.

### 5.3.3. LA RADIACION

El calor se transmite por medio de rayos u ondas de la misma manera que se propaga la luz y se transmite tanto en el aire como en el vacío. El calor radiado no es absorbido por el aire. Los rayos de una fuente de calor se transmiten en todas las direcciones. Así, mientras más lejos es-

té el objeto expuesto al calor, menor será la concentración que alcanzará. Por lo general, los cuerpos oscuros absorben más radiación que los claros.

" Manteniéndose los demás factores constantes , la cantidad de calor que alcance un objeto expuesto a la radiación de una fuente unitaria de calor y el objeto expuesto, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia ".

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{(t1 + 273)^4}{(t2 + 273)^4}$$

t1 y t2 son temperaturas en grados centígrados y Q1 y Q2 son cantidades de calor radiado a las temperaturas t1 y t2 respectivamente.

( A. Saleh M. " Protección contra incendios " ).

La radiación del calor es detenida por cualquier cuerpo opaco. De ahí la importancia de los cortafuegos.

Este fenómeno es de gran importancia puesto que, como veremos posteriormente, las llamas que salen por las ventanas de un inmueble pueden inflamar las cortinas del piso superior y al mismo tiempo las de un inmueble situado enfrente.

## 5.4 INFLUENCIA DE LAS VENTANAS EN EL DESARROLLO Y PROPAGACION DEL FUEGO.

La influencia de las ventanas en el desarrollo y propagación del fuego comprende tres aspectos que podemos aislar para su investigación : En primer lugar, las ventanas están relacionadas con el inicio y desarrollo del fuego al aportar el oxígeno necesario para que se desarrolle la reacción química y durante el período de plena combustión, como ya hemos mencionado, determina el comportamiento del fuego regulando la velocidad de combustión. En segundo lugar, las ventanas constituyen el medio de propagación del fuego a través de los paramentos exteriores y finalmente, en tercer lugar, éstas determinan la peligrosidad del incendio para los edificios cercanos debido principalmente al fenómeno de radiación.

### 5.4.1 La Ventana Como Elemento de Desarrollo Del Fuego

Por "ventana" deberá entenderse cualquier abertura sin obstrucciones a la atmósfera exterior. La ventana de construcción tradicional puede considerarse así ya que sus vidrios se romperán al producirse la combustión súbita simultánea o incluso antes.

Así definidas, las ventanas son principalmente los elementos que aportan el oxígeno necesario para que se desarrolle el proceso de combustión. Luego, interesará en la etapa de inicio del fuego mantener el confinamiento del recinto afectado mediante el uso de determinado tipo de vidrios y ventanas...

Algunos elementos que ayudarán a la formulación de este requerimiento técnico son el conocimiento del vidrio, teniendo presente que el vidrio no arde, es un material incombustible, pero funde hacia los 900° C. El vidrio es sensible al choque térmico y se rompe rápidamente al contacto la llama ( 1 a 2 min ) . El temple mejora su resistencia, pero no permite una clasificación

estable al fuego. La resistencia cortafuego del del vidrio, sea cual sea su naturaleza, es despreciable por su débil poder aislante y su inercia térmica prácticamente nula.

El vidrio se rompe muchas veces al comenzar el incendio y esto es el prelude general al desarrollo del siniestro, por el acceso de aire que permite esa rotura. Dicha rotura no tiene lugar, en general, por fusión ( se deforma a partir de los 650° C ), sino por acción de la presión.

En la etapa de pleno desarrollo del fuego, interesa conocer el tamaño de las ventanas porque, como le señalara en el análisis de las fases de un incendio, existen dos regímenes de comportamiento del fuego.

5.4.1.1 Con pequeñas áreas de " ventanas " : La velocidad de combustión está controlada por la cantidad de aire que fluye a través de las aberturas, con independencia de la superficie total del combustible. La velocidad de combustión, o tasa de combustión viene dada por la fórmula siguiente :

$$R = 6 A \sqrt{H}$$

R : Velocidad o tasa de combustion en kilogramo por minuto.

A : Superficie de ventanas en M2

H : Altura de las " Ventanas " en metros

La duración de la combustión se calcula por la fórmula siguiente :

$$t = \frac{\alpha F}{6A \sqrt{H}}$$

T ; Tiempo en minutos

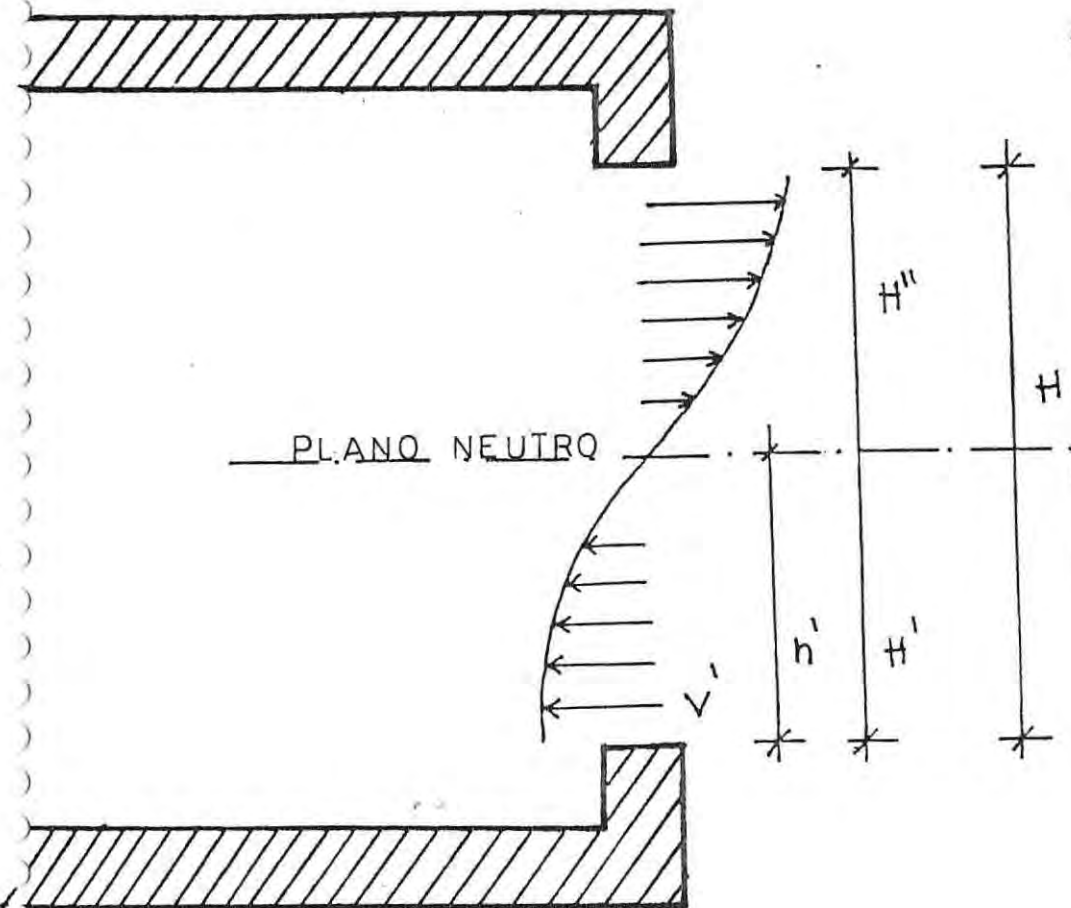
F : Carga combustible en kilogramos

$\alpha$  : Constante de proporcionalidad que depende de la fracción de combustible que se quema en dicho período.

Si  $\alpha = 2/3$ , la duración de la combustión es

$$t = \frac{F}{9 A \sqrt{H}}$$

Fig. 3 VELOCIDAD DEL PERFIL DE UNA VENTANA.



En atención a que la velocidad de combustión es la razón entre la pérdida de masa de los materiales combustibles y el aire que ingresa por las aberturas, ésta puede ser determinada por la razón de aire que es suministrado al recinto.

Normalmente en un incendio hay un nivel de la abertura llamado plano neutro, donde el aire frío fluye al interior por debajo ( figura 3 ) y el aire caliente se desplaza al exterior por arriba estableciéndose una velocidad para el perfil de la ventana.

La altura de este plano es de importancia en la prevención de la propagación del calor y humo. Se establece que la velocidad del aire que ingresa determina la velocidad de combustión para un fuego de ventilación controlada, por la siguiente ecuación :

$$V' = A H' B v'm$$

$V'$  : Velocidad del aire que ingresa

$A$  : Coeficiente de descarga (razón de descarga entre un fuego real y uno teórico de un gas que fluye a través de una ventana )

$H'$  : Altura de la ventana bajo el plano neutro

$v'm$  : Velocidad media del aire que ingresa.

5.4.1.2 Con grandes áreas de "ventanas " : En este caso la tasa de combustión o velocidad de combustión no es proporcional a la cantidad de aire suministrado a la fuente del incendio, sino al tipo de combustible y a la disposición de los materiales

combustibles en el recinto.

Estas dos modalidades pueden condicionar la resistencia al fuego que debe exigirse a la construcción que los rodea. En el caso del incendio con ventilación controlada, la ventilación posible y la cantidad total de material combustible presente podría fijar la resistencia al fuego precisa para la estructura. Pero debe tenerse en cuenta que la cantidad de material combustible presente por unidad de superficie de suelo (carga de fuego) no debe ser el único factor determinante de la resistencia al fuego, ya que la duración del mismo depende de la superficie del suelo, es decir, del contenido combustible total del compartimiento.

La segunda modalidad de compartimiento es independiente de la superficie de "ventanas" y de la cantidad de combustible. La severidad y duración del fuego la controla el espesor medio del combustible.

La propagación de un fuego dentro de un edificio depende de la eficacia de la parimentalización o de las cualidades de aislación con respecto al piso superior e inferior de la resistencia al fuego de los tabiques, puertas y ventanas.

Esta propagación puede ser en dirección horizontal por vanos, ventanas, puertas y entrepisos; vertical a través de las ventanas, ductos, cajas de escala y ascensores.

La determinación de compartimientos en una forma racional tiene una importancia relevante en la etapa inicial del desarrollo del fuego porque determina al área o volúmen a quemarse y mini

miza los riesgos de la propagación al confinar el fuego a una determinada área.

Por otra parte, suele suceder que fuegos confinados en compartimientos no logran la oxigenación requerida para poder realizar su combustión y encierran gran cantidad de gases sin quemar, humo y monóxido de carbono como producto de la combustión incompleta.

En cierta manera, se está cargando una bomba que si no se produce una ventilación o dar salida adecuadamente, puede propagar el fuego a áreas bastantes distantes del foco. La descompresión violenta de los gases en el cuarto puede seguir el curso de alguna puerta abierta, ductos de ventilación, cajas de escalas o ascensores, tanto a los pisos superiores como inferiores. Por eso bomberos experimentados al constatar esta situación, por la presencia de humo negro sin llamas, combaten el fuego abriendo una abertura en el techo para dejar escapar los gases calientes, humo y calor. Posteriormente proceden a atacar el fuego por su base : A este efecto se le denomina efecto chimenea u hongo.

#### 5.4.2 LA VENTANA COMO ELEMENTO DE PROPAGACION DEL INCENDIO.

La propagación del fuego verticalmente, piso a piso a través de las ventanas es bastante común en edificios de altura porque generalmente un compartimiento tiene, al menos, una de las caras con ventanas.

En estas aberturas ocurre la toma de oxígeno, la evacuación de los gases y la proyección de las

llamas, constituyéndose la ventana en un punto potencial de propagación del incendio.

La propagación del incendio puede ocurrir porque :

Se exponen los muros al calor de las llamas y , como consecuencia de ello, penetra el calor por conducción a los materiales combustibles del piso superior.

Exposición de los materiales combustibles en el cuarto superior al fuego por convección y radiación del calor de las llamas, a través de las ventanas.

#### 5.4.2.1 Propagación horizontal y vertical del fuego a través de las ventanas:

En algunos casos suele ocurrir propagación horizontal entre compartimientos a través de las ventanas ya sea por la acción del viento, que da un mayor alcance a las llamas, o por la dimensión demasiado pequeña del espaciamiento entre ventanas, especialmente si son de grandes aberturas.

Es posible estimar la temperatura de las llamas que fluyen a través de una ventana mediante la aplicación de fórmulas pero el procedimiento es muy complejo por la cantidad de variables que intervienen. Experimentalmente se han determinado las temperaturas y la proyección de las llamas con precisión.

El corte de una ventana mostrado en la figura 4 nos da la temperatura registrada por la proyección de las llamas y calor. El ensayo fue reali

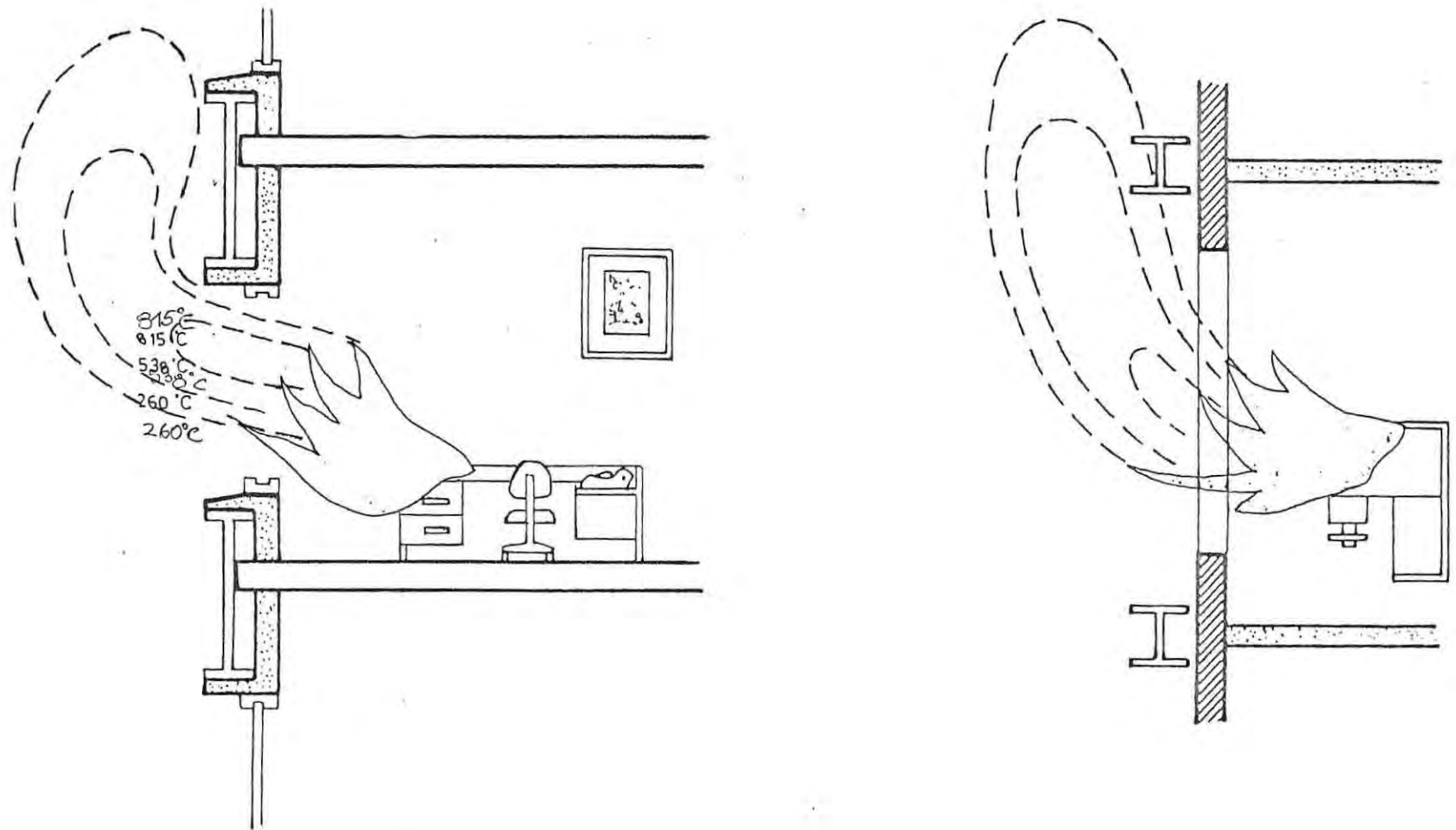


Fig. 4

Las columnas pueden asegurarse localizandolas lejos de la parte más caliente del fuego. Los dinteles pueden ser protegidos aislando sus alas.



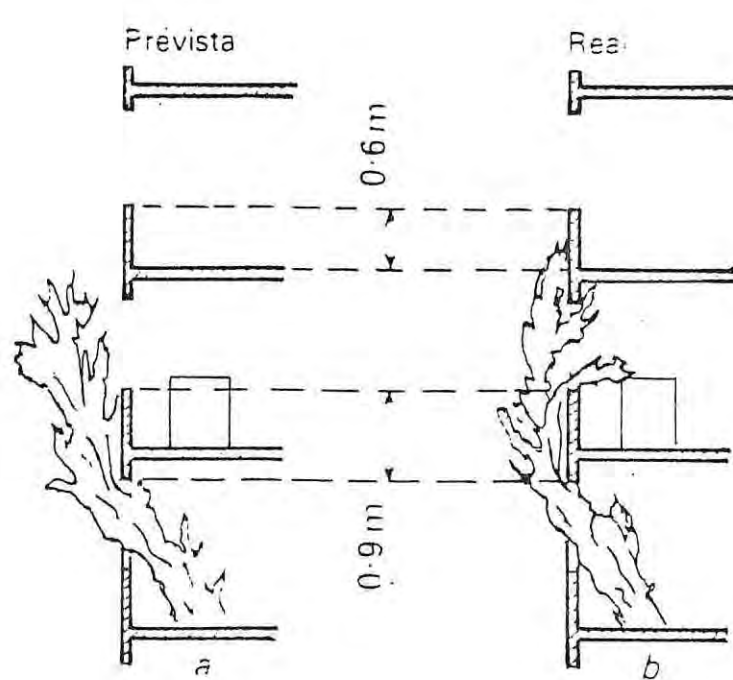
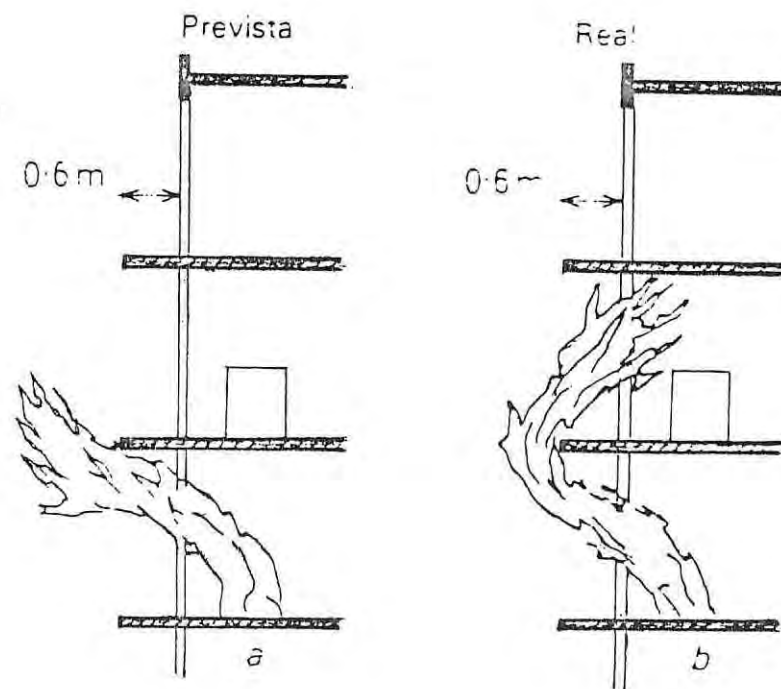


Fig. 5



### 5.4.3 Influencia del tipo de abertura de los paramentos exteriores en la velocidad del incendio

en la obra de los investigadores españoles Luis M. Elvira Martín y Francisco J. Jiménez Peris titulada " Comportamientos al Fuego de Materiales y Estructuras " se señala un método analítico que permite relacionar la carga calorífica del edificio con el tipo de huecos que presentan sus paramentos para conocer la magnitud posible del incendio.

Si bien, como estos autores señalan, sólo se toma en cuenta el poder calorífico de los materiales, al menos permite tener una aproximación analítica al fenómeno que, como sabemos, contiene variables que hasta hoy es difícil simular y aún más, entender con exactitud.

La carga calorífica de un edificio podemos definirla como la suma de las cargas caloríficas individuales de los compartimentos que lo componen y así, tenemos:

$Q = \sum q_i$  en donde  $q_i$  es el calor que pueden desprender los combustibles de cada habitación y, por consiguiente,

$q_i = \sum p_n \cdot k_n$  en donde  $p_n$  es el peso de cada material y  $k_n$  es el poder calorífico de cada uno de esos materiales.

En vivienda, la carga media de fuego se estima como :

$$q_m = 50 \cdot 4.000 = 200.000 \text{ kg. cal/m}^2 \text{ de super-} \\ \text{ficie de planta}$$

Además. se necesitan aproximadamente 5,5m<sup>3</sup> de aire por cada 4.000 kcal desprendida para que ardan los tipos de combustible que normalmente se encuentran en una vivienda.

Si tenemos una habitación de superficie (aXb)m<sup>2</sup> de planta, la carga de fuego o calorífica (combustible) es de

$$q_0 = a \cdot b \cdot 200.000 \text{ Kcal/m}^2$$

Y el volúmen de aire de la habitación será  $V = a \cdot b \cdot h$ , el cual permite arder una carga combustible de :

$$q_1 = \frac{V}{5,5} \times 4.000$$

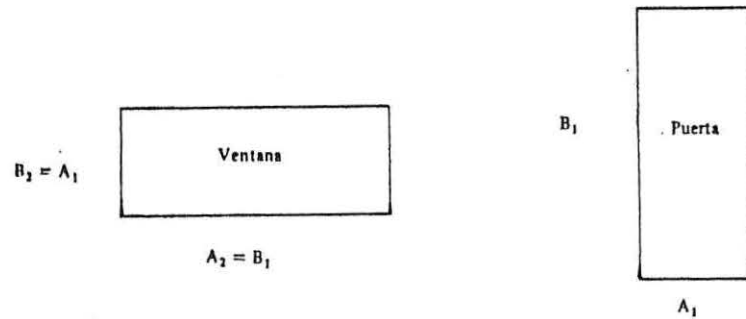
en donde  $q_1$  está expresado en Kcal y V en m<sup>3</sup>

Por lo tanto, si  $q_0 < q_1$ , el combustible existente puede arder con el aire existente en la habitación pero si  $q_0 > q_1$ , el resto de la carga ( $q_0 - q_1$ ) debe arder con aporte exterior de aire.

Esta situación grafica el hecho de que si al producirse un incendio en un edificio, los habitantes abren las ventanas o estas se rompen o fallan puertas por falta de resistencia al fuego el incendio se aviva y la combustión llega a ser completa.

A través de una abertura ( ventana o puerta ) del

Fig. 6



INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS HUECOS EN LA VELOCIDAD DEL INCENDIO.

edificio, cuando interiormente existe fuego, salen gases calientes por la parte superior y entra por la parte inferior igual cantidad de aire frío que alimenta el fuego. La tasa de combustión media que se admite en estas condiciones es de:

$$T = 5,5 \cdot 4.000 \cdot A \cdot B \sqrt{B} \text{ Kcal/ min, siendo:}$$

T : Calor desprendido por el combustible en un minuto

A : Base horizontal de la abertura expresada en m.

B : Altura de la abertura expresada en m.

A partir de este procedimiento analítico podemos analizar el efecto que produce en el incendio la falla de resistencia al fuego de dos aberturas distintas que designaremos  $A_1 \times B_1$  y  $A_2 \times B_2$

Para estas dos aberturas, sus tasas de combustión serán :

$$T_{A1} = 5,5 \times 4.000 \times A_1 \times B_1 \times \sqrt{B_1} \text{ Kcal/min}$$

$$T_{A2} = 5,5 \times 4.000 \times A_2 \times B_2 \times \sqrt{B_2} \text{ Kcal/min}$$

y como la carga de combustible disponible para alimentarse con aire externo es

$$q_0 - q_1 = a.b. 2.000 - \frac{a.b.h.}{5,5} 4.000$$

y el calor desprendido viene dado por

(  $T_1 + T_2$  ) Kcal/min, la combustión debe durar:

$$t = \frac{q_0 - q_1}{T_1 + T_2} = \frac{a \cdot b \cdot (2.0000.0000 - \frac{h \cdot 4.000}{5,5})}{5,5 \cdot 4.000 (B_1 A_1 \sqrt{B_1} + B_2 A_2 \sqrt{B_2})} \text{ Min}$$

En el caso de una habitación de 6,00 por 4,00 m. y una altura de 2,8 m. con una puert de 0,70 X 2,00m y una ventana de 2,00 X 0,70m se obtiene :

$$t = \frac{q_0 - q_1}{T_1 + T_2}$$

$$q_0 = a \cdot b \cdot 200.000 \text{ Kcal} = 6 \cdot 4 \cdot 200.000 = 4.800.000 \text{ Kcal.}$$

$$q_1 = \frac{a \cdot b \cdot h}{5,5} \cdot 4.000 \text{ Kcal} = \frac{6 \cdot 4 \cdot 2,8}{5,5} \cdot 4.000 = 48.872,72 \text{ Kcal}$$

$$q_0 - q_1 = 4.751.127,27 \text{ Kcal.}$$

y siendo  $A_1 = 0,70 \text{ m. } B_1 = 2,00 \text{ m.}$

$A_2 = 2,00 \text{ m. } B_2 = 0,70 \text{ m.}$

tenemos que

$$T_1 = 5,5 \cdot 4.000 \cdot 0,70 \cdot 2,00 \cdot \sqrt{2}$$

$$T_2 = 5,5 \cdot 4.000 \cdot 2,00 \cdot 0,70 \cdot \sqrt{0,70}$$

$$T_1 + T_2 = 5,5 \cdot 4.000 \cdot 0,70 \cdot 2,00 (\sqrt{2} + \sqrt{0,70})$$

$$T_1 + T_2 = 69.326,90654 \text{ Kcal/min}$$

$$t = \frac{4.751.127,27}{69.326,906} = 68,53 \text{ minutos}$$

Esto demuestra analíticamente que la ventana de tipo horizontal permite arder más lentamente al incendio y que la puerta de tipo vertical, que tiene la misma superficie, acelera el proceso de combustión.

#### 5.4.4 El comportamiento del fuego en los paramentos exteriores y el Método FS 3 del Instituto Americano del Acero ( AISI )

La mayor parte de la bibliografía relacionada con la propagación del fuego durante un incendio está referida a las condiciones que se presentan en el interior del recinto afectado por el fuego. Esta es la situación que se refleja particularmente en la curva standard de tiempo-temperatura adoptada en 1918 por la ASTM y que intenta representar la severidad de un incendio posible de ocurrir en la combustión completa de un edificio de ladrillo con envigados de madera.

Si bien los elementos estructurales interiores están expuestos a condiciones similares a aquellas de los ensayos usuales de resistencia al fuego, las condiciones de los paramentos exteriores son muy diferentes. Este aspecto ha sido investigado por encargo del Instituto Americano del Hierro y

el Acero ( AISI ) para la formulación de un método para predecir la seguridad del acero sin recubrimientos tradicionales frente a un incendio denominado FS ( ' Fire Safe Structural Steel Designs Method' ).

Los ensayos realizados en los Estados Unidos y en otros países han mostrado que todos los incendios arden a temperaturas mayores y durante un tiempo menor que el indicado por la curva standard de tiempo - temperatura de la ASTM. El fuego en los paramentos exteriores con ventanas arde más rápidamente y se enfría con mayor rapidez porque es ventilado por el aire exterior después que se quiebran los vidrios y aun cuando pueden arder durante un tiempo, no tienen mayor intensidad en ningún punto singular.

El conocimiento de esta circunstancia apoyó el método FS 3 que tiene por finalidad permitir a arquitectos e ingenieros diseñar en acero a prueba de fuego basados en principios analíticos cuya efectividad se estima similar a la del cálculo estructural. De aquí se deriva la importancia fundamental de estos estudios ya que permiten a diseñadores y propietarios evitar costosos ensayos de resistencia al fuego.

Uno de los ensayos de esta investigación se realizó para probar los dinteles de acero sin aislación convencional y concubierta antillamas sobre las alas de la viga doble T podían ser utilizadas en el edificio One Liberty Plaza de Nueva York. La temperatura máxima alcanzada por el alma sin protección de la viga dintel fue de 640° F ( 338°C ) al cabo de 16 minutos de comenzar el

Fig. 7

El investigador de incendios L.G. Seigel sugirió hace 10 años que la severidad del fuego es como aparece en las líneas continuas en el gráfico de arriba, en vez de la curva standard ASTM. Los fuegos reales arden más a mayor temperatura y más rápidamente. (gráfico inferior)

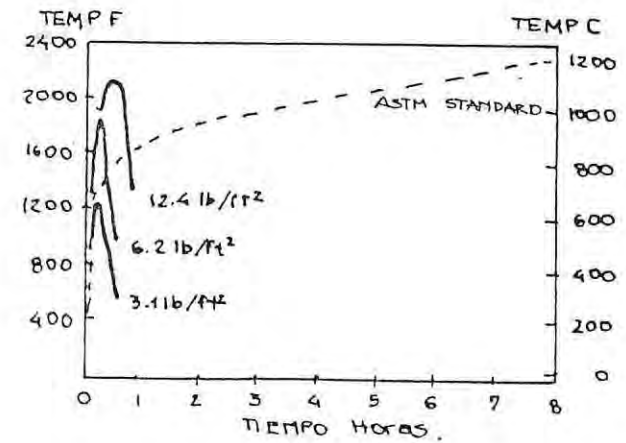
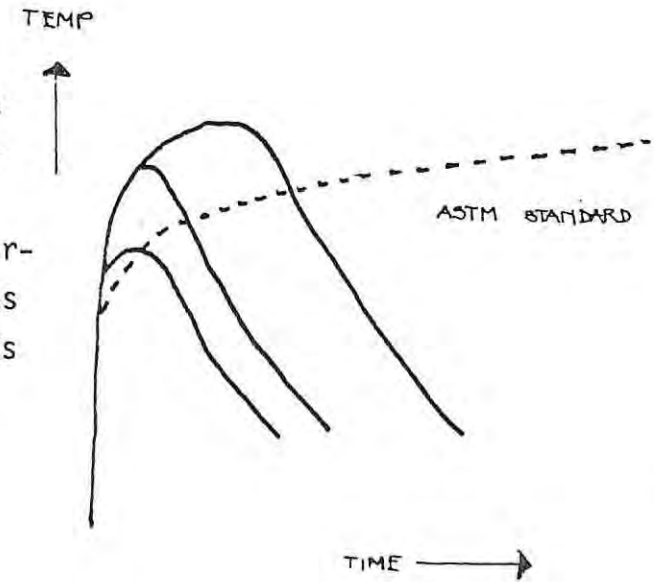


Fig. 8

Las temperaturas que los diseñadores deben tener en consideración son las del fuego, la llama, el aire exterior y el acero.

