

Análisis de la propagación de Incendios por fachada en Edificios de Altura

Flaz Mora, Engels Enrique



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Edificació
de Barcelona





Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANÁLISIS DE LA PROPAGACIÓN DE INCENDIO POR FACHADA EN EDIFICACIONES DE ALTURA EN LA REGION DEL CARIBE

Flaz Mora, Engels Enrique

Resumen

En la siguiente investigación hemos analizado las edificaciones de altura en la región del Caribe de manera particular en la ciudad de Santo Domingo. Con base en estudiar el comportamiento de la propagación de incendios por fachadas de manera genérica. Para ello cuantificamos, y clasificamos según sus elevaciones, tipologías y ubicaciones las edificaciones de alturas de la ciudad. De igual forma constatamos los artículos correspondientes a prevención de incendio en edificaciones de alturas de las República Dominicana. Los cuales son tratados de una manera superficial y se basan en las normativas de la NFPA. De tal manera que percibimos que todos los artículos se refieren a sistemas preventivos de interiores dejando de lado una posible propagación o incendio de las fachadas. A pesar de que ésta es una de las principales vías de propagación y un peligro potencial, no solo para los habitantes de la edificación, sino también para las edificaciones vecinas.

Del mismo modo hemos identificado las principales características que contribuyen a la propagación de incendio en una edificación, haciendo énfasis en los factores relacionados a la propagación del fuego por fachadas. Simultáneamente se han analizado la propagación de fuego en distintos incendios reales y de manera particular en los casos de propagación por fachada. Todo esto lo hemos visualizado haciendo una simulación computacional de un incendio de una situación concreta. En la cual notamos que efectivamente la propagación de incendios depende mucho de los materiales, sistemas constructivos que se utilicen en la fachada así como en la geometría de la misma. De modo que, a menor uso de material combustible, optimización de los sistemas constructivos y uso de corta fuego (caso de las fachadas ligeras y muros cortinas) y mayor separación (franjas) de las aperturas en las fachadas será menor la posibilidad de propagación del fuego por la fachada hacia otro nivel.

Palabras Claves: Propagación, Incendio, Fuego, Fachada, Edificios De Altura, Santo Domingo, República Dominicana, Simulación.

Abstract

During the following research, high-rise buildings in the Caribbean region have been analyzed, particularly in the city of Santo Domingo. On the basis of studying the behavior of the spread of fire through walls generically. Firstly, buildings are quantified and classified according to their height and location. Similarly, codes related to fire prevention in high-rise buildings in the Dominican Republic were verified. These codes are superficially based on the NFPA Standards. So that it could be perceived that all of the codes refer to preventive interior systems. However, they ignore the possible fire propagation throughout the facade, although this is one of the main propagation pathways and a potential danger, not just for the building inhabitants, but also for the adjacent buildings.

Similarly, main features that contribute to the spread of a fire in a building have been identified. , emphasizing factors related to the fire propagation in facades. Simultaneously, propagation of fire in several real fires has been analyzed, in particular, in facades cases. A computer simulation of a specific situation fire has been achieved in order to visualize all that. Thanks to this, it could be noticed that, indeed, the propagation of fires depends strongly on materials, the used construction systems of the facade and on its geometry. It was found out therefore, that the less use of combustible material, the better optimization of building systems, the use of firewalls (in the case of light curtain walls and facades) and a larger distance (bands) of the facades openings will reduce the fire propagation through the facade to another level.

Keywords: Propagation, Spread, Fire, Facade, Buildings Heights, Santo Domingo, Dominican Republic, Simulation.

Índice

Resumen	3
Abstract.....	4
Índice	5
1. Introducción	9
1.1. Objetivos	10
1.1.1. Objetivos generales	10
1.1.2. Objetivos específicos.....	10
1.2. Metodología de la investigación.....	10
2. Edificaciones de altura en el Caribe y la Rep. Dom.	11
2.1. Historia de las edificaciones de altura en el Caribe y la Rep. Dom.....	13
2.2. Clasificación de las edificaciones de altura	16
2.3. Listado de edificaciones de altura en Santo Domingo	16
3. Propagación de incendio en la edificación	22
3.1. Estado del arte	22
3.2. Normativas de seguridad contra incendios en Rep. Dom.....	23
3.3. Introducción al fuego	25
3.4. Clasificación y fases del fuego.....	27
3.5. Propagación del fuego.....	30
3.6. Propagación del fuego en la edificación.....	31
3.6.1. Factores que contribuyen a la propagación del fuego en los edificios.....	32
3.6.2. Propagación vertical del fuego en la edificación	34
3.6.3. Propagación vertical del fuego a través de fachadas.....	35
3.7. Casos de incendio de propagación de fuego por fachadas en el Caribe.	39
4. Propagación de incendio frente a la morfología de la fachada.....	47
4.1. Clasificación de las fachadas y fachadas comunes en Sto. Dgo.....	48
4.2. Propagación de fuego según el tipo de fachada	50
4.3. Propagación de fuego según el tipo de elementos en la fachada	54
5. Simulación de propagación por fachada en un edificio residencia en Sto. Dgo. ...	60
5.1. Definición de los parámetros a analizar	62
5.2. Descripción del escenario de simulación	62
5.3. Descripción del modelo	63
5.3.1. Diseño del escenario	65
5.4. Análisis e interpretación de los resultados.....	67
6. Conclusiones.....	71
7. Referencia Bibliográfica	74
7.1. Referencia Bibliografía	74
7.2. Referencia Web y Diarios Digitales	75
7.3. Referencia de Figuras	76
8. Anexos	78
9. Agradecimientos	83

Índice de figura

Fig. 1 Edificios de altura en las principales ciudades del Caribe.	12
Fig. 2 Banco Central y “Huacal”	14
Fig. 3 vista del complejo Malecón Center	15
Fig. 4 Edificios de Altura de la Rep. Dom.....	15
Fig. 5 Distrito Nacional.	17
Fig. 6 Número de Edificios de Altura en los Sectores de Distrito Nacional	17
Fig. 7 Clasificación por Altura y Uso de Edificio de alturas en Sto. Dgo.	18
Fig. 8 vista aérea de la Torre Caney y las Torres Mar Azul I, II y III.....	19
Fig. 9 Plaza Silver Sun Gallery, Edificio corporativo 20/10 y Torre Arboleda II.....	21
Fig. 10 Triángulo del Fuego	26
. Fig. 11 Tetraedro del Fuego.....	27
Fig. 12 Fases del fuego en un material.	30
Fig. 13 Propagación del fuego en un incendio	31
Fig. 14 Fases en las que el incendio está controlado por el combustible o controlado por la ventilación.	33
Fig. 15 La geometría de las ventanas es un factor determinante en los incendios controlados por la ventilación.	34
Fig. 16 Orígenes de un incendio en la fachada.	36
Fig. 17 Incendio originado desde el interior de la edificación.....	39
Fig. 18 Hotel The Address Downtown	40
Fig. 19 Hotel Mandarin Oriental.....	41
Fig. 20 Esquema de desarrollo del incendio del Windsor.	42
Fig. 21 Incendio de la Torre Este, Complejo Parque Central.	43
Fig. 22 Incendio en Costa del Este, Country Club.....	44
Fig. 23 Incendio en el Edificio PH Bicsa Financial Center.....	45
Fig. 24 Hotel intercontinental.....	46
Fig. 25 Torre Altamar III.....	46
Fig. 26 Esquemas Constructivos de fachadas convencionales.....	48
Fig. 27 Vista de un muro cortina Brise Soleil aplicados.	49
Fig. 28 esquema Constructivo de una Fachada ventilada.	49
Fig. 29 Paneles de Fachadas Prefabricadas.	50
Fig. 30 Propagación de fuego en los distintos los principales tipos de fachadas.	50
Fig. 31 Incendio en el piso 20 de 42 en 43rd Street en NY.	51
Fig. 32 Simulación según ubicación de la franjas respecto a los forjados.....	52
Fig. 33 1- Deformación y fallo de la junta perimetral entre forjados y fachas. 2- Sellador Absorbe deformaciones de junta, impidiendo el paso de humo y fuego entre plantas. Sellador proyectable.	52
Fig. 34 Simulación de incendio con una cámara ventilada con material de aislamiento térmico combustible (Graf. 3) y aislamiento térmico incombustible (Graf. 4).....	53
Fig. 35 Panel Sandwich de Aluminio. Ejemplo de uso del panel Sandwich. Simulación de incendio de una fachada con Revestimiento combustible. - Donde se aprecia una	

intensa propagación debido a la aportación del mismo material utilizado en la fachada	54
Fig. 36 Torre Atiemar, Edificio del Banco Central de Rep. Dom y Edificio Scotiabank ..	55
Fig. 37 Elementos verticales de protección (franja, Paño, etc.). Elementos horizontales (Vuelos, balcones, etc.).....	55
Fig. 38 Comportamiento del fuego frente a los diferentes tipos de elementos de una fachada.	56
Fig. 39 Comparación de simulaciones de incendios con distintas longitudes en los aleros y las franjas de las ventanas.	56
Fig. 40 Comparación de la propagación del fuego según espesor de muros. Graf 1 muros de 24cm. Graf. 2 Muros de 41cm.....	57
Fig. 41 Relación del tamaño y forma de las ventanas con el comportamiento del penacho de fuego. (A) Ventanas de distintos anchos y 1,50 m (h) (B) Ventanas de distintos anchos y 2,0 m (h).	58
Fig. 42 Comparación de la propagación del fuego según las dimensiones de las ventanas	58
Fig. 43 Esquema de cálculo de separación de huecos en la fachada.....	59
Fig. 44 Esquema de cálculos para fachadas retranqueadas según la Normativa Francesa	60
Fig. 45 Planta Arquitectónica y Elevación Frontal del edif. GG-26	63
Fig. 46 Detalles de la cocina del Bloque B.....	64
Fig. 47 parámetros considerados para el modelado en Pyrosim	65
Fig. 48 Ubicación de los dispositivos.	66
Fig. 49 Comparativa de las temperaturas entre los dispositivos.	67
Fig. 50 Plano en el eje X1. Tomadas en los segundos 3, 25 y 46.	68
Fig. 51 Plano en el eje X. Tomas a segundo 15, 40 y 48. – Elaboración Propia con datos de Pyrosim.....	69
Fig. 52 Plano en el eje Y. Tomadas en los segundos 8 y 20.	69
Fig. 53 Plano en el eje Y. Tomadas en los segundos 41, y 48.	70
Fig. 53 Taza de compensación de Calor.....	71

Índice de tablas

Tabla 1 Listado de Edificaciones de los Cacicazgo.....	19
Tabla 2 Listado de Edificaciones de La Esperilla.....	20
Tabla 3 Listado de Edificaciones del Ens. Naco.	20
Tabla 4 Listado de Edificaciones del Ens. Piantini	21
Tabla 5 Listado de Edificaciones de Bella Vista.	21
Tabla 6 Listado de las edificaciones de altura en Santo Domingo.....	82

1. Introducción

Este trabajo se plantea con el objetivo de abordar el tema del comportamiento de la propagación de incendio por fachada en edificios de altura en la región del Caribe particularmente en la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana. Aportando así una visión genérica sobre propagación de incendios en edificaciones de altura en esta región. Para ello pretendemos documentar los antecedentes referentes al tema y a la normativa correspondiente en casos de incendio aplicada en la República Dominicana, así como identificar la problemática principales y examinar diversos casos de incendios ocurridos en edificaciones de altura, los cuales se distinguen por sus tipologías y donde se ven involucrados su materialidad, morfología y sistema constructivo.

De la misma manera describiremos el proceso evolutivo de un incendio y sus etapas, desde el origen hasta propagación al exterior, propagación por la fachada, su impacto sobre ésta y la edificación en cuestión. Para esto nos basaremos en la recopilación y el análisis de datos bibliográficos. Asimismo, nos proponemos examinar particularmente la simulación de un caso de incendio de una edificación de altura de la República Dominicana mediante una simulación computacional. Por lo que elegiremos una de la tipología más comunes en el sector de la construcción de la ciudad. De esta obra o proyecto se explicará sus características desde el punto de vista constructivo y funcional hasta los factores considerables en caso de un incendio.

Por otra parte la iniciativa para el desarrollo de este tema nace ante la preocupación de la creciente tendencia de construcciones verticales en las ciudades del Caribe, muchas de estas de carácter residencial. En adición a esto, la implementación de nuevas técnicas constructivas como las fachadas aligeradas y muros cortinas que juega un papel crucial frente a un posible incendio, las cuales regularmente no considerado durante la etapa de diseño y/o Construcción. En este mismo sentido también existe la preocupación por la carencia de la implementación de normas preventivas contra incendios como expone el (Cuerpo de Bombero de Santo Domingo, 2010) quienes afirma que las edificaciones modernas no cuentan con sistemas contra incendios adecuados.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos generales

Con base en estudiar el comportamiento de la propagación de incendios por fachadas en distintas tipologías de edificación en el Caribe. Pretendemos contribuir con la prevención de incendios mediante el diseño en futura edificación de altura. Del mismo modo aportar soluciones que minimicen el impacto de incendio en las distintas fachadas. Promoviendo así una nueva visión (Medidas, Normas, Reglamento) de diseño con pautas preventivas ante un incendio y su propagación por las fachadas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Prevenir la propagación de incendio vertical por fachada durante las fases de diseño y constructivas de una edificación.
- Aportar el conocimiento necesario para optimizar el diseño arquitectónico de una edificación de altura contra un posible incendio.
- Minimizar el impacto de un incendio mediante sistemas pasivos y activos contra fuego.
- Promover Medidas de diseño con pautas preventivas ante un incendio y su propagación por las fachadas.

1.2. Metodología de la investigación

El punto de partida para este informe final que muestra los resultados de este estudio, se estructuró en fases: “La Fase de documentación, Fase de Identificación de la problemática, Fase de interpretación y recomendaciones.” Los datos recopilados fueron consultados en las últimas publicaciones encontradas.

- Fase de documentación: Esta fase se basó en la exploración de antecedentes y la investigación bibliográfica correspondientes. Nos basamos en fuentes primarias

como informe gubernamentales, fuentes secundarias artículos periodísticos, tesis y artículos científicos referentes al tema.

- Fase de Identificación de la problemática: se buscó explorar las normativas correspondientes a la protección de incendios de la región expuesta, así como las normativas internacionales. Así como entrevistas con expertos en el área de incendio.
- Fase de interpretación y recomendaciones: se buscó analizar los datos arrojados por la simulación con el fin de obtener datos de primera mano respecto a la propagación de fuego. para así recomendar posibles soluciones preventivas contra incendios.