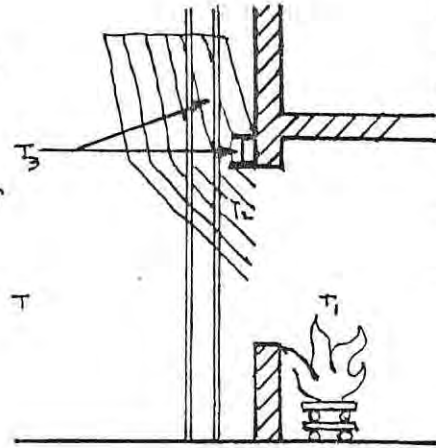
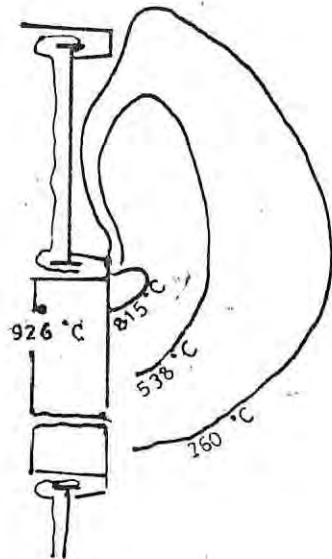


Fig. 9

Arriba se muestra las temperaturas y las proyecciones de las llamas ocurridas durante un ensayo de fuego para probar la seguridad contra el fuego de una viga dintel sin recubrimiento pero con cubiertas del ONE LIBERTY PLAZA.



el incendio. Esta temperatura es mucho más baja que el límite de 1.000 °F (538°C) para las vigas estructurales de acero.

Pero todos los ensayos realizados no apuntaban directamente al establecimiento de un método analítico.

El desarrollo del Manual de Diseño del AISI se vio acelerado por un problema real de diseño de difícil solución: Los destacados ingenieros estructurales ingleses de Ove Arup y Asociados necesitaban una aproximación analítica para determinar el riesgo potencial del incendio en el Centro Pompidou de Piano y Rogers en París. Este edificio tiene todos sus pilares, arriostramientos y conexiones de vigas reticulares por el exterior y se requería de una prueba analítica de la integridad del sistema frente a un incendio.

Durante la investigación se contactó al AISI y a través de este trabajo dicho instituto se interesó en desarrollar un manual del diseñador.

El manual de diseño de Ove Arup es un documento de 70 páginas que detalla el método para el diseño racional en acero sin protección convencional.

En este manual se señalan las variables que el diseñador debe considerar al diseñar edificios en acero, y de ellas podemos obtener información relacionada con el comportamiento de las llamas en los paramentos exteriores. Estas variables son:

a) La temperatura del fuego dentro del recinto o

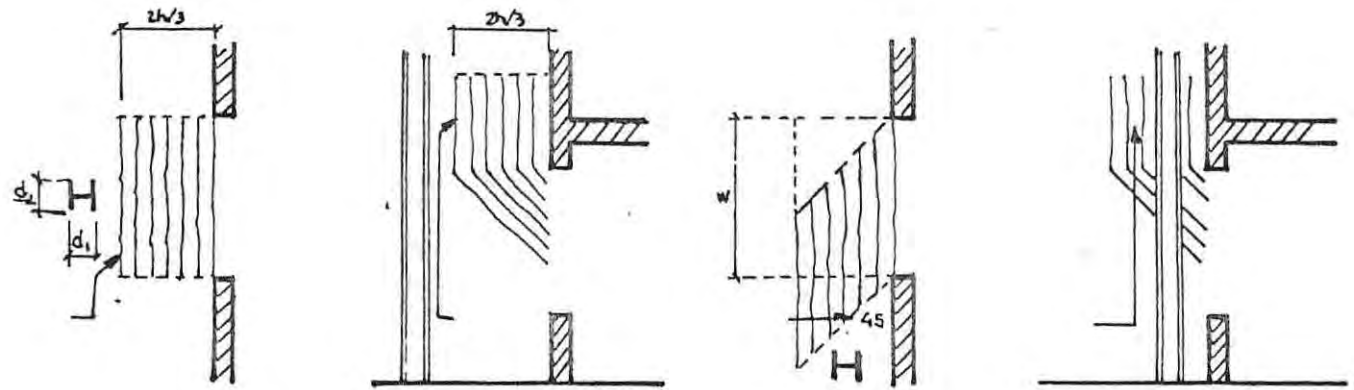


Fig.10 El fuego alimentado solamente por ventilación natural puede entenderse como proyectando una llama de ancho igual al de las ventanas, y abrazando la pared si existe una pared encima de ella. La llama emerge de los dos tercios superiores de la ventana, con aire frío entrando por la parte inferior. Se estima que el viento mueve la llama a no más de  $45^\circ$  lateralmente.

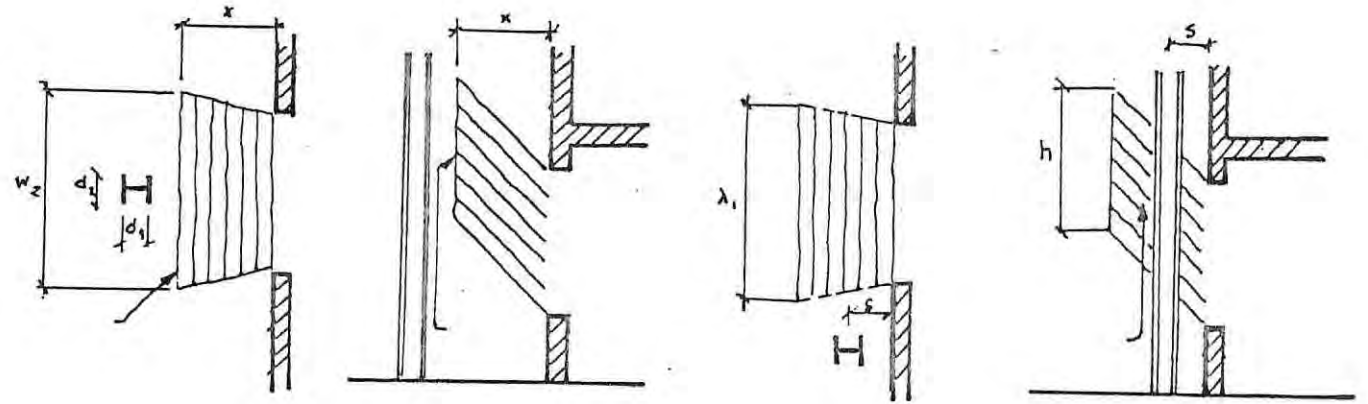


Fig. 11 Con ventilación forzada, la llama se extiende hacia afuera más ancha que la ventana, emerge de toda el área de la ventana y se proyecta más allá de la pared. El diseñador puede suponer diferentes localizaciones y distancias de las ventanas para las columnas y calcular la temperatura del acero durante el fuego en cada lugar para ver si es más baja que la "crítica".

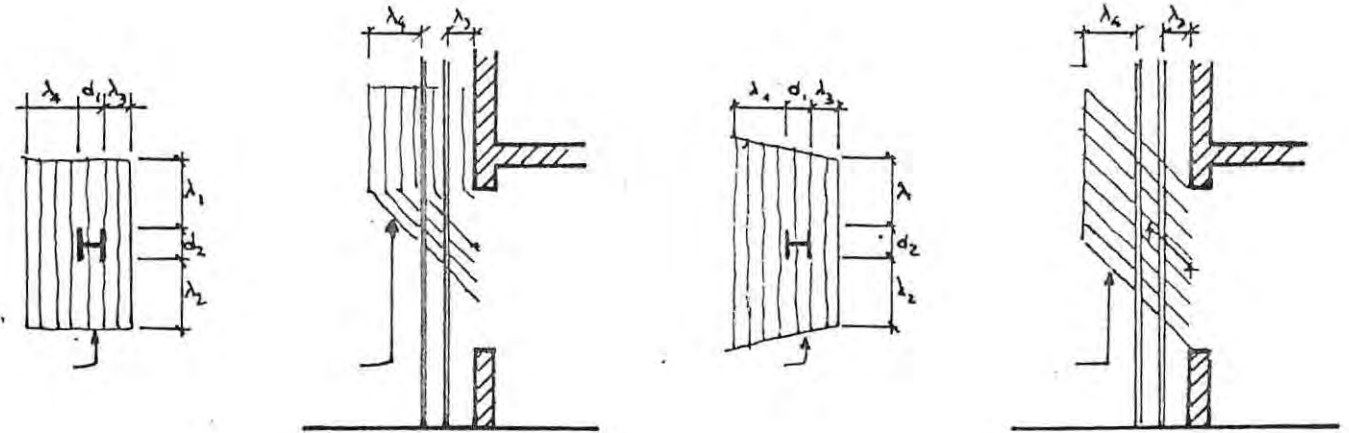


Fig.12 El peor caso es la columna envuelta en llamas, y da al diseñador una indicación de la severidad del fuego con el parámetro de diseño que ha elegido. Si la columna se deja en esta ubicación puede requerir recubrimientos como se muestra a través de esta página. Se han ilustrado tanto las llamas con ventilación natural y forzada.

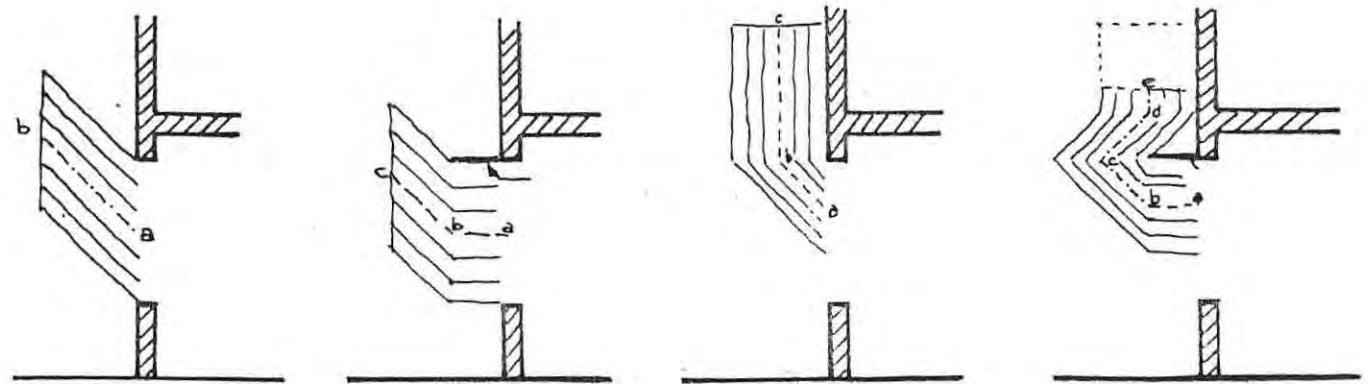


Fig.13 Una visera o balcón encima de la ventana defleca la llama y cambia su forma, proyección y altura efectiva. La condición de ventilación forzada se muestra a la izquierda y la condición de ventilación natural está a la derecha.

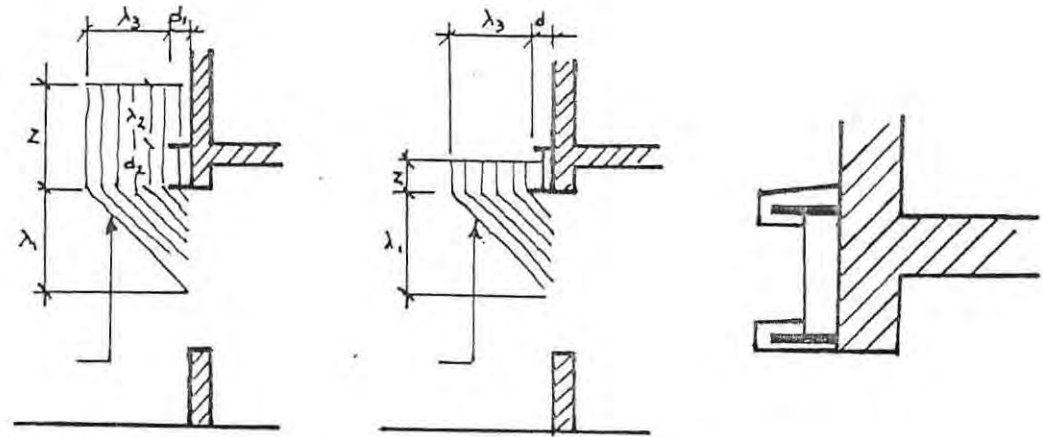


Fig.14 Cuando la viga del dintel sea envuelta por las llamas, son posibles tres condiciones diferentes (como se muestra) y pueden ser analizadas. Para las columnas, la temperatura de las llamas se estimó como la misma en toda la sección. Pero en vigas dintel la temperatura del ala inferior puede ser muy diferente a la del ala superior como para hacer aconsejable calcular ambas condiciones.

compartimiento.

b) La forma de la llama y la temperatura.

c) La ubicación del miembro estructural de acero.

La temperatura del fuego en la pieza o compartim-  
to depende de la carga combustible, el area del  
compartimiento, el area y altura del vano de ven-  
tana. La forma de la llama depende de una serie  
de factores, pero principalmente depende de la  
tasa de combustión y el area y la altura del va-  
no de la ventana. La distancia de la llama fuera  
de la fachada depende de la forma de la ventana  
y de si existe o no una pared o solamente una ba-  
randa sobre la ventana. La llama será proyectada  
fuera de la fachada solamente si el aire puede  
entrar detrás de ella. Con una ventana angosta,  
o una cantidad de ventanas con una baranda enci-  
ma de ellas, el aire frío desde arriba o desde  
los lados puede situarse más fácilmente por de-  
trás de la llama y deflestarla hacia afuera. In-  
versamente, con una ventana ancha o una cantidad  
de ventanas con una pared encima de ellas, la  
llama permanecerá pegada a la fachada. Además, la  
llama será empujada hacia afuera si hay ventila-  
ción forzada creada por una ventana en el lado o  
puesto de un compartimiento, o desde alguna otra  
fuente.

La temperatura de la llama depende de la profun-  
didad y ancho del compartimiento, el area y altu-  
ra del vano de la ventana, y de la tasa de com-  
bustión.

En el caso del diseño en acero, para el cual se  
desarrolló el método, la importancia de la ubica

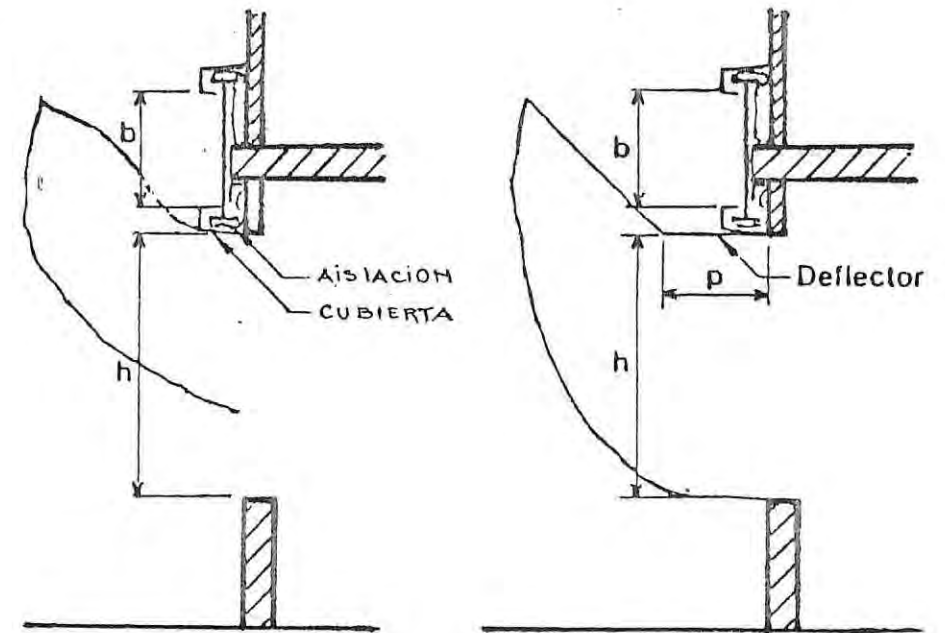


Fig.15 Para las vigas de dintel con alas cubiertas, la tabla práctica da un mínimo de altura del alma de 3 pies para una viga sobre una ventana de 4 pies de altura. Para una viga de dintel con deflector de llama y condiciones de corriente de aire, la razón de mínimo ancho deflector en relación a la altura del alma para una ventana de 4 pies de altura es 6,9 .

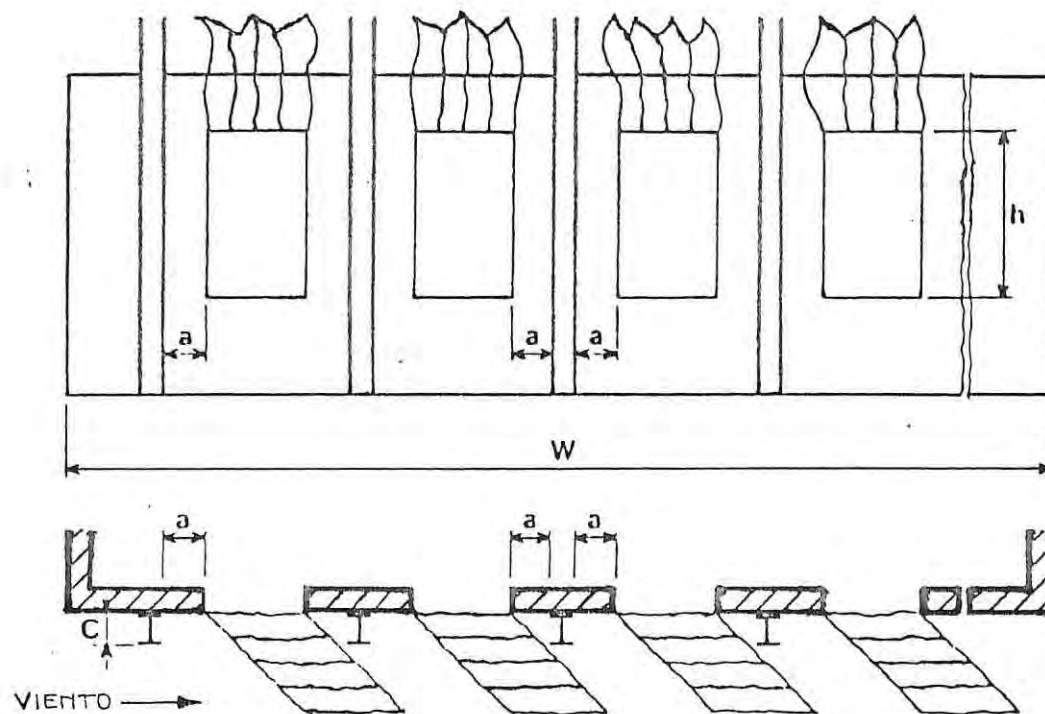


Fig. 16 Tablas para la localización práctica de columnas apruebas de fuego están incluidas en el manual de diseño de AISI . Por ejemplo, la distancia de las columnas a las ventanas es de  $8 \frac{1}{2}$  pié para un compartimiento de 60 pies de ancho y una ventana de 3 pies de altura . Si la altura de la ventana se eleva a 6 pies, las columnas necesitan estar solamente a  $3 \frac{1}{2}$  pie de la ventana.

ción de las columnas radica en que puede modificarse la transferencia de calor convectivo y radiante. La transferencia por convección tiene lugar solamente si la columna está envuelta en la llama. El intercambio por radiaciones afectado por cuanto de la llama "ve" la columna, lo cual es gobernado por la localización y la orientación de la columna con respecto a la llama; esto es conocido como el "factor de configuración".

Los pasos que el diseñador debe dar incluyen :

- a) Determinación del compartimento, áreas de ventanas y cargas combustible.
- b) Determinación de la forma de la llama para condiciones de corrientes de aire y sin corrientes de aire.
- c) Dibujo de la forma de la llama.
- d) Determinación del factor de configuración.
- e) Determinación de la temperatura del acero para una columna envuelta en llamas, para una columna al lado de la ventana o para una columna en frente de una ventana no envuelta en llamas.

Si la temperatura de las columnas es inferior a la temperatura crítica de 1.000 °F (538°C), entonces el diseño es seguro. Si es mayor que ésta entonces el diseño debe ser revisado. El diseñador tiene la opción de :

- a) Cambiar la posición del acero en relación a las ventanas.

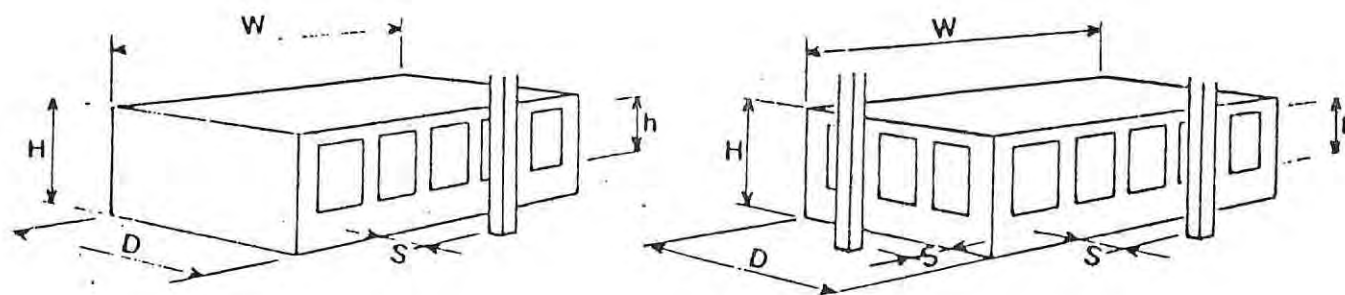


Fig.17 Las columnas enfrentando una ventana y con ventanas en un lado del compartimiento, necesitan estar a 11 pies de la pared cuando el vidrio llega al 50% de la pared, las ventanas son de 6 pies de altura y el compartimiento es de 30 pies de profundidad 60 pies de ancho y 12 pies de altura.

Con ventanas a ambos lados, el espaciamiento es de 8 pies.

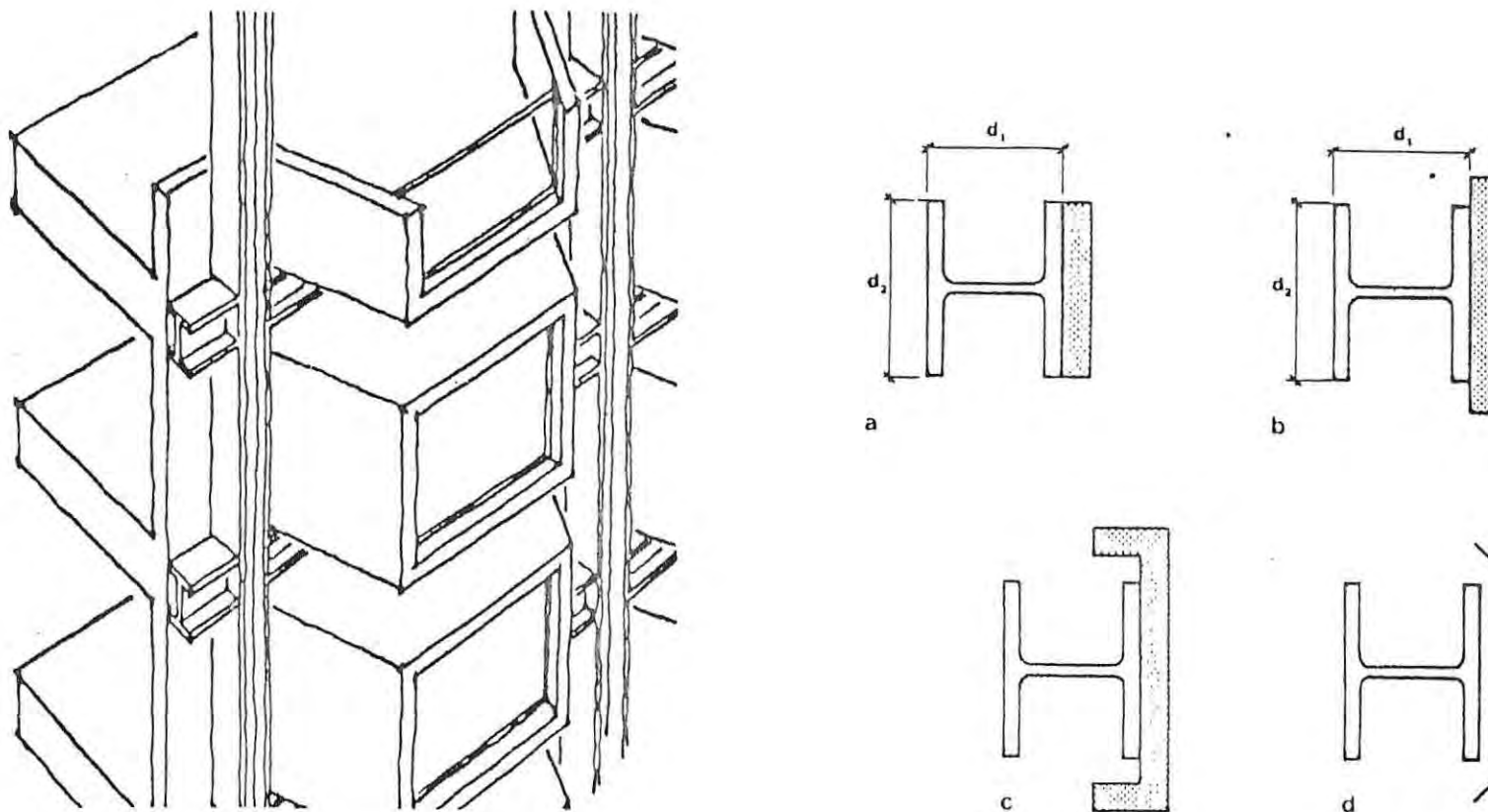


Fig. 18 Dos aproximaciones básicas para proteger del fuego al acero expuesto se muestran conceptualmente aquí :  
 Izquierda, los volúmenes que se proyectan mantienen el fuego aflojado de las columnas y dinteles expuestos; Derecha, se presentan cuatro tipos de cubiertas de columnas, aislados y sin aislación.

- b) Incorporar o modificar las protecciones contra la llama.
- c) Prevenir condiciones de corrientes de aire.
- d) Alterar las dimensiones de los compartimentos, la disposición de las ventanas o su forma, o la carga combustible.

Por otra parte, dos aspectos de la temperatura del acero necesitan ser considerados por el diseñador. Primero que todo, la capacidad de carga puede verse reducida a causa de la resistencia reducida a altas temperaturas. Pero también, cuando los componentes estructurales de una edificación son calentados, se expanden y pueden desarrollar fuerzas y momentos que usualmente no se toman en consideración en el diseño del edificio.

Las columnas localizadas por fuera de una pared opaca resistente al fuego no tiene exposición al fuego de modo que estas columnas no necesitan protección. Las columnas por fuera de una pared de vidrio resistente al fuego del interior. Las columnas por fuera de las ventanas con vidrios corrientes pueden verse envueltas en llamas al quebrarse el vidrio con el calor, pero incluso esta situación no es tan severa como la de un miembro interior ya que estas columnas están al aire libre.

#### 5.4.5 Comportamiento de las estructuras frente al fuego

Un edificio incendiado está sujeto a esfuerzos anormales causados por la deformación de sus componentes. Los miembros estructurales sufren una expansión y contracción excesivas y desiguales y algunos de los materiales de construcción pueden de-

sintegrarse causando un debilitamiento de la estructura soportante del edificio.

El rápido enfriamiento por el agua de una estructura caliente contribuirá a la descomposición de la mayoría de los materiales de constitución mineral, lo que añade otra variable a la evaluación de la seguridad del edificio.

En edificios altos, la existencia de una caja de escala totalmente cerrada resistente al fuego que comunique con todos los pisos es una gran ventaja, ya que permite a los bomberos llegar rápida y seguramente a cualquier piso. El vestíbulo ventilado de acceso a la escalera en cada piso les permitirá atacar el fuego desde un puesto avanzado.

Muchos edificios de altura especialmente los destinados a oficinas, tienen paramentos exteriores no estructurales del tipo muro-cortina, destinados a producir un cerramiento de protección contra la intemperie. Este tipo de construcción ha demostrado constituir un punto débil en el caso del incendio, particularmente cuando el fuego puede pasar entre el cerramiento y la estructura principal en pisos intermedios. Se han registrado casos en que grandes secciones del cerramiento se han desplomado, originando no sólo una rápida propagación del fuego piso a piso, sino que además una ventilación incontralada del mismo. Esto puede tener graves consecuencias y, al aumentar el calor radiante emitido por el edificio, crece el peligro de propagación.

Las estructuras de edificios se comportan de modo distinto en caso de incendio según el material, método de cálculo y modalidad de construcción empleada. La rigidez relativa entre vigas y pilares y el

grado de inmovilidad entre ellas pueden alterar radicalmente las características de deformación y los efectos adicionales de la carga impuesta o pueden aumentar o, en ciertos casos, reducir las deformaciones. Entre los materiales comúnmente usados en edificios de altura tenemos los siguientes :

- a) Acero, dulce o de alta resistencia a la tracción, aluminio y otros materiales metálicos con o sin material de recubrimiento como el hormigón o fibras de amianto proyectadas.
- b) Acero y hormigón combinados para aprovechar la alta resistencia a la tracción del acero y la resistencia a la compresión del hormigón.
- c) Estructura de hormigón armado " in situ" con paneles de cerramiento a modo de paredes.
- d) Estructuras de hormigón pretensado en las que los miembros de hormigón se precomprimen mediante cables de acero de alta resistencia a la tracción.
- e) Vigas y pilares prefabricados de hormigón apernado o fijados mediante juntas de hormigón moldeado " in situ", con paneles de cerramiento no estructurales.
- f) Construcción de paneles constituidos por muros y pisos prefabricados, fijados entre ellos mediante juntas moldeadas " in situ ". El material empleado generalmente es hormigón ligero, pero también pueden emplearse paneles ligeros para las paredes como los de fibra de vidrio armada.
- g) Albañilería de ladrillos convencional, armada o reforzada con pisos de madera. Esta forma de construcción sólo puede alcanzar un número limitado de pisos por la capacidad de carga de la estructura.

Las estructuras de acero tienen la desventaja de debilitarse considerablemente a temperaturas relativamente bajas y un miembro articulado fallaría si la temperatura de un punto del mismo sometido a tensión crítica alcanzara 550°C. Sin embargo, con sus extremos soldados o unidos de otra manera rígida, el miembro solamente fallaría cuando alcanzarán dicha temperatura tres o más puntos sometidos a tensión crítica.

La resistencia de la estructura y su resistencia al fuego se aumenta aún más incorporando el ala superior, de tracción, de viga a un forjado de hormigón, como se hace en las construcciones combinadas.