2. Edificaciones de altura en el Caribe y la Rep. Dom.

A pesar que hoy en día no hay establecida una definición ni concepto oficial que limite la definición de edificación de altura por lo cual su “definición conceptual” puede clasificarse por su altura, por su uso o por la dificultad de maniobra para los bomberos. Algunos casos de definición son por altura como suelen denominarlo en diferentes países europeos como lo son el caso de Alemania, donde un edificio de altura es aquel que sobrepasa los 22 metros de alto. Del mismo modo en Portugal debe sobrepasar los 28 metros, en Bélgica basta 25m, en Barcelona, España se consideran edificios de gran altura (EGA) las edificaciones “cuyo punto de ataque se encuentra a superior altura alcanzable con las escaleras disponibles de unos 30 o 35 metros” esto según el Procedimiento operativo de Bomberos de Barcelona, PROCOP 1.13 Intervención en Edificios de Gran Altura. (Ayuntamiento de Barcelona, 2011). Así también la (National Fire Protection Association (NFPA), 2006) lo define como: *“Las edificaciones con niveles accesibles que sobrepasen los 23 metros o 75 pies sobre el nivel más bajo de acceso de vehículos de bomberos serán considerados como edificaciones de altura o High-Rise Building”.* (p.33)^[1]

1 3.3.28.7* High-Rise Building. A building where the floor of an occupiable story is greater than 75 ft (23 m) above the lowest level of fire department vehicle access. [5000,2006]

Un ejemplo de definición de edificio de altura por su uso es Francia en cual. Cual contempla que: Si la edificación es de carácter residencial debe sobre pasar los 50 metros de altura para designarse edificación de altura, más si tiene otro tipo de uso. Basta con que supere los 28 metros de altura. Sin embargo la manera más técnica con la que se suele definir una edificación de altura es el punto de ataque alcanzable por los bomberos de cada ciudad. Por lo que diferentes autores lo define de la siguiente manera: “aquél cuya diferencia de cota entre la cara superior del último forjado habitable y todas las salidas del edificio a la vía pública sea mayor de 28 metros”. Según el código de la edificación. “*Aquél cuya altura supera las posibilidades de intervención efectiva de los servicios de bomberos*” (Caro, 2012).

Por otra parte el crecimiento de sector de la construcción en américa latina y el Caribe ha ido creciendo, con ello ha aumentado y tendencia a construir en altura. Con apenas aproximado 4% de los rascacielos mundiales. Para el 2013 más de 100 edificios latinoamericanos superan los 150 metros de altura y para el 2016 se prevé 30 edificaciones más. Panamá es el país que más rascacielos levantado, con veinte de los treinta edificios más altos de la región latino americana y alturas de entre 192,3 y 284 metros. Asimismo en la subregión de Centroamérica y el Caribe se encuentra la ciudad Santo Domingo en la segunda posición de mayor cantidad de edificios de altura. Seguida de San Juan, Cartagena y Cancún.

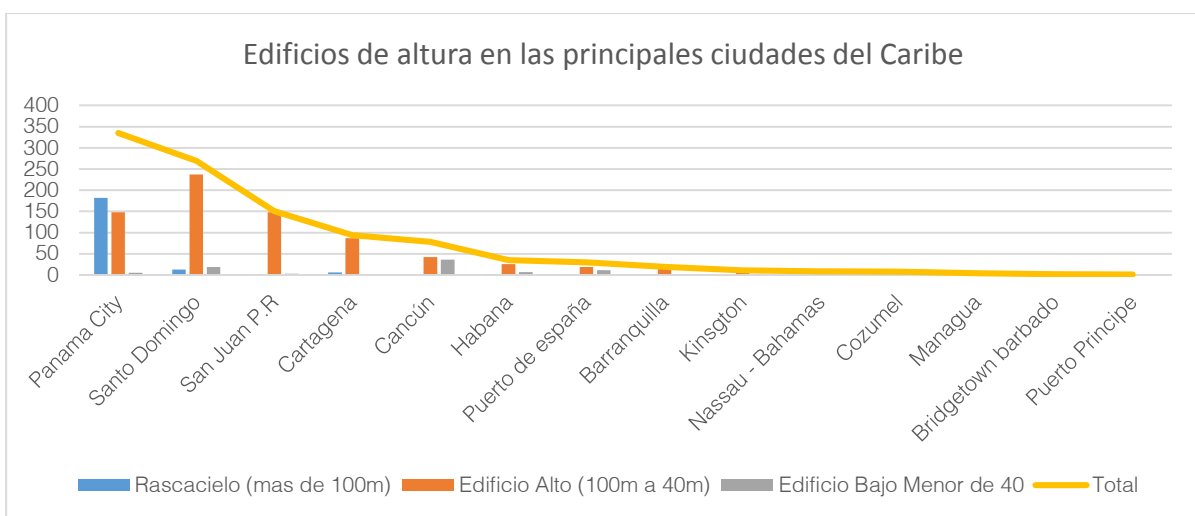


Fig. 1 Edificios de altura en las principales ciudades del Caribe. - Elaboración Propia con datos extraídos de (Emporis, 2015)

2.1. Historia de las edificaciones de altura en el Caribe y la Rep. Dom.

Pasada la feria de la paz en la décadas del 50s la arquitectura y construcción en la Rep. Dom. Se mantuvieron ausentes dado a acontecimientos sociales como: la caída del dictador Rafael Leónidas Trujillo en 1961, elecciones democráticas en 1963, la revolución civil en 1965, y luego intervención de Estado Unido hasta el 1966. Con ambiente sociopolítico tan cargado no fue hasta el 1968 cuando se reincorpora el sector de la construcción y con el primer edificio de altura en la Rep. Dom. El edificio “La Cumbre” de Plaza Naco a cargo del Ing. Juan Bernal. Fue el primero en romper altura con 12 niveles en 43 metros de elevación.

Para esta misma época se acogía la política de la Alianza para el Progreso. La cual fue un proceso de reestructuración de las instituciones gubernamentales. Al mismo tiempo nace la oficina de planeamiento urbano del Distrito Nacional. Las cuales somete a concurso un sin número de obras durante estos años. Asimismo durante el periodo del 1966 a l 1978 también conocido como los “Doce años de Balaguer” presidentes de entonces. El cual seguía un política de “varilla y cemento” es donde inicial el crecimiento del territorio urbano en la ciudad de Santo Domingo. Pero no es hasta que se integra el sector privado en la construcción que se logra construir edificaciones de altura.

En esta misma época también se multiplican las obras públicas resultando de ellos el Edificio de Oficinas Gubernamentales “Huacal” (1970 a 1973) como se conoce coloquialmente, este con una fachada brutalista de hormigón visto. Fue el Segundo edificio de altura en la isla con apenas 20 niveles en 63 metros de elevación. Seguido casi cinco años más tarde por el edificio del Banco Central Diseñado obra del Arq. Rafael Calventi. El Banco Central también recubre su volumetría con hormigón de color crema. Para (Moré, 2008) esta edificación *“ha representado por más de tres décadas el paradigma de la buena arquitectura dominicana de estos años, con sus interiores de alta operatividad, sus finos acabados y el equipamiento totalmente controlado”*. (p.296) en los siguientes 2 años se incluyeron al panorama de la ciudad el Hotel Continental y el Condominio Metropolitano San Juan en el 1979.

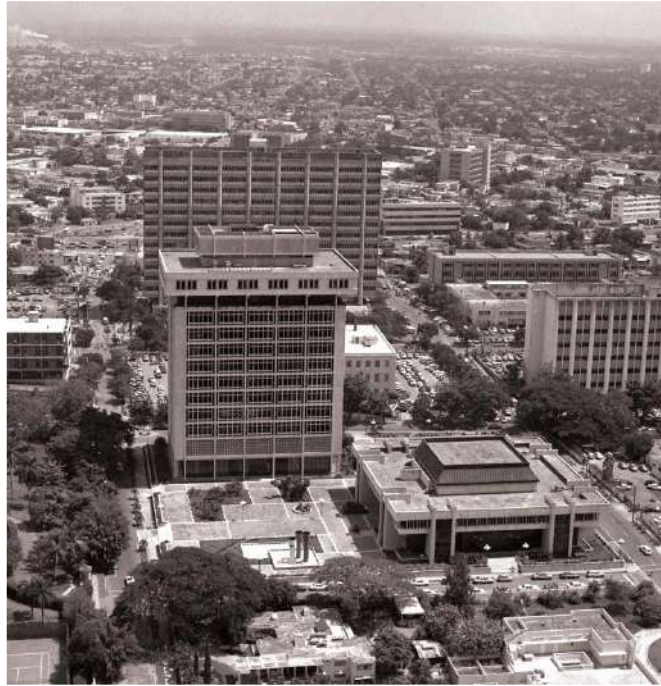


Fig. 2 Banco Central y "Huacal" - (Moré, 2008. p.291)

Durante las siguientes décadas se multiplicaron las edificaciones de altura en la República Dominicana. Integrándose un decena de edificios altos la mayoría de estos de inversión privada y con diversos usos. En la década de los 80s se construyeron una decena de EGA entre los que se encuentran: la Torre Plaza Central, Condominio KG, Torre BHD (estos tres en 1983), Edificio Corominas Pepín y Torre del Parque Esperillat en 1986. Torre Emperador, Galería del Parque en 1989. Entre otros. Posteriormente durante los 90s la construcción de edificios altos se triplicó en relación a la década anterior. Sumándose veinte siete nuevas edificaciones a Santo Domingo. Inmuebles como: Torre de Sol en 1993 y Palma Real en 1999 protagonizaron la escena de la isla por ser la de mayor altura, seguidas de Torre Naragua II construida en 1998. Entre otras que promedian una altura de 89 a 35 metros de elevación.

A principios del nuevo milenio es palpable el crecimiento en vertical de la ciudad sobre todo en el llamado polígono central. Durante los primeros años se incorporaron cuarenta y dos nuevas edificaciones altas solo en la ciudad de Santo Domingo. Entre las cuales se incluían Rascacielos según (Emporis, 2015). Entre estas edificaciones que ya sobrepasaban los 100 metros de elevación se encuentran: Torre Citibank (Plaza

Acrópolis) en 2002 midiendo 115, las torres de Malecón Center con 122 metro de elevación Torre, Caney 2008 de 150 metro y Torre Da silva 4 de 100 metros de altura. A estas edificaciones la siguieron 36 edificaciones altas las cuales se mantuvieron dentro de un rango de elevación de 36 a 85 metros. Entre la cuales cabe destacar a: Torre del Parque del 2002 con 85 metro de elevación, Torre del Conservatorio, Alco Paradisso ambas del 2005, Torre Hispania en 2010, entre otras (ver listado anexo).



Fig. 3 vista del complejo Malecón Center - @jcporcello

En estos días desde el año 2010 a la fecha se han integrado 4 nueva edificaciones a la lista de rascacielos en santo domingo donde se encuentran Torre Mar azul I, II, y III estas tres con rango de altura de 140 a 120 metros. Además de la Torre Anacaona 27 del 2014. La cual presume de ser la más alta de la región actualmente, midiendo 180 metro de elevación distribuidos en 42 niveles residenciales. A estas edificaciones la acompañan más de un adecena de inmuebles con usos varios. Los cuales ha sido construido hasta la fecha de hoy. Des los más reconocidos están: La plaza comercial y hotel Blue Mall del 2013 y el Edificio Corporativo 2010 finalizado en 2012.



Fig. 4 Top 10 de los Edificios de Altura de la Rep. Dom. - (Skyscraperpage, 2015)

2.2. Clasificación de las edificaciones de altura

Así como hemos visto anteriormente, el mayor número de edificación de altura en la Rep. Dom. Recae en la ciudad de Santo Domingo, específicamente en el Distrito Nacional. Claro está, que los factores que impulsaron este crecimiento en esta ciudad son de la influencia política y socioeconómica. En este capítulo se estudiará el número total de edificios de altura construidos en la actualidad en la ciudad de Santo Domingo.

Para empezar delimitaremos y fijaremos la altura mínimas a partir de la cual denominaremos una edificación como edificio de altura y así clasificarlos. Para lo cual utilizaremos varios criterios. Considerando que la *(National Fire Protection Association (NFPA), 2006)* ^[2]. Establece como edificación de altura aquellas que sobrepasa los 23 metro de elevación y según su uso. Fijaremos como altura mínima la elevación de 30 metros. Así que a las edificaciones de 30 a 40 metros de altura la denominares como “Edificios Bajos”. Mientras que la edificaciones de 40 a 100 metro de elevación “Edificio Alto” y la que sobre pasen los 100 metros de elevación como “Rascacielos”. Esto según los parámetro establecidos por *(Emporis, 2015)* y *(Skyscraperpage, 2015)*.

2.3. Listado de edificaciones de altura en Santo Domingo

A continuación el listado de las ediciones de altura en Santo Domingo. Basado en los datos de *(Emporis, 2015)*, *(Skyscraperpage, 2015)* y entre otras referencia bibliográficas. El listado está compuesto por 269 de inmuebles dividido en: 13 Rascacielos, 237 Edificios Alto y 19 Edificios Bajos. El listado inicia con la Torre Anacaona a finalizar en 2016, la cual contara con de 42 niveles en 180 metros de elevación. Seguida de la torre Caney de 150m repartido en 39 niveles, construida en 2008. Ambas edificaciones de inversión privada. El listado finaliza con edificios con una altura de 32 metros de altura como el Hotel Barceló Lina. (Ver el listado completo en los anexo).

2 3.3.28.7* High-Rise Building. A building where the floor of an occupiable story is greater than 75 ft (23 m) above the lowest level of fire department vehicle access. [5000,2006]

Sobre el Distrito Nacional de Santo Domingo cabe destacar que cuenta con una superficie de 91.6 km² dividido en 70 Sectores y una población de 1, 402,749 habitantes según su censo del 2010.

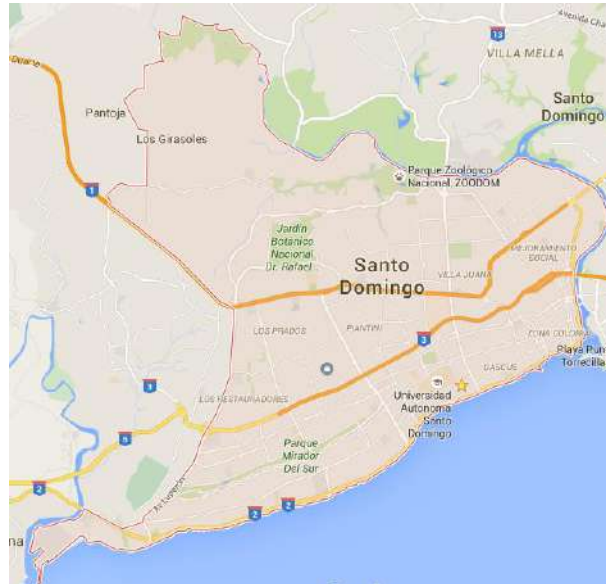


Fig. 5 Distrito Nacional. - (Google Maps)

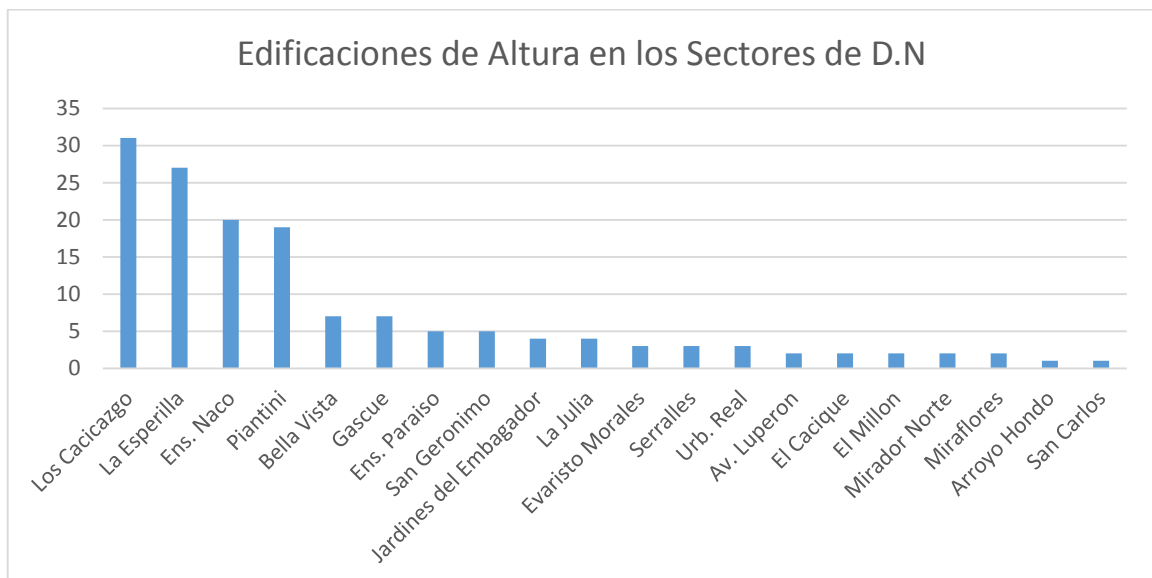


Fig. 6 Número de Edificios de Altura en los Sectores de Distrito Nacional – Elaboración Propia

En la tabla anterior vemos como de un total de 150 de las edificaciones de altura 32 de estos inmuebles se encuentran en los Cacicazgo, este es el sector con más concentración de edificación de altura en el Distrito Nacional. Seguido La Esperilla con 27 edificaciones, luego el ensanche Naco con 20 y Piantini con 19 EGA.

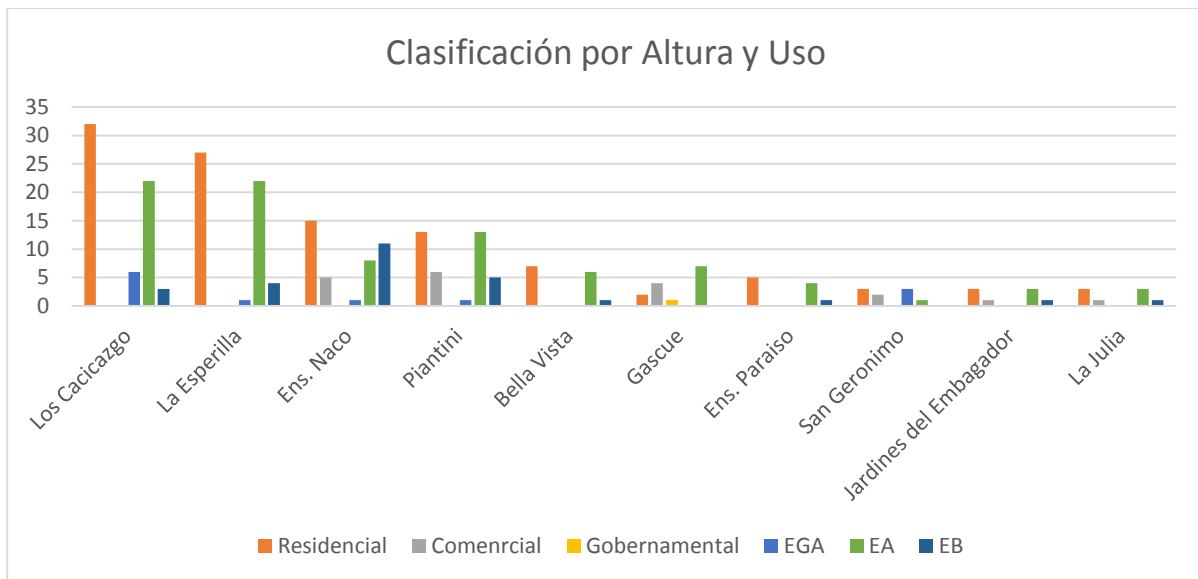


Fig. 7 Clasificación por Altura y Uso de Edificio de alturas en Sto. Dgo. – Elaboración Propia

Los Cacicaizgo tiene el honor de albergar las edificaciones más altas de la ciudad, cuenta con un total de 32 edificaciones de altura. Todas de carácter residencial y la gran mayoría de estas ubicada sobre la Avenida Anacaona. 6 de estos inmuebles son rascacielos que sobre pasan los 100 metros de elevación, estos son de reciente construcción basado el Reglamento para la Seguridad y Protección Contra Incendios R-032. Lo cual garantiza su seguridad según la última actualización del reglamento. A diferencia de las 23 restantes edificaciones promedia una altura de 40 a 100 metros de altura y 3 edificios Bajos.

Edificios	Altura (m)	Niveles	Uso	Tipo	Año
Torre Anacaona 27	180	42	Residencial	Rascacielos	2016
Torre Caney	150	39	Residencial	Rascacielos	2008
Torre Mar Azul I	140	37	Residencial	Rascacielos	2013
Torre Mar Azul II	120	32	Residencial	Rascacielos	2013
Torre Mar Azul III	120	32	Residencial	Rascacielos	2013
Torre Azul	105	27	Residencial	Rascacielos	-
Torre Caribe	85	23	Residencial	Edificio Alto	2003
Torre Les Champs	76	20	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Logroval XV	76	20	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Libertador	69	19	Residencial	Edificio Alto	1999
Torre Naragua II	69	19	Residencial	Edificio Alto	1998
Torre Laurel III	63	18	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Dorada	60	17	Residencial	Edificio Alto	2005
Torre Boticelli	56	15	Residencial	Edificio Alto	2003
Galerías del Parque	55	18	Residencial	Edificio Alto	1989
Torre Bernardo Gabriel II	55	15	Residencial	Edificio Alto	
Torre Naragua III	52	15	Residencial	Edificio Alto	1999
Logroval XII	49	14	Residencial	Edificio Alto	2002
Torre Naragua	49	14	Residencial	Edificio Alto	1995
Torre Attias	47	14	Residencial	Edificio Alto	2003

Torre Gian-Susan	46	15	Residencial	Edificio Alto	
Torre Verde	46	14	Residencial	Edificio Alto	
Torre el Dorado	44	13	Residencial	Edificio Alto	
Torre Emperador	42	12	Residencial	Edificio Alto	1988
Torre Mayán	42	12	Residencial	Edificio Alto	1996
Marbella del Parque	41	12	Residencial	Edificio Alto	2003
Torres Gemelas del Parque	41	12	Residencial	Edificio Alto	1999
Logroval VII	40	12	Residencial	Edificio Alto	1999
Torre Stephanie	39	10	Residencial	Edificio Bajo	-
Torre E-S	37	12	Residencial	Edificio Bajo	2001
Torre Mencía	36	12	Residencial	Edificio Bajo	1992

Tabla 1 Listado de Edificaciones de los Cacicazgo. – Elaboración propia



Fig. 8 vista aérea de la Torre Caney y las Torres Mar Azul I, II y III. - @drfromsky

La Esperilla cuenta con un total de 27 edificios de altura construidos entre los años 1994 al 2013, los cual los hace relativamente contemporáneo. No obstante todos son de uso residencial por los cual muchos solo cuenta con sistema de incendio en los niveles inferiores los cuales suelen ser destinado a estacionamientos. 22 de estos inmuebles son Edificios Altos, 4 Edificios bajos y un Rascacielos.

Edificios	Altura (m)	Niveles	Uso	Tipo	Año
Torre Da Silva 4	100	24	Residencial	Rascacielos	2009
ALCO Paradisso	83	22	Residencial	Edificio Alto	2005
Soleil Grand I	81	24	Residencial	Edificio Alto	2012
Soleil Grand II	81	24	Residencial	Edificio Alto	2013
Torre Atiemar 1	80	21	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Pedro Henríquez Ureña	80	23	Residencial	Edificio Alto	-
Torre del Conservatorio	77	24	Residencial	Edificio Alto	2003
Torre Hispania	77	22	Residencial	Edificio Alto	2010
Torre Romanza	70	22	Residencial	Edificio Alto	-
Torre la Citadelle	64	20	Residencial	Edificio Alto	2000
Torre Parco Mare	62	17	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Palmera X	60	18	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Palmera XI	60	18	Residencial	Edificio Alto	-
Diandy XVII	56	16	Residencial	Edificio Alto	1994
Don Carlos XI	56	15	Residencial	Edificio Alto	2001
Pedro Henriquez Ureña, 152	56	15	Residencial	Edificio Alto	2004
Torre Mirella	47	13	Residencial	Edificio Alto	

Torre Celini	46	14	Residencial	Edificio Alto	
Torre Marfil	45	14	Residencial	Edificio Alto	
Avenida México	42	12	Residencial	Edificio Alto	-
Plaza Azteca I	41	13	Residencial	Edificio Alto	1993
Plaza Azteca II	41	13	Residencial	Edificio Alto	1993
Plaza Azteca III	41	13	Residencial	Edificio Alto	1993
Torre Serenata	39	12	Residencial	Edificio Bajo	1999
Diana Patricia	38	12	Residencial	Edificio Bajo	2004
México, 110	38	12	Residencial	Edificio Bajo	2004
Torre Aljaira 1	36	12	Residencial	Edificio Bajo	1991

Tabla 2 Listado de Edificaciones de La Esperilla. Elaboración propia

El Ensanche Naco tiene un total de 15 edificios de altura de los cuales 5 son destinados a uso comercial como torres empresariales y hoteles. Mientras los 10 restantes son de uso residencial. Naco cuenta con el primer Edificio de altura de la República Dominicana, el edificio “La Cumbre” (1968). Naco también cuenta con uno del edificio icónico de estos años “Silver Sun Gallery” (2013). Este rascacielos de 30 niveles y 130 metro de elevación es de uso comercial en general.

Edificios	Altura (m)	Niveles	Uso	Tipo	Año
Silver Sun Gallery	130	30	Comercial	Rascacielos	2013
Intercentro	78	18	Comercial	Edificio Alto	2003
Condominio Metropolitano San Juan	47	14	Residencial	Edificio Alto	1979
Torre la Fontana	47	15	Residencial	Edificio Alto	1998
Edificio La Cumbre	43	12	Comercial	Edificio Alto	1968
Torre Allegro Norte	43	13	Residencial	Edificio Alto	
M Residencias	40	12	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Allegro Sur	40	13	Residencial	Edificio Alto	1999
Hotel Plaza	39	12	Comercial	Edificio Bajo	1987
Torreblanca	39	12	Residencial	Edificio Bajo	1999
Mineri III	38	13	Residencial	Edificio Bajo	2000
Plaza JR	38	12	Residencial	Edificio Bajo	-
Diandy XIV	37	13	Residencial	Edificio Bajo	1991
Maracasa 1	37	11	Residencial	Edificio Bajo	2003
Torre Inmega II	37	10	Residencial	Edificio Bajo	-
Torre las Villas	36	11	Residencial	Edificio Bajo	1998
Torre Montecarlo	36	11	Residencial	Edificio Bajo	2002
Torre Mineri X	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-
Torre Quique	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-
Edificio Corominas Pepín			Comercial	Edificio Alto	1986

Tabla 3 Listado de Edificaciones del Ens. Naco. – Elaboración propia

Ensanche Piantini tiene un total de 19 edificios de altura. Este sector tuvo su mayor crecimiento de fue la primera década del 2000. Solo 6 inmuebles son de uso comercial en su gran mayoría como torres empresariales, las demás son de carácter residencial.

La torre Citybank (Plaza Acrópolis) es el único rascacielos en el sector de 115 metros de elevación. Las demás edificaciones se componen de 5 Edificios bajos y los restantes edificios altos.

Edificios	Altura (m)	Niveles	Uso	Tipo	Año
Torre Citibank	115	22	Comercial	Rascacielos	2002
Blue Mall	78	22	Comercial	Edificio Alto	2013
Torre Azar	72	18	Comercial	Edificio Alto	-
Torre Piatini	63	18	Residencial	Edificio Alto	2001
Edificio Corporativo 2010	60	15	Comercial	Edificio Alto	2012
Torre Santa María	58	16	Residencial	Edificio Alto	2003
Torre Monticello	54	17	Residencial	Edificio Alto	2003
City Tower	50	14	Residencial	Edificio Alto	2012
Torre Baleares	46	13	Residencial	Edificio Alto	-
Wind Towers Piantini	46	13	Residencial	Edificio Alto	-
ALCO Suites	43	11	Residencial	Edificio Alto	2001
Santa Doménica	43	12	Residencial	Edificio Alto	
Torre Plaza Central	41	12	Residencial	Edificio Alto	1983
Torre Da Vinci	40	10	Comercial	Edificio Alto	-
Residencial Coral Gables	39	11	Residencial	Edificio Bajo	2001
El Sol de Seguros	37	13	Comercial	Edificio Bajo	1989
Logroval X	36	11	Residencial	Edificio Bajo	1999
Torre Michelle Natalie	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-
Torre Michelle Natalie II	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-

Tabla 4 Listado de Edificaciones del Ens. Piantini. – Elaboración propia



Fig. 9 Plaza Silver Sun Gallery, Edificio corporativo 20/10 y Torre Arboleda II. – Tomadas de Internet

Bella Vista es el quinto sector de con mayor número de edificaciones de altura, en su gran mayoría Edificios Altos de uso residencial construidos en después del año 2000.

Edificios	Altura (m)	Niveles	Uso	Tipo	Año
Torre Boreo	56	15	Residencial	Edificio Alto	2004
Palacio Real	45	14	Residencial	Edificio Alto	-
Torre María Matilde	45	13	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Sol de Oro	45	12	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Gabriel	43	12	Residencial	Edificio Alto	-
Torre Casa Blanca	42	12	Residencial	Edificio Alto	2001
Torre Katherine Marie II	36	11	Residencial	Edificio Bajo	2003

Tabla 5 Listado de Edificaciones de Bella Vista. – Elaboración propia

3. Propagación de incendio en la edificación

3.1. Estado del arte

Esta investigación tiene como punto de partida la experiencia científica apoyada en las documentaciones bibliográficas (Ensayos, Actas de conferencias, Artículos científicos y Tesis de maestría/doctorados, entre otros) basadas en torno a la dinámica de propagación del fuego. Estas investigaciones han establecido una sólida base del conocimiento de gran utilidad en la actualidad. Entre estos: Propagación del fuego. Limitación por aislamiento de riesgos. Criterios legales de José Luis Villanueva Muñoz, Acta y artículos de Barcelona Fire Seminar 2014 de la fundación del fuego (Fundacion Fuego, 2014), Documento básico de seguridad en caso de incendio DBSI de CTE (*Código Técnico de la Edificación de España, 2015*), Modelado y simulación computacional de incendios en la edificación de Daniel Alvear, Life safety code de la NFPA (*National Fire Protection Association (NFPA), 2006*). Entre otros. Asimismo cabe destacar particularmente los 3 siguientes trabajos por su acercamiento con la presente tesina.

- I. Tesis doctoral de la Dr. Arquitecto María del Pilar Giraldo Forero (*Giraldo M. d., 2012*) de ETSAB de Universidad Politécnica de Cataluña. La investigación consistió en la evaluación del comportamiento del fuego y protección contra incendios en diversas tipologías de fachadas. Se realizaron diferentes tipos de simulaciones con Pyrosim y su módulo FDS. Donde se analizaron el comportamiento del fuego en distintas fachadas.