Las estructuras de hormigón armado con paneles de cerramiento de ladrillos, bloques o de otro material incombustible constituyen el tipo de construcción de edificios más resistente al fuego por su baja conductividad y la capacidad para absorber calor de la humedad contenida en la estructura. La resistencia al fuego se supone proporcional al recubrimiento de hormigón. Esto es generalmente cierto en un miembro simplemente apoyado. Otros parámetros entran en juego según el tipo de áridos, tipo de cemento, proporción áridos/cemento, tamaño de los áridos, contenido de humedad, condiciones en los extremos o límites de los miembros, y muchos otros factores, incluido el estado de tensión. Las estructuras de hormigón armado son muy ventajosas por su construcción monolítica. Sin embargo, con las reglas normales de ejecución aplicables a la armadura de acero y bajo ciertas condiciones de carga puede presentarse un fallo prematuro durante un incendio. Un inconveniente es que en caso de destrucción de un compartimiento en los pisos inferiores

causada por un importante incendio, puede producirse un derrumbamiento en cadena. Esto no sucederá, necesariamente, en una estructura rígida en acero, ya que los pisos superiores podrían permanecer suspendidos aún cuando el compartimiento en cuestión hubiera desaparecido.

Con estructuras prefabricadas y paneles hay que cuidar mucho la construcción de las juntas, para impedir un hundimiento tipo castillo de naipes. La resistencia al fuego de estas estructuras depende mucho del tipo de juntas empleado.

La estabilidad de la albañilería de ladrillo convencional depende mucho de la construcción de los pisos. Si se utilizan refuerzos de hormigón, tanto la estabilidad como la resistencia al fuego de la obra de ladrillo mejora ampliamente.

Debido a que en Chile se utiliza principalmente el hormigón armado como estructura resistente como ocurre en la totalidad de los edificios de altura de Valparaíso y Viña del Mar, estudiaremos en detalle los elementos estructurales de hormigón armado y sus necesidades mínimas de protección contra incendios.

En ensayos realizados en el Imperial College de Londres mediante programas de computación ("Computer analysis of skeletal structures with special reference to deterioration due to fire", PhD thesis de B.K. Bannerjee, 1972), descritos por W.E. Marchant en su obra "el fuego y los edificios", se destacan los siguientes resultados y conclusiones que ilustran el efecto del incendio sobre las estructuras :

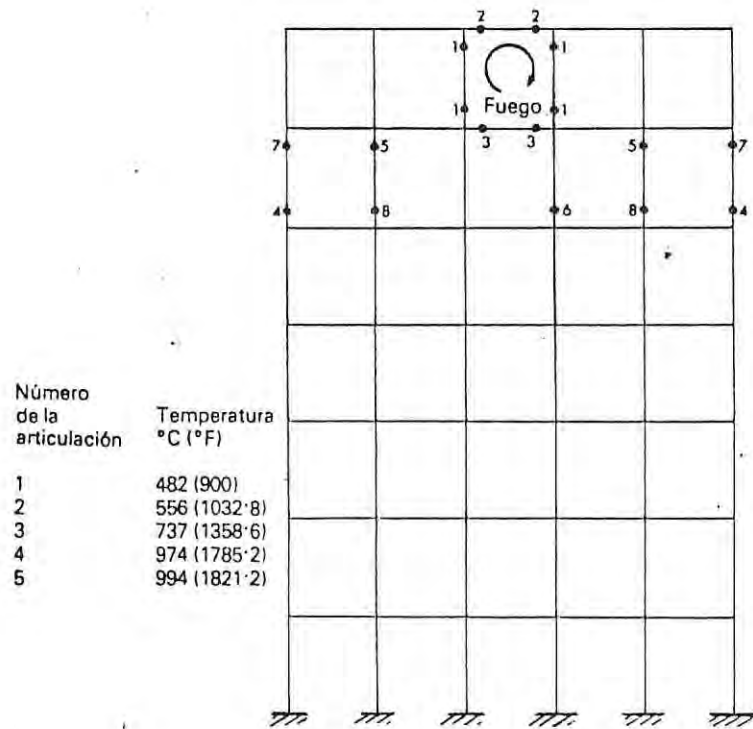


Fig. 19

Formación de articulaciones plásticas en una estructura de edificio de hormigón armado de siete plantas. La tabla indica las temperaturas a las que se forman.

Tomando en cuenta como base un edificio de siete pisos y cinco crujeas y suponiendo un incendio que se inicia en el compartimiento central superior y el mismo edificio con un fuego en el compartimiento central inferior se tiene que si se trata del primer caso, el orden de formación de articulaciones plásticas es el indicado en la figura 19, donde también se señalan las temperaturas correspondientes.

En el ejemplo considerado, la formación de articulaciones plásticas se produce a temperaturas inferiores a las que existirían en la práctica, ya que se ha supuesto que la temperatura de la superficie del hormigón es la del ambiente. Pero se sabe que la temperatura superficial del hormigón es muy inferior a la del aire en caso de incendio. Además, en el ejemplo, el compartimiento se ha sometido a un intenso fuego que afecta tanto a vigas como pilares, circunstancia difícil en la práctica.

Si la armadura de la viga sobre el soporte queda por debajo del centro de la viga, se crea una situación muy peligrosa y el piso superior se derrumbará rápidamente, incluso sólo con ese incendio localizado. En tal supuesto, si el incendio se produce en el compartimiento inferior central, sobrevendrá rápidamente un derrumbamiento progresivo.

Si se tratara de un entramado de acero estructural, la situación sería distinta, ya que incluso con la desaparición de un compartimiento inferior el entramado superior puede aún soportarse, ya que los pilares sobre el compartimiento afectado actuarían como tirantes.

De aquí podemos obtener las siguientes conclusiones:

i) 20

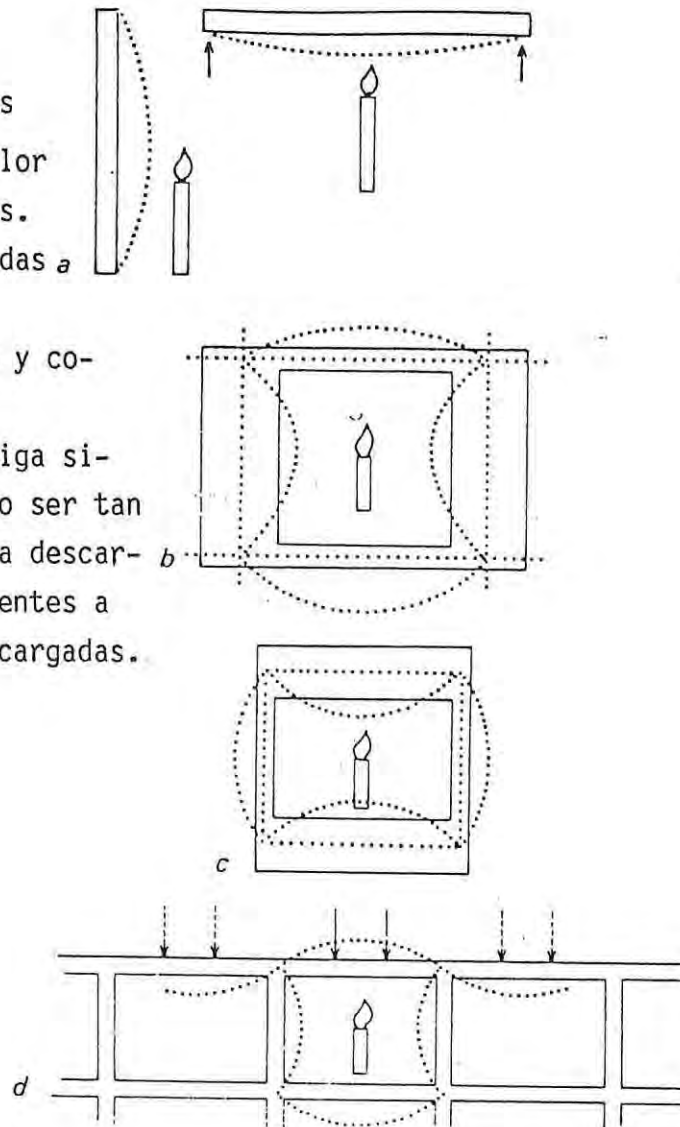
flexión de miembros y entramados

estructurales causada por el calor

) viga y columna independientes.

) Interacción de columnas rígidas a

) vigas delgadas.

) Interacción de vigas rígidas y co-  
lumnas delgadas.) Caso en que la carga de la viga si-  
tuada sobre el fuego puede no ser tan  
crítica como (i) si estuviera descar-  
gada. (ii) si las vías adyacentes a  
la zona de fuego estuvieran cargadas.

a) Una estructura puede resultar dañada en un lugar alejado del fuego en igual grado l de las partes sometidas a calentamiento en la zona del fuego.

b) El efecto restrictivo en la intersección de vigas y pilares juega un papel vital en el compartimiento de las estructuras de acero u hormigón sometidas al fuego.

c) Para simular un miembro de la estructura de un edificio, deben simularse también las condiciones en los extremos.

d) En general, un elemento del edificio como muro, piso, viga o pilar se curva en su superficie calentada, como muestra esquemática la figura 20a. En una estructura real en la que pilares y columnas están interconectadas, la flexión puede alterarse radicalmente y, en algunos casos, invertirse. Por ejemplo, si un incendio se produjera en un compartimiento o en un entramado de vigas y pilares, la flexión de la viga se invertiría completamente si la rigidez de las columnas superara a la de las vigas, según se observa en la figura número 20b. Por el contrario, si las vigas fueran más rígidas que los pilares, la deformación de los pilares se invertiría, figura 20 c. Esto evidencia que un ensayo en horno normal no es representativo si no se tiene en cuenta la interacción entre vigas y columnas

e) Muchos ensayos en horno normal especifican que la carga de cálculo debe aplicarse al miembro y mantenerse durante todo el ensayo. En el caso de una viga simplemente apoyada con un fuego bajo su parte inferior, la carga de cálculo produce una flexión en el miembro del mismo signo que el fuego, por lo que la aplicación del carga de cálculo aumenta la se

verdad del ensayo. Sin embargo, en la práctica se presentan muchos casos en los que las cargas aplicadas producen en un miembro una flexión contraria a la debida al fuego. Si la viga superior de la figura 20 d, o la viga inferior de la figura se cargaran, las flexiones debidas al fuego se reducirían. Puede concebirse un entramado continuo como el de la figura, en el que sería más crítico cargar solamente las vigas adyacentes fuera de la zona de incendio, dejando la viga de la zona incendiada sin cargar.

#### 5.4.6 Estructuras de hormigón armado

El calor y la temperatura producen en el hormigón fisuras y descascaramiento de la capa protectora de las armaduras. La pérdida de la protección de ellas permite que el acero quede en contacto con las temperaturas desarrolladas en un incendio, disminuyendo con ello la resistencia estructural de los elementos.

El árido es uno de los elementos que más influye en la pérdida de resistencia debido a la variación de su composición la que produce incluso de un lugar a otro en una misma zona. Aunque el árido influye en su resistencia, el comportamiento cualitativo del hormigón se puede determinar con bastante precisión mediante ensayos al elemento deseado.

De los resultados de los diversos ensayos se ha concluido que el hormigón liviano resiste mejor las altas temperaturas que los de peso normal, pues no sólo conservan mayor resistencia en situaciones de incendio, sino que también poseen un coeficiente de conductividad térmica más baja que el otro. Los áridos de peso liviano (escorias, esquistos expandidos), proporcionan al hormigón una resisten

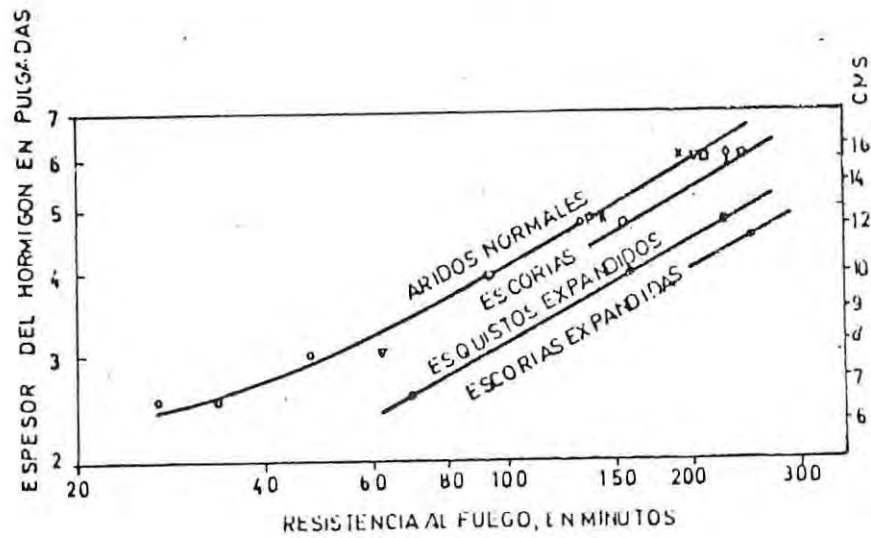


Fig. 21 : RELACION, ENTRE EL ESPESOR DE LA PLACA Y EL TIPO DE ARIDO, CON LA RESISTENCIA AL FUEGO.

FUENTE : N.F.P.A. op. cit. 6-7 H, pág. 6-64

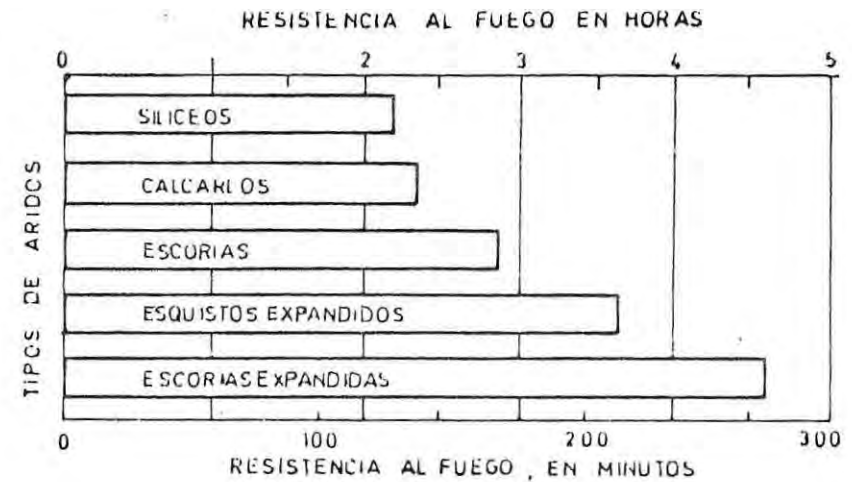


Fig.: 22 : EFECTO DE DIFERENTES TIPOS DE ARIDOS SOBRE LA RESISTENCIA AL FUEGO DE PLACAS DE HORMIGON DE 12 CM.

FUENTE : N.F.P.A. op. cit. 6-7 C, pág. 6-64

cia al fuego considerablemente mayor que los áridos de carbonatos o silíceos se hormigón normal. Con agregados de caliza, se obtienen resistencias menores debido a la expansión permanente que se desarrolla hasta los 900°C. Las figuras números 21-22, ilustran las influencias de los áridos sobre la resistencia al fuego de losas de hormigón armado.

Las tablas que a continuación se muestran servirán como referencia para que el profesional proyectista de una obra, de acuerdo con su criterio, adopte valores que se ajusten a las necesidades requeridas por el diseño.

5.4.6.1. Losas de hormigón armado : La resistencia al fuego de losas de hormigón armado depende del espesor, del tipo de hormigón empleado y de la protección de las armaduras.

El espesor de la losa tiene relación directa con la transmisión del calor, mientras mayor sea la sección de la losa, menor será la cantidad de calor que se transmite a otros espacios.

El tipo de hormigón influye en cuanto su resistencia está determinada por la porosidad de los áridos usados en la confección del mismo.

La Conferencia Americana de Legisladores de la Edificación ( Building Officials Conference of America ), distingue dos grados en los hormigones al considerar su resistencia al fuego por el efecto de los áridos, definidos de la siguiente manera : concreto grado 1 que emplea como agregados escorias

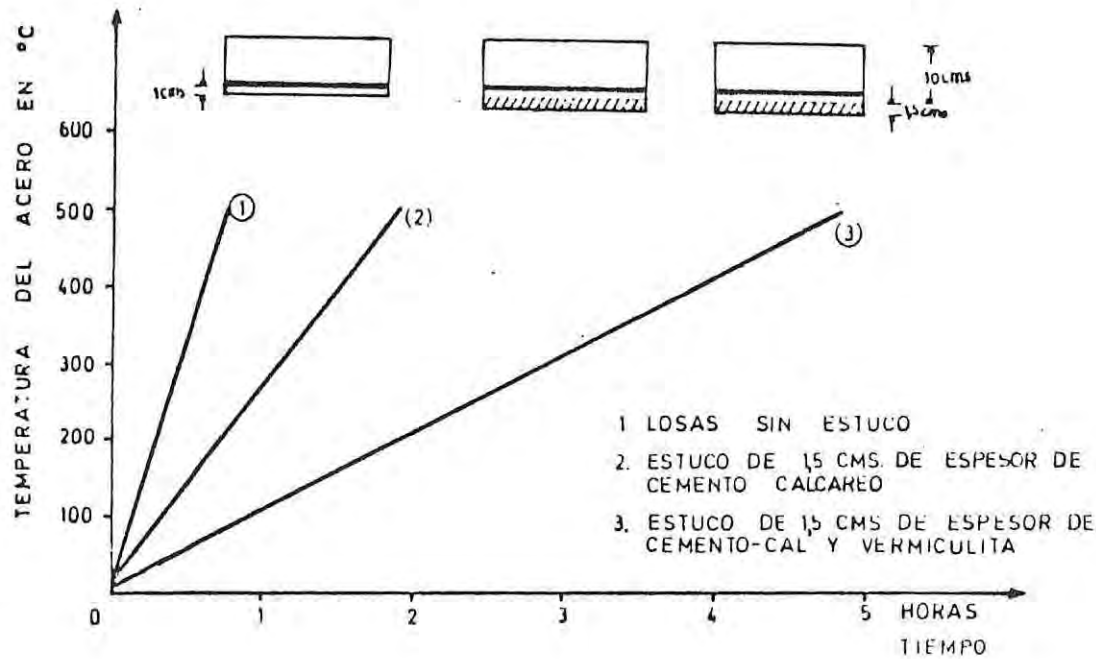


Fig. 23 : EFECTO DEL ESTUCO PROTECTOR EN ARMADURAS DE LOSAS.

FUENTES : DUMMER E., CARLOS, 1978.

de altos hornos, gredas quemadas, piedras calcáreas molidas, ígneas y silíceas, gravas y arcillas; y concreto grado 2 que usa como agregados cenizas, piedras pulverizadas y gravas compuestas esencialmente de cuarzo.

La protección de la armadura se realiza para evitar que el calor afecte las propiedades mecánicas del acero logrando de esta manera la estabilidad estructural del elemento.

En la figura número 23, se indica el efecto del estuco protector en armaduras de losas. Interpretando la figura se tiene que, para una losa de 10 cm. de espesor, el estuco protector debe ser de 1,5 cm. utilizado un cemento calcáreo; a este valor se le debe agregar 1 cm. que es el espacio comprendido entre la armadura y el moldaje, por lo que la protección mínima de las armaduras debe ser de 2 a 2,5 cm.

Según datos proporcionados por la Conferencia Americana de Legislador es de la Edificación, la resistencia al fuego alcanzada por losas de hormigón armado con un recubrimiento de 2,5 cm. de la armadura, es la que se indica en la tabla N°

Con los valores indicados en la tabla 1 se tiene que una losa con resistencia al fuego de 3 hrs. para un concreto grado 2, que corresponde al usado en la construcción de edificios, debe un espesor mínimo de 15 cm.

TABLA 1 : RESISTENCIA AL FUEGO DE LOSAS DE HORMIGON ARMADO.

Resistencia al fuego		Espesor de losas	
Horas	Minutos	Concreto grado 1 Centímetros	Concreto grado 2 Centímetros
4	-	17	18
3	-	14	15
2	-	12	13
1	30	10	12
1	-	8	9

Fuente : Duclos H., Jorge, 1968.

TABLA 2 : RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS DE HORMIGON ARMADO.

Resistencia al fuego		Espesor de los muros	
Horas	Minutos	Concreto grado 1 Centímetros	Concreto grado 2 Centímetros
4	-	15	18
3	-	14	15
2	-	12	13
1	30	10	12
1	-	9	9

fuente : Duclos H., Jorge, 1968.

5.4.6.2 Muros de hormigón armado : Para los efectos de resistencia al fuego, influyen los mismos factores que en las losas de este mismo material, es decir, el espesor, el tipo de hormigón y la protección de las armaduras. En los ensayos ha quedado demostrado que las armaduras de estos muros deben quedar protegidas por lo menos 4 cm., para evitar que el acero adquiera una temperatura peligrosa en los incendios.

En la tabla N° 2 se indica la resistencia al fuego de los muros según su espesor.

5.4.6.3 Pilares de hormigón armado : Para que los pilares resistan a satisfacción las altas temperaturas de un incendio deben considerarse los siguientes aspectos:

La protección de la armadura no debe ser inferior a 5 cm. ya que con dicho espesor se asegura una resistencia mínima de 4 hr. al fuego.

El tipo de hormigón empleado en su confección.

La influencia que tienen estos dos factores en la resistencia al fuego se puede apreciar en la tabla N° 3, que muestra claramente que los espesores de recubrimientos inferiores a 3 cm. no proporcionan una protección válida.

5.4.6.4 Vigas de hormigón armado: Como la viga es horizontal, está más expuesta al fuego y a la ruptura por dilatación que otros ele-

TABLA 3 : RESISTENCIA AL FUEGO DE PILARES DE HORMIGON ARMADO.

Resistencia al fuego		Espesor de la protección de hormigón en cms.			
		Concreto grado 1		Concreto grado 2	
		20 cms. ó más	15 cms.	20 cms. ó más	15 cms.
Horas	min.				
4	-	5	6	6	8
3	-	4	5	5	6
2	-	3	3	4	6
1	30	3	3	3	3
1	-	3	3	3	3

Fuente : Duclos H., Jorge, 1968.

Grado del hormigón (#)	Recubrimiento protector de la armadura en cms.	Valor de resistencia al fuego en horas (##).
1	2	1
	2.5	2
	3	3
	3.75	4
2	2	0.2 - 1 (###)
	2.5	1 - 2 (###)
	3.75	2 - 3 (###)
	5	2 - 4 (###)

Fuente : Duclos H., Jorge, 1968.

TABLA 4 : RESISTENCIA AL FUEGO EN VIGAS DE HORMIGON ARMADO DE TAMAÑO MEDIO.

- # Tratándose de hormigón liviano con una densidad totalmente seca de 1.76 ton/M3., el recubrimiento que se da para el hormigón grado 1 puede reducirse en un 25%.
- ## Puede aumentarse si algunas de las armaduras estuvieran mejor protegidas por estar alejadas de los ángulos o en las capas superiores, o si la viga fuera de gran sección.
- ### Variable, según las características de las caras fracturadas del árido. El empleo de mallas para sostener el recubrimiento en su posición produce clasificaciones más o menos del mismo nivel que el hormigón grado 1.

mentos estructurales, Por tal motivo, siempre conviene tomar un mayor número de precauciones en estos elementos, como las siguientes :

Proteger las armaduras en forma adecuada para impedir que sus dilataciones produzcan grietas i fisuras en los pilares en que van apoyadas o que las soportan.

Emplear una protección igual en calidad y espesor a la aplicada en los pilares, para mantener una continuidad en el recubrimiento.

Usar una protección mínima de 5 cm. en las vigas maestras y de 4 cm. en las vigas corrientes.

La tabla número 4 muestra los recubrimientos que necesitan las armaduras de vigas para lograr cierto grado de protección contra el fuego.

5.4.6.5 Tabiques : Los tabiques, en general, no soportan carga, salvo su propio peso, y sirven para dividir el espacio en cuartos o habitaciones y para confinar el fuego en el compartimiento en que tiene su origen

En los edificios resistentes al fuego debe cumplirse con las siguientes condiciones : ser de material resistente al fuego y malos conductores del calor; tener una rigidez suficiente para evitar el paso de los chorros de agua y de las llamas; care

TABLA 5 : RESISTENCIA AL FUEGO EN TABIQUES DE HORMIGON.

Materiales		Espesores en cms.	Resistencia al fuego	
Grado	Revestimiento		Horas	Minutos
Normal	Sin revoques	10	2	--
		8	1	--
		6	--	30
	Con revoques en ambas caras	10	4	--
		8	2	--
		6	1	--
Grado 1	Sin revoques	10	2	--
		8	1	--
		6	--	30
	Con revoques en ambas caras	10	4	--
		8	2	--
		6	1	--
Grado 2	Sin revoques	10	3	--
		8	1	--
		6	--	30
	Con revoques en ambas caras	10	3	--
		8	1	--
		6	--	30

fuente: Duclos H., Jorge, 1968.

cer en lo posible de puertas y ventanas.

En la actualidad, los tabiques de hormigón son poco utilizados aún en los edificios construidos totalmente en hormigón armado, debido a su peso excesivo y a la necesidad de emplear moldajes, lo que eleva considerablemente su costo.

A pesar de estos inconvenientes, la resistencia al fuego de estos tabiques es buena. La tabla número 5 muestra los espesores necesarios para ciertos grados de resistencia al fuego.

Los tabiques de volcanita con estructura de madera tienen buena resistencia al fuego debido a que el yeso es un material de construcción de gran resistencia al fuego. En ensayos efectuados por el " Bureau of Standards " de Washington se estableció que los revoques de yeso con arena de 19mm (3/4 " ) eran equivalentes a los de yeso de 12,7 mm ( 1/2" ) y aumentaban la resistencia al fuego de media hora a 3/4 de hora por cada superficie revocada.

Mediante recubrimientos de yeso se pueden lograr resistencias al fuego de aproximadamente media hora para 1,25 cm. de espesor y de 3/4 hr. para 1,56 cm. de espesor.

La tabla número 6 muestra la resistencia al fuego de tabiques con estructura de madera y revestimiento de placas de yeso.

5.4.6.6 Muros de ladrillos : Los ladrillos resis -

TABLA 6 : RESISTENCIA AL FUEGO DE TABIQUES CON PIE DERECHO DE MADERA Y REVESTIMIENTO DE YESO.

Material	Resistencia al fuego			
	Tabique hueco		Tabique relleno con lana mineral.	
	Horas	Minutos	Horas	Minutos
Estructura de madera con placa de yeso, de 1/2" de grosor, en ambas caras.	--	40	1	--
Estructura de madera con placa de yeso, de 2 cms., de grosor, ambas caras.	1	--	#	#
Estructura de madera con placa de yeso de 2.5 cms., de grosor, ambas caras.	1	30	#	#

# No hay información.

Fuente : N.F.P.A. op. cit. 6-7H, pág. 6-76.

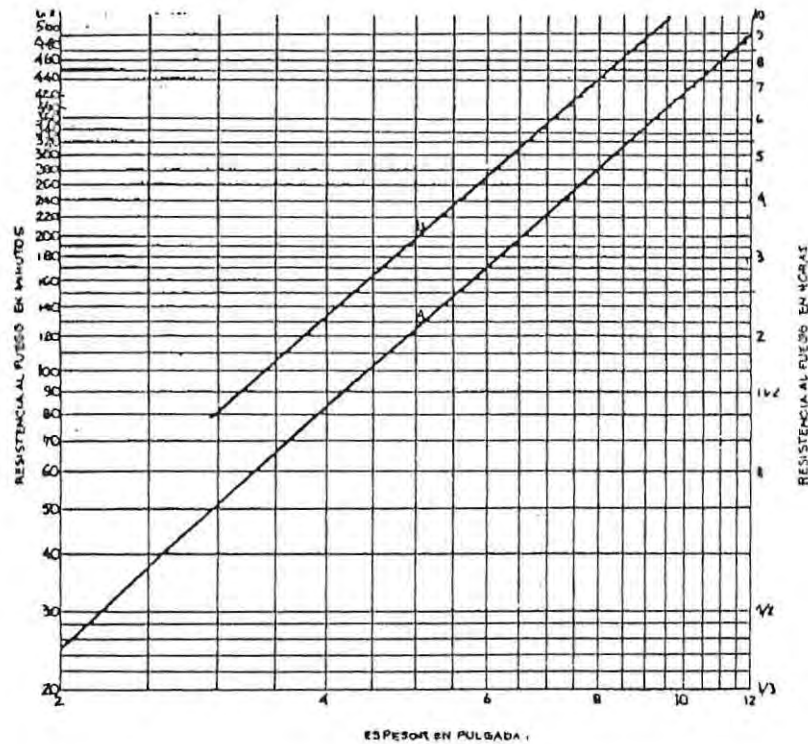


Fig. 24

Resistencia al fuego de los muros de ladrillos de arcilla cocidos en fábrica; A, sin mortero; B, con ambas caras.

Fuente : N.F.P.A. op cit. 6-7 K, Pág. 6-71

ten bien el incendio y casi no es de temer la acción de las altas temperaturas sobre el propio material, salvo que se trate de un incendio de importancia extraordinaria.

Los problemas que se presentan en los muros de ladrillos se deben a las dilataciones que producen esfuerzos internos que exceden a veces las condiciones de estabilidad del muro. Esto se debe a las diferencias de temperatura entre las caras del muro ya que éstas se dilatan más de un lado que de otro, generando las tensiones internas.

También se producen deformaciones considerables que fisuran el muro, lo cual contribuye a disminuir su resistencia.

La figura número 24 muestra la resistencia al fuego de muros de ladrillos de arcilla hechos en fábrica, de acuerdo a ensayos realizados en Estados Unidos que muestran el comportamiento de este material

## 5.5 TRANSMISION DEL FUEGO ENTRE EDIFICIOS

En el desarrollo de los incendios en edificios normalmente se desprende calor del inmueble afectado, pudiendo alcanzar una intensidad tal que lo haga peligroso para los edificios cercanos.

Para entender la transmisión del fuego podemos distinguir, para facilitar la comprensión del problema, entre un edificio transmisor y otro receptor, debido a la improbabilidad de que un mismo edificio pueda desempeñar ambas funciones al mismo tiempo.

Las tres formas de transmisión del calor, convección, radiación y conducción, son factores potenciales para la transmisión del fuego.

La transmisión del calor por conducción puede despreciarse. Esto no quiere decir que la temperatura externa de una construcción de tipo pesado que encierra un fuego en pleno desarrollo no contribuye a transmitir el calor del edificio incendiado, pero la máxima distribución de esta forma de transmisión del calor correspondería a una fase muy avanzada del desarrollo de un incendio. Por lo tanto, los efectos potenciales más inmediatos de la radiación y convección necesitan tenerse más en cuenta que la conducción. Tradicionalmente se considera a la radiación como un mayor peligro que la posible transmisión de calor por convección.