- II. Tesina de final de máster de Antonio Portela Pastoriza (*Pastoriza, 2012*) de EPSEB de Universidad Politécnica de Cataluña. La investigación consistió en el análisis del comportamiento en caso de incendio de las diferentes tipologías de edificios de gran altura construidos en el siglo XX en Barcelona y su área metropolitana. En este se realizaron investigación de carácter histórico y científico.

- III. Artículo científico. Incendios en edificios de gran altura de F. Núñez Astray, G. Campos Martínez, J. A. Labrador San Ronnualdo y M. Sanz Septién (*Astray, 1987*). Este artículo se basa en la consideración especial desde el punto de vista de la protección contra incendios, que abarca desde el diseño del edificio hasta la implantación de la actividad a desarrollar en éste, así como las adecuadas instalaciones de sistemas de protección contra incendios.

Por otra parte durante la investigación nos pudimos percatar de la carencia de investigaciones publicadas en Latinoamérica y España con relacionada este tema. Lo que expone que el comportamiento del fuego en especial la propagación del fuego por la fachada es quizás es un asunto muy poco explorado desde el punto de vista de la seguridad de una edificación.

3.2. Normativas de seguridad contra incendios en Rep. Dom.

Todas las normativas o reglamentos a los que están sometido las construcciones o reformas de una edificación, buscan reducir a un límite aceptable el riesgo que podría sufrir los usuarios del inmueble ante cualquier daño producido por una catástrofe. Como daños provocados por viento de un huracán, o daños derivados de un incendio de origen accidental.

La normativa actual con la que cuenta La Republica Dominicana es "*Reglamento Para La Seguridad Y Protección Contra Incendio – 032 (R-032)*" la cual fue solicitada bajo el decreto nacional No.85-11 y la misma está sustentada por la Dirección General de Reglamentos y Sistemas del Ministerio de Obra Publicas y Comunicaciones. Este reglamento entro en vigor en 2011 después de su actualización. El R-032 está basado en las normativas establecidas por (*National Fire Protection Association (NFPA), 2006*) teniendo las mismas prioridades de: Salvaguardar las vidas humanas, Reducir al máximo los daños a la propiedad, Procurar que las actividades del edificio puedan reanudarse en el plazo de tiempo más corto posible.

En aspecto a la seguridad de las Edificaciones de Gran Altura (EGA). El R-032 explica desde el artículo 68 a 76 los requerimientos especiales que debe tener una edificación de altura. Donde especifica que:

- La altura mínima para denominar una edificación de altura es de 23 metros (75 pies) desde el nivel de la calle o del nivel más bajo de acceso de los vehículos del cuerpo de bomberos hasta el piso del nivel acusable más alto.
- Clasificación de tipo RIESGO LIGERO O BAJO. El R-032 en su artículo 69 y 65 clasifica de riesgo indica que las edificaciones de uso residenciales, hoteles, oficinas, iglesias, clubes, centros educativos, hospitales, centros penitenciarios, y asilos. Clasifican dentro de Riesgo ligero o bajo por su baja combustibilidad que dentro de ellos y hay menos posibilidad de pueda ocurrir una auto propagación del fuego.
- Equipamiento de sistema de alarma de incendios, con un sistema de comunicaciones alarma/voz. Este sistema deberá operar entre la estación central de control y cada una de las cajas de ascensores, todos los vestíbulos de los ascensores y cada uno de los niveles de piso y de las escaleras de salida.
- Los edificios de gran altura deberán estar protegidos, en su totalidad, mediante un sistema de tubería vertical.
- Proporcionar además un sistema de rociadores automáticos que deberá cubrir por completo a toda edificación. están exentos de esta obligatoriedad los edificios de apartamentos existentes.
- Cada piso deberá estar equipado con una válvula para control de los rociadores y un dispositivo de flujo de agua.
- Sistema de energía de reserva, que cubran los sistemas de iluminación de emergencia y estaciones centrales de control, de alarma de incendio, las escaleras, corredores de emergencia, bomba de incendio y los equipos mecánicos de presurización y de extracción.

- Señalización mediante esquema informativo en caso de emergencia, deberán estar colocados en lugares visibles y en cada piso.
- Estación central de control la cual deberá estar ubicado en un lugar de fácil acceso para los bomberos u otra institución de emergencia.

3.3. Introducción al fuego

Comúnmente se define un incendio como una manifestación de una combustión^[3] no controlada. Que puede encender algo que no está destinado a quemarse. La (*National Fire Protection Association (NFPA), 2013*) define incendio y fuego de distintas maneras como:

“La secuencia de funciones del sistema de control que da lugar a la liberación intencional de combustible para la ignición”^[4].

“Cualquier instancia de la quema destructiva y sin control, incluyendo explosiones”^[5]

“Un proceso de oxidación, que es una reacción química resultante en la evolución de los productos de la luz, de calor, y de combustión”^[6] (p.469).

De modo que para el surgimiento de un incendio se necesita la ocurrencia de fuego incontrolado. Por otra parte el fuego del latín “*Focus*”. puede definirse como la manifestación visual de un proceso de combustión caracterizada por una reacción química exotérmica de oxidación (desde el punto de vista del combustible) donde se desprende luz y calor (llamas) resultado de la mezcla del oxígeno (agente oxidante) o comburente, combustible^[7] o agente conductor, energía o temperatura de ignición y la reacción en cadena. En este proceso los electrones del elemento oxidante se fugan hasta el elemento reductor liberando energía y originando una reacción exotérmica en la que se consigue producir el fuego.

3 Reacción exotérmica del combustible, con un oxidante (comburente). el fenómeno viene acompañado generalmente por una emisión lumínica en forma de llamas o incandescencia con desprendimiento de productos volátiles y/o humos, y que puede dejar un residuo de cenizas.

4 The sequence of control system functions that result in the deliberate release of fuel for ignition.

5 Any instance of destructive and uncontrolled burning, including explosions.

6 An oxidation process, which is a chemical reaction resulting in the evolution of light, heat, and combustion products.

7 Sustancia o material susceptible de arder.

De manera que existen tres factores primordiales para que pueda producirse el fuego, los cuales conforman el triángulo del fuego. No obstante nuevas teorías ha añadido el factor de Reacción en Cadena al proceso del fuego, Este último factor es el que se encarga de la continuidad del incendio. Sin él se podría tener solo el fenómeno llamado incandescencia. Asimismo estos cuatros fundamentos son los denominados hoy como tetraedro del fuego.

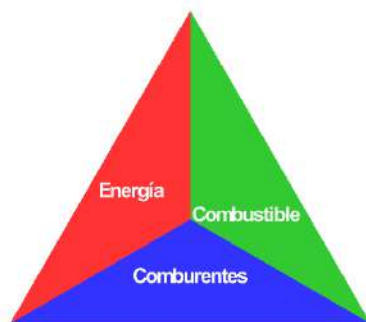


Fig. 10 Triángulo del Fuego- – Elaboración propia

- **Comburentes:** es un agente que puede oxidar a un combustible reduciéndose así mismo suele ser gas como el oxígeno y ozono, se debe considerar que desde el punto de vista del incendio, el oxígeno del aire es el comburente principal, agente que alimenta el fuego. También existe otros elementos comburentes como: el peróxido de hidrógeno, halógenos, ácidos como el nítrico y sulfúrico, óxidos metálicos pesados, nitratos, cloratos, etc.
- **Combustible:** Es agente reductor o un material que puede ser oxidado. Actúa reduciendo a un agente oxidante (Comburentes) cediéndole electrones. Suele en contras ene diferentes estado o forma como son: compuesto orgánico, carbón vegetal, madera, plásticos, gases de hidrocarburos, gasolina, sustancias celulósicas etc.).
- **Energía o Temperatura:** es energía de activación, que se puede obtener con una chispa, temperatura elevada u otra llama. La temperatura de ignición Es la mínima temperatura a que requiere una sustancia al ser calentada a fin de iniciar una combustión.

- **Reacción en Cadena:** Es una reacción mediante la cual la combustión se mantiene sin necesidad de mantener la fuente principal de ignición. Puede presentarse en diferente estado y elementos como el carbón o la mezcla de vapores y gases provenientes de la alguna sustancia con el aire la cual libera calor. Este calor sigue desprendiendo vapores o gases. Si la cantidad de calor desprendida es elevada, el material combustible seguirá descomponiéndose y desprendiendo más vapores que se combinan con el oxígeno, se inflaman, el fuego aumenta.

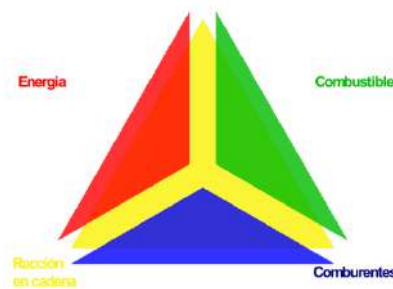


Fig. 11 Tetraedro del Fuego. – Elaboración propia

Una de las características principales del fuego es la producción de calor. La (*National Fire Protection Association -NFPA-, 2013*) define el calor como “Una forma de energía que se caracteriza por la vibración de las moléculas y capaz de iniciar y apoyar los cambios químicos y cambios de estado”^[8] (p.718). El calor puede producirse por: acción mecánica debido a la fricción (roce) o compresión. Acción eléctrica causada por resistencias de conductores eléctricos, arcos voltaicos, etc. Acción química dado de una reacción exotérmica. Acción o Reacción Nuclear causado de una fusión o fisión.

3.4. Clasificación y fases del fuego

En un incendio es importante reconocer el tipo de combustible que alimenta el fuego que actúa en éste con el fin de aplicar un método de extinción efectivo. Por tanto

⁸ A form of energy characterized by vibration of molecules and capable of initiating and supporting chemical changes and changes of state.

según su material combustible y método de extinción los fuegos se clasifican en 5 categorías las cuales puede variar de acuerdo a la normativa que ejerza cada país.

Clases A: se compone de combustible sólidos que producen brasas como: Plásticos, Madera, papel, goma, fibra textiles. Son Extinguidos generalmente por enfriamiento. Y su símbolo es trozos de maderas en llamas o un triángulo verde con la letra "A".

Clase B: se agrupan por los combustibles líquidos inflamables, sólidos de bajo punto de fusión, sólidos grasos. La NFPA incluye los gases inflamables como el butano, propano, metano, etc. en esta categoría. A diferencia de otras normativas. Extinguidos comúnmente con polvos químicos secos o Co^2 . Es simbolizado con un bote de combustible vertiendo líquido o un cuadrado con letra "B".

Clase C: Compuesto por gases inflamables ya mencionados antes. La (*National Fire Protection Association (NFPA), 2006*) en están los aparatos eléctricos inflamable potencialmente. Extinguidos comúnmente con polvos químicos secos o Co^2 . Simbolizado con una hornilla en llama o un círculo con la letra "C".

Clase D: Son fuegos de metales susceptible a arder, bajo ciertas condiciones. Como aluminio en polvo, potasio, sodio o magnesio. Son extinguidos corrientemente con polvos químicos especiales. Se simboliza con una pila de polvos en llamas o una estrella amarilla con la letra "D".

Clase K: Son fuegos que ocurren en equipos de cocina que involucran aceites y grasas vegetales o animales. Son extinguidos generalmente con acetato de potasio y citrato. Se simboliza con un sartén con llamas.

Con respecto a la evolución del fuego, se puede dividir en fases por sus características. En el caso de los bomberos es de vital importancia poder identificar la etapa del fuego para poder atacar con efectividad. Es muy común que solo sean mencionadas 3 fases entre ellas: la Fase incipiente o de ignición, Fase de Libre Combustión o fase de crecimiento, Fase Latente o de arder sin llamas y las demás suelen ser nombradas como fenómenos que se producen en estructuras cerradas o confinadas. Estos fenómenos

pueden encontrarse en fase de libre combustión y la latente. Algunos de estos fenómenos son: Flashover y Flameover.

Fase incipiente o de ignición: Es la etapa cuando se inicia el fuego, es la llama pequeña “CONATO” que es visible debido a que los materiales (combustibles) ha comenzado a prenderse. Esta fase es de fácil control.

Fase de Libre Combustión o fase de crecimiento: En esta etapa se desarrolla el incendio como tal, debido a la transferencia de calor y los materiales que entra en combustión simultánea. En esta fase hay mayor cantidad de humo y de material combustible, aumenta la temperatura, se reduce el oxígeno y el tiempo de atacar el fuego.

Fase Latente o de arder sin llamas: se caracteriza por no presentar llama aunque la presión y calor siguen presente en el lugar pudiendo reiniciar nuevamente el fuego con los materiales que no fuero alcanzado por las llamas. En esta etapa las temperaturas, humo y gases de la combustión están sobre pasan los 537°C. A esa temperatura los humos y gases no pueden ser respirados por una persona sin que le provoque un colapso respiratorio. Además El humo y los gases generados hacen el efecto de olla de presión, que tarde o temprano provocarán una explosión. Por eso es unas de las etapas más peligrosas.

Flashover: Es transición rápida al estado donde todas las superficies de los materiales contenidos en un compartimiento se ven involucrados en un incendio según la “ISO900”.

La (*National Fire Protection Association -NFPA-, 2013*) define un Flashover como:

“Una etapa en el desarrollo de un incendio contenida en el que todas superficies expuestas alcancen la temperatura de ignición más o menos al mismo tiempo y el fuego se propaga rápidamente por todo el espacio.”
[9] (p.608).

Flameover: Es la propagación que ocurre a gran velocidad a través de los techos y las paredes que contienen elementos combustibles. Suele acelera el proceso de Flashover hasta la abertura del recinto.

9 A stage in the development of a contained fire in which all exposed surfaces reach ignition temperature more or less simultaneously and fire spreads rapidly throughout the space.

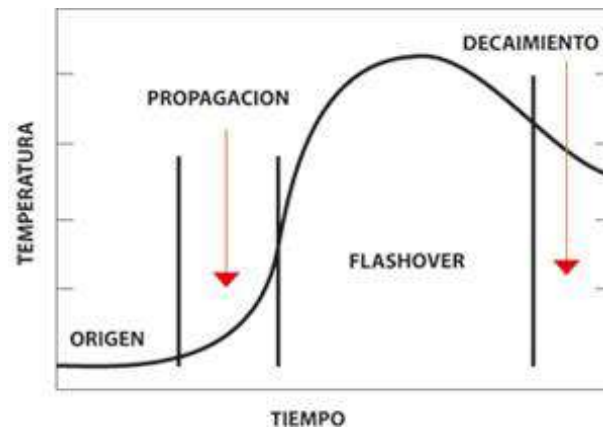


Fig. 12 Fases del fuego en un material. - <http://goo.gl/7c0lfb>

3.5. Propagación del fuego

En cuanto al fuego el cual puede propagarse similarmente al calor por contacto directo o indirecto utilizando un medio conductor. La propagación del fuego puede ser por los medios de: Radiación, Convección y Conducción. Pudiendo a veces combinando estos medios.

Propagación por radiación: El fuego se desplaza en cualquier dirección y en línea recta por medio de ondas de calor (electromagnéticas), hasta un material próximo a él. Por ejemplo: el calor del Sol.

Propagación por convección: El calor se desplaza a través de aire o gases caliente. Puesto que al calienta el aire o cualquier otro gas, estos se dilata y se vuelve más ligero debido a su diferencia de densidad. Y más calor, más su ascensión. También puede llegar a su temperatura de ignición y arder. Es considerado unos de los medios de propagación del fuego más peligroso para la vida humana.

Propagación por conducción: el fuego o calor avanza a través de una sustancia o material directamente y de forma física. Depende básicamente de la conductividad y característica del material.

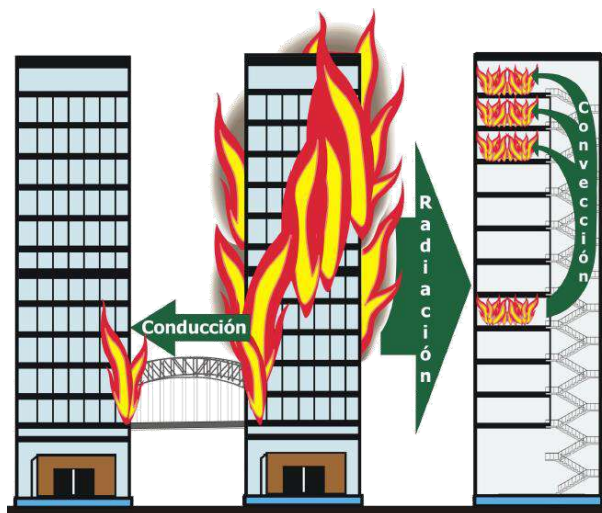


Fig. 13 Propagación del fuego en un incendio

3.6. Propagación del fuego en la edificación

Al iniciarse un incendio, el fuego se alimenta con los objetos combustibles presentes en la estructura o interior del recinto. Al lograrse el desarrollo total de las fases de un incendio en una edificación es común que se inicie el proceso de propagación del fuego al resto de la edificación. Los mecanismos de propagación del fuego en la edificación son los mencionados anteriormente. Propagación por radiación, propagación por conducción, propagación por convección. Estos puede ser originado por la llamas o también por contacto directo con materiales combustible.

Además debemos considerar que la geometría del edificio y sus elementos arquitectónicos y constructivos como son los: huecos, puertas, ventanas, ductos de ventilación, caja de escaleras, falsos techos, plafones o falsos techos, suelos técnicos o falsos pisos, cavidades entre otros. Son vías de propagación del humo y fuego. Al cual (Giraldo M. d., 2012) considera 3 categorías generales de propagación del fuego desde el interior de la edificación. Las cuales son: Propagación a otro recinto de la misma planta (propagación horizontal), Propagación a las plantas superiores del propio edificio (propagación vertical), Propagación a otra edificación vecina. En cuanto a nuestra investigación nos centraremos en la propagación del fuego de manera vertical hacia las plantas superiores.

3.6.1. Factores que contribuyen a la propagación del fuego en los edificios

Existen diversos factores que afectan al desarrollo del fuego dentro de un recinto cerrado. Tales como: los materiales presentes en el recinto, la geometría del recinto, sus huecos o aperturas y su ventilación son de los factores que influyen directamente en la propagación de un incendio en una edificación. Estos puede clasificarse y vincularse como lo que están relacionado al combustible del fuego.

La potencia y localización de la fuente de ignición: la fuentes de ignición puede ser muy diversas desde una ignición originada por un cigarrillo lo que equivale a unos 5kW hasta un incendio intencionado de un material combustible. De igual forma los aspectos relevantes en este sentido son la cantidad energía de la fuente y su rapidez. La localización de un incendio es importante para la propagación de un incendio dado que esta ignición puede darse o no en la cercanías de otros materiales combustibles o elementos de la edificación que servirían de como conductores del fuego.

Propiedades de los tipos de materiales, posición, espaciado orientación y área superficial expuesta al incendio de los combustibles: el tipo de material que se encuentra en una edificación han sido unos de los factores principales en el desarrollo de un incendio. Estos materiales suelen solidos provenientes de los mobiliarios. Estos mobiliarios pueden comportarse de manera diferentes según su materialidad. Por otro parte el uso de materiales polímeros y su rápida aunque corta capacidad de combustión y emisiones toxicas, resulta ser preocupante desde el punto de vista de la seguridad contra incendio. Además la geometría y configuración del material combustible pueden condicionar la velocidad de propagación.

El espaciado y orientación de los combustibles es un factor que resulta importante debido a que: una orientación vertical de los combustibles propagara el fuego de manera más rápida que una orientada de manera horizontal. Por lo que lo materiales de revestimiento suelen puede causas una rápida propagación.

Geometría del recinto: la característica del recinto es decisiva para el desarrollo del incendio. Se debe considerar que el propio recinto o elementos de éste, pueden funcionar como elementos de conducción. Un elemento (muro o forjado) puede emitir calor por radiación hacia elementos que están en combustión ayudando a incrementar la velocidad de propagación hacia otro combustible cercano en el recinto. Se debe considerar el tamaño del recinto dado que en un recinto pequeño un objeto en combustión puede generar altas temperaturas rápidamente. A diferencia, si el objeto estuviese en recinto amplio donde los gases y temperatura no se acumularían, por lo que el crecimiento del fuego sería menor. Asimismo la altura de los techos se ve reflejada en este factor. En recintos con techos altos, la temperatura será menor debido a la entrada de aire fresco. Si el recinto tiene una superficie de planta amplia es posible que el fuego ni los humos alcance el techo por lo que el retorno del calor al combustible será menor.

Factor de ventilación: este es el medio por el cual se provee el oxígeno necesario para desarrollo del fuego. Sin embargo la mezcla de aire y combustible o relación estequiometría debe ser la ideal. En otro caso, si uno de ellos está en exceso, entonces el otro controla la velocidad de reacción del incendio.

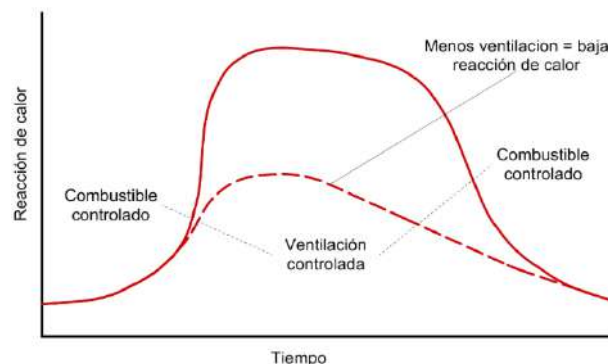


Fig. 14 Fases en las que el incendio está controlado por el combustible o controlado por la ventilación. - CFTB-US LLC <http://cfbt-us.com/>

La relación estequiometría se define como la perfecta cantidad de aire y combustible. Esto siempre dependerá de la velocidad de reacción del combustible. Aunque en un incendio no suele ocurrir de la relación estequiometría sino que siempre abunda más un factor en mayor cantidad. Al inicio de un incendio suele haber exceso de oxidante

(oxígeno, aire) y se considera controlado por el combustible. Mientras que un incendio desarrollado está controlado por la ventilación por su exceso de combustible.

Tamaño y localización de las aperturas: El tamaños, cantidad y localización de los huecos son el factor que controla el caudal y flujo de aire entrante al recinto. Estos pueden hacer variar la ventilación y con ello la condiciones de desarrollo de un incendio. Para (Giraldo M. P., 2014)

“El factor de apertura, o parámetro geométrico de ventilación, el cual está determinado por el tamaño de las ventanas y define el monto de ventilación que fluye hacia el recinto, se expresa como:”

$$x = Av\sqrt{Hv}$$

Dónde: Av = es el área de la ventana; Hv =es la altura de la ventana. (p.179)

Este factor permite calcular la cantidad de aire o penacho de fuego que fluye hacia el interior del recinto a través del hueco en cuestión.

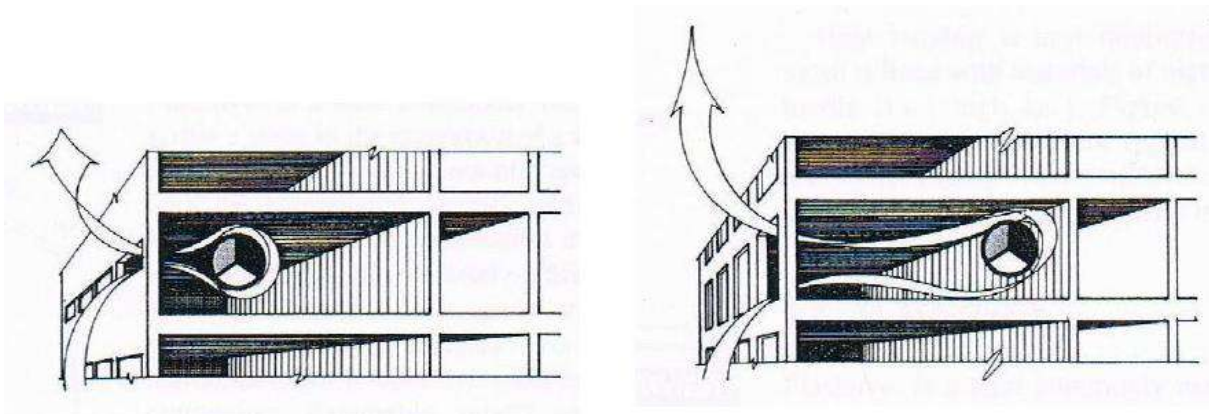


Fig. 15 La geometría de las ventanas es un factor determinante en los incendios controlados por la ventilación. - (Giraldo M. d., 2012)

3.6.2. Propagación vertical del fuego en la edificación

Como hemos mencionado anteriormente, en un incendio las maneras más frecuentes de propagación vertical del fuego son por convención y conducción. Este tipo de propagaciones se puede dar tanto en el interior como exterior de las edificaciones ya sea por los huecos de mantenimientos, pasos de cables, tuberías ductos de suministros,

ductos de aire acondicionado. Todos estos accesos o pasos hacen que sea casi imposible confinar el fuego en un área. Y en muchos casos resulta favorable el fuego si sus componentes son materiales combustibles. Por lo que estos pasos deben ser considerados con una atención especial y ser sellado con materiales cortafuego adecuados y así poder impedir o demorar la propagación vertical del fuego a través de la forjados (Losa) y la propagación horizontal a través de los muros o separaciones.

En los caso de las cajas de escaleras, ductos de mantenimientos sus muros y puertas deben ser de materiales resistente al fuego y no debe estar cubierto por ningún material de fácil ignición. Esto de acuerdo a la normativa de cada país. Asimismo otra vía de la propagación vertical del fuego son los elementos arquitectónicos como puertas que dan al exterior, ventanas y las distintos tipos de fachadas.

3.6.3. Propagación vertical del fuego a través de fachadas

La propagación de incendio a través de las fachadas es consideradas una de las vía más rápida de difusión del incendio en una edificación. Siendo este un potencial peligro para los niveles superiores de la propia edificación y las edificaciones colindantes. El fuego que surge desde el interior de la edificación a través de los huecos entra en contacto directo con el oxígeno del aire, el Viento y los posible materiales (Combustible o Incombustibles) siendo estos factores favorables para la dinámica del fuego y su propagación.

Sin embargo cabe destacar que fue tendencia la construcción en altura a nivel mundial desde décadas, a pesar de que hoy en día la arquitectura ha virado a la horizontalidad, se sigue construyendo en vertical en muchas ciudades, especial mente en ciudades de américa latina. No obstante las regulaciones y exigencias técnicas actuales requeridas para las edificaciones de altura no se expresan de forma aplicable a dicho edificación.

La importancia de prevenir o dificultar la propagación vertical del fuego se debe a que es la vía más rápida de propagación del fuego. Esta puede resultar en daños humanos y daños de la fachada o estructura del propio edificio así como la propagación a los niveles superiores y edificaciones vecinas. El fuego en un incendio puede provenir por diferentes situaciones las cuales podrían dar lugar a la propagación del fuego por la fachada. Algunas de estas situaciones son:

- A. Fuego Proveniente del exterior del edificio. Por radiación o llamas de otro incendio de un edificio colindante o un incendio forestal.
- B. Por la proximidad de otro siniestro, ya sea por radiación o contacto directo de las llamas.
- C. Por elementos que arden frente a la fachada. Ejemplo: el incendio de un contenedor de basuras o de un vehículo en la parte inferior del edificio, que es lo más habitual.
- D. Fuego originado dentro de la propia edificación. Ejemplo: material depositado en la terraza, los balcones del edificio. O el incendio en una cocina.

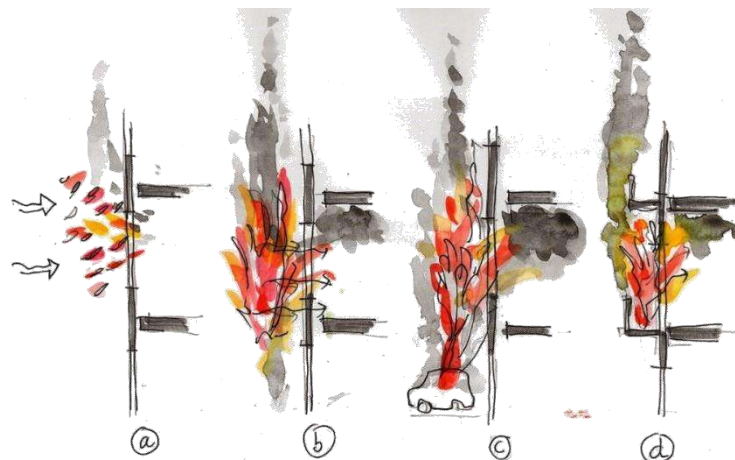


Fig. 16 Orígenes de un incendio en la fachada. - <http://goo.gl/7Nkj9k>

Asimismo los casos más preocupantes y frecuentes suelen ser en el cual el incendio es originado dentro de la edificación y donde el fuego se propaga y avanza por la fachada y por los huecos de ventanas y balcones. Al propagarse el fuego originado por la fachada deja en clara evidencia que el incendio ha alcanzado su máximo desarrollo y se

encuentra sobre la fase del Flashover^[10]. Por lo que las puertas y ventanas son la vía de liberación de la presión de las altas temperaturas y los gases provenientes del incendio. De aquí que función de las características del fuego, la progresión del incendio puede ser por 4 situaciones diferentes:

- 1. Propagación a través del exterior de la fachada:** en este tipo de propagación el fuego salta de una planta a la siguiente por la fachada, sin importar el tipo de fachada y el revestimiento y los materiales que actúan en este. Asimismo la fachadas convencionales revestidas de materiales incombustibles (ladrillo o Mortero) también puede ser vía de propagación. Igualmente puede propagarse a través de las ventanas o huecos al exterior. Este efecto también es conocido como “Leap Frog o salto de rana en castellano”^[11]. Sin embargo a pesar de los protecciones ignífugos o de los elementos de cortafuego que reducirán la velocidad de avance del fuego.
- 2. Propagación a través de la cámara de aire de las fachadas ventiladas:** esta propagación es dada a que las cámaras de las fachadas ventiladas carecen de elementos de separación o cortafuegos. En este sentido la cámara puede funcionar como acelerador del avance del fuego, ya sea por las características del aislamiento o su posición. Este tipo de fachadas suelen tener diversos acabados de revestimientos por lo que puede tener un amplio rango de repercusión dependiendo de la combustión de los materiales asociados. Según (Giraldo M. P., 2014):

“Este tipo de fachadas se caracteriza por las grandes ventajas higrotérmicas que aporta el tiro de aire natural que circula por la cámara gracias al efecto chimenea. Sin embargo, en una situación de incendio, este mecanismo se convierte en un factor desfavorable ya que potencia la propagación del fuego”. (p. 195)

10 A stage in the development of a contained fire in which all exposed surfaces reach ignition temperature more or less simultaneously and fire spreads rapidly throughout the space.