En edificios tradicionales un punto débil es, comúnmente un área de construcción no resistente al fuego, normalmente aberturas como ventanas y puertas. También se consideran como aberturas las zonas de construcción combustibles como paneles de madera, o de baja resistencia al fuego, como cerramientos de chapa metálica no protegida, a efec-

tos de evaluar la emisión de calor radiante.

- 5.5.1 La transmisión del calor por convección : los gases calientes emitidos por el edificio incendiado dan origen a corrientes convectivas que, bajo ciertas condiciones climáticas, pueden ser lo suficientemente intensas para levantar y transportar trozos de material sólido ardiendo (tizones volantes) que pueden llegar a distancias de 400 o más. Esto puede originar incendios secundarios si las superficies de los edificios receptores son de baja calidad en cuanto a ignición, penetración y propagación de las llamas.

Las construcciones combustibles y los vientos "favorables" pueden dar lugar a una transmisión convectiva del calor que acrecienta el efecto de la radiación.

El efecto del viento exterior en edificios incendiados es muy complejo. Experimentalmente se ha visto que la velocidad de combustión puede incrementar y que, en algunas ocasiones, el fuego puede alcanzar mayores temperaturas en un compartimento con una sola abertura que en otro sin aberturas alguna. Además, el viento desvía las llamas que salen del compartimento incendiado, aumentando el riesgo de propagación del fuego a los compartimientos.

- 5.5.2 La transmisión del calor por radiación : La cantidad de calor radiada por la superficie de un edificio depende de estos factores :

a) El grado de compartimentación interior del edificio.

- b) La carga de fuego de cada compartimiento.
- c) La superficie de ventanas u otras aberturas en la pared externa de cada compartimiento.
- d) El valor calorífico del combustible potencial (contenido del combustible).
- e) El viento y sus características en el momento del incendio.
- f) La existencia de equipo de lucha contra incendios instalados para protección de las aberturas.

La intensidad de la radiación emitida individualmente por un compartimiento depende de la carga de fuego y de la superficie de ventilación.

La temperatura y duración del fuego en un solo compartimiento aumentan al crecer la carga combustible por unidad de superficie de ventana, hasta un máximo de unos 150 Kg/m<sup>2</sup>.

La temperatura máxima alcanzada es de unos 1.100 grados C (con cargas de fuego inferiores a la indicada no se alcanza esta temperatura).

Si las cargas de fuego superan los 150Kg/m<sup>2</sup>, la velocidad de combustión viene determinada por la ventilación, que es función de la superficie de ventana, por lo que cualquier aumento de la carga de fuego incrementa la duración del incendio y, en consecuencia, aumenta el grado de resistencia al fuego necesario para el edificio, pero no aumenta la intensidad de radiación emitida por las

aberturas.

La máxima intensidad de radiación emitida por las aberturas de un muro exterior depende del tiempo, y se alcanza poco después de que el incendio llega a su pleno desarrollo ( FASEII)

### 5.5.3 FUNCIONES Y CARACTERISTICAS DE LOS PARAMENTOS EXTERIORES.

Funciones principales del muro exterior: Las tres funciones principales en cuanto al fuego de un muro exterior son :

- a) Impedir la propagación del fuego de piso a piso.
- b) Contener el fuego dentro del edificio hasta que pueda dominarse o hasta que se agote y proteger a los que luchan contra el incendio.
- c) Impedir la posible entrada del fuego procedente de un edificio próximo.

Para impedir la propagación del fuego de piso a piso se consideró que bastaría, dentro de límites razonables la existencia entre el dintel de la ventana inferior y el alféizar de la superior de no menos de 0,9m. de obra resistente al fuego en grado apropiado, de la que por lo menos 0,6m. debería por encima del nivel del suelo de la planta superior. Como variante podría disponerse un saliente o voladizo en la fachada.

Experiencias a tamaño natural han rprobado que, si

bien estas características retrasaban la ignición de estructuras y muebles combustibles hasta quince minutos incluso aún cuando tales elementos tubieran poca ninguna resistencia al fuego, la separación entre huecos reglamentada no impidió en absoluto la ignición de materiales inflamables como cortinas y algunas placas de cielo falso próximas a la ventana de la habitación de encima del fuego.

Las salientes horizontales resultan insuficientes para impedir la propagación del fuego.

Para conseguir una protección adecuada sería necesario eliminar virtualmente todas las ventanas del piso inmediatamente encima del que tuviera huecos.

El muro exterior de un edificio poco contribuye a reducir la propagación del fuego dentro del mismo, pero un edificio cuyo muro exterior carezca de resistencia al fuego podría representar un gran peligro para los edificios cercanos por la radiación de emitirá.

La superficie de las aberturas en la fachada de un edificio, que actúan como radiadores, define la cantidad de calor emitido por radiación.

A. En el edificio receptor, la superficie externa debe construirse de materiales con una alta temperatura de ignición y posiblemente con una gran capacidad térmica para que el calor incidente no se transmita directamente al interior. ( esto último puede crear una condición peligrosa para el

edificio según la tasa de aumento de la temperatura superficial debido a la radiación incidente y a la conductividad térmica del material. Por ejemplo, puede producirse un derrumbamiento por deformación, debida a diferencias de dilatación térmica ).

Este peligro se domina proyectando agua sobre el muro. El agua elimina el calor radiado a la pared.

B. Un edificio con fachada de cristal recibirá toda la radiación incidente, con probable ignición del contenido combustible.

El calor radiado no es absorbido por el aire, y al igual que la luz, viaja en línea recta, es reflejado por las superficies brillantes y es absorbido por cualquier cuerpo opaco, continuando su flujo por conducción.

La radiación de una fuente de calor se transmite en todas direcciones. Así, mientras más lejos esté el objeto expuesto, menor será la cantidad de calor que recibirá

Los muros con superficies acristaladas normales suelen tener un comportamiento intermedio entre ambos extremos.

En atención a que los edificios normalmente algo de madera en su fachada exterior, se toma como límite superior permisible de radiación incidente el valor 0.8 cal/cm/s ( materiales que pueden arder con niveles inferiores de radiación son de uso poco probable en el exterior de los edificios,

Aún así, al adoptar este límite, es poco probable

que una obra de madera normalmente expuesta arda ya que la humedad absorbida del ambiente retrasa aún más el momento de la ignición.

El tiempo mínimo hasta la ignición, con variaciones según la densidad de la madera se estima en unos 20 minutos desde el comienzo de la radiación.

La cubierta del edificio debe tratarse de modo que impida que un fuego exterior penetre en el edificio y de manera que se domine la velocidad de propagación de la llâma en el techo interior del edificio.

#### 5.5.4 Protección de los edificios en relación a la transmisión del calor por radiación.

Cualquier técnica utilizada en la protección de edificios contra la transmisión del calor radiante debe tener como finalidad reducir la cantidad de energía transmitida a los componentes o contenidos combustibles del edificio receptor.

Metodos principales :

- a) Disponer de una barrera no combustible imperforada entre el fuego y los materiales combustibles.
- b) Dejar espacio suficiente entre el fuego y los materiales combustibles próximos para asegurar que la intensidad de radiación recibida por éstos estará por debajo de la que producirá su ignición.

Muchas técnicas se evalúan respecto a los límites

del terreno en el que el edificio se construye.

El peligro de radiación entre edificios adyacentes debe valorarse separadamente para cada uno de ellos y la = barrera o espacio intermedio debe proyectarse de modo que ninguno de los edificios pueda recibir más de la cantidad límite de radiación ( 0,3 cal/ cm<sup>2</sup>/s ).

Es difícil predecir el peligro que puede provenir de posibles construcciones futuras y por ello, tiene aceptación general el concepto de "imagen de espejo" que consiste en calcular la distancia que debe haber entre el edificio y el límite del terreno para que la intensidad de radiación en el límite no supere a las 0,3 cal/ cm<sup>2</sup>/s. Esta distancia, dividida por dos dará la separación específica entre el edificio y el límite.

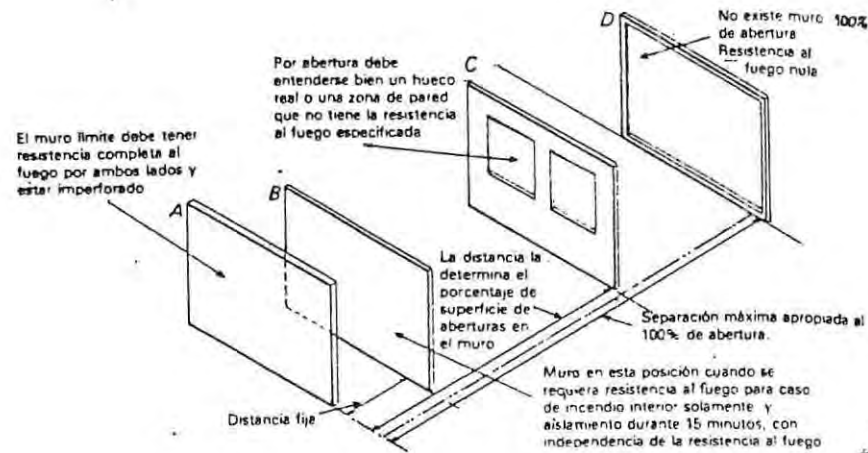
Si, el futuro edificio contiguo resulta ser análogo en construcción tamaño y uso, un cálculo equivalente llevaría a una separación total entre edificios.

#### 5.5.4.1 Tipos de barrera contra la radiación

1. Muro límite sin perforaciones.
2. Muro sin perforaciones.
3. Muros con ventanas.
4. Muro de cristal.

1.- Material incombustible con alta capaci-

Fig. 25 TIPO DE MURO EXTERIOR CON SUS DISTANCIAS AL LIMITE



dad térmica (absorben radiación )

Deben ser resistentes al fuego por ambas caras ejemplo "muros corta fuego".

2. Debe estar a distancia mínima específica da del límite ( 1m).

3. La distancia depende ;

a) del uso del edificio.

b) densidad de carga de fuego.

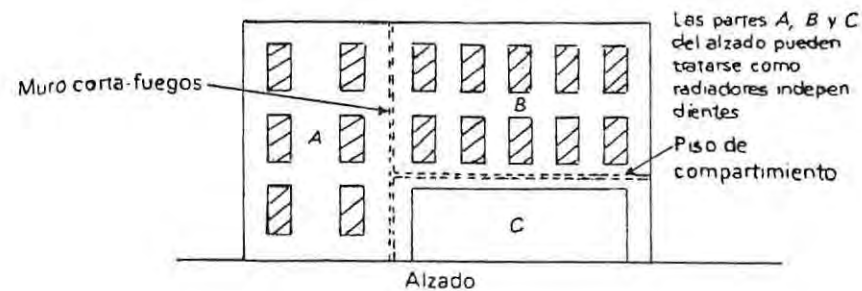
c) superficie de aberturas (% del total del muro).

La distancia puede reducirse si las aberturas se protegen con dispositivos apropiados (rociadores exteriores, cristal armado en ventanas, etc. )

( las ventanas dobles o triples pueden fallar antes que las de cristal sencillo debido a las diferencias de dilatación térmica. )

De éste modo, si la separación calculada es demasiado grande en relación al terreno se puede aumentar la compartimentación dentro del edificio.

Fig. 26 SUBDIVISION DE EDIFICIO



## 6. ESTUDIO DE UN METODO DE EVALUACION DEL RIESGO DE PROPAGACION DEL FUEGO A TRAVES DE LOS PARAMENTOS EXTERIORES

Para reconocer el grado de peligrosidad de propagación del fuego a través de los paramentos exteriores se establecerá una herramienta primaria de evaluación que permita clasificar los edificios en altura existentes en Valparaíso y Viña del Mar, destinados a vivienda. Esta medición tenderá a constituirse en una aproximación rápida de reconocimiento del riesgo de propagación del fuego a través de esta vía, con el fin de crear conciencia en el arquitecto de la seriedad del problema planteado y motivar su participación en el mejoramiento de nuestras actuales ordenanzas y reglamentaciones referidas al tema.

### 6.1 EL EDIFICIO EN ALTURA

En numerosos países no existe un concepto unitario para definir el edificio en altura. Y allí donde hay diferencias al respecto, los valores normativos difieren profundamente.

Algunas definiciones de edificio en altura en países desarrollados son las siguientes:

Alemania y Bélgica: Es aquel cuyo último piso está destinado a ser usado permanentemente por personas y se encuentra a más de 22 m. de altura sobre la superficie del terreno.

Dinamarca, Austria, Suiza, Yugoslavia y Turquía: Edificio con más de 8 pisos o cuyo último piso esté a más de 22 m. del terreno desde el cual operan los bomberos para combatir un posible incendio.

Francia: Construcciones o parte de las mismas desde la que operará los bomberos en caso de incendio, que se encuentre a más de 50 m. de la parte inferior del último piso, si se trata de viviendas, y 28 m. para edificios destinados a otros fines.

Portugal: Construcciones cuyo último piso se encuentre a más de 28 m. de la superficie.

Canadá: Edificio en que sus usuarios no pueden ser evacuados dentro de un lapso de 10 minutos, es decir, un edificio de más de 12 pisos.

La Conferencia Internacional sobre Seguridad contra el Fuego realizada en Warrenteng, Virginia, Estados Unidos, ha dado la siguiente definición: "Se considera edificio alto a aquellos en que una evacuación de emergencia sería poco práctica y en los cuales el fuego debe ser combatido desde el interior".

Las condiciones de peligro que identifican a estos edificios son: la altura, el efecto de chimenea y el tiempo de evacuación.

La altura los coloca fuera del alcance de los equipos aéreos de los bomberos. Esto significa simplemente que los vehículos portaescalas no alcanzan el piso afectado.

El efecto de chimenea presenta un peligro potencial en edificios altos ya que actúan, en caso de incendio, como una chimenea gigante. La diferencia de presiones que existe entre el interior y el exterior se incrementa debido al movimiento de las masas de aire caliente por los pozos de ascensores, cajas de escala y conductos de aire, colaborando a que el edificio se convierta en una chimenea gigante por la que ascienden gases mortales.

El tiempo de evacuación constituye un peligro porque las personas pueden verse expuestas al fuego por un tiempo prolongado. Se ha comprobado que la evacuación dirigida y sin pánico de un edificio de 11 pisos puede durar hasta 6,5 min.; en uno de 18, 7,5 min. y para uno de 30 pisos, 30 min. Más allá de los valores para las respectivas alturas no se asegura la evacuación de los ocupantes del edificio.

Es difícil definir rígidamente un edificio en altura porque, por ejemplo, la tecnología de combate de incendios se va desarrollando y puede suceder que, a corto plazo, los equipos aéreos de los bomberos tengan un mayor alcance.

En Chile, las normas no han definido el concepto de edificio en altura. La modificación a la Ordenanza General para construcciones relativas a la prevención de incendios exige a las nuevas edificaciones de habitación, de más de cinco pisos, construirlas con muros soportantes, cajas de escalas y muros divisorios entre departamentos, con una resistencia al fuego de 2,5 a 3 hr. y, para edificaciones de 7 o más pisos, considera además, la existencia de una zona vertical de seguridad, detectores automáticos, sistemas de alarmas, red seca, red húmeda, etcétera.

Con posterioridad a esta modificación no se ha introducido otro cambio en la legislación. Sin embargo, se está estudiando el problema con mayor detalle y se ha complementado en la actualidad con normas técnicas para apoyar el buen cumplimiento de ésta.

A medida que se continúa desarrollando este programa de investigación y estudio se logrará analizar y definir el concepto de edificio en altura y, en estas circunstancias se tomará como edificio en altura a aquel que tiene 10 o más pisos, sin contar el subterráneo, lo cual se fun

damenta en el cumplimiento de dos enfoques extranjeros como son el que sobrepase el alcance de las escaleras de los bomberos (aún cuando hoy día existen las de 38 m. de altura, pero son escasas) y el que se refiere al tiempo de evacuación de los usuarios.

## 6.2 DESCRIPCION DE UN CASO REAL: EL INCENDIO DEL EDIFICIO JOELMA DE SAO PAULO, BRASIL

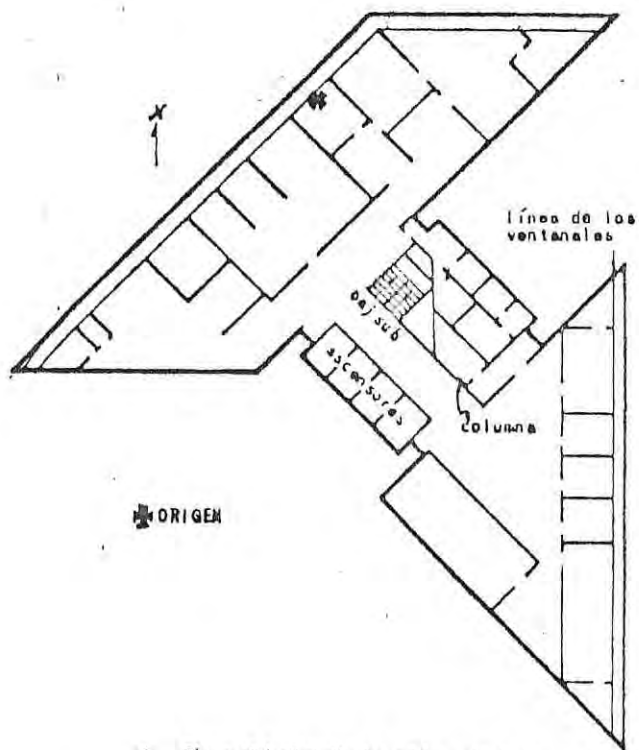
Para comprender mejor la magnitud y características de un incendio de este tipo de edificios, a continuación se describe el incendio del Edificio Joelma de Sao Paulo, Brasil, que constituye un ejemplo de propagación del fuego a través de los paramentos exteriores.

El edificio Joelma está ubicado en la Av. de Juhlo, cerca del centro de Sao Paulo. La estructura de 25 pisos había sido terminada hacia los comienzos del año 1973 y estaba totalmente ocupada por la Empresa Cresiful, una firma inmobiliaria. El primer piso y el subsuelo estaban ocupados por archivos. Desde el 2º al 10º piso, el edificio era ocupado como playas abiertas de estacionamiento. Desde el 11º al 25º, por oficinas. Los mecanismos de los ascensores estaban ubicados en el sótano y en casillas en la terraza. El edificio tenía una forma irregular, como se aprecia en la figura, con una superficie horizontal de 584 m<sup>2</sup>. La construcción era de hormigón armado incluyendo las columnas, las vigas y las losas.

Las paredes externas eran de ladrillos huecos, de 10 cm., con revestimientos de mortero de cemento de 5 mm. por ambas caras, y la parte externa estaba cubierta con baldosas de cerámica. Las ventanas eran de vidrios de 6 mm. de espesor, enmarcados en aluminio. Todas las ventanas se podían abrir. El piso de hormigón tenía un espesor de 9 cm. La distancia entre los venta-

PLANTA EDIFICIO JOELMA

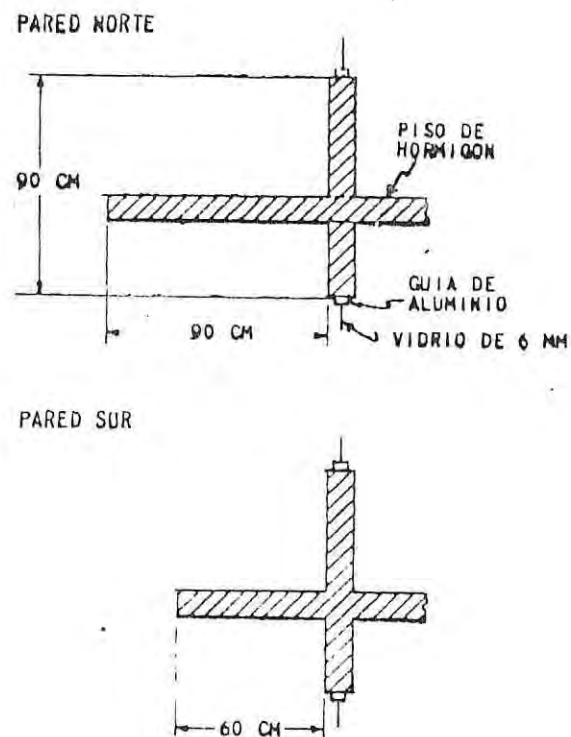
Fig. 27



Plano del piso 12 del edificio Joelma.  
Típico de todos los pisos.

DETALLE VENTANA Y PISO

Fig. 28



nales era de 90 cm.

Debido a la forma del edificio, el techo estaba separado en dos secciones. Ambos techos estaban contruidos con paneles corrugados de cemento que se asentaban sobre una superficie estructura de madera a dos aguas. Un parapeto de 30 cm. rodeaba todo el perimetro de los techos.

Las paredes internas eran de ladrillos huecos de 10 cm. revestidos con mortero. Las oficinas estaban formadas por dos clases de divisiones. Una con planchas de madera prensada revestida con terciado de 1,5 mm. y la otra con planchas de madera de 3 mm. sobre un armazon de madera de 10 x 20 cm. El cielo rasó estaba contruido con paneles de fibras combustibles fijados sobre un entarimado de madera. El piso de alfombra estaba pegado al piso de cemento afinado.

El Viernes 1º de febrero de 1974 se presentaba como un dia normal de trabajo para los ocupantes del edificio y como los dias de vacaciones estaban a punto de terminarse, de los 1016 empleados de la firma sólo habian ido a trabajar 956. Empero, debido al calor y a otros factores aproximadamente 200 de esos empleados aún no habian llegado a las 8.50, por cuyo motivo la cantidad de ocupantes del edificio sólo ascendia a 756 en ese momento. A las 8.50 un supervisor escuchó un ruido crepitante que provenia de una de las oficinas. Fue a investigar y encontró que el acondicionador de aire se estaba quemando. Su primera reaccion fue cortar la energia de manera que corrió hasta el tablero principal de interruptores para cortar la energia a ese sector del piso. Al volver a la oficina encontró que el acondicionador de aire todavia se estaba quemando y que el fuego se extendia hacia los cables que colgaban a lo largo de la pared.

De inmediato el fuego pasó al cortinaje y de allí al cielo falso combustible. El supervisor corrió a buscar un extintor, mas no pudo volver a entrar a la oficina de-

bido al denso humo, motivo por el cual lo descargó en la puerta. Luego subió por la escalera hasta el piso 13º para alertar a los ocupantes sobre el incendio. Cuando intentó bajar por la escalera para escapar, encontró que ya no podía hacerlo debido a la densidad del humo y la intensidad del calor.

Mientras este empleado estaba tratando de dominar el fuego, otro empleado se había dirigido a la antesala de los ascensores del primer piso para informarle al supervisor de los ascensores acerca del fuego y evitar la entrada a los empleados que estaban llegando. El supervisor de los ascensores impartió órdenes a los ascensoristas de que intentasen bajar gente por medio de los ascensores. Los cuatro aparatos hicieron varios viajes totalmente cargados. Este proceso prosiguió hasta que la atmósfera entre los pisos 12 y 13 se hizo tan insoportable debido al calor que las personas que pasaban por ellos no podían respirar. Luego el supervisor de los ascensores ordenó parar todos los ascensores y trabarlos en la planta baja. Una ascensorista que intentó un último viaje encontró tales concentraciones de calor y humo que tuvo que abandonar el ascensor en el piso 20. Ella también murió en el incendio.

El cuerpo de bomberos de Sao Paulo, recibió la alarma por teléfono realizada por uno de los ocupantes del edificio ubicado al frente del Joelma, a las 9.03 hr. A las 9.05 hr. se despacharon autobombas desde los dos cuarteles más cercanos situados a 0,8 y a 1,6 km. de distancia. Sin embargo, debido a las condiciones del tránsito, la primera bomba no llegó hasta las 9.10 hr. y se encontraron con un fuego que rápidamente se propagaba hacia arriba a través del frente del edificio formado por dos ventanales (pared norte y sur en la ilustración del edificio)

Inmediatamente se solicitaron refuerzos. Muchas personas quedaron atrapadas en los pisos superiores y empezaron a refugiarse en los bordes externos del edificio a la vez que desesperadamente pedían auxilio.

Poco tiempo después llegaron al lugar del incendio doce autobombas, tres escalas aéreas, dos plataformas hidráulicas y muchos otros vehículos de rescate. Los esfuerzos que realizaron los bomberos para entrar se vieron dificultados por el denso humo y el elevado calor. Tu vieron que recurrir al rescate mediante el empleo de escaleras y a la aplicación de niebla de agua desde la calle. Para entonces el fuego ya se había extendido desde el piso 12 hasta el 20 y continuaba propagándose hacia arriba por el exterior del edificio. Muchos de los ocupantes fueron hacia el techo esperando ser rescatados con helicópteros. Otros decidieron permanecer en sus propios pisos, con esperanzas de sobrevivir, empapándose con agua de las líneas de incendio. Algunos saltaron al vacío en su desesperación por escapar al calor y al humo. La caída de los cuerpos produjo grandes dificultades a la labor de los bomberos.

En los dos techos buscaron refugio unas 160 personas. En el techo sur - el más pequeño - se habían refugiado unas 60 personas, todas las cuales perecieron debido al humo y al calor. En el techo norte se refugiaron 111 personas de las cuales 81 sobrevivieron al encontrar protección debajo de los paneles corrugados. Las 30 personas que murieron fueron las que se quedaron esperando ser rescatadas por los helicópteros y que no se refugiaron debajo de los paneles.

Se habían reunido muchos helicópteros civiles y militares para usarlos en la operación de rescate, mas no fue posible hacerlo durante el incendio debido a la densa columna de humo, las corrientes térmicas ascendentes y la escasa e irregular superficie del techo que no les permitieron descender hasta que el incendio fue controlado.

A las 9.40 hr. el fuego se había propagado hasta envolver totalmente los 14 pisos superiores. Los bomberos irrigan desesperadamente el edificio en un esfuerzo por proteger con niebla de agua a los sobrevivientes que se habían parapetado en los bordes. Alrededor de las 10.30 hr. el fuego se consumió por sí solo.

Alrededor de las 13.30 hr. todos los sobrevivientes habían sido rescatado de los techos y los bordes del edificio. A estas alturas, una inspección por dentro del edificio reveló la terrible y cruda verdad; habían perecido 179 personas. Los bomberos no hallaron ni un solo sobreviviente. El fuego había consumido todo el contenido combustible del edificio, desde el piso 12, hasta el 25. El piso 11 no sufrió daño alguno. La playa de estacionamiento sufrió daños estructurales menores en el piso superior al caer una parte de la pared frontal de la sección norte del piso 16, la cual pasó a través de la losa de 9 cm. de espesor.

Los mecanismos ubicados en el piso no sufrieron ningún daño. Los daños sufridos por las columnas de carga fueron menores. Los descascaramientos de los pisos de hormigón no fueron graves en el piso 12, en donde tenían una profundidad de 5 x 61 cm. de diámetro. En la mayoría de los lugares los daños fueron solamente descascaramiento de los revestimientos y no afectaron a las partes realmente estructurales. Luego de una inspección los ingenieros determinaron que el edificio era seguro desde el punto de vista estructural.

Todas las divisiones internas de madera, más el cielo raso de celulosa y sus soportes fueron consumidos totalmente por el fuego.

La escalera sufrió descascaramientos a nivel en los pisos 12, 13 y 14. Sin embargo, desde los pisos mencionados en adelante, la escalera no sufrió daño alguno, lo cual indica que poco o nada de calor ascendió por ella más allá del piso 14. La escalera estaba dotada de barandas construidas de barras cuadradas, huecas, de 2 cm. El calor las retorció considerablemente. Esta deformación no se produjo más allá del piso 15. El daño total fue estimado en más de tres millones de dólares.

A pesar de que todavía se están efectuando ensayos sobre algunos materiales, generalmente se cree que el fuego

Se debió a una falla eléctrica del equipo de aire acondicionado. Un examen del tablero eléctrico que controla el sector norte del piso 12 reveló que los cables de este equipo de aire acondicionado no pasaban por dicho tablero y que, en consecuencia, no estaban protegidos por el interruptor térmico del piso.

Una investigación más a fondo reveló que, debido a la falta de un interruptor térmico, los cables habían sido instalados por fuera del tablero hasta que pudiese adquirirse uno.

Este incendio y el del edificio Andraus presentaron campos muy propicios para la propagación del fuego por la parte externa. En ambos casos la magnitud del incendio fue tal que los bomberos nada pudieron hacer. Según se mencionó antes, los materiales combustibles del interior se quemaron fácilmente y el fuego se propagó casi inmediatamente.

El hecho de que el origen del fuego estuviese cerca de la ventana facilitó su propagación hacia afuera, proveyendo oxígeno para la combustión y exponiendo a las ventanas de los pisos superiores. La importancia de la terminación interior, en lo referente a la propagación del fuego, ha quedado demostrada en el piso 13. El lado norte del piso 13 aún no había sido habilitado y, por lo tanto, no contenía tanto combustible como los otros. El fuego entró al piso 13 por el lado norte y su progreso fue lento debido a la falta de materiales combustibles provenientes de los elementos de terminación, como son cortinas, cielos rasos, etc. Por otro lado, el fuego que entró de la misma forma por el piso 14, que estaba completo, rápidamente se propagó por todo el piso, rompió las ventanas del lado sur y empezó a exponer las ventanas de los pisos superiores, también de ese lado.

A pesar de que este incendio fue tan espectacular como el del edificio Andraus, la propagación externa fue igual. En contraste con el incendio del edificio Andraus, en el del Joelma el viento no fue un factor importante y, en consecuencia, el fuego se propagó hacia arriba por sus dos frentes y no por uno como ocurrió en el edificio Andraus.

6.3 VARIABLES A CONSIDERAR EN LA EVALUACION DE LA PROPAGACION DEL FUEGO A TRAVES DE LOS PARAMENTOS EXTERIORES.

En primer lugar se considerará la protección contra el desarrollo del incendio en su primera etapa y la estructura del edificio, que es la que mantiene la estabilidad frente a la acción del fuego. La estructura presenta dos tipos de características : una de ellas está a la vista y consiste en el reconocimiento de una estructura de hormigón armado, acero, etc., y del tipo de compartimentalización del espacio con muros resistentes al fuego de 3 horas entre departamentos, piso a piso entre edificios. Esta resistencia se aprecia cuando se cumplen las características señaladas en el capítulo anterior.

El otro tipo de características de la estructura se refiere a espesores y recubrimientos mínimos. Estos deben establecerse a través de normas y reglamentos y son, en general los siguientes :

- a) Losas con espesores mínimos de 15 cm. y recubrimiento mínimo de la armadura de 2,5 cm.
- b) Muros de hormigón armado con espesor mínimo de 15 cm. y recubrimiento mínimo de 4 cm. para las armaduras.
- c) Pilares de hormigón armado con un recubrimiento mínimo de la armadura de 4 cm.
- d) Vigas de hormigón armado con un recubrimiento

igual en espesor y calidad que la de los pilares.