11 “Leap frog es la capacidad del incendio para propagarse de forma ascendente y secuencial a través de las ventanas de un edificio. Se da como resultado de una intensa emisión de llamas y humo través de las ventanas de un recinto.”. (Giraldo M. P., 2014)(p. 191)

Asimismo (*Giraldo M. d., 2012*) explica que en este tipo de propagación existen diversos riesgos asociados a la seguridad de la edificación. En el cual la propagación puede ser más intensa dado que la el aislamiento térmico que conforma la fachada es un material combustible. Además la subestructura (montantes t travesaños de aluminio, los cuales funde desde 566-650°C) de la fachada que suele queda expuesta a la incidencia directa del fuego que se propaga a través de la cámara ventilada.

3. Propagación a través del interior del edificio: este tipo de propagación puede darse en el entorno de la fachada en las zonas discontinua en las uniones del forjado, la fachada y/o huecos, que si no están bien resueltas pueden permitir el paso de las llamas, el humo o gases calientes a través de los elementos de compartimentación de la fachada y el forjado mal resueltos. Durante la fase de total desarrollo de un incendio se pueden presentar temperaturas que rondan los 1000°C. Es muy común que tengan lugar en fachadas ligeras con revestimiento de vidrio “Muros Cortinas”. Este tipo de propagación repercuten directamente en la seguridad de la edificación ya que:

- a. El fuego incide directamente sobre los anclajes o piezas de fijación y los elementos estructurales de la fachada. Po lo cual existe el riesgo de pérdida de las capacidades mecánicas de la estructura. Dando lugar a desprendimiento de pieza o un posible colapso.
- b. Este tipo de propagación está clasificada como una propagación exterior. Sin embargo se ha originado dentro y amenaza directamente en el interior del edificio.
- c. En propagación a través de huecos en la fachada siempre hay proyecciones de llama a través de las ventanas. Dando lugar al efecto de “Leap Frog”. Por ende la fachada es sometida a una doble exposición de flujo de calor. Potencializando el riesgo de desestabilizar la fachada o sus partes.

4. Propagación a través del propio material (combustible) de los revestimientos de la fachada: estos tipos de revestimientos pueden dar lugar a un incendio de rápida propagación e intensidad y con una capacidad de emitir radiaciones muy elevadas.

Deben considerarse las propiedades químicas y físicas de los materiales que actúan en las fachadas o de cualquiera de sus componentes estructurales, dado que estos combustibles pueden desprender parte de su material o producir humos tóxicos.

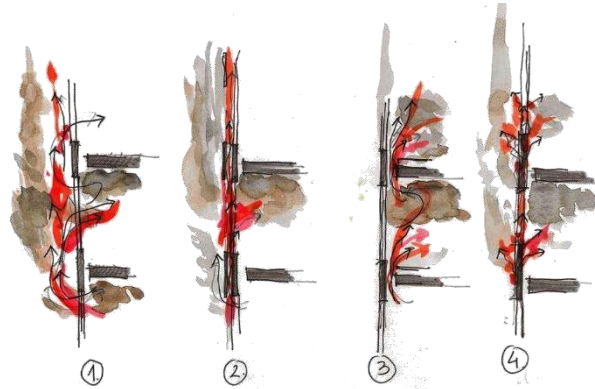


Fig. 17 Incendio originado desde el interior de la edificación. - <http://goo.gl/7Nkj9k>

3.7. Casos de incendio de propagación de fuego por fachadas en el Caribe.

En este apartado haremos mención de algunos casos de incendio ocurridos en los últimos años. Donde se ve involucrado la propagación del fuego de manera vertical. Dado que territorialmente la región del Caribe es pequeña y el impulso de edificaciones de altura es relativamente reciente en la región esta no cuenta con un gran número de edificaciones ni incidentes ocurridos. Por lo que nos apoyaremos en menciones (ejemplos) de casos internacionales de alta relevancia, casos cercanos a la región, casos en la región y casos de incidentes en la ciudad de Santo Domingo de la Republica Dominicana.

Hotel The Address Downtown. Dubái, Emiratos Árabes Unidos

Características:

Fecha: 31 de Dic. Del 2015
Hora: 21:00
Plantas: 63
Altura: 302 m
Origen: desde el interior de la planta 20
Tipo de fachada: Muro cortina.

Estructura del edificio: Hormigón armado.
Causas: Sin determinar
Plantas afectadas: Sin determinar
Muertos: 1 persona mayor por infarto
Heridos: 14 personas heridos leves

Descripción: Debido a que es un suceso reciente aún no se tiene datos precisos de este incendio. Aunque se pudo precisar la planta donde se originó. Planta 20 y por las imágenes y video vemos como se propagó a través de la fachada y como afectó a los 43 pisos restantes. Según el (El País, 2016) "un alto responsable de Defensa Civil aseguró que fue accidental y se originó en la parte exterior del edificio en el piso 20, según recogió la agencia de noticias estatal, WAM... Asimismo aseguran que: El incendio que afectó durante más de 20 horas al hotel The Address Downtown".



Fig. 18 Hotel The Address Downtown - <http://goo.gl/4jPWOI>

Hotel Mandarin Oriental. Pekin, china

Características:

Fecha: 9 de feb. Del 2009
Hora: 20:27
Plantas: 34
Altura: 256 m
Origen: Cubierta del edificio
Tipo de fachada: Muro cortina.

Estructura del edificio: Hormigón armado.
Causas: Fuegos pirotécnicos
Plantas afectadas: 34
Muertos: 1 bombero
Heridos: 7 bomberos

Descripción: El incendio se produjo cuando algunas bengalas aterrizaron en la azotea del edificio, según la agencia oficial Xinhua, que citó a un testigo sin identificar. El edificio que para la fecha estaba en fase de construcción. Veinte minutos de iniciarse el incendio las fachadas del edificio estaban envueltas en llamas por lo que se presume que la vía de propagación fue a través de la fachada debido a sus materiales combustibles del

aislamiento térmico. Sumado a esto. Los gases tóxicos producidos por la combustión y mal funcionamiento o insuficiencia de los equipos de extinción de los bomberos ante la dimensión del incendio. Todo esto dificultó su extinción la cual extinción no fue posible hasta la madrugada del día siguiente.



Fig. 19 Hotel Mandarin Oriental - <http://goo.gl/3psNM5>

Edificio Windsor. Madrid, España

Características:

Fecha: 12 de feb. Del 2005

Hora: 23:20

Plantas: 32

Altura: 106 m

Origen: Planta 21

Causas: Cortó circuito o colilla de cigarrillo (sin determinar).

Plantas afectadas: 28

Muertos: Sin víctimas mortales

Heridos: 7 bomberos heridos leve

Tipo de fachada: Muro cortina.

Estructura del edificio: Hormigón armado y pilares perimetrales de acero.

Descripción: de debe considerar la antigüedad del edificio este fue construido en 1974 con tecnología de punta de aquel entonces. El incendio del Windsor el cual tiene dudosas causas de su ignición. Se inició en el piso 21. En este nivel no contaba con sistema de rociadores automáticos¹² y el sistema de detección de incendio estaba defectuosos. Este se propago de manera ascendente a través de la fachada por cavidades de encuentro de forjado/fachada y los materiales combustibles del

¹² La normativa de entonces, la CPI 96, obligaba la colocación de rociadores automáticos a partir de los 100 metros de altura y esta planta se encontraba a una altura de 96 metros.

aislamiento térmico. Luego de varias horas el fuego se propago de manera descendente hasta la planta 4 debido a la caída de pieza incendiada de la fachada. A este incendio se le atribuye el desplomo de varios niveles debido al colapso de las columnas de acero perimetrales, las que juntos al núcleo central de hormigón armado soportaban los forjados del edificio. Para (Ikeda, 2005) recalca cuatro de los principales factores que ayudaron al desarrollo de este incendio:

- Fallo en los equipos de detección y alarma para atender a tiempo la emergencia.
- Falta de instalación de rociadores automáticos para prevenir el crecimiento del incendio y garantizar la estabilidad de la fachada por un tiempo determinado.
- Falta de compartimentación en la fachada (franja de 1 m) para minimizar la propagación vertical.
- Falta de revestimientos de protección contra el fuego en los elementos estructurales de acero para prevenir el colapso.



Fig. 20 Esquema de desarrollo del incendio del Windsor. - <http://goo.gl/oUvVbw>

Torre Este, Complejo Parque Central. Caracas, Venezuela

Características:

Fecha: 1 de Oct. Del 2004
 Hora: 00:05
 Plantas: 56
 Altura: 221 m.
 Origen: Piso 34
 Tipo de fachada: Hormigo

Estructura del edificio: Hormigón armado.
 Causas:
 Plantas afectadas: 22
 Heridos: 3 Bomberos (principio de asfixia)

Descripción: a la fecha de hoy no hay ningún dato preliminar que muestre las causas del incendio. Pese que la edificación ya ha sido reformada. El fuego que se originó en el piso 34 quemó todo el contenido hasta el piso 50. Los dos últimos pisos, el 51 y el 52, fueron afectados parcialmente. Durante el incendio se observaron múltiples irregularidades en los sistemas de prevención e extinción (rociadores automáticos de incendio modelo F920B, falta de agua y presión en las tuberías para subir agua a más de 34 pisos entre otras cosas). Esto motivo a que los bomberos después de casi 12 horas tratando de sofocar el incendio perdieran el control sobre éste.

El incendio traspasó una “Macrolosa”^[13] del refugio contra incendios del piso 39 y siguió sin control hasta el piso 56 PH. Los bomberos atacaron el fuego vía aérea con helicópteros, lanzando agua para refrescar la estructura y una pertinaz lluvia que cayó al finalizar la tarde ayudaron a extinguir las llamas pero no fue sino hasta que se agotó el todo el material combustible que finalizó la lucha por si sola.



Fig. 21 Incendio de la Torre Este, Complejo Parque Central. - <http://goo.gl/dy2xfw>

¹³ Forjado de concreto post-tensado, las cuales tienen 3 m (10 pies) de grosor

Torre Costa del Este, Country Club (Financial Bank). Ciudad de Panamá, Panamá

Características:

Fecha: 28 de Sept. Del 2014
Hora: 14:00
Plantas: 54
Altura: 180m.
Origen: piso 53
Tipo de fachada: Muro cortina.

Estructura del edificio: Hormigón armado.
Causas: trabajos de soldaduras
Plantas afectadas:
Heridos: sin heridos

Descripción: El incendio se produjo en la torre de enfriamiento del edificio en el último nivel de la edificación. Versiones señalan que el siniestro inició a raíz de unos trabajos de soldadura, sin embargo; las autoridades investigarán las causas del mismo.

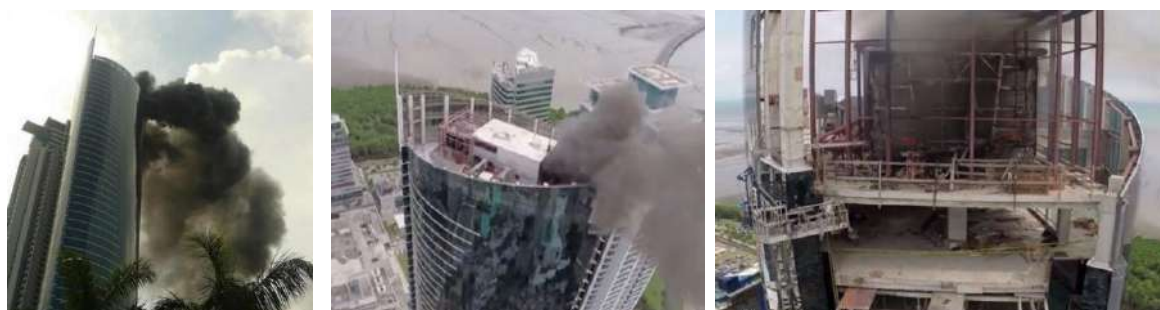


Fig. 22 Incendio en Costa del Este, Country Club. - <http://goo.gl/HDGUbW>

Edificio PH Bicsa Financial Center. Ciudad de Panamá, Panamá

Características:

Fecha: 12 de Oct. Del 2012
Hora: 17:00
Plantas: 69
Altura: 267 m.
Origen: Sótano
Tipo de fachada: Muro cortina

Estructura del edificio: Hormigón armado.
Causas: desconocido
Plantas afectadas: 34
Heridos: sin heridos

Descripción: El incendio se produjo y estuvo confinado en el segundo sótano del edificio, habilitado como depósito del lujoso inmueble, y debido al humo tóxico producto de la combustión de diferentes objetos y a las altas temperaturas (de hasta 400 grados centígrados) no pudieron ingresar en el local y sofocar las llamas. Aparentemente se propago el humo hacia los niveles superiores por la abertura que crearon los bomberos para poder sofocar el incendio. Solo se confirmó por los bomberos la caída de una rampa

como único daño de importancia en la edificación luego de 22 horas de incendio. El incendio tuvo una duración de 24 horas.



Fig. 23 Incendio en el Edificio PH Bicsa Financial Center. - <http://goo.gl/9qdLGq>

Hotel Intercontinental. Santo Domingo, Rep. Dom.

Características:

Fecha: 15 de Sept. Del 2015

Hora: 09:30

Plantas: 21

Altura: 85m

Origen: 5to pisos

Causas: sin Identificar

Plantas afectadas: sin definir

Heridos: sin heridos

Tipo de fachada: Acrilada

Estructura del edificio: Hormigón

Armado

Descripción:

Aun no se han especificados las circunstancias precisas por la cual ocurrió este incendio. Hasta hoy en día los datos apuntan a que se originó en el 5 nivel de la torre en construcción. Gracias a que solo se encuentra el nivel modelo con mobiliario, el fuego no tuvo suficiente combustible para desarrollarse y expandirse pese a que los equipos contra incendio no estaban instalados para la fecha.



Fig. 24 Hotel intercontinental. - (cdn.com.do, 2015)

Torre Altamar III. Santo Domingo, Rep. Dom.

Características:

Fecha: 23 de Sept. Del 2013

Hora: 00:00

Plantas: 12

Altura: 42 m

Origen: estacionamiento, planta 1

Causas: desperfecto en vehículo

Plantas afectadas: 5

Muertos: Sin víctimas mortales

Heridos: 5 personas heridos por inhalación de humos

Tipo de fachada: revestida en hormigo.

Estructura del edificio: Hormigón armado

Descripción: el incendio que se originó debido a imperfectos en el sistema de combustible en un vehículo en el nivel de estacionamiento (Nivel 1), se propago por radiación 2 vehículos más logrando así desarrollarse e iniciar así su propagación de manera vertical por la caja de escalera y ascensores. Dejando a los residentes de este edificio son sin vía de escape. Ya que el edificio no contaba con escalera de emergencias. La propagación del incendio tardo aproximadamente 3 horas.



Fig. 25 Torre Altamar III. - (El Nacional, 2015)

4. Propagación de incendio frente a la morfología de la fachada

Es común ver como la propagación del fuego al exterior se da en el desarrollo de un Flashover (combustión generalizada repentina) en el interior del recinto. Esta acumulación de presión, humos y altas temperaturas pueden quebrar los vidrios de ventanas y puertas abriendo pasos así a la descarga de las llamas hacia el exterior. Estos huecos son los que dejan salir las llamas permiten el flujo de aire (oxígeno) hacia el interior lo cual sería un suministro ilimitado de oxígeno a lo que favorece al fuego. Con el fuego en el exterior en contacto directo con la fachada (elemento vertical). Veremos cómo se propagara por efecto de convección. Ascendiendo así paralelamente a la fachada y actuando sobre está.

Por lo tanto, un incendio en una fachada es muy complejo de predecir y depende de una gran cantidad de factores. Algunos relacionados con los fenómenos físicos que rigen la dinámica del incendio, los cuales son de gran importancia para evaluar el comportamiento del fuego^[14] y su propagación en el exterior. Entre los que se pueden encontrar los siguientes:

- Condiciones del entorno y geometría de las fachadas.
- Elementos constructivos de las fachadas.
- Condiciones climatológicas.
- Concentración de los comburentes y combustibles.
- La superficie específica expuesta al ataque del fuego.
- Tamaño, número y distribución de los huecos de ventilación.
- Propiedades térmicas de los cerramientos del recinto.

¹⁴ **Comportamiento al Fuego:** conjunto de las transformaciones físicas y químicas de un material o de un elemento de construcción sometido a la acción destructiva del fuego.

- Tamaño, composición y localización de las fuentes de combustible que se incendian en primer lugar.
- Disponibilidad y ubicación de fuentes de combustible adicionales
- Correcto funcionamiento de las medidas de protección activa y pasiva del recinto

4.1. Clasificación de las fachadas y fachadas comunes en Sto. Dgo.

Las fachadas corresponden a la función de cerramiento y la estética para esto debe de mantener ciertos parámetros como son: La impermeabilidad al agua, resistencia al fuego, aislamiento térmico hacia el interior y aislamiento acústico hacia el interior. Lo cual puede variar según su materialidad o sistema constructivo.

Fachadas pesadas o convencionales: En esta categoría se incluyen todas aquellas fachadas tradicionales, de mampostería (Fabrica) o elaboradas de ladrillo visto, los enfoscados, los aplacados, elaboradas de piedra, madera, entre otras. También se incluyen las trasventiladas y las prefabricadas.

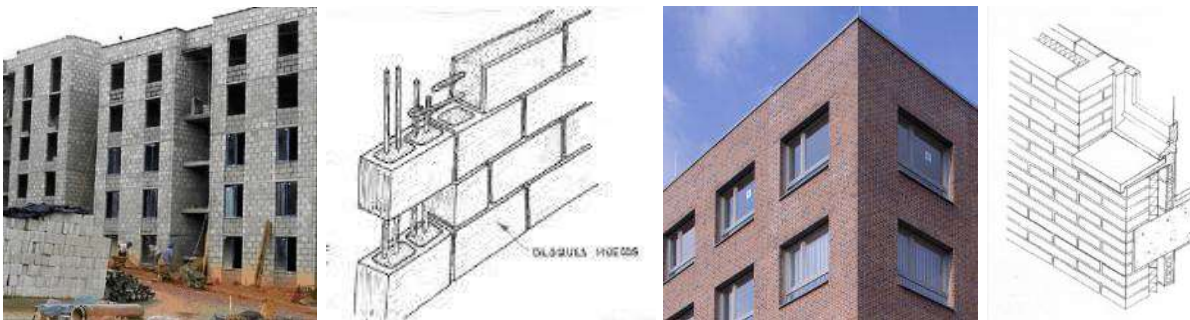


Fig. 26 Esquemas Constructivos de fachadas convencionales. - Imágenes de internet

Fachada ligera: (Muros cortina o fachada panel) ^[15], Funciona como una capa de piel que cuelga de la edificación. Es de poco peso, como lo indica su nombre, y no tienen relación con la estabilidad de la estructura. Resultan ser malos aislantes térmicos, así también como para el ruido, por este motivo algunas veces resultan más costosas pues hay que realizar una inversión extra en la calefacción o en aire acondicionado. Son

¹⁵ Muros cortina o fachada panel: depende de si la piel de la fachada es continua o se interrumpe en los forjados.

ventajosas por el hecho de que tienen poco peso, permiten el fácil paso de la luz y el montaje en las edificaciones de gran altura es bastante eficiente, así como también para una gran diversidad de espacios públicos. Estas fachadas en algunos casos suelen ir acompañadas de un Brise soleil.^[16]



Fig. 27 Vista de un muro cortina Brise Soleil aplicados. - Imágenes de internet

Fachada Ventilada o trasventiladas: esta fachada es una segunda piel o una falsa fachada. Su estructura compuesta por montantes, travesaños y cerramientos, pero en estas los montantes están anclados a los muros de fábrica, y las piezas correspondientes a los cerramiento tienen más peso, por lo general son placas elaboradas de piedra, cerámica o polímeros.



Fig. 28 esquema Constructivo de una Fachada ventilada. - Imágenes de internet

Fachadas prefabricadas: Compuestas por módulos de pared, previamente elaborados, listos para ensamblarlas en obra. Esta fachadas puede ser de distintos materiales como

¹⁶ Sistema de protección solar exterior formado por unas lamas de aluminio en disposición horizontal, vertical o inclinada, Para esta fijación se emplea una estructura de soporte formada por perfiles de aluminio y tubos de triangulación que se sujetan con piezas específicas.

hormigón, madera o modulares de paneles ligeros. También puede venir con los huecos predispuestos desde su fabricación.



Fig. 29 Paneles de Fachadas Prefabricadas. - Imágenes de internet

4.2. Propagación de fuego según el tipo de fachada

En este apartado utilizaremos como referencias principal los datos desarrollados en la tesis doctoral de Pilar Giraldo, (*Giraldo M. d., 2012*). Donde se describe a la perfección el comportamiento del fuego según la vía (fachada) por la que se propaga. Esta propagación puede darse por las 4 vías o la combinación de éstas según la características de la fachadas.

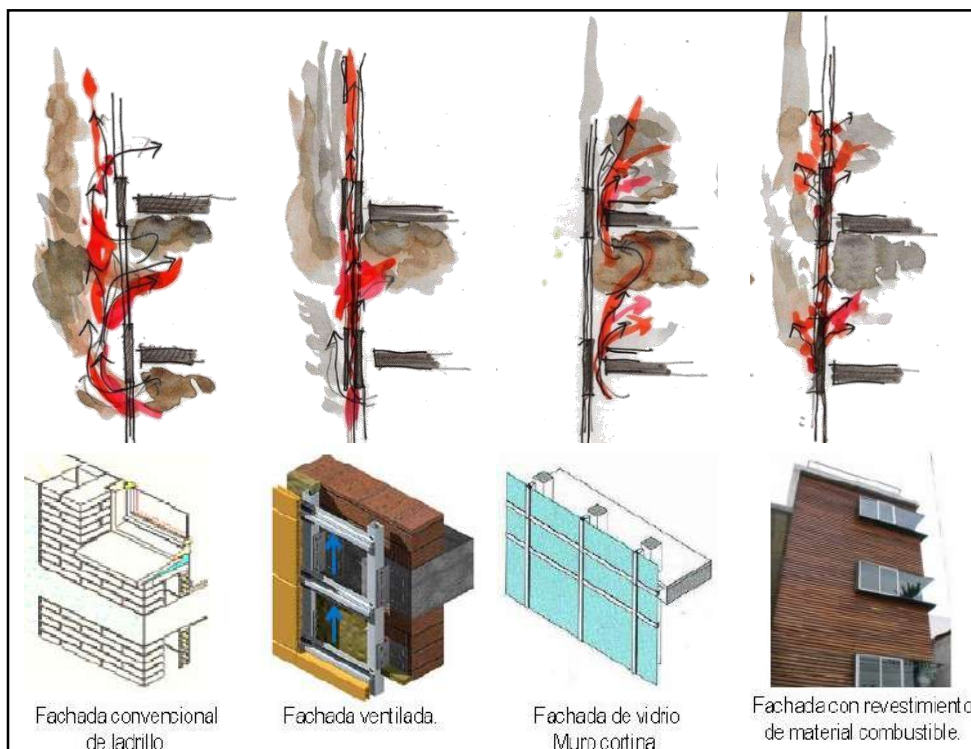


Fig. 30 Propagación de fuego en los distintos los principales tipos de fachadas. – Elaboración Propia

En las **fachadas convencionales de mampostería o fábrica** es muy común que la propagación sea por efecto de “Leap Frog”^[17] o Salto de Rana a través de una ventana o hueco. Aunque no se descarta que este efecto puede ocurrir en cualquier tipo de fachada. Asimismo (Giraldo M. P., 2014) apunta que: “La propagación ascendente por efecto natural incluso con materiales de revestimiento no Combustibles” (p. 10). Por lo que el “Leap Frog” puede manifestarse sin importar la materialidad o revestimiento de la fachada. Al producirse el Flashover el flujo de calor proyectado es suficientemente intenso para provocar la rotura de los vidrios de las ventanas en la planta superior. Con ello queda el riesgo de implantar un fuego secundario y continuar la propagación ascendente. Debe de considerarse que tanto los objetos (cortinas, persianas, toldos, ropa colgada, falsos techos o muebles arden con facilidad) ubicados en las inmediaciones de la fachada tanto como los que están dentro de la habitación en las plantas superiores sirven de puente para que el fuego penetre.



Fig. 31 Incendio en el piso 20 de 42 en 43rd Street en NY. - <http://goo.gl/b0umNh>

En las **fachadas ligeras o muros cortinas** es común la propagación por medio de la cavidad del encuentro del forjado y la fachada. Esto se debe a que la solución constructiva para prevenir la propagación del fuego a través de la cavidad del encuentro del forjado y la fachada presenta alguna deficiencia. Por lo que el fuego puede penetrar por la cavidad hacia las plantas superiores del edificio. Asimismo según el tamaño de las cavidades o altura del forjado a la fachada con respecto a la cavidad, el comportamiento del fuego es diferente. Como muestra las simulaciones de (Giraldo M. d., 2012).

¹⁷ Leap frog (salto de rana): capacidad o efecto del incendio para propagarse de forma ascendente y secuencial a través de las ventanas de un edificio. Se da como resultado de una intensa emisión de llamas y humo en las ventanas de un recinto.

En la simulación se aprecia un escenario con tres tipos de posiciones (elevación) del forjado. En el cual son sometidos a un incendio durante 350 segundos. La posición 1 con mayor apertura en la parte superior de la cavidad. La posición 2 ambas apertura de misma dimensión. Y la posición 3 donde la apertura inferior es mayor. La simulación arroja los como resultados. Que la posición 1 genera un propagación más fluida en comparación a las demás, ya que. No obstaculiza el paso del fuego. Manteniéndose sin cambios en el comportamiento del fuego las llamas queda apretadas e Incrementando el flujo de calor en los niveles superiores.

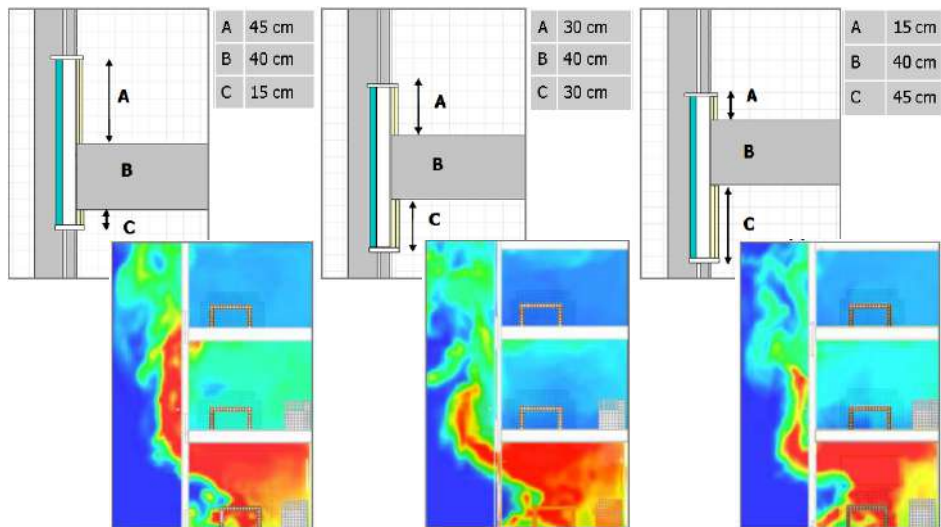


Fig. 32 Simulación según ubicación de la franjas respecto a los forjados. - (Giraldo M. d., 2012) (p.362)



Fig. 33 1- Deformación y fallo de la junta perimetral entre forjados y fachas. 2- Sellador Absorbe deformaciones de junta, impidiendo el paso de humo y fuego entre plantas. Sellador proyectable. (Hilti CFS CFS W). - <http://goo.gl/1YdnL6>

En las **fachadas ventiladas** la propagación del fuego puede deberse a que esta fachada carezca de elementos de compartimentación capaces de impedir el paso del fuego. Con base en la tipología de esta fachada la cual se caracteriza por tener diversos acabados de revestimiento y materiales en la estructura, los cuales pueden tener un mayor o menor

grado de combustibilidad. También es común el uso de espuma rígida de poliuretano como en las fachadas ventiladas solución al aislamiento térmico, impermeabilidad, y estabilidad mecánica. A pesar de que sus fabricantes aseguran que este material en base a poliuretano no alimenta el incendio, sino que se retrae y carboniza frente a una situación de incendio. Sin embargo el mayor problema de las fachadas ventiladas es el efecto chimenea que se crea en ellas durante un incendio, el cual puede concentrar las llamas, humos y las altas temperaturas.

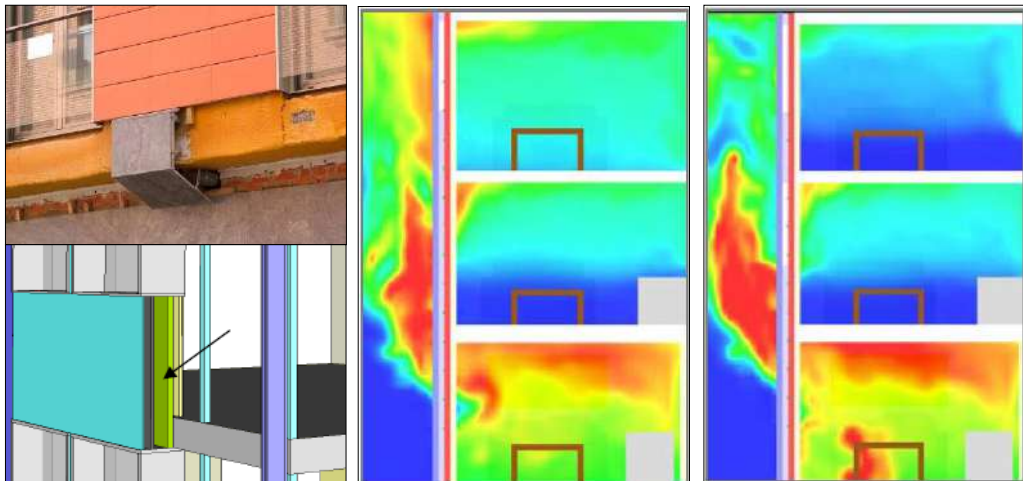


Fig. 34 Simulación de incendio con una cámara ventilada con material de aislamiento térmico combustible (Graf. 3) y aislamiento térmico incombustible (Graf. 4). (Giraldo M. P., 2014) (p.64)

En la fig. 32 se aprecia una simulación en un escenario idéntico sometido durante 300 segundos. Donde únicamente cambia el nivel de combustión del material aislamiento térmico. En las simulaciones se evidencia como material aislante combustible genera una propagación mayor a través de la cámara ventilada, logrando penetrar en ambos niveles superiores. En comparación al material no combustible. Que solo penetra en el primer nivel superior y sus llamas no se adhieren a la fachada.