- e) Tabiques con estructura de madera con placa de yeso, considerando que una placa de yeso de 1/2" en un tabique relleno con lana mineral logra una resistencia al fuego de 1 hr.
- f) Muros de ladrillos que, como material, son resistentes a las altas temperaturas. Además, considerando que la carga de fuego en las viviendas es baja, difícilmente se producirá un colapso estructural.

El siguiente aspecto a considerar son las formas de propagación del fuego por la vía exterior que crea un peligro tanto para el edificio mismo como para las construcciones circundantes. Este tipo de propagación se produce tanto por radiación y convección como por llamas que emergen directamente a través de las ventanas. De acuerdo con lo señalado últimamente, la protección contra la propagación externa a través de las ventanas viene dada por los balcones, aleros o salientes que la retardan y por las dimensiones de los antepechos de las ventanas. También reviste importancia la separación horizontal entre las ventanas por cuanto la acción del viento produce un cambio en el ángulo de orientación de las llamas, dándoles mayor alcance. Como la desviación de la llama ocurre aproximadamente hasta en un ángulo de  $45^\circ$ , se estima apropiado dejar un espaciamiento entre ventanas no menor que el ancho de la mayor.

En el caso de la radiación, que presenta peligro para los edificios vecinos, frecuentemente se requiere la protección especial en las ventanas u o-



TABLA N° 7 INDICE PARA LAS DISTACIAS DE SEPARACION MINIMAS .

Intensidad exposición			Relación anchura/altura (o a la inversa)																	
Ligera	Moderada	Grave	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	3,2	4	5	6	8	10	13	16	20	25	32	40	
% aberturas			Indice (Multiplicar por la dimensión menor y añadir 1,5 m para obtener la separación entre edificios)																	
20	10	5	0,36	0,40	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
30	15	7,5	0,60	0,66	0,73	0,79	0,84	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
40	20	10	0,76	0,85	0,94	1,02	1,10	1,17	1,23	1,27	1,30	1,32	1,33	1,33	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
50	25	12,5	0,90	1,00	1,11	1,22	1,33	1,42	1,51	1,58	1,63	1,66	1,69	1,70	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
60	30	15	1,02	1,14	1,26	1,39	1,52	1,64	1,76	1,85	1,93	1,99	2,03	2,05	2,07	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
80	40	20	1,22	1,37	1,52	1,68	1,85	2,02	2,18	2,34	2,48	2,59	2,67	2,73	2,77	2,79	2,80	2,81	2,81	2,81
100	50	25	1,39	1,56	1,74	1,93	2,13	2,34	2,55	2,76	2,95	3,12	3,26	3,36	3,43	3,48	3,51	3,52	3,53	3,53
***	60	30	1,55	1,73	1,94	2,15	2,38	2,63	2,88	3,13	3,37	3,60	3,79	3,95	4,07	4,15	4,20	4,22	4,24	4,24
***	80	40	1,82	2,04	2,28	2,54	2,82	3,12	3,44	3,77	4,11	4,43	4,74	5,01	5,24	5,41	5,52	5,60	5,64	5,64
***	100	50	2,05	2,30	2,57	2,87	3,20	3,55	3,93	4,33	4,74	5,16	5,56	5,95	6,29	6,56	6,77	6,92	7,01	7,01
***	***	60	2,26	2,54	2,84	3,17	3,54	3,93	4,36	4,82	5,30	5,80	6,30	6,78	7,23	7,63	7,94	8,18	8,34	8,34
***	***	80	2,63	2,95	3,31	3,70	4,13	4,61	5,12	5,68	6,28	6,91	7,57	8,24	8,89	9,51	10,05	10,50	10,84	10,84
***	***	100	2,96	3,32	3,72	4,16	4,65	5,19	5,78	6,43	7,13	7,88	8,67	9,50	10,33	11,15	11,91	12,59	13,15	13,15

Fuente : N.F.P.A. op. cit. 6-3D, pág. 6-18.

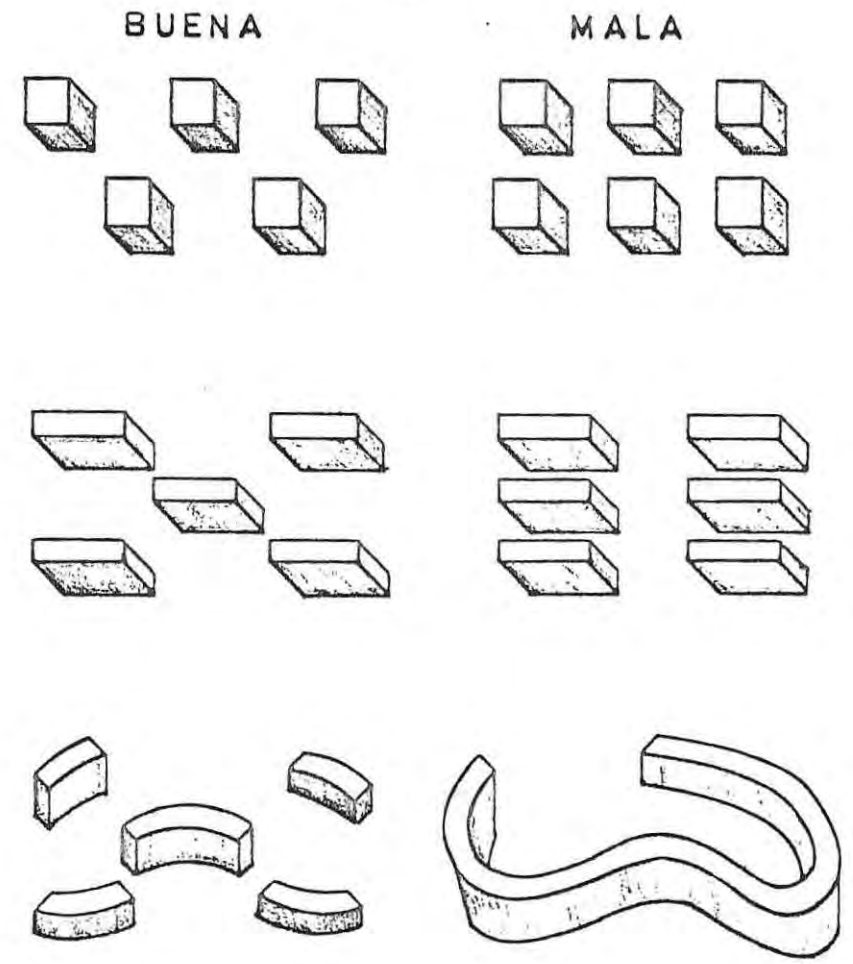


Fig. 28 DISPOSICION DE LOS EDIFICIOS.  
Fuente: Codina D., Gonzalez F., 1977.

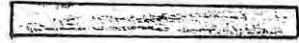


Fig. 30

BUENA



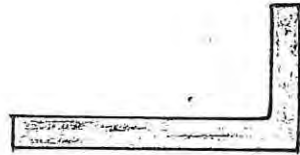
MALA



MEJOR



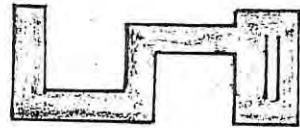
PEOR



OPTIMA

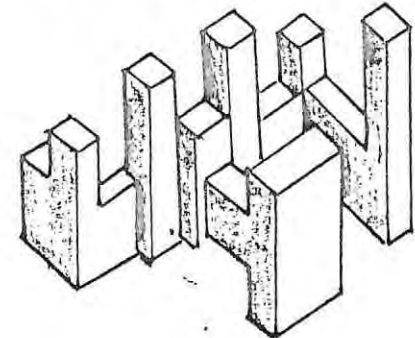
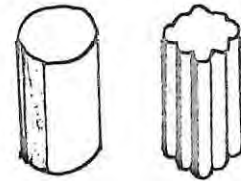
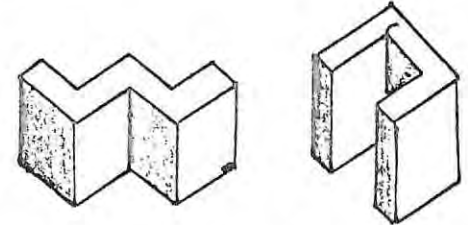
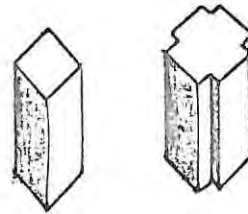
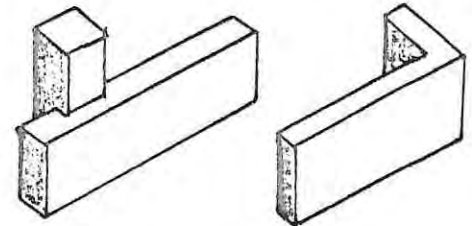
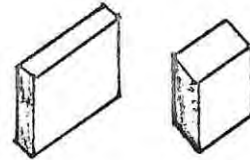


PESIMA



**BUENA**

**MALA**



**BUENA**

**MALA**

sí está reglamentada en la República Federal Alemana en donde se establece que "Todas las paredes exteriores provistas de ventanas deben ser accesibles para los vehículos del cuerpo de bomberos, mediante una base de superficie firme y suficientemente sólida. Además se exige una distancia de 3 a 8 m. desde la calzada al edificio, guardando un ancho de 3m. y un radio de 9m. para las curvas, las que deben ser calculadas para el tránsito de un vehículo de 12 toneladas de peso.

Así resulta indispensable que en los edificios en altura se considere el libre acceso a las fachadas porque, en caso de un incendio, el alcance del equipo aéreo de los bomberos es insuficiente si las distancias son muy grandes debido al ángulo de aplicación de las escalas telescópicas. Junto con ello debe considerarse aparejada la existencia de una base que pueda soportar el tránsito y estacionamiento de vehículos pesados utilizados por los bomberos.

6.4 ELABORACION DE UNA HERRAMIENTA GENERAL PARA EVALUAR EL RIESGO DE PROPAGACION DEL FUEGO A TRAVES DE LOS PARAMENTOS EXTERIORES EN EDIFICIOS EXISTENTES .

Para lograr la comprensión del nivel de riesgo existente en los edificios construídos en Valparaíso y Viña del Mar se tomará una muestra de 20 de ellos (5 de Valparaíso y 15 de Viña del Mar ) del universo determinado en ambas ciudades consistente en todos los edificios de por lo menos 10 pisos de altura destinados a vivienda.

De esta muestra se elaborará una ficha técnica consistente en la determinación de características deseables en orden a minimizar el riesgo de propagación del fuego a través de los paramentos exteriores.

Para concretar un proceso de análisis, los aspectos investigados se formulan de modo que exista solamente posibilidad de una respuesta negativa o afirmativa. En los casos de respuesta afirmativa " SI ", ésta se representará por el valor 0 (cero) cuyo significado deberá entenderse como Riesgo Mínimo o Sin Riesgo. Si la respuesta al ítem es " NO ", entonces se representará por el valor 2, cuyo significado deberá entenderse como Riesgoso o Peligroso. En este caso. Se ha introducido también como respuesta " NO " el valor 1 que refleja la dificultad para evaluar en forma absoluta algunas características de los edificios existentes y su significado deberá entenderse como Regularmente Riesgoso.

Clave de Evaluación :	SI	0	Riesgo mínimo o Sin Riesgo
	NO	2	Riesgoso o Peligroso
		1	Riesgo Medio

Al evaluar 12 características del edificio se obtiene un factor Máximo de Riesgo igual a 24, que corresponde a un edificio 100% riesgoso que actúa como patrón de evaluación o modelo de comparación. Asimismo, un Factor de Riesgo 0 corresponde a un edificio modelo o patrón sin características que lo hagan riesgoso en cuanto a propagación del fuego a través de los paramentos exteriores.

Así expresada la evaluación, compromete el fenómeno de nominado incendio desde su origen por cuanto evalúa la existencia de elementos de Protección Contra el desarrollo del Incendio, entregándonos una visión integrada del fenómeno.

Si evaluamos por separado los aspectos que aparecen en el Item 5 denominado Riesgo de Propagación a través de los paramentos Exteriores, tendremos un Factor de Riesgo de Propagación del Fuego referido solamente a condiciones presentes en las fachadas y de un modelo teórico de Riesgo Máximo igual a 16 podemos obtener un Porcentaje de riesgo de Propagación del Fuego en Paramentos Exteriores que refleja la condición de las fachadas del edificio.

La Ficha Técnica confeccionada contempla 6 ítemes :

Item 1 : Identificación

Item 2 : Características de Ocupación

Item 3 : Estructura

Item 4 : Protección Contra el Desarrollo del Incendio

Item 5 : Riesgo de Propagación a Través de los Paramentos Exteriores

Item 6 : Evaluación

En los Itemes 1 y 2 se consignan datos que permitirán posteriormente establecer algunas relaciones a modo de conclusiones y las respuestas no tiene evaluación.

Item 3: Entre las estructuras usadas en la construcción de edificios la que presenta mejor comportamiento frente al fuego es la de hormigón armado, el cual, si cumple con los requisitos de la Ordenanza se evaluará con un Factor de Riesgo cero. Al acero se le asignará un Factor de Riesgo 2 y a otras estructuras podría clasificárselas con un Factor 1 dependiendo de sus características en relación a los límites 0 y 2 señalados.

Item 4: La existencia de elementos con resistencia mínima al fuego de 3 horas determina la buena aislación del foco del incendio. Mientras más continuas sean estas aislaciones, menor será la duración del incendio. La existencia de cada uno de los elementos señalados en la Ficha Técnica será evaluado con un Factor 0 y en caso que falte alguno de ellos se evaluará con un Factor 2.

Item 5 : La existencia de los balcones, aleros o salientes impide o retarda la propagación del fuego a través de las fachadas en forma vertical. Lo mismo ocurre con los antepechos de las ventanas que deben cumplir con cierta proporción de muro cerrado para que brinden protección frente a la propagación vertical a través de las ventanas. La propagación horizontal del fuego a través de las ventanas se controla manteniendo una separación mínima hori-

zontal entre vanos que corresponde a un ancho de la ventana mayor, evidenciándose así la desviación que produce el viento en la llama que aparece a través de las ventanas. La existencia de estos elementos se evaluará con un Factor 0 y su ausencia, 2. Cuando los edificios están a una distancia menor a 30 m., se obtiene protección de la radiación utilizando vidrio armado, bloques de vidrio. También es necesario contar con rociadores en las ventanas o, al menos, con persianas de madera tratada u otra barrera imperforada. En este caso, la existencia de rociadores se evaluará con un Factor 0 y la existencia de persianas de madera tratada con un Factor 1. Otras barreras llevarán como evaluación un coeficiente que representa su capacidad de aislar el edificio de la radiación proveniente de un edificio incendiado.

La distancia entre los edificios determina el nivel de radiación incidente sobre sus fachadas como edificio receptor de radiación. Si éstos se encuentran a más de 30 metros, se evaluarán con un Factor 0 que aumentará hasta 2 en función de su proximidad a otros edificios de características similares.

El acceso de bomberos a las fachadas es importante por cuanto pueden actuar directamente sobre las paredes del edificio rebajando los niveles de radiación al proyectar agua sobre los muros. Para ello se requiere de un acceso apropiado, de las condiciones señaladas en el punto 5.6.3. Esta situación escaleras telescópicas. Cuando existan 3 ó más fachadas accesibles se evaluará con un Factor 0 que llegará hasta el valor 2 cuando sólo exista una fachada con acceso apropiado para los bomberos.

## 6.5 APLICACION DE LA HERRAMIENTA A EDIFICIOS EN ALTURA EXISTENTES.

En primer lugar se confeccionó una lista de todos los edificios en altura existentes en Valparaíso y Viña del Mar, graficándose su ubicación en los planos que se incluyen en este informe.

Conocida la cantidad de edificios que cumplen con las características definidas para "edificio en altura habitacional", se constató que en la ciudad de Valparaíso existían aproximadamente 16 edificios y, en Viña del Mar, alrededor de 86. De esta manera, se optó por seleccionar una muestra que constituye aproximadamente un 20% universo determinado, conservando la debida proporción entre los edificios seleccionados tanto en Valparaíso como en Viña del Mar.

Debido a la forma que se le dió a la ficha técnica confeccionada, pudo hacerse la evaluación inmediata del aspecto que interesaba constatar apoyándose en un registro fotográfico de la muestra seleccionada y otros edificios de interés utilizados para ensayar la ficha técnica.

Los edificios sometidos a Ficha Técnica fueron los siguientes :

VALPARAISO : 1.- Torre A o B de Brasil/Morris  
2.- Edificio Alnte. Señoret empart sss.  
3.- Edificio Plaza Victoria  
4.- Edificio Condell/Bellavista

- VIÑA
- 5.- Edificio Fermín Vivaceta
  - 6.- Edificio Flamingo
  - 7.- Edificio Ecuamar
  - 8.- Edificio Ultramar
  - 9.- Edificio Antumalal
  - 10.- Edificio Atalaya
  - 11.- Edificio Puesta de Sol
  - 12.- Edificio Rapa Nui
  - 13.- Edificio Millalebu
  - 14.- Edificio Miami
  - 15.- Edificio Kusanovic
  - 16.- Edificio Pontecasino
  - 17.- Edificio Copacabana
  - 18.- Edificio Mirador
  - 19.- Edificio Las Palmas
  - 20.- Edificio Santillana del Mar.

En la selección de la muestra se cuidó incluir edificios construidos en épocas diferentes de modo que sirvan de comparación entre sí. Esta circunstancia permitirá reconocer si existe mejoramiento de las condiciones necesarias para evitar la propagación del fuego, especialmente a través de los paramentos exteriores.

Los resultados de la Ficha Técnica se presentan en la tabla siguiente y los diversos ítemes planteados aparecen ya evaluados en terreno. Ello permite graficar directamente la situación que se plantea en los edificios de altura, tal como indica la figura 31 que aparece en este capítulo.

La evaluación de cada aspecto constatado está referida a la siguiente información entregada anteriormente :

Item 1 y 2 : No requieren de evaluación por cuanto no constituyen aspectos integrados en la determinación del Factor de Riesgo, aún cuando otro tipo de análisis ponderado podría incluir también todas las variables señaladas en el Item 2 denominado Características de Ocupación. En este estudio en particular no fueron integradas por cuanto ello implica, necesariamente, la revisión de numerosos aspectos que no están ligados directamente con el análisis de los paramentos exteriores.

Item 3 : Los aspectos relacionados con la Estructura se han evaluado de acuerdo con lo señalado en la sección 5.4.5. y, en general, todos los edificios en altura destinados a vivienda están contruídos con estructura de hormigón armado.

Item 4 : 4.1 Elementos horizontales de alta resistencia al fuego. Evaluada de acuerdo a las tablas de la sección 5.4.6.1

4.2 Paramentos verticales interiores de alta resistencia al fuego : Evaluada de acuerdo a las secciones numeradas 5.4.6.2; 5.4.6.3; 5.4.6.4 ; 5.4.6.5 y 5.4.6.6.

4.3 Paramentos verticales exteriores de alta resistencia al Fuego : Evaluada según lo indicado en las secciones 5.4.6.2; 5.4.6.3; 5.4.6.4 y 5.4.6.6.

Item 5 : 5.1 Balcones, aleros o salientes horizontales : Evaluada de acuerdo a las secciones 5.4.2.1; 5.4.4.

5.2 Antepechos mínimos : Evaluada según la sección 5.4.2.1. y 5.5.3.

5.3 Separación horizontal entre ventanas mínimo : Evaluada según lo indicado en las secciones 5.4.2.2; 5.4.3 y 5.4.4.

5.4 Vidrio Armado o Bloques de Vidrio:  
Evaluada según las observaciones que aparecen en  
las secciones 5.2.1;5.3.3;5.4.1;5.4.2.

5.5 Rociadores en ventanas, persianas  
de madera tratada u otra barrera : Evaluada según  
las secciones 5.5.3 y 5.5.4

5.6 Separación mínima de 30m. entre  
edificios : Evaluada según indicaciones de las sec  
ciones 5.6.1.1 y 5.6.3.

5.7.Emplazamiento apropiado: Evaluado  
según indicaciones de la sección 5.6.3.

5.8 Fachadas accesibles a bomberos con  
base de sustentación apropiada : Evaluada según lo  
indicado en la sección 6.1 y 6.3

NOMINA DE EDIFICIOS EN ALTURA DE MAS DE 10 PISOS, DESTINA  
DOS A VIVIENDA EN VALPARAISO Y VIÑA DEL MAR

V A L P A R A I S O

Nombre	Nº Pisos	Dirección	Año Const.
1. Brasil Morris Torre A	15	Yungay 2579	1956
2. Brasil Torre B	15	Yungay 2579	1956
3. Gabriela Mistral Torre A	10	Av. España 1992	1978
4. Gabriela Mistral Torre B	10	Av. España 1992	1978
5. Bco. Solidaridad Estudiantil	14	Esmeralda 1074	1967
6. Torre Almendral	21	A. Barroso 557	1978
7. Los Libertadores	13	Freire 471	1979
8. Montealegre	12	Montealegre 330	1965
9. Espíritu Santo	12	Molina 531	1955
10. Fermín Vivaceta	18	Aldunate 1627	1978
11. Cochrane	14	Cochrane 763	1962
12. Condell - Bellavista	10	Bellavista 466	1970
13. Señoret	14	A. Señoret 151	1962
14. Pedro Montt	10	P. Montt 2034	1965
15. Plaza Victoria	12	Plaza Victoria	1965
16. Empart Torre C	15	Yungay 2549	1956
17. Cámara de Comercio	13	Pje. Ross 149	1960

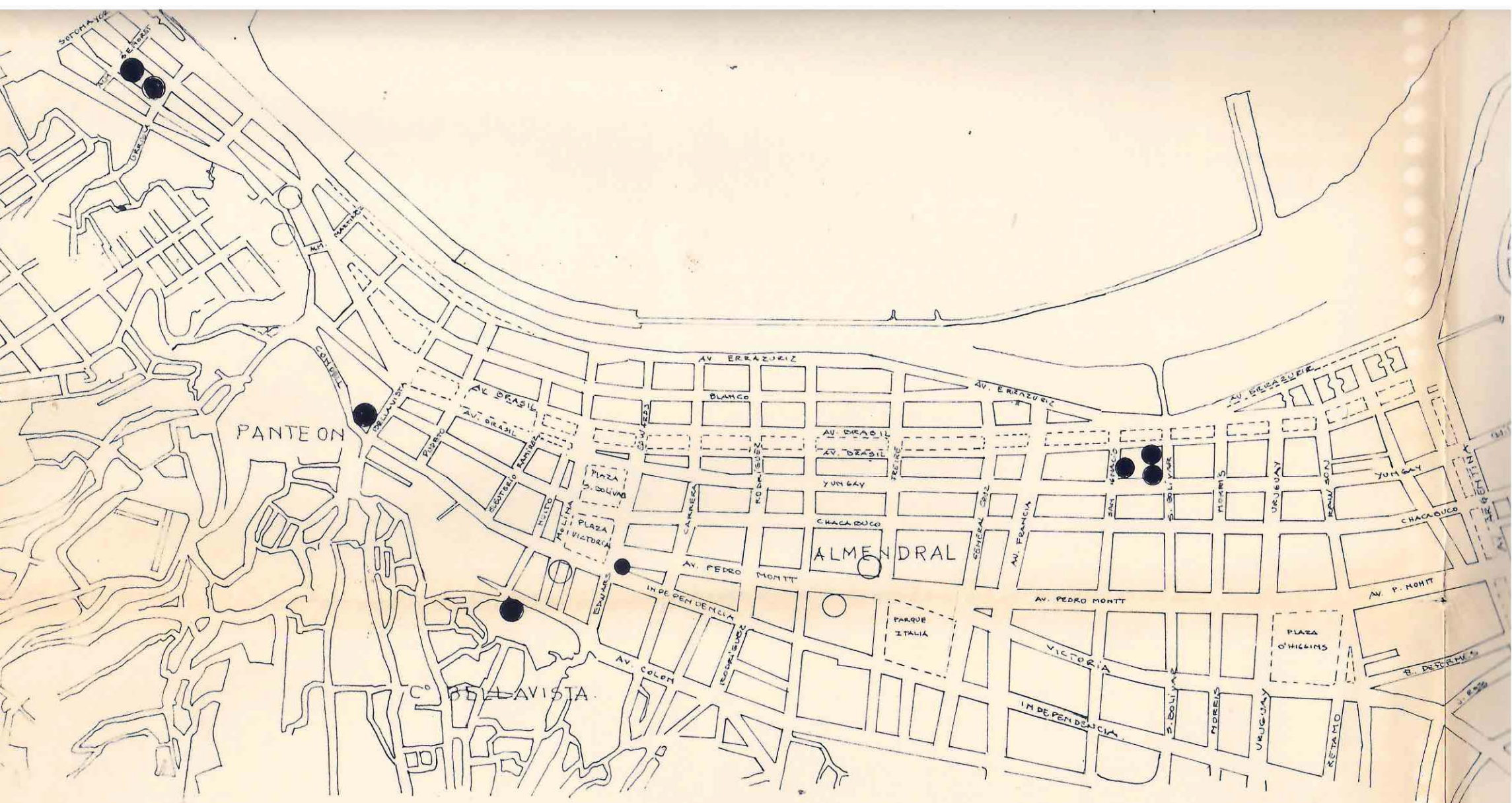
## V I Ñ A   D E L   M A R

Nombre	Nº Pisos	Dirección	Año Construcción
1. Escorial	10	Fco Vergara 172	1964
2. J. Fco. Vergara	12	Pza. Parroquia 325	1959
3. Vicuña Mackenna	13	Fco. Vergara 142	1966
4. Plaza	11	Pza. Latorre 60	1962 1962
5. Arlegui	10	Arlegui 645	1959
6. Aliampu	9	Arlegui 547	1971
7. O'Higgins	14	Arlegui 734	1966
8. Limarí	10	Etchevers 49	1965
9. Flamingo	10	Valparaíso 161	1965
10. Italia Torres A y B	10	Valparaíso 230	1956
11. Portal Alamos	21	Valparaíso 507	1976
12. Agua Santa	15	Alvarez 32	1980
13. Mar del Sur	16	Alvarez 58	1979
14. Villa Sofía	11	San Jose Oriente	1981
15. Quinta Clause Torre W	22	Jackson 490	1979
16. Quinta Claude Torre Y	22	Jackson 785	1979
17. Quinta Claude Torre X	22	Jackson 820	1979
18. Quinta Claude Torre Z	22	Jackson 867	1979
19. Ecuamar	10	Ecuador 130	1980
20. Puesta de Sol	12	Ecuador 23	1980
21. Las Palmas	10	Marina 80	1961
22. Copacabana	10	Marina 84	1963
23. Mirador	11	Marina 72	1978
24. Pontecasino	11	Marina 110	1960
25. Kusanovic	10	Marina 138	1959

	Nombre	Nº Pisos	/ Dirección /	Año Const.
26.	Miami	10	Marina 154	1964
27.	Millalebu	11	Marina 156	1968
28.	Tívoli	9	Marina 174	1968
29.	Rapanui	10	Marina 198	1968
30.	7 Hermanas T-3B	12	7 Hermanas 1290	1979
31.	7 Hermanas T-5C	12	7 Hermanas 1220	1979
32.	7 Hermanas T-8A	13	7 Hermanas 731	1978
33.	7 Hermanas T-9A	12	7 Hermanas 733	1979
34.	7 Hermanas T-6A	12	7 Hermanas 665	1979
35.	7 Hermanas T-7A	12	7 Hermanas 661	1979
36.	7 Hermanas T-4A	14	7 Hermanas 1270	1979
37.	7 Hermanas T-E16	14	7 Hermanas 873	1976
38.	7 Hermanas T-E17	14	7 Hermanas 867	1976
39.	Nuevo Centro 1	11	Libertad 13-17	1978
40.	Don José	13	2 norte 640	1980
41.	Grand Prix	10	3 Norte 936	
42.	Montecarmelo	10	4 Norte 675	1980
43.	Mediterráneo	12	4 Norte 818	1981
44.	Villa Real	10	4 P/5 Norte 390	1981
45.	Libertad Centro	13	6 Norte 720	1981
46.	Angelmó	9	7 N/2 Poniente 476	1980
47.	Ultramar	10	8 Norte 12	1966
48.	Torres del Sol	22	8 Norte 310	1982
49.	Festival	14	9 Norte 450	1974
50.	Danubio	10	2 Oriente 281	1980
51.	Villahue	10	2 Oriente 41	1969
52.	Doña Rosa	10	2 Oriente 610	1979
53.	Don Benjamín	10	2 Oriente 628	1980
54.	Libertad 22	11	Libertad 22	1968
55.	Libertad 50	11	Libertad 50	1968
56.	Libertad 80	11	Libertad 80	1968
57.	Tossa de Mar	11	Avda. Perú 444	
58.	Santillana del Mar	10	Avda. Perú 464	1962
59.	Bahía	10	Avda. Perú 530	1960
60.	Atalaya	12	Avda. Perú 640	1969

Nombre	Nº de Pisos / Dirección /	Año Const
61. Antumalal	10 Av. Perú 680	1969
62. Solimar	11 Av. San Martín 120	1977
63. Isamar	11 Av. San Martín 236	1970
64. Maya	11 Av. San Martín 468	1980
65. Altamar	10 Av. San Martín 575	1979
66. Centromar	11 Av. San Martín 605	1981
67. Plaza del Mar	23 Av. San Martín 787	1983
68. Acapulco	15 Av. San Martín 821	1962
69. Marina Real	19 Av. San Martín 880	1982
70. Hangaroa	15 Av. San Martín 925	1971
71. Coral	12 Av. San Martín 928	1970
72. Tahiti	15 Av. San Martín 972	
73. Torres de Miramar "A"	21 Av. San Martín 1080	1977
74. Torres de Miramar "B"	21 Av. San Martín 1020	1977
75. Torres del Pacífico "1"	17 Av. San Martín 1130	1980
76. Torres del Pacífico "2"	17 Av. San Martín 1206	1980
77. Los Pajaritos	10 Av. Borgoño 15100	1978
78. Torremolinos	9 Av. Borgoño 15140	1975
79. Los Tripulantes	10 Av. Borgoño 15300	1978
80. Atalaya del Pacífico	21 Av. Borgoño 15466	1981
81. Playa de Reñaca	23 Av. Borgoño 15638	1980
82. Los Arcos	10 Av. Borgoño 15640	1980
83. Los Navegantes	10 Av. Borgoño 15880	1978
84. La Marina de Higuierillas	10 Av. Borgoño 21600	1978
85. La Marina de Higuierillas	10 Av. Borgoño 21500	1979
86. Las Arenas de P. Amarilla	10 Av. Borgoño 23160	1980





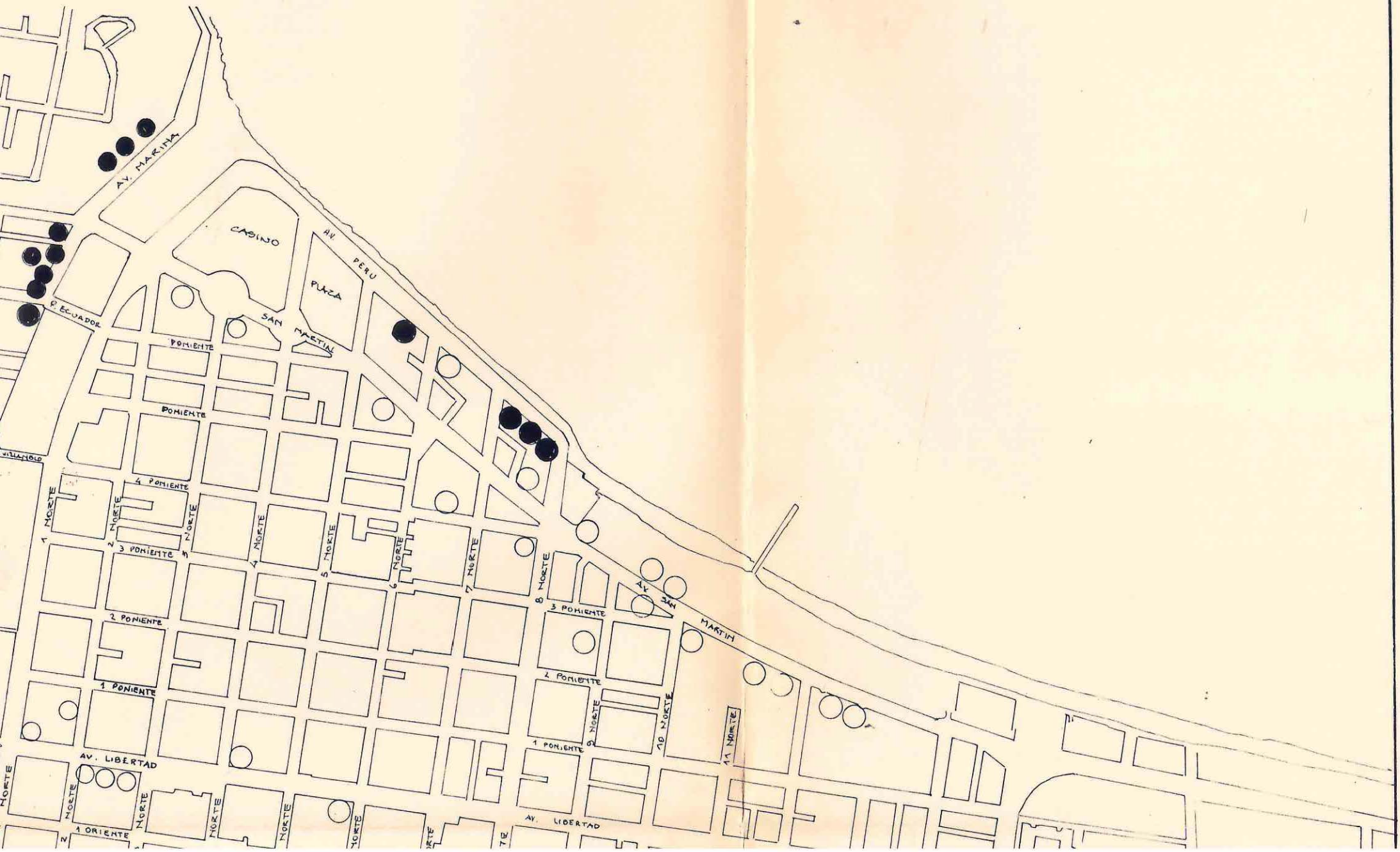
EDIFICIOS SELECCIONADOS EN VALPARAISO EN ALTURA

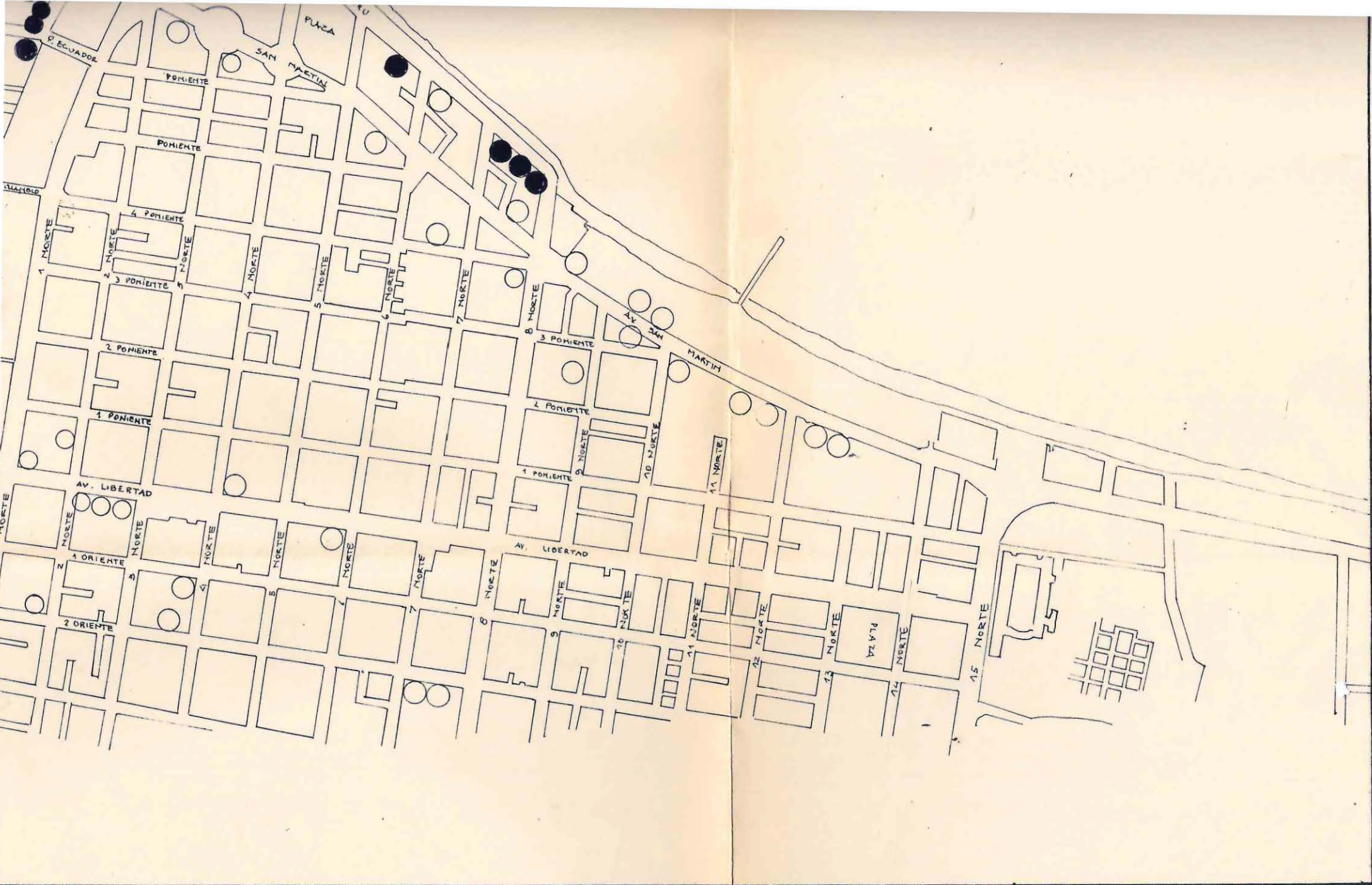








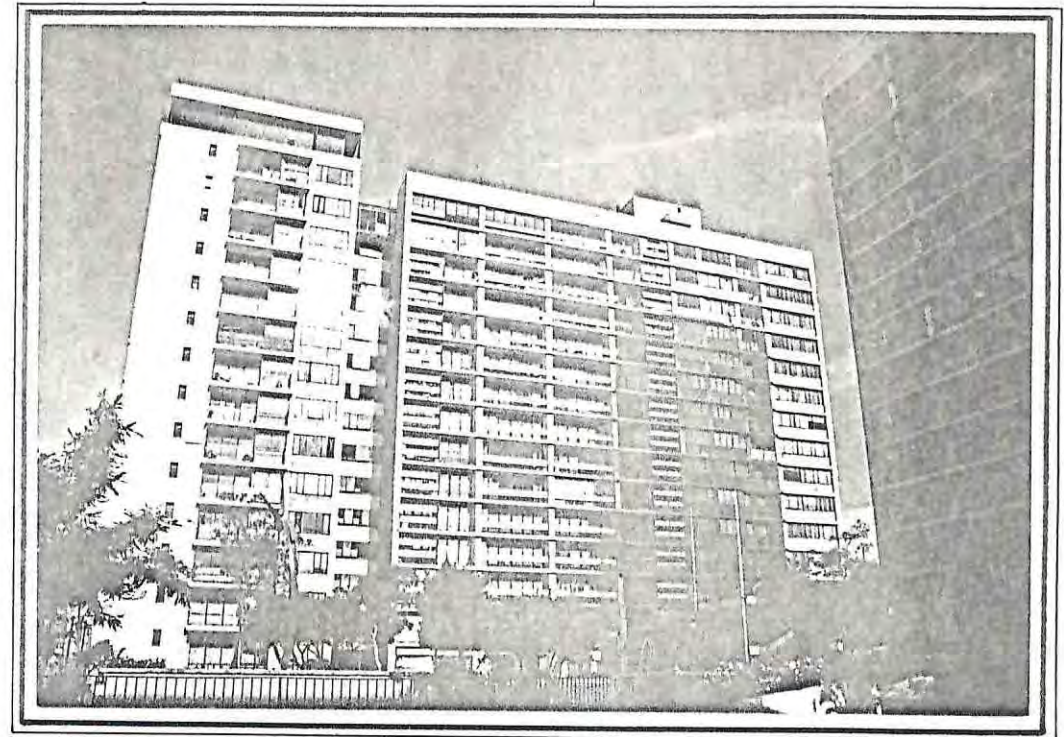


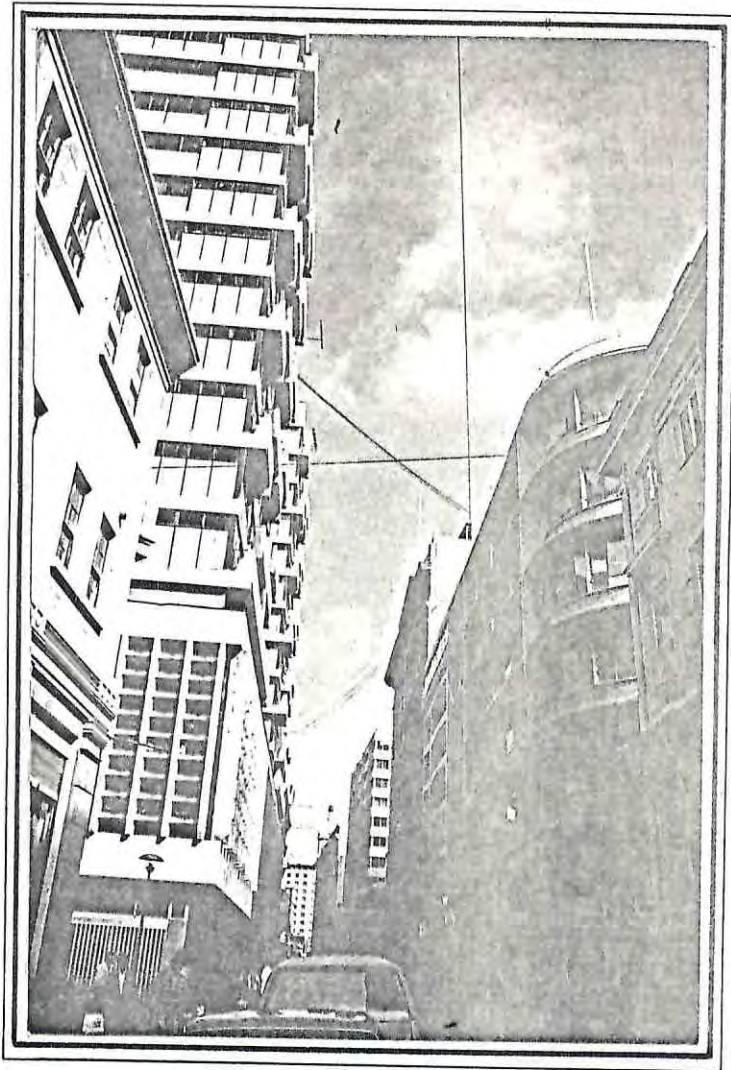




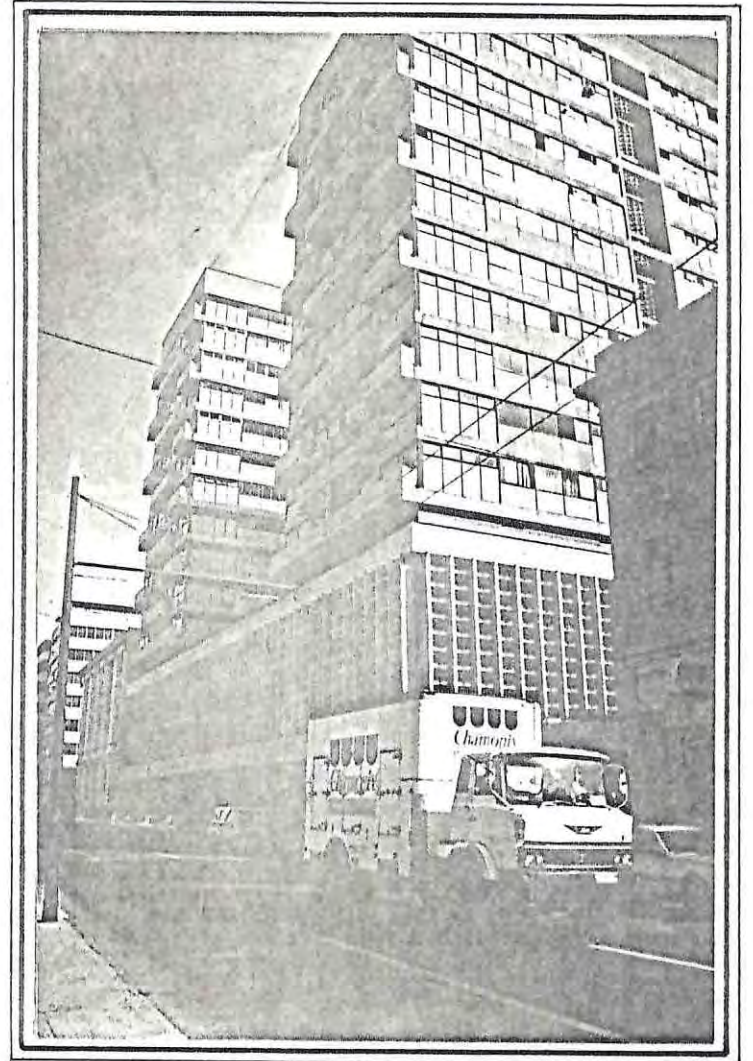
BRASIL / MORRIS

118  
Torre A - B

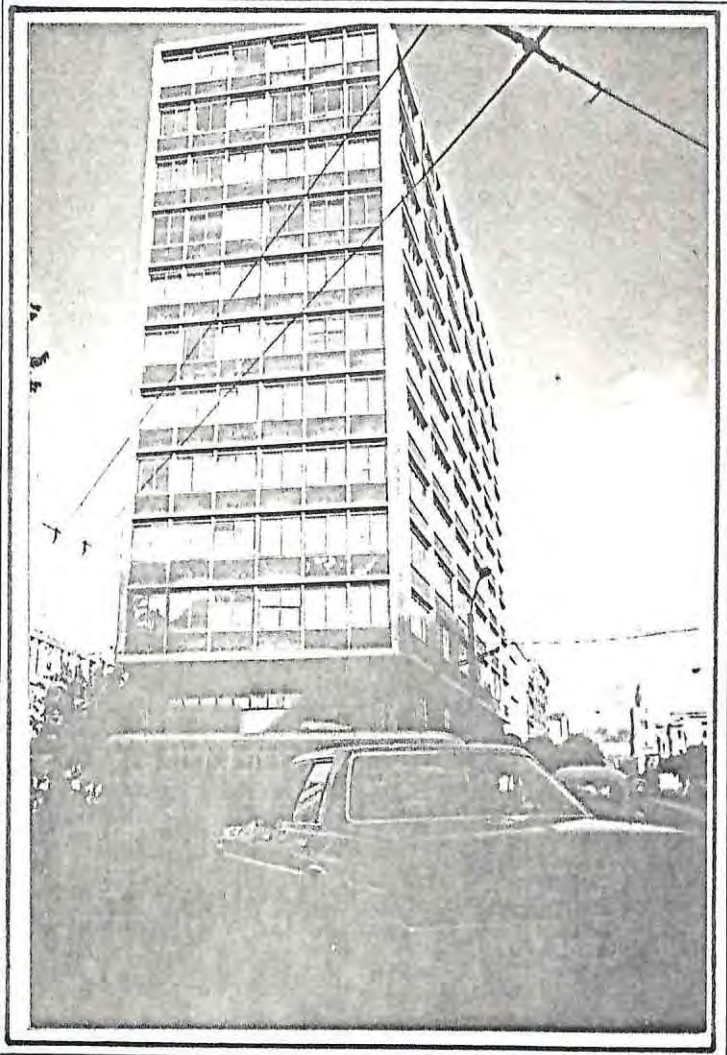




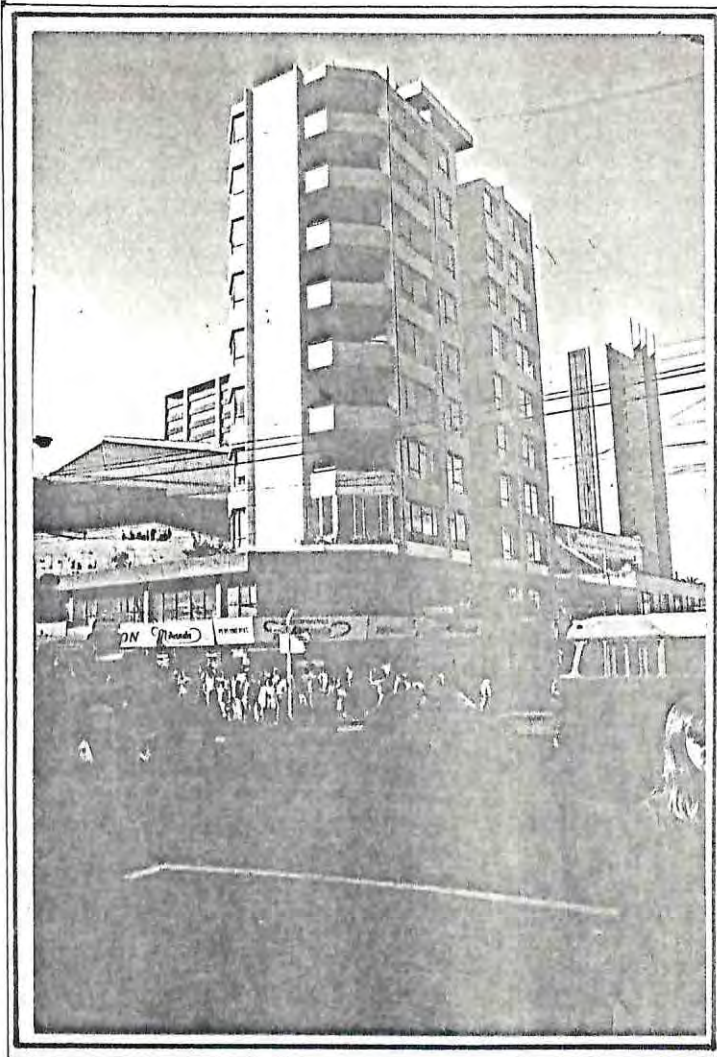
ALMTE. SEÑORET  
EMPART SSS



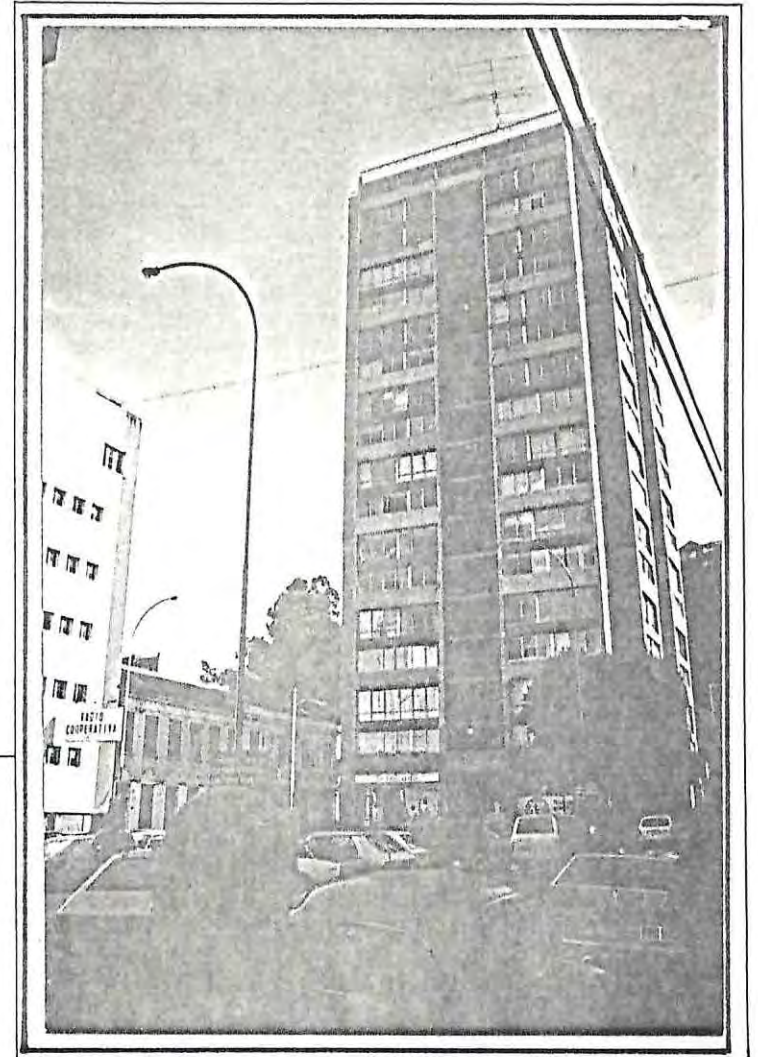
PLAZA VICTORIA



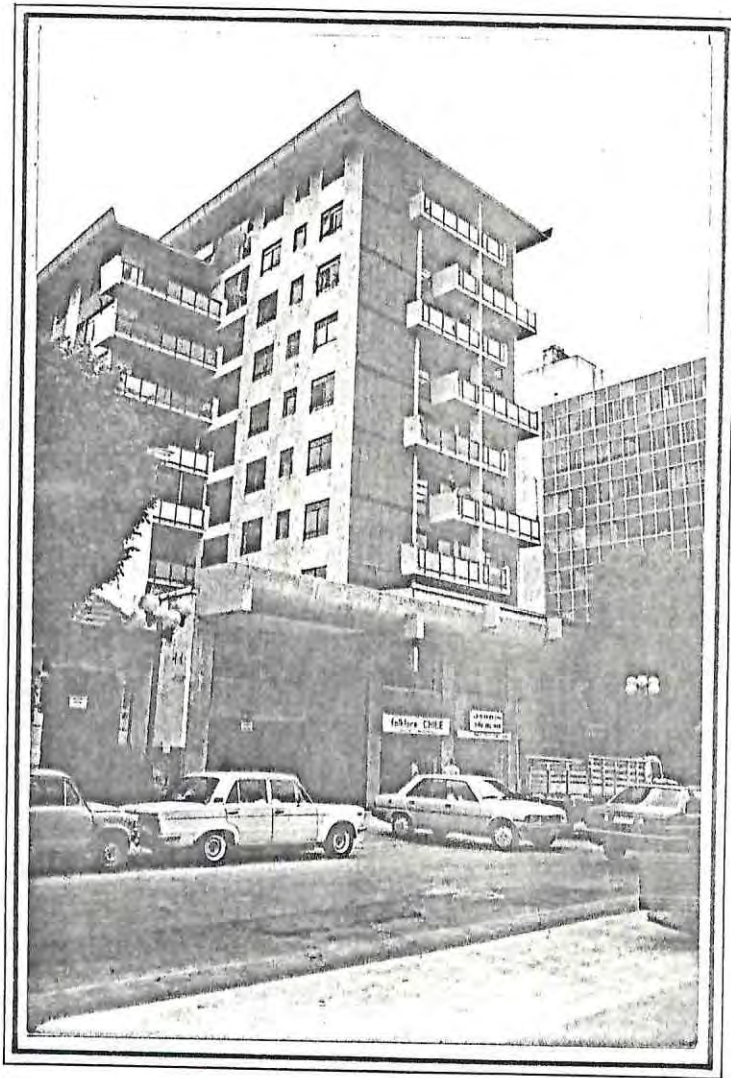
CONDELL / BELLAVISTA



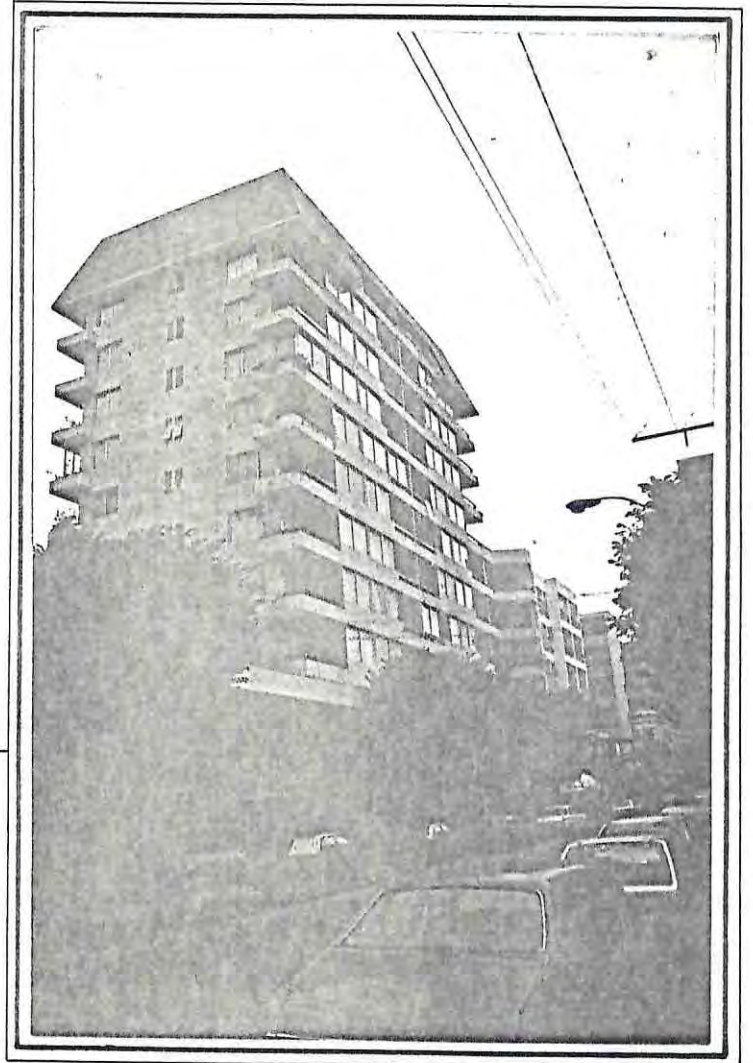
FERMIN VIVACETA



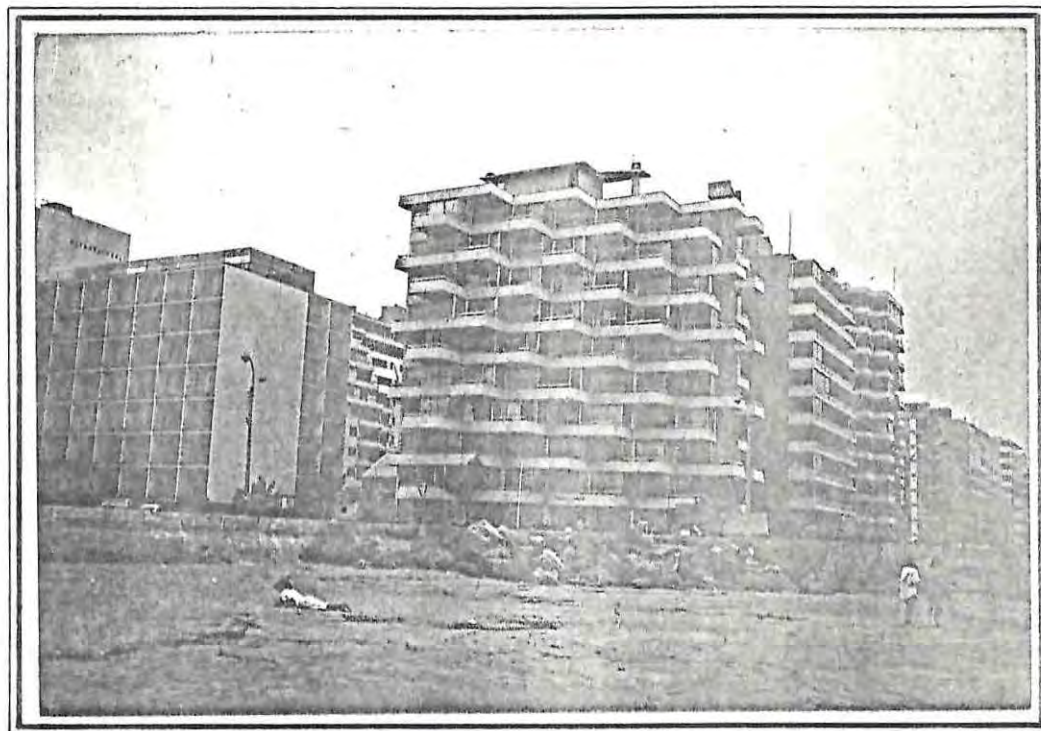
FLAMINGO



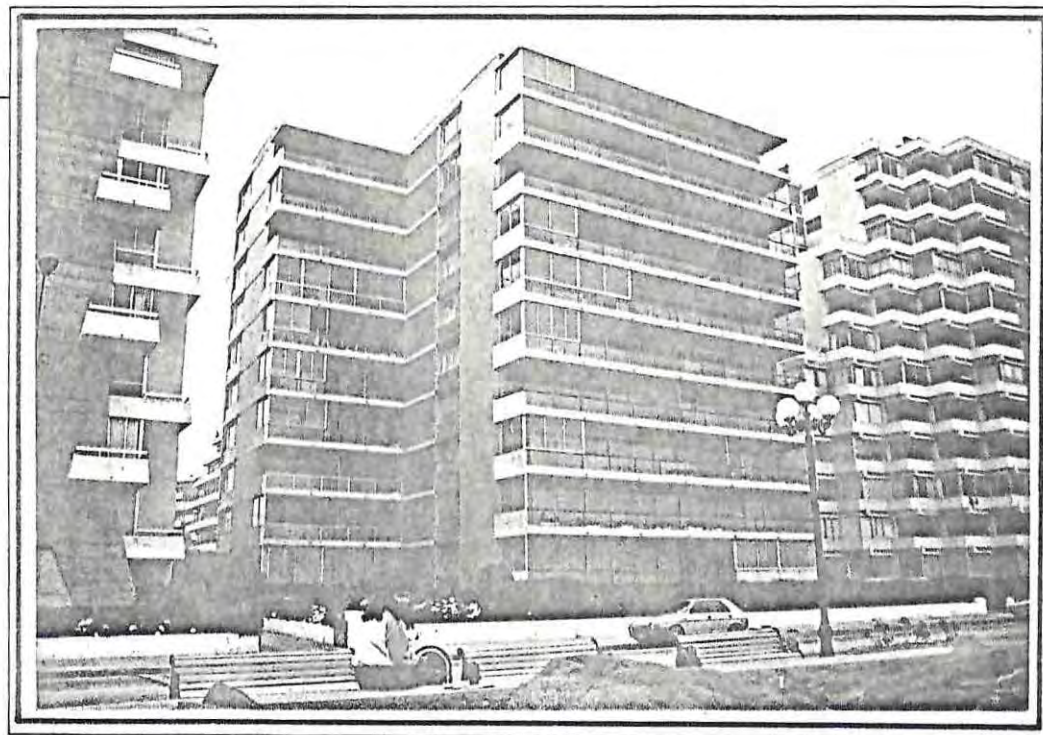
ECUAMAR



ULTRAMAR



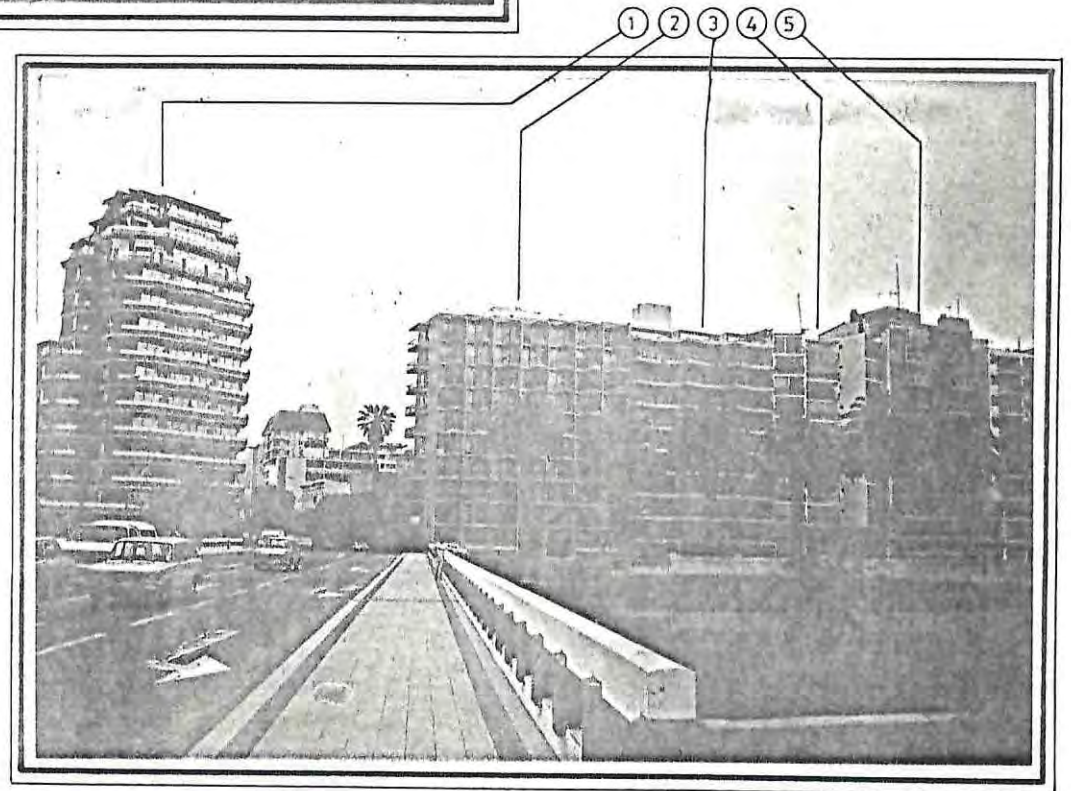
ANTUMALAL

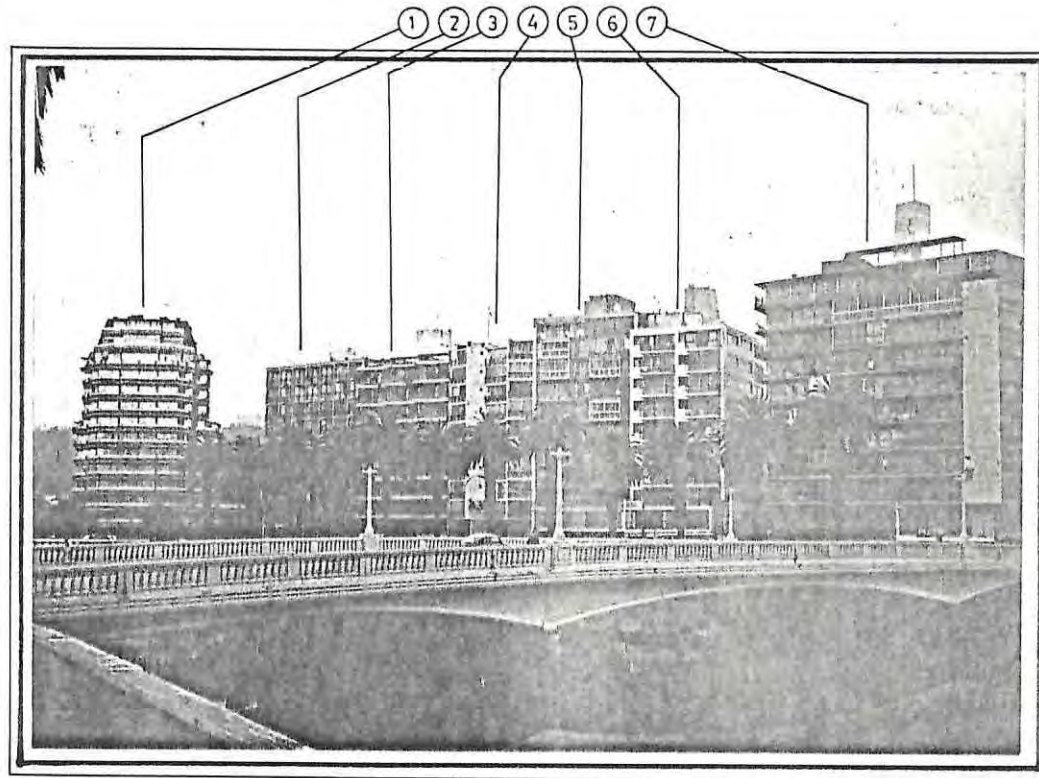


ATALAYA



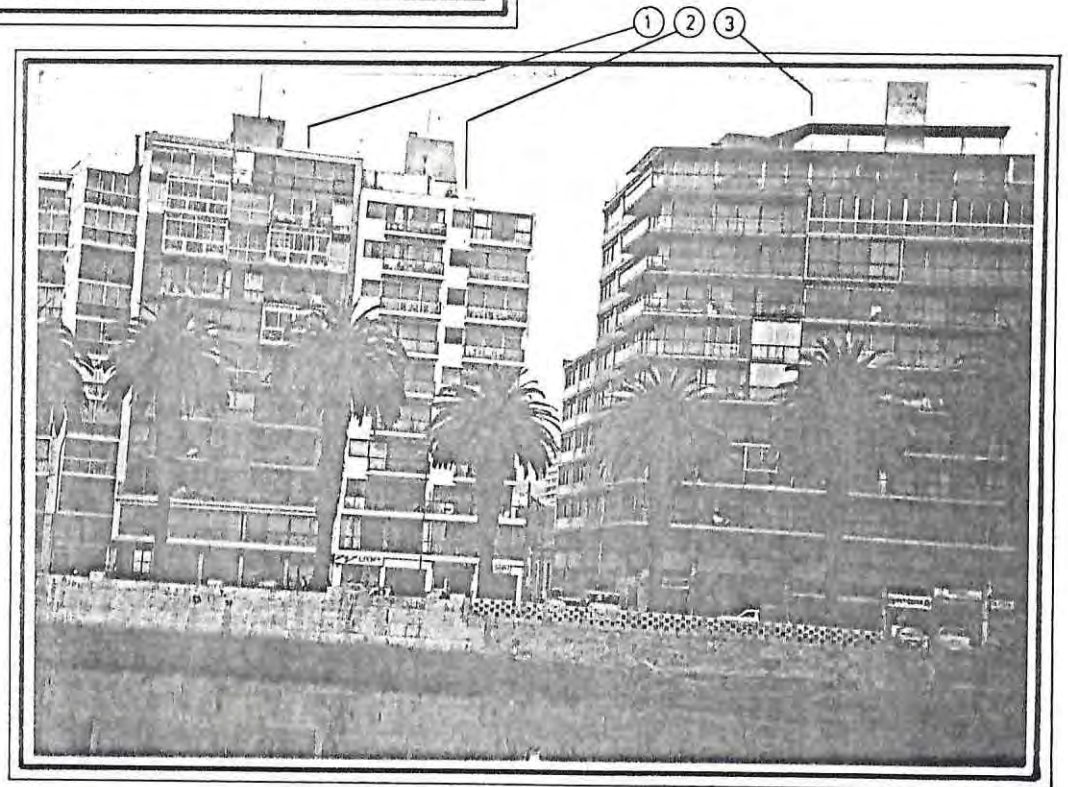
- ① PUESTA DE SOL
- ② RAPA NUI
- ③ TIVOLI
- ④ MILLALEBU
- ⑤ MIAMI



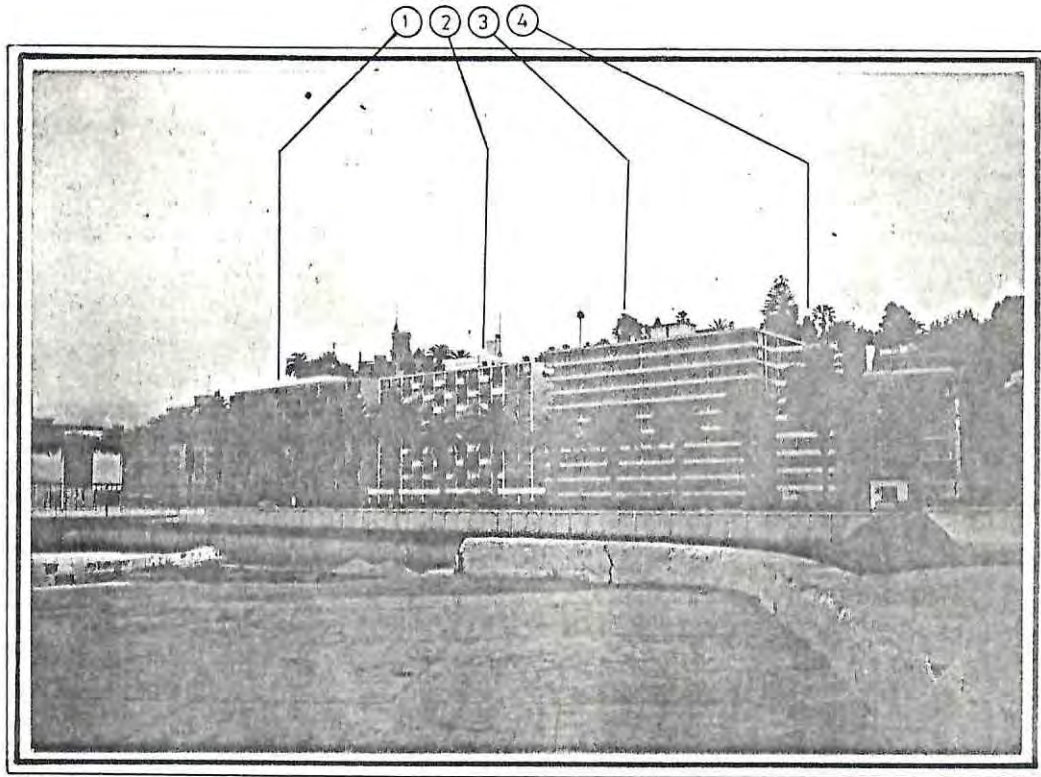


- ① PUESTA DE SOL
- ② RAPA NUI
- ③ TIVOLI
- ④ MILLALEBU
- ⑤ MIAMI
- ⑥ KUSANOVIC
- ⑦ PONTECASINO

- ① MIAMI
- ② KUSANOVIC
- ③ PONTECASINO



- ①
- ②
- ③



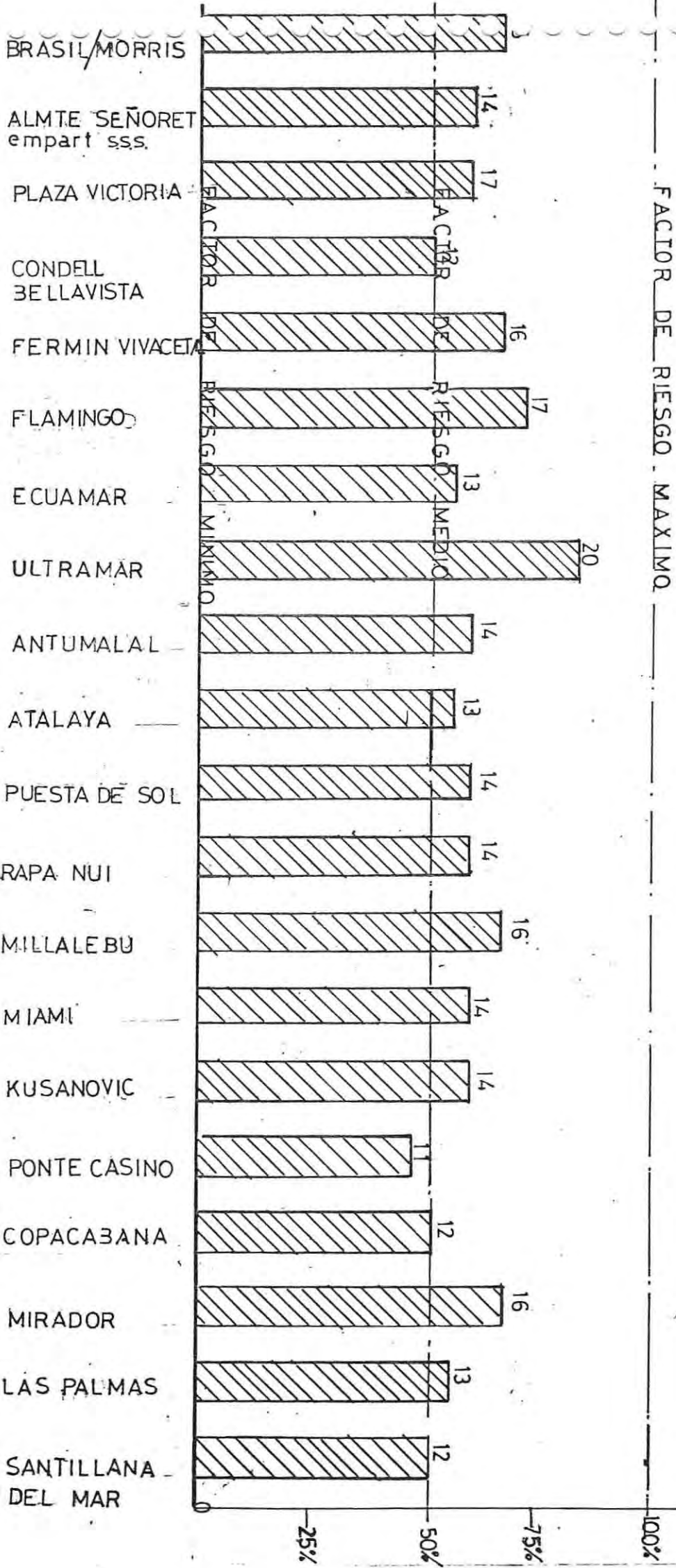
- ① COPACABANA
- ② LAS PALMAS
- ③ MIRADOR
- ④ EL FARO

SANTILLANA DEL MAR



1 IDENTIFICACION	2 CARACTERISTICAS DE OCUPACION				3 ESTRUCTURA			4 PROTECCION CONTRA DESARROLLO INCENDIO			5 RIESGO DE PROPAGACION A TRAVES DE LOS PARAMENTOS EXTERIORES					6 EVALUACION		127 % RIESGO PROPAGACION EN PARAMENTOS EXTERIORES			
	2.1 Nombre	2.2 Año de Ocupación	2.3 Superficie edificada por piso	2.4 Número de pisos (sin considerar subterráneos)	3.1 Cantidad estimada de usuarios (habitantes)	3.2 Hormigón Armado	3.3 Acero	3.4 Otro	4.1 Elementos horizontales de alta resist. al fuego	4.2 Paramentos verticales interiores de alta resistencia al fuego	4.3 Paramentos verticales exteriores de alta resistencia al fuego	5.1 Balcones, aleros o salientes horizontales	5.2 Antepedios mínimos	5.3 Separación horizontal entre ventanas mínimo	5.4 Vidrio armado o bloques de vidrio	5.5 Rociadores en ventanas, persianas de madera tratada u otra barrera	5.6 Separación mínima de 30 m. entre edificios		5.7 Emplazamiento apropiado	5.8 Fachadas accesibles a bombas con base de sustentación apropiada	6.1 SUMATORIA FACTOR RIESGO
SIL/MORRIS Torre A-B	56	600	15	340	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	2	2	2	1	16	67	88
URET (empart sss)	62	474	14	390	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	2	2	2	0	15	63	81
A VICTORIA	65	340	12	166	0	0	0	0	0	2	1	1	2	2	2	2	1	0	14	58	75
DELL/BELLAVISTA	70	125	10	160	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	0	0	1	12	50	63
MIN VIVACETA	78	400	18	255	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	1	1	16	67	75
INGO	65	—	10	216	0	0	0	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	17	71	69
AMAR	80	420	10	378	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	1	2	13	54	81
RAMAR	66	—	10	265	0	0	0	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	20	83	88
MALAL	69	—	10	200	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	14	58	88
AYA	69	—	12	288	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	0	13	54	81
IA DE SOL	80	300	12	340	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	14	58	88
NUI	68	—	10	170	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	1	14	58	88
ALEBU	66	—	11	144	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	2	2	1	2	16	67	88
M	64	—	10	171	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	1	2	14	58	88
NOVIC	59	—	10	144	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	14	58	88
TECASINO	60	—	11	342	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	1	2	0	11	46	69
CABANA	63	—	10	450	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	1	2	0	12	50	75
JOR	78	250	11	396	0	0	0	0	0	2	0	2	2	2	2	1	2	2	16	67	88
PALMAS	61	—	10	336	0	0	0	0	0	2	0	2	2	2	2	2	1	2	16	67	88
HILLANA DEL MAR	62	300	10	160	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	1	0	13	54	69
											1	2	2	2	2	2	1	0	12	50	75

Fig 31



FACTOR DE RIESGO MAXIMO

## 6.6 CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACION DE LA HERRAMIENTA

Las variables de riesgo consideradas en el estudio de la propagación del fuego a través de los paramentos exteriores determinan los siguientes resultados :

1. Existe, en general, una uniformidad en cuanto a respuesta de los edificios en altura existentes con respecto a los requisitos de seguridad investigados, con independencia del año de la edificación y de su emplazamiento en Valparaíso o Viña del Mar.
2. El Nivel de Riesgo promedio es de 14,3, que representa un porcentaje de riesgo del 60% en función de los 12 parámetros revisados en cada uno de los edificios de la muestra.
3. El aspecto que contribuye significativamente a rebajar el nivel de riesgo en los edificios existentes viene dado por el planteamiento estructural de los mismos. Esta situación no está relacionada directamente con las exigencias de la Ordenanza relacionadas con la prevención de incendios sino que más bien estimo que se relaciona con el cálculo estructural necesario en un país sísmico.
4. El factor que mayor incidencia tiene en la evaluación está dado por la existencia absoluta de elementos de prevención de incendios que requieren de una alta tecnología, como son los rociadores ubicados en ventanas que, prácticamente, no existen en el universo considerado, al igual que las ventanas con vidrio armado.

5. El factor que presenta mayor variabilidad está dado por la posibilidad de acceso que se deja a los equipos del Cuerpo de Bomberos para combatir el incendio. Se observa que, en general, no se maneja un criterio al respecto por cuanto, en la evaluación, se da toda la gama de posibilidades.

Otro aspecto que tiene a esta misma condición está dado por el emplazamiento de los edificios que no siguen reglas muy definidas, lo cual posiblemente evidencia la carencia de normas relacionadas con este aspecto.

6. En todos los edificios estudiados, las fachadas con ventanales tienden a producir una abertura total del paramento, lo cual incide fuertemente en la evaluación del riesgo de propagación del fuego a través de los paramentos exteriores. Así, en la totalidad de los edificios, la tasa de combustión o velocidad de combustión está determinada por la modalidad definida en 5.4.1.2 que se refiere a los edificios con grandes áreas de ventanas. Esta condición se verá reflejada más adelante en el análisis crítico de las Ordenanzas que Hasta hoy no consideran la carga combustible del edificio.
7. La evaluación que corresponde a balcones y salientes horizontales informa acerca del carácter que se le da a estos elementos en el diseño por cuanto, en la mayoría de los casos, no aparecen destinados a enfrentar la propagación del fuego a través de los paramentos exteriores y muchas veces presentan un tratamiento relacionado con la volumetría que se desea lograr, descuidándose la incidencia que éstos podrían tener en el control de incendios.

Como conclusión de carácter más general debemos señalar

que el estudio de los paramentos exteriores revela un punto muy vulnerable que presentan actualmente los edificios construidos en Valparaíso y Viña del Mar. El análisis parcializado del Porcentaje de Riesgo estimado muestra que los elementos que colaboran efectivamente en el control del incendio no son resultado de regulaciones relacionadas con la protección contra el fuego, sino que a otros factores. Ello indicaría que este aspecto no ha sido considerado en profundidad por los proyectistas ni por el legislador y, por tanto, se repite con mucha frecuencia el mismo esquema de construcción y emplazamiento de edificios utilizados a fines de los años 50.

## 7. ANALISIS CRITICO DE LAS NORMAS Y ORDENANZAS APLICABLES EN CHILE.

La ciencia del fuego es relativamente reciente y se puede decir que se encuentra en fase experimental y de investigación, aunque desarrollada en muchos países, pero como no es fácil reproducir un incendio en los laboratorios, el conocimiento que se tiene es aun incompleto.

Como toda ciencia experimental, se establecen hipótesis partiendo de la investigación del fenómeno, en este caso incendio, y se desarrolla una teoría basada en ellos. Si las conclusiones a que nos lleva esta teoría coincide, al menos en un grado aceptable, con la realidad, las hipótesis de partida, la teoría y los resultados se dan como válidos. En nuevos descubrimientos se corrigen algunas hipótesis afinando más el grado de coincidencia con la realidad mediante etapas sucesivas. Al lograr esta coincidencia, la ciencia está formada y permite ya encuadrarla o tratarla bajo modelos matemáticos.

Actualmente no existe confusión sino que más bien una evolución lógica de esta ciencia cuando vemos que cada nación defiende sus métodos en los cuales confía por la tradición y por el proceso creativo que requiere su formulación, además de los intereses creados de todo tipo a lo largo de años de desarrollo.

Existen métodos diferentes para medir un mismo fenómeno sin que sea fácil apreciar cuál de ellos es el más exacto. Las naciones ven la necesidad de recopilar y coordinar los resultados obtenidos. Los productos necesitan coincidir en sus características de medida para ser comparados.

En Europa, el ISO u Organismo Internacional de Standari

zación ha dedicado el Comité TC/92 a la coordinación en materia de fuego.

Hoy día se presenta una normativa mundial en cuanto a reacción al fuego atomizada y difusa, muy difícil de concentrar y unificar en criterios científicos por los organismos dedicados a ellos. Por otra parte, las soluciones concertadas no dan resultados acorde con la realidad en el fenómeno del fuego.

#### 7.1 Definición de aspectos considerados como materia de Norma

Es usual que, incluso profesionales del fuego o industriales que tratan del tema, hablan o solicitan un " ensayo de fuego " de un determinado material.

Existen numerosos ensayos de fuego según las variables que se quieran determinar, incluso según los países de que se trate. Pero aún así, todos los ensayos pueden agruparse en dos bloques que surgen de la definición adoptada para el incendio.

Si ya hemos definido al incendio como una combustión incontrolada que se desarrolla en el espacio y en el tiempo y que necesita para ello una cierta cantidad de combustible, y sabemos que un local o edificio está constituido por un conjunto heterogéneo de materiales para los cuales no existe la noción de incombustibilidad absoluta, entonces también sabemos que la estructura propiamente tal del edificio contribuye, en general solamente con una pequeña parte al fuego. Así un incendio es principalmente la consecuencia del

contenido del local o edificio.

De aquí surge la limitación que establecen algunas legislaciones en cuanto a la cantidad y naturaleza de los materiales que puedan existir en el local o edificio.

A su vez, el mejoramiento de un material con respecto al fuego es solamente una aportación a la seguridad del conjunto y debe complementarse con medidas en los otros materiales y con otras de seguridad general.

En la mayoría de los países se definen dos conceptos fundamentales para juzgar o medir el comportamiento al fuego de un material o elemento y ellos son :

- a) Reacción al fuego
- b) Resistencia al fuego.

La reacción al fuego: Es el alimento que un material puede aportar al fuego y al desarrollo del mismo. Es un índice potencial de la capacidad del material para favorecer el desarrollo del fuego. Este concepto está referido al fuego como tal.

La resistencia al fuego : La resistencia al fuego de un elemento es el tiempo durante el cual es capaz de permanecer cumpliendo la función estructural para la cual ha sido colocado en el edificio cuando es atacado por un incendio. Este concepto se refiere al incendio y no al fuego y por ello debería llamarse " Resistencia al Incendio".

El incendio es el conjunto de compartimientos de todos los materiales y elementos, que no se su- man, sino que se influyen mutuamente, en cadena y de forma variable e imprevisible.

En la Fase II del incendio que ya hemos definido juegan un papel muy importante la reacción al fuego y la resistencia al incendio en la propaga- ción de las llamas por todo el edificio, rotura vidrios, paso de llamas a través de puertas y ventanas, etc.

#### 7.1.1 Factores que determinan la Reacción al fuego de un material .

Tratando de reproducir los elementos que realmente intervienen en el fuego podemos señalar los siguientes factores de reacción al fuego de un material :

- a) Combustibilidad
  - b) Capacidad calorífica
  - c) Inflamabilidad
  - d) Propagación de la llama
  - e) Inflamación instantánea
  - f) Producción de gases nocivos
  - g) Opacidad de los humos.
- a) La combustibilidad : Clasifica el ma- terial según sea capaz o no de mante- ner el fuego, lo cual es difícil es- blecer y por eso mismo la clasifica-

ción de combustible o no que se le asigna varía según los métodos de ensayo y el país.

- b) El poder calorífico: Es la cantidad de calor que el material libera por unidad de peso en combustión completa. A veces se toma este valor como índice de combustibilidad.
- c) La inflamabilidad: es la facilidad que tiene un combustible para emitir gases que ardan. La inflamabilidad es función, a su vez, del flujo de calor que recibe el material, de la posibilidad que estos gases salgan al exterior, o sea, de la constitución física del material, y del punto de inflamación del mismo. Esto trae como consecuencia para que se produzca inflamación tanto la fuente calórica como el material deben cumplir ciertas condiciones, de tal manera para que un material determinado y su forma de presentación y puesta en obra, existe una fuente de calor óptima que lo inflama. Aquí está la clave que explica cómo un método de ensayo de esta variable que utilice la misma fuente de calor para todos los materiales, es injusto y favorece a determinados productos y formas o presentaciones. Esta situación debe ser reconocida por la Norma.
- d) La velocidad de propagación de la llama: informa de cómo avanza el fuego en la superficie del material

y éste es uno de los criterios importantes de considerar junto con el de inflamación. Esta velocidad es diferente según la posición del material combustible, siendo menor en posición horizontal y mayor en posición vertical. Por ello, cualquier método de ensayo que coloque la muestra en una posición fija puede entregar resultados que se alejan mucho de la realidad. Ante ello, parece acertado el criterio de adoptar una posición media de 45°.

- e) La inflamación instantánea : considera ésta producida al mismo tiempo en toda la superficie del material o de una superficie grande del mismo. Esta variable debe estudiarse en materiales excesivamente inflamables por la rapidez y virulencia del fuego que alimentan. En un local con aire suficiente la inflamación generalizada tarda 20 minutos en producirse como máximo. Si las paredes están revestidas de materiales fácilmente inflamables, sólo tarda 5 o 6 minutos. El estudio de esta variable con independencia de la inflamabilidad prevé la posibilidad de inflamación de gases emitidos lejos del foco del incendio.
- f) La opacidad de los humos : tiene importancia en la evacuación y producción de víctimas. Si bien los humos pueden frenar la combustión, sus efectos negativos sobre las personas son

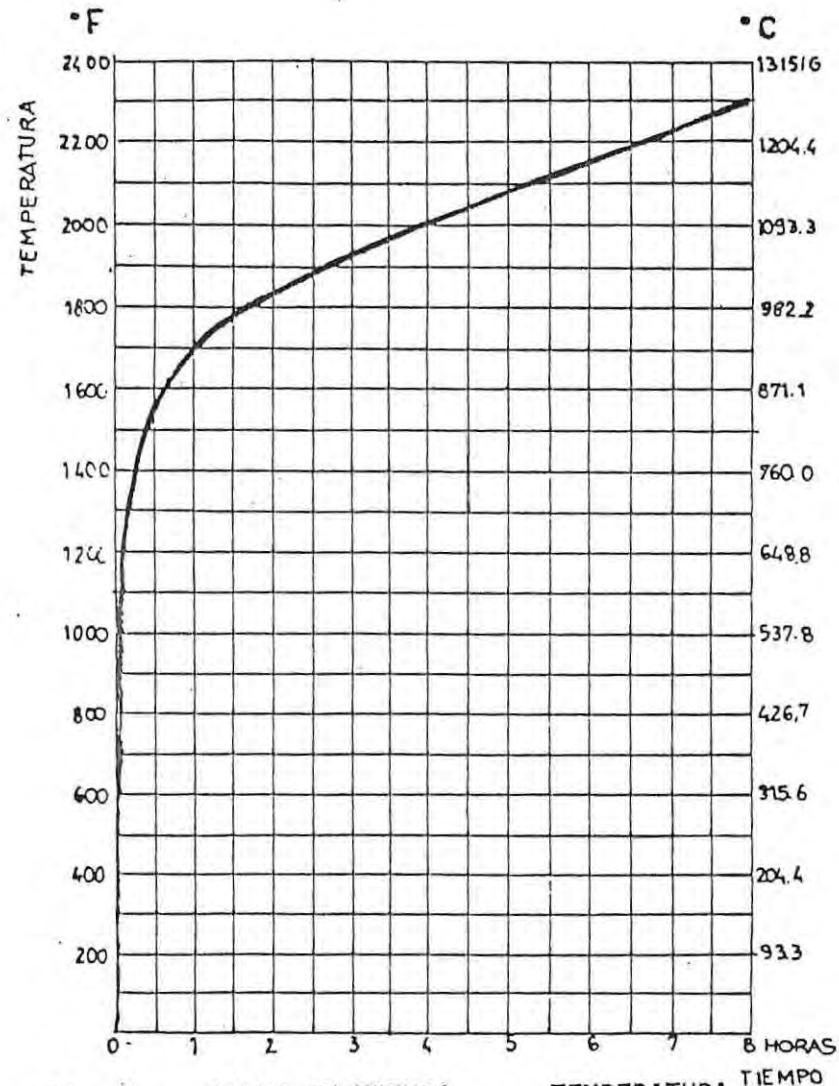


Fig. 32 CURVA DE TIEMPO - TEMPERATURA

más graves por cuanto dificultan la evacuación y la lucha contra el incendio, siendo frecuente que mueran personas a un metro de la salida por falta de visibilidad.

g) La toxicidad de los humos : es el factor más peligroso e importante de los que intervienen en la reacción al fuego de los materiales, debido a las víctimas que produce. Sin embargo, no se tiene en cuenta en casi ningún país para valorar la reacción al fuego. Algunos países establecen cotas máximas tolerables para estos gases nocivos aún cuando ello es difícil e impreciso, pero aún así es útil hacerlo frente a la alternativa de no afrontar al problema.

#### 7.1.2 Factores que determinan la Resistencia al Incendio de un elemento

La resistencia al incendio de un elemento es el tiempo en minutos que es capaz de permanecer cumpliendo su función mientras es atacado por un incendio. Este tiempo es en definitiva el disponible para la huida y salvamento de las personas.

La medición de este tiempo debe hacerse sometiendo al elemento en dimensiones y condiciones muy próximas a las reales, a las temperaturas simuladas de un incendio y obtenidas en un horno de ensayo.

Internacionalmente se ha convenido que

estas temperaturas son las obtenidas mediante el programa térmico definido por la curva normalizada.

$$T = 345 \log ( 8t + 1 )$$

Los factores que limitan la resistencia al incendio del elemento mantenido en un horno de ensayo en las condiciones de temperatura señaladas son :

- a) Estabilidad mecánica bajo la carga real a que está sometido.
- b) Estanquidad a las llamas o tiempo que tarda la muestra en perder su integridad formándose grietas y dejando pasar las llamas.
- c) Emisión de gases inflamables por la cara no expuesta y procedentes del elemento ensayado.
- d) Aislamiento Térmico o paso del calor a través del elemento ensayo.

El tiempo que transcurre hasta que falle alguno de estos criterios mide la resistencia al incendio del elemento.

Si mantiene las exigencias establecidas para los cuatro criterios, el elemento es cortafuegos y se dirá, cortafuegos 1h, 2h, etc.

Si falla en el aislamiento térmico y si que satisfaciendo los otros tres crite

rios, el elemento es parallamas. Luego, un elemento podrá ser 2h cortafuegos y 3h parallamas.

Si se satisface solamente el primer criterio, el elemento es estable al fuego. Por lo tanto, un mismo elemento puede ser 2h cortafuegos, 3h parallamas y 4 h estable al fuego, pero su tiempo de resistencia al incendio el de cortafuegos.

Algunos países como el nuestro, no hacen distinción entre estos tres grupos y consideran únicamente un tiempo de resistencia al fuego variable según el elemento

Debe establecerse una clasificación que considere varios grados porque, aún cuando puede haber confusiones, se evita que algunas personas se aprovechen de este conocimiento en su propio beneficio. Por ejemplo, no es fácil conseguir una puerta con 3h cortafuegos, pero sí parallamas.

- a) La pérdida de estabilidad mecánica es la causa del colapso de las estructuras. Las flechas adquiridas durante el ensayo, los alabeos o incluso de desplazamientos, etc. se consideran para valorar este factor, quedando generalmente a estimación del encargado del ensayo el momento de fallo de esta variable.
- b) La estanqueidad a las llamas se refie

re a la aparición de grietas, fisuras u orificios, a través de los cuales pueden salir las llamas transpasando la muestra y pueden propagar el incendio a compartimientos contiguos. Para medir este factor, la presión interior del horno debe ser mayor a la del laboratorio, como ocurre realmente en un incendio.

El fallo de resistencia por causa de este factor se mide por la inflamación de un tampón de algodón.

C) La emisión de gases inflamables : en la cara no expuesta se determina mediante la aplicación de una llama piloto. Si existen gases inflamables, se supone peligro de propagación del incendio.

d) El aislamiento térmico : se mide por el incremento de temperatura en la cara no expuesta del elemento. La resistencia al fuego termina si el incremento de temperatura supera los 140°C o bien si alguno de los 5 termopares que miden este incremento supera los 180°C.

## 7.2 Estudio de una norma de comparación para el análisis de la Norma Chilena.

A falta de una Norma internacional efectiva y lógica que permita analizar la Norma Chilena, se ha adoptado el método utilizado por Francia. Este criterio está avalado por el hecho de que el

método de reacción al fuego que es idóneo para unos materiales, no lo es para otros y que dos métodos distintos dan resultados distintos para el mismo material, lo cual obliga a seleccionar una Norma de comparación.

La Norma Francesa tiene aspectos relevantes en materia de estudio de la reacción al fuego de los materiales que se explican a continuación :

Puesto que los fenómenos que tienen lugar en el incendio no pueden conocerse realmente a través de ensayos de laboratorio, sino con una cierta apropiación y que nunca un método de ensayo puede reproducir las condiciones complejas de un incendio, se generan dos problemas básicos :

- a) Determinar qué grado de aproximación es suficiente, y
- b) Qué métodos de medida deben emplearse para lograr esta aproximación suficiente.

No existen ni nacional ni internacionalmente ninguna cota ni criterio establecido. Se tiende a conseguir que el grado de aproximación sea el máximo posible o por lo menos en la práctica sea suficiente para proteger a los inmuebles del incendio durante un tiempo mínimo a los resultados de evacuación.

La magnitud del incendio posible de simular hace perder aproximación a los resultados reales.

Un determinado material responde frente al fuego de diferente manera si está aislado o si está próximo a otro, o si éste último está encendido, etc.

Estas dos pérdidas de exactitud son inevitables porque van implícitas en el método.

#### 7.2.1 Cualidades del método seleccionado

A) Integridad de las variables : La reacción al fuego debe juzgarse mediante métodos y aparatos que permitan estudiar las siguientes variables de un material ya individualizado:

- a) No combustibilidad
- b) Poder calorífico
- c) Inflamabilidad
- d) Propagación de la llama
- e) Inflamación instantánea
- f) Producción de humos, opacidad
- g) Desprendimiento de gases nocivos

Cualquier método que pretenda medir la reacción al fuego mediante el conocimiento de una sola de estas variables no tiene ninguna validez.

Las variables f. y g. tienen importancia en cuanto a las víctimas humanas que producen, lo cual no significa, que no tengan influencia en el desarrollo de la combustión, por cuanto pueden hacer a ésta completa o incompleta.

- B) Valoración conjunta: El resto de las variables, a., b., c., d., y e. deben considerarse, además de en su totalidad, en conjunto mediante un único ensayo, pues de esta forma se presenta durante un incendio.
- c) Tamaño de la muestra: La muestra debe ser de tamaño representativo para evitar resultados erróneos.
- D) Clasificación: El método de ensayo debe permitir una clasificación de la reacción al fuego del material. Sin ella ni el método ni la norma tienen valor práctico.

Esta clasificación debe ser única respecto a la reacción.

Por los aspectos parciales del concepto de reacción al fuego se llega a la situación mundial que se encuentra este tema ( el cuadro N° grafica esta situación).

- E) Universalidad: Es difícil conseguir un método cuyo aparato y norma sea válido y se comporte por igual con todos los materiales. Un método de ensayo es valioso en función de la amplitud de materiales que pueden incluirse dentro del ensayo general y si existiesen materiales que no se comportan como la mayoría, debe reforzarse para ello este ensayo general con otros complementarios, pero

TABLA N°8

RESULTADOS, EN LA REACCION AL FUEGO, OBTENIDOS ENTRE  
19 MATERIALES ENSAYADOS POR DIVERSOS METODOS TOMADOS  
SEPARADAMENTE

Ref. de los métodos de ensayo	A	B	C	D	E	F	G	H	
Clasificación de los 19 materiales en orden decreciente de su valor global	Resultados acotados del 1 (= muy bueno) al 19 (= malo), realizados por cada uno de los materiales ensayados por el método referido en la cabeza de la columna								
1 = el mejor 19 = el peor	1	16	16	16	16	19	16	14	16
	2	11	11	11	17	16	19	10	11
	3	14	13	19	13	14	13	11	17
	4	18	10	18	19	18	17	16	18
	5	17	19	2	3	5	2	18	19
	6	6	17	13	2	6	18	3	13
	7	5	18	17	18	12	3	17	3
	8	3	2	4	6	-	10	-	14
	9	19	6	10	15	13	11	5	12
	10	13	3	6	4	3	6	13	9
	11	4	12	15	9	9	8	6	6
	12	2	8	9	12	8	1	8	8
	13	1	5	5	11	15	5	19	5
	14	15	1	1	5	7	9	12	4
	15	7	7	8	8	4	15	7	15
	16	8	14	13	7	11	12	15	7
	17	12	15	12	1	10	7	9	2
	18	9	9	7	13	17	4	4	1
	19	10	4	14	10	-	14	-	10

FUENTE: R. MINNI

TABLA N°9

LEYENDA DE LOS METODOS DE ENSAYO QUE FIGURAN EN LA TABLA  
ANTERIOR

Referencia	Métodos de ensayo	País en el cual el ensayo ha sido normalizado
A	Ensayo de propagación del fuego. BS 476, parte 1, 1953 (Fire Tests on Building Materials and Structures)	Reino Unido
B	Ensayo de inflamación generalizada. NEN 1076, 2da. ed., octubre 1963	Países Bajos
C	Ensayo de inflamabilidad DIN 4102, parte 3 nov. 1940	República Federal Alemana
D	Ensayo propagación fuego BS 476, parte 1, 1953	Bélgica
E	Método "the Danish panel" (aún no standarizado)	Dinamarca
F	Ensayo de inflamabilidad empleado en Francia. (Securite contre l'incendie. Décreto n° 57. 1161. 17 oct. 1957 - 9 dic. 1957)	Francia
G	Ensayo de combustibilidad en "the hot-box". BS 476: parte 1 Documento ISO/TC 92 Secretariat 50) 67, 1963	Reino Unido
H	Ensayo "HOT-BOX", como en G	Bélgica

FUENTE: R. MINNI

siempre encuadrados dentro de una clasificación única de reacción.

F) Reproductibilidad: Calidad necesaria al método de ensayo y aparato que se emplee. Únicamente las medidas efectuadas mediante registros pueden considerarse objetivas.

### 7.2.2 Normativa sobre resistencia al incendio

En cuanto a la resistencia al incendio, existe más unanimidad que en los que se refieren a la reacción al fuego. Es común ya en todas las normas de adopción de la curva internacional de temperaturas del horno, por haber sido standardizadas por ISO.

Puesto que la adopción de una norma ISO no es obligatoria y además se puede adoptar parcialmente, cada país va haciendo sus modificaciones sobre ella y aunque son pequeñas, en realidad a veces se tienen resultados algo diferentes para la resistencia al fuego del mismo elemento a ensayar. El cuadro N<sup>o</sup> muestra la resistencia al fuego comparada de tres tipos de tabiques experimentales hechos en Francia, Inglaterra y Holanda.

**TABLA N<sup>o</sup> 10**  
**RESISTENCIA AL FUEGO COMPARADA DE TRES TIPOS DE TABIQUES**  
**EXPERIMENTADOS EN FRANCIA, INGLATERRA Y HOLANDA**

TIPO DE TABIQUE	Resistencia al fuego (min)			RF media (min)	Desviac. máxima %
	Francia	Inglaterra	Holanda		
Tabique en bloques de hormigón. Densidad 0.8. Espesor 75 mm	219	230	180	210	- 14
Tabique de placas de yeso (40 mm) en marco de madera. Espesor 142 mm	57	60	54	57	± 5
Tabique madera de abeto machihembrado y doble con hoja de amianto intermedia. Espesor 43 mm	21	15	20	19	- 21

FUENTE: J.P. FACLER (CSTB)

### 7.3 CONCLUSIONES CRITICAS RELACIONADAS CON LA NORMA CHILENA.

Las observaciones y conclusiones que se presentan a continuación están relacionadas con la Norma Chilena Oficial NCH 935/1 of 84 y 935/2 of 84 preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización.

En la Norma Chilena Oficial NCH 935/1 of 84 designada "Prevención de Incendio en Edificios-Ensayo de Resistencia al Fuego-Parte 1: Elementos de Construcción en General" se establecen aspectos que están contenidos en la Norma ISO 834-80 Fire resistance test-Elements of building construction y se acercan al patrón de comparación elegido.

En el Acápito 6 se establece el programa térmico para ensayar elementos y éste coincide plenamente con la convención internacional que lo fija como  $\Delta T = 345 \log (8t + 1)$ .

En el Acápito 7 se establece que el tamaño de las probetas a ensayar debe ser igual al que tendrá el elemento en la realidad, lo cual evidencia el estado actual de las investigaciones que se desarrollan en este campo y que, muchas veces determina la imposibilidad de trabajar con modelos a escala o proposiciones analíticas que representan el elemento sometido al fuego.

En el acápite 8 se establece el procedimiento operatorio y, aún cuando los elementos se ensayan aplicando una carga que produce tensiones de la misma magnitud que las que normalmente se producirían en el elemento de tamaño real, ello no garantiza el conocimiento del comportamiento del elemento como parte integrante de una estructura de un edificio. Al respecto, cabe recordar lo indicado en el punto 5.4.5 que advierte de la posibilidad de que en una es-

estructura la carga produzca esfuerzos de flexión que contrarresten los efectos de las tensiones ocasionadas por el aumento de la temperatura, de acuerdo con la ubicación relativa del incendio.

De esta manera, la exigencia de reproducir durante el ensayo un sistema similar de empotramiento, apoyos y cargas al que se somete el elemento que se ensaya, no garantiza absolutamente sus resultados. No obstante, la exigencia mejora el análisis de las respuestas del elemento frente al fuego.

Las pruebas sobre la "Capacidad de Soporte de Carga y Deformación"; "Aislamiento Térmico" y "Estanquidad al fuego" incluyen, como una "Observación Adicional" la emisión de humo o gases nocivos. Si bien a los tres primeros factores se les concede importancia y son, en último término los factores que determinan la clasificación, no es menos cierto que la emisión de humos y gases nocivos tiene especial importancia en la evacuación de personas y producción de víctimas en el incendio porque dificultan la evacuación y la lucha contra el incendio, siendo frecuente que mueran personas a un metro de la salida por falta de visibilidad. Los gases nocivos no se tienen en cuenta en casi ningún país para valorar la reacción al fuego y, aún a riesgo de exagerar los requisitos de los elementos, resulta práctico establecer algunas normas al respecto.

En el acápite 9 se establecen los criterios para la valoración de los resultados y en este aspecto la Norma Chilena difiere notablemente de la proposición francesa por cuanto la clasificación que se establece en nuestro país designada como Resistencia al Fuego no es absoluta sino que tiene distinto significado de acuerdo con el rol que desempeña el elemento en la construcción. Así, se establece lo siguiente: "La resistencia al fuego de los elementos se ex-

presará como el tiempo, desde el comienzo del ensayo, hasta que dejen de cumplirse las condiciones relativas a capacidad o soporte de carga, aislamiento y estanquidad, según la función que debe cumplir el elemento.

De esta manera, un elemento estructural con determinada resistencia al fuego ( expresada en minutos) en tanto cumpla con los requisitos de soporte de carga; un elemento de separación se considera con determinada resistencia al fuego si cumple con los requisitos de aislamiento y estanquidad; y un elemento estructural de separación tiene una resistencia al fuego en tanto cumpla con los requisitos de aislamiento, estanquidad y capacidad de soporte de carga.

En mi opinión, tal clasificación conduce a error por cuanto el concepto empleado alude a distintas características en función del tipo de elemento. Estimo que la clasificación que designa a los elementos como Cortafuegos, Parallamas y Estable al Fuego, recoge con mayor exactitud el comportamiento real del elemento frente a un incendio.

En relación a la Norma Oficial NCH 935/2 of. 84, referida a ensayos de resistencia al fuego de puertas y otros elementos de cierre, el criterio de resistencia al fuego difiere notablemente del anterior por cuanto, según esta Norma, " La resistencia al fuego de una puerta o elemento de cierre de huecos, con todos sus componentes, deberá juzgarse en función del menor tiempo de resistencia determinado según los cuatro criterios siguientes :

Estabilidad mecánica  
Estanquidad a las llamas  
Emisión de gases inflamables  
Aislamiento Térmico.

De su análisis se concluye que la presencia de gases nocivos que desprendan tales elementos no constituyen una variable a considerar, en circunstancias de que es más probable su producción en este tipo de elementos por cuanto se están renovando continuamente de acuerdo con los avances tecnológicos.

Por otra parte, aún cuando se acepte esta clasificación, nuevamente estamos frente a un concepto que tiene un significado muy diferente al que se le da en la primera parte de la norma.

Si nos detenemos en este punto a evaluar lo establecido en la Norma Chilena comprenderemos que muchos aspectos están incorporados como conceptos que carecen de unidad o comprensión global del fenómeno. Pero, tal como señaláramos en relación a la producción de humos y gases nocivos, es preferible contar con indicaciones normativas que en esta etapa del desarrollo de las investigaciones oriente al diseñador de edificios.

Finalmente, debemos señalar que la reacción al fuego, en los términos señalados en la sección 7.1.1 no ha sido materia de Norma en nuestro país y, por tanto, carecemos de un método para su medición. Esto se relaciona estrechamente con la carencia de una clasificación de los edificios en base a su carga combustible.

#### 7.4 CONCLUSIONES CRITICAS RELACIONADAS CON LA ORDENANZA GENERAL DE CONSTRUCCIONES Y URBANIZACIONES.

Las observaciones y conclusiones que se presentan a continuación están relacionadas con la modificación de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanizaciones decretada el 31 de Marzo de 1981 que derogó la definición de "Muro Cortafuego" contenida en el Artículo 2º, agregó incisos al Artículo 57 y reemplazó el capítulo VIII titulado "De los Edificios contra incendio y de la Protección contra Incendio", del Título II, " REGLAS DE ARQUITECTURA". de la Primera Parte " DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CONSTRUCCION ", por el nuevo Capítulo VIII denominado "DE LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIO".

En el artículo 94 se fijan las condiciones de resistencia al fuego que deben cumplir los elementos de construcción de acuerdo con el destino de uso del edificio, la capacidad de usuarios, la cantidad de pisos, la superficie edificada. A pesar de existir una cantidad apreciable de variables consideradas en las tablas, deja abierta la posibilidad de construir edificios destinados a fines especiales tales como hospitales, cárceles, museos, bibliotecas, asilos de ancianos, etc., con grado 3 o 4 de resistencia al fuego, lo cual significa que sus muros estructurales presentarían una estabilidad de 1/2 hora durante el desarrollo de un incendio.

La clasificación planteada en la Ordenanza General no sólo integra las variables de modo impreciso sino que además resulta ambigua. Ello se debe en parte a que una exigencia con carácter de recomendación, como es el caso de la opción entre los grados 1-2 y 3-4 inmediatamente transforma la tabla, desde un punto de vista práctico, en una clasificación que contiene solamente dos categorías.

En la mayoría de los países desarrollados, que cuentan con investigaciones más desarrolladas en este campo, se propone una clasificación de acuerdo al uso y la carga combustible del edificio. Así se determina el grado de resistencia necesaria de muros y tabiques para soportar la duración del incendio debida a su carga combustible.

En el Artículo 95 se establece la obligatoriedad de acreditar la resistencia al fuego con un certificado de ensaye de materiales extendidos por una Institución Oficial de Control Técnico de Calidad de Materiales que aplicaría en su determinación lo establecido en las Normas Técnicas Oficiales. Estimo que una legislación obligatoria de protección contra los incendios no puede establecerse si no existe un laboratorio de homologación, contraste y experimentación capaz de atender las exigencias del país.

Por otra parte, la creación de un laboratorio suficientemente dotado, que incluye los ensayos de resistencia a tamaño real, requiere investigaciones muy costosas. Tén - gase presente que en Francia existen sólo 3 laboratorios de este tipo.

En el Artículo 96 se hace referencia a la zona vertical de seguridad. No existen especificaciones técnicas que clarifiquen el tipo de zona requerido e incluso, en la circular N° 10 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo que se refiere a esta carencia intentando resumir las características técnicas que debe cumplir esta zona, se establece en el acápite 5.3 que "los elementos que la compongan deben garantizar una resistencia al fuego de a lo menos dos horas y sus puertas deberán ser de cierre automático de resistencia al fuego de a lo menos 30 minutos". Con ello solamente se obtiene, de acuerdo a lo estudiado, una reducción notable de la resistencia total del conjunto. Tal vez este aspecto sea una muestra de la disparidad de

criterios con que se emplea la terminología derivada de la Norma Chilena Oficial NCH 935 of. 84 que se explicó en el capítulo anterior.

Por otra parte, me parece necesario insistir, en que las materias relacionadas con la protección contra incendios son de un alto grado de especialización y, por tanto, deben ser abordadas por expertos. En el acápite 7º de la Circular Nº 10 ya mencionada, se justifica la ausencia de exigencias técnicas en función de que limitan. "La iniciativa del proyectista y la búsqueda de soluciones nuevas que cumplan con los propósitos básicos de la norma". En este sentido estimo que la iniciativa del proyectista apropiada para enfrentar esta dificultad, más aún cuando en la última instancia es el Director de Obras la persona encargada de aceptar o rechazar el permiso de una edificación.

En el artículo 97 se señala la necesidad de instalar en los edificios de 7 o más pisos, detectores automáticos y un sistema de alarma que permita alertar simultáneamente a todos los usuarios en caso de incendio. Con respecto a esto, debemos recordar que los sistemas de detección automática son aparatos de alta tecnología y, por lo tanto, su instalación depende de normas técnicas rigurosas para que sean efectivos y en este Artículo nada se señala al respecto. En relación a las alarmas debemos tener presente que una alerta simultánea a todos los usuarios puede crear pánico generalizado en los casos de falsas alarmas o amagos de incendio sin mayores consecuencias. Así el sistema de alarmas debe estar primero comunicado con la administración del edificio quienes deberán tener las instrucciones adecuadas para coordinar la acción de evacuación y combate del incendio.

El artículo 98 establece la necesidad de contar con red

seca para el uso de bomberos en los edificios de 7 o más pisos y una red húmeda con llaves y mangueras en cada unidad de vivienda, oficina, departamento o local comercial, situadas a una distancia no mayor a 20m. de cualquier punto de la unidad respectiva.

También en este artículo se exige una red seca con válvula de retención, elemento que no figura en el Manual de Normas Técnicas de Agua Potable y Alcantarillado ( D.S. N° 70 M.O.P. ) y ello da cuenta de la existencia de un lenguaje unitario o concordancia entre distintos cuerpos legales.

El artículo 99 señala la obligatoriedad de contar con iluminación de emergencia pero también debería considerar la obligatoriedad de sistemas complementarios de iluminación de emergencia con generador independiente.

Artículo 100 : Establece la necesidad de instalar una red de alimentación eléctrica sin tensión en los edificios de más de 16 pisos, para el uso de bomberos.

Artículo 101 : Exige que los locales que manipulen, vendan o almacenen productos inflamables cuenten con dispositivos adecuados contra incendios.

Artículo 101 : Se refiere a la exigencia de detectores de humo y de tablero de desconexión del sistema en los edificios que cuentan con sistemas centrales de aire acondicionado.

Artículo 103: Se refiere a las características de los muros cortafuegos, pero no se consideran los muros de alta resistencia al fuego que pueden tener vanos con puertas

que cumplan con algunas de las características de alta resistencia al fuego. Tampoco se señala la condición de parallamas o establece al fuego que pudieran tener los muros.

Artículo 104: Se refiere a las condiciones que deben reunir los ductos de humos.

Artículo 105 y 106 : Establece características y ubicación de los hogares de panaderías, fundiciones, etc.

Artículo 107: Establece requisitos que deben cumplir los sistemas de conducción y descarga de basuras.

Artículo 108 : Indica resistencia al fuego de los ductos de ventilación y otros requisitos.

Artículo 109 : Se refiere a la accesibilidad de los vehículos de emergencia a todo edificio de 7 o más pisos y a la resistencia del terreno y ancho expedito de la vía. Este artículo no señala si es obligatoria la accesibilidad a todas las fachadas o solamente a un mínimo de ellas. Tampoco señala condiciones de emplazamiento para los edificios cercanos.

Un aspecto que involucra un problema de criterio es aquel que se refiere a la existencia de una clasificación de los edificios en función de su carga combustible. Sabemos que el incendio, definido como una combustión incontrolada que se desarrolla en el espacio y en el tiempo necesita una cantidad de combustible. Además sabemos que un local o edificio está constituido por un conjunto heterogéneo de materiales para los cuales no existe la noción de incombustibilidad absoluta, y por otra parte también sabe



## 8. COMENTARIO FINAL Y OBSERVACIONES.

El estudio de los aspectos recogidos por nuestra legislación relacionada con la prevención de incendios en los edificios es una muestra elocuente del estado en que actualmente se encuentra la ciencia que trata de estas materias.

Los conceptos que se manejan y, en particular, los objetivos que se tienen en mente al intentar la prevención de los incendios, corresponden a intenciones de carácter amplio y general. Esto es común encontrarlo en aquellos campos en donde las ideas son abstractas y, cuando nos enfrentamos a situaciones de esta naturaleza al abordar un problema específico como es el incendio de los edificios, comprendemos que la tarea de solucionarlo está recién comenzando.

A pesar de la existencia de legislaciones más avanzadas en esta materia que se han establecido en países desarrollados y a las facilidades de acceso a la información contenida en tales legislaciones, estimo imprescindible la incorporación de sistemas de clasificación basados en la carga combustible de los edificios. Dan prueba de esta carencia innumerables observaciones hechas a través de este estudio que culminan con la constancia de la inexistencia de una Norma Chilena Oficial que trate de lo que hemos denominado Reacción al Fuego y que, a mi juicio, está relacionada directamente con el estudio de la carga combustible de los edificios.

Muchas veces hemos visto, sin sorprendernos y hasta con cierto grado, la readecuación de edificios existentes para exhibir un grado de "modernidad" basándose en la incorporación de una carga combustible más que peligrosa representada por alfombras, cielos falsos, revestimientos de muros, etc., sin darnos cuenta de que, por ejemplo, entrar en algunas tiendas constituye un verdadero riesgo.

Igual apreciación podemos tener de la ausencia de normas relacionadas con la propagación del fuego por radiación, encontrando conjuntos de edificios que resultan riesgosos en este sentido.

El estudio de la propagación del fuego en paramentos exteriores constituye la aproximación a un campo bastante específico y, por ende, difícil de evaluar. No obstante, resulta adecuado formar conciencia del riesgo que presentan cuando se declara el incendio. En este sentido y como reflexión complementaria también debe cuestionarse la necesidad de hacer coincidir las nuevas formas de habitar en altura con el avance tecnológico necesario para garantizar su seguridad.

En otro orden de cosas, resulta necesario advertir a quienes continúan esta línea de investigación, acerca de la preparación que se requiere para llegar a profundizar estas materias en relación al tiempo disponible para orientar la investigación. Aún así resulta éste un campo propicio para el estudio académico por cuanto el estudiante de arquitectura necesita conocer un problema que involucra, principalmente el diseño arquitectónico.

El reconocimiento de elementos básicos del tema presentado constituye una forma de avance en la prevención de incendios ya que también incide fuertemente la actitud del usuario o del habitante del edificio en el control de este tipo de catástrofe. Estimamos que cuando la terminología va convirtiéndose en palabras con significado para el ciudadano y, en particular, el especialista, estamos acercándonos a una de las vías de solución del problema que está presente en toda la literatura especializada: la preparación del hombre frente a las amenazas del medio urbano.

Tal vez un aspecto que debe comprenderse acerca de esta línea



## 9. B I B L I O G R A F I A

1. "El Fuego y los Edificios", Eric W. Marchant, Editorial Mapfre, S.A., Colección Temas de Prevención. Madrid, España 1981
2. "Comportamiento al Fuego de Materiales y Estructuras", Luis M. Elvira Martín y Francisco J. Jiménez Peris. Servicio de Publicaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España
3. "Ordenanza General de Construcciones y Urbanización", Amador Brieva A. y Lionel Bastías R. Editorial Jurídica de Chile. Colección Textos Legales N° 42. Santiago, Chile, 1985.
4. "Prevención de Incendios en Edificios". Seminario. Santiago, Chile 1981.
5. "Química del Fuego", Alvaro Prado Calvo, 1958.
6. "New Forms of Building Construction", B. L. Wood. National Fire Protection Association. Boston, Mass., Estados Unidos, 1950.
7. "Manual de la N.F.P.A."
8. "Architectural Record" Noviembre de 1978. Artículo 'AISI Publishes a Simple, Rational Method for Predicting Fire Safety of Exposed Steel'.
9. "La Prevención de Incendios en Edificios de Altura", Jorge Codina D., Patricio González F. Síntesis Final Universidad Católica de Valparaíso. 1977

10. "Protección de Edificios de Hormigón Armado Contra Incendios", Jorge Duclos H. Memoria de Título Universidad Católica de Valparaíso. 1968.
11. "Protección al Fuego de Edificios de Altura", Mauricio Montiglia Rezzio. Seminario Escuela de Arquitectura, Universidad de Valparaíso, 1982.
12. "La Protección Contra Incendios en la Construcción", René Bayon. Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona, España, 1978.
13. "Peligro de Incendios en Edificios Altos", Gabriel Rodríguez Jaque. Revista del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile, Santiago 1978
14. "Norma Chilena Oficial NCh 935/1 Of. 84" y "Norma Chilena Oficial NCh 935/2 Of. 84", Instituto Nacional de Normalización. Chile 1984
15. "Catastro de Riesgo de Incendio en Edificios Habitacionales en altura de Valparaíso y Viña del Mar", Marlene Gatica y Marta González. Síntesis Final Universidad Católica de Valparaíso. 1985.
16. "Normas Técnicas para la Realización de las Instalaciones de Agua Potable y Alcantarillado". Diario Oficial de la República de Chile. 1981.
17. "Protección Contra Incendios", A. Saleh M. 1965.