Por otra parte están las **fachadas prefabricadas y las fachadas con revestimientos combustibles**. A pesar de que muchos de los fabricantes de fachadas prefabricadas aseguran que sus fachadas tienen un bajo impacto al fuego. Se debe recordar que estos suelen ser creadas en base a materiales polímero, aunque estos materiales (poliestireno expandido, el poliestireno extruido o las espumas rígidas de poliuretano) estén aislado dentro de un recubrimiento no combustible. El flujo de calor suele ser lo suficientemente

alto para que el aislante térmico entre en ignición. El principal inconveniente de estos materiales es que al ser sometido al fuego desprende una gran cantidad de humos y gases tóxicos. Los cuales son nocivos para los usuarios de las edificaciones en cuestión.

Asimismo los revestimientos con alto grado de combustión utilizados en fachadas pueden dar lugar a una situación de incendio rápida y de gran intensidad capaz de emitir una radiación muy elevada. Por lo que el riesgo de propagación por radiación a otra edificación es más elevado debido a que el flujo del calor del penacho procedente de las ventanas se suma la radiación emitida por una superficie que entra en combustión. Por lo que se recomienda que los materiales instalados en las fachadas cumplan con las normas establecidas aplicables en materia de seguridad en caso de incendio.

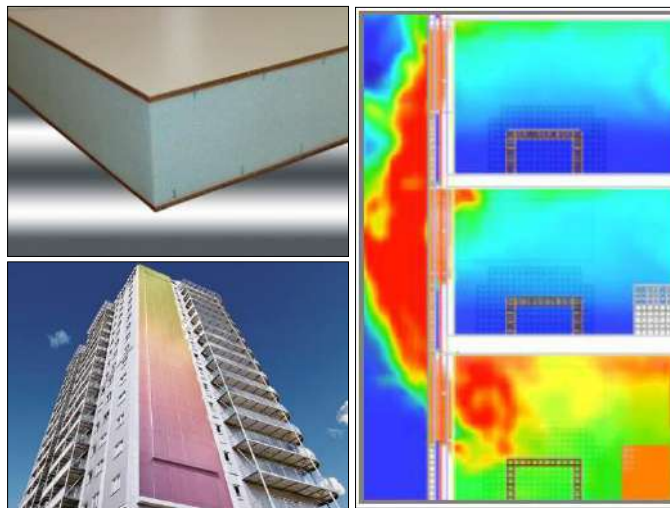


Fig. 35 Panel Sandwich de Aluminio. Ejemplo de uso del panel Sandwich. Simulación de incendio de una fachada con Revestimiento combustible. - Donde se aprecia una intensa propagación debido a la aportación del mismo material utilizado en la fachada. - <http://goo.gl/qxNdBg> - <https://goo.gl/dmeR1P> - (Giraldo M. d., 2012) (p.377)

4.3. Propagación de fuego según el tipo de elementos en la fachada

Elementos como Muros, Vuelos (Aleros), Quiebra Soles (Brise Soleil), Tramas, Balcones o elementos ornamentales como jardineras etc... son de los principales elementos que configuran una fachada arquitectónica. Estos elementos juegan un papel importante tanto en la estética de la edificación o como ente de influencia en la propagación de fuego. Por lo general éstos son de hormigón o material de baja combustión. Pudiendo ser beneficiosos ya que dependiendo de su disposición y dimensiones pueden actuar

como barreras o Spoiler (Deflectores) cambiando el flujo y trayectoria del fuego o de las altas temperaturas.



Fig. 36 Torre Atiemar, Edificio del Banco Central de Rep. Dom y Edificio Scotiabank – Fotos: <http://goo.gl/bCXT2t> y (Moré, 2008) (p. 284 y 373)

Así como los elementos geométricos son esenciales para una edificación cada elemento en está juega un papel en el desarrollo de la dinámica del fuego. No obstante, la morfología, volumen, geometría y distribución de los elementos del recinto con una configuración o diseño apropiada. Estos elementos pueden favorecer a revertir u obstaculizar los efectos de la propagación a través de la fachada. Por otra parte los elementos de protección verticales (franjas) no limitan la propagación vertical ni la incidencia directa del fuego sobre los niveles superiores a diferencia de los elementos horizontales como los aleros o balcones. Es decir, “aunque una fachada disponga de franjas las llamas pueden transmitir un flujo de calor suficiente para romper los vidrios de las ventanas y penetrar a plantas superiores a través de las ventanas”. (Giraldo M. d., 2012).

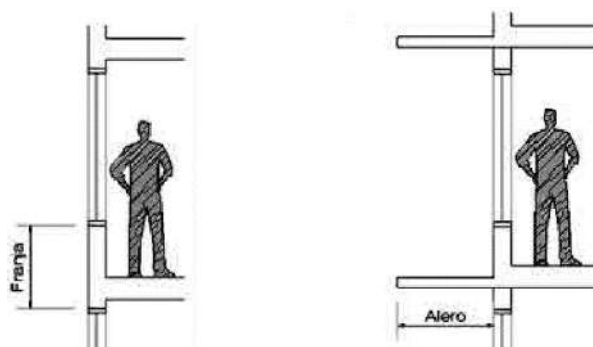


Fig. 37 Elementos verticales de protección (franja, Paño, etc.). Elementos horizontales (Vuelos, balcones, etc.). - (Giraldo M. d., 2012) (p. 199)

Cada uno de estos elemento tiene cambia el comportamiento y trayectoria de la propagación del fuego. Este cambio de trayectoria se ve reflejado directamente en el

penacho. Según los análisis de (Giraldo M. d., 2012). “Los aleros tiende a desviar la trayectoria del penacho de fuego hacia el exterior alejándolo de la superficie de la fachada, los parteluces tienden a canalizarlo y concentrarlo sobre la zona que delimitan. Mientras, trama, no desvían claramente la trayectoria del penacho de fuego pero tampoco la canalizan” (p.343). Sino que crean un efecto combinado de la dos anteriores el cual produce un régimen cambiante con un penacho indeterminado e irregular.

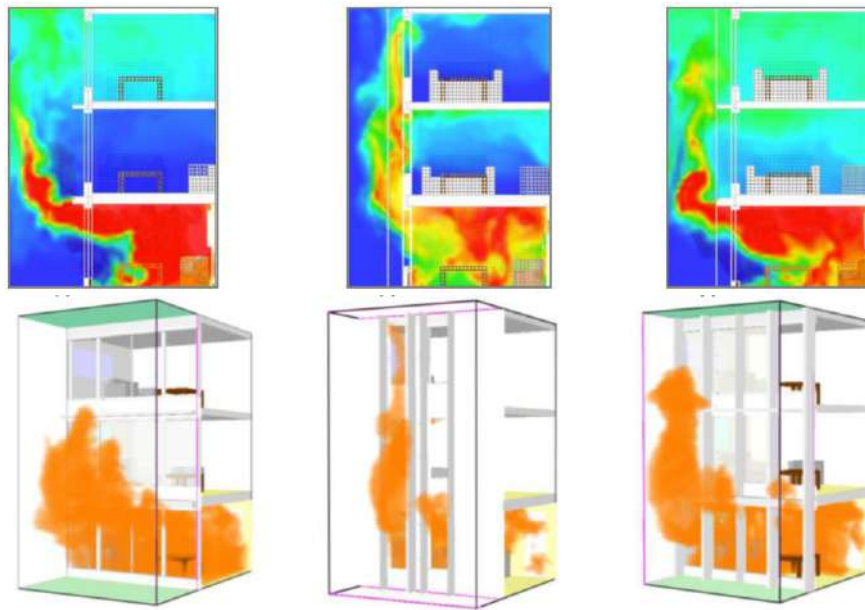


Fig. 38 Comportamiento del fuego frente a los diferentes tipos de elementos de una fachada. - (Giraldo M. d., 2012)

En el caso de los aleros (vuelos), su comportamiento y función frente al fuego es la de deflectores del penacho. Vemos como a mayor tamaño del alero mayor será el vuelo hacia el exterior del penacho. Y como un alero de 60cm de longitud. Puede separar el penacho de la fachada.

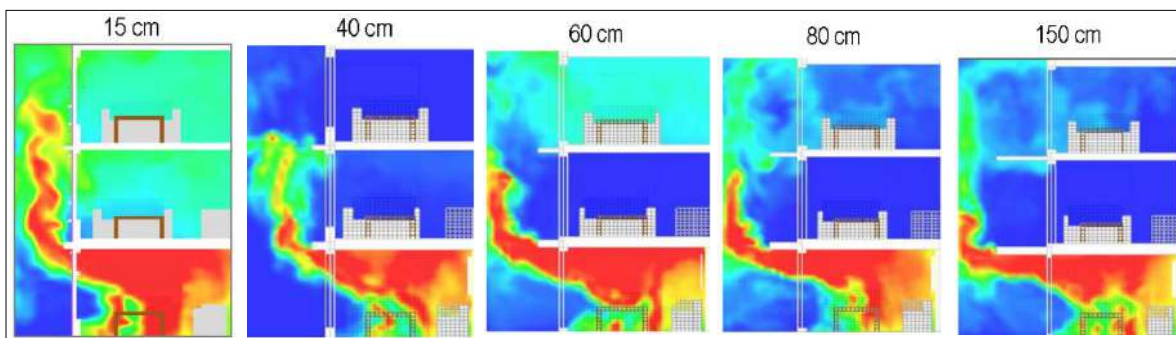


Fig. 39 Comparación de simulaciones de incendios con distintas longitudes en los aleros y las franjas de las ventanas. (Giraldo M. P., 2014)

Otro de los factores que puede afectar el comportamiento del fuego en al fachadas es el espesor de los muros de cerramiento. Esté genera geometrías diferentes de acuerdo al telar de las ventanas (alféizar, dintel, jambas). Influyendo con la trayectoria del penacho de fuego, aunque con muy poca incidencia en la evolución del incendio en el recinto. A menor espesor de muro el penacho de fuego es esbelta y el flujo de calor se establece cerca de la fachada. Mientras que un cerramiento de mayor espesor el penacho de fuego es más pronunciada pero su trayectoria es levemente inclinada hacia el exterior.

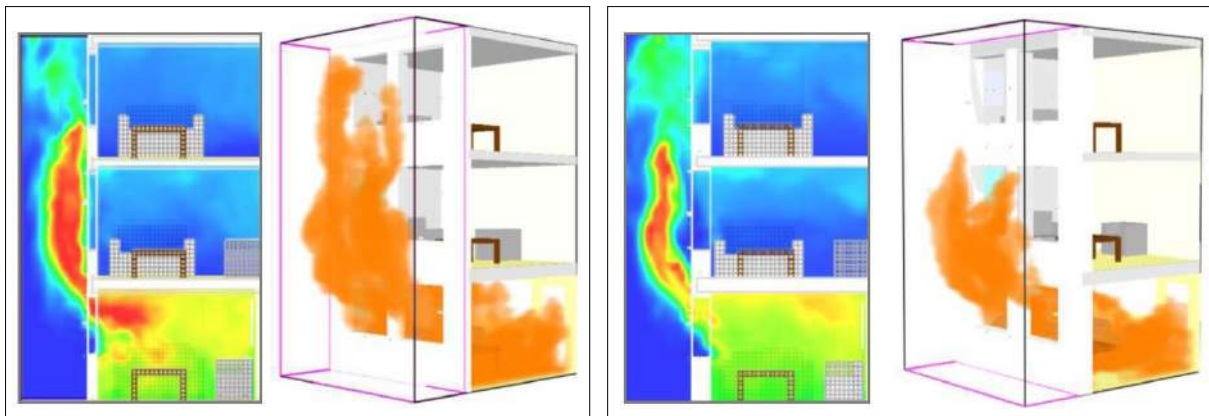


Fig. 40 Comparación de la propagación del fuego según espesor de muros. Graf 1 muros de 24cm. Graf. 2 Muros de 41cm. (Giraldo M. P., 2014)

En las vistas de perfil se aprecia que el muro más ancho desvía ligeramente la trayectoria del penacho de fuego hacia el exterior. Asimismo las temperaturas registradas mostraron que el flujo de calor tiene menor alcance en altura en el muro. Asimismo es conveniente considerar que el efecto de proyección provocado por un espesor mayor serán leve, y por tanto podría ser insuficiente para limitar la incidencia del flujo de calor sobre el nivel superior, sin embargo puede contribuir a la reducción del flujo de calor sobre el siguiente nivel y con ello podría reducir la probabilidad de propagación del incendio a las plantas superiores.

Otros de los elemento de la fachada son las aperturas (huecos y ventanas), éstas juegan un papel importante antes y durante la dinámica del desarrollo del fuego. La geometría incide directamente en el factor de ventilación. Post Flashover inicia la fase de propagación a través de la apertura, propagando las llamas al exterior. Mientras simultáneamente se adentran un flujo de aire hacia el interior del recinto. Este flujo de

aire favorece alimentando el incendio. Por tanto incrementando así el riesgo de la propagación por la fachada. En consecuencia a mayor tamaño de las ventanas mayor crecimiento del penacho. Dado que la densidad de flujo de calor y el tamaño de las llamas son proporcionales a las ventanas por las cuales se proyectan.

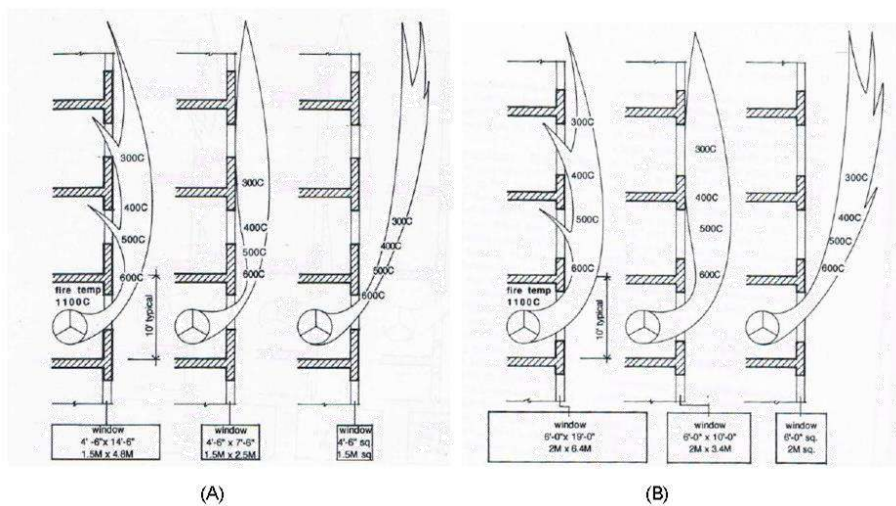


Fig. 41 Relación del tamaño y forma de las ventanas con el comportamiento del penacho de fuego. (A) Ventanas de distintos anchos y 1,50 m (h) (B) Ventanas de distintos anchos y 2,0 m (h). (Patterson, 1993)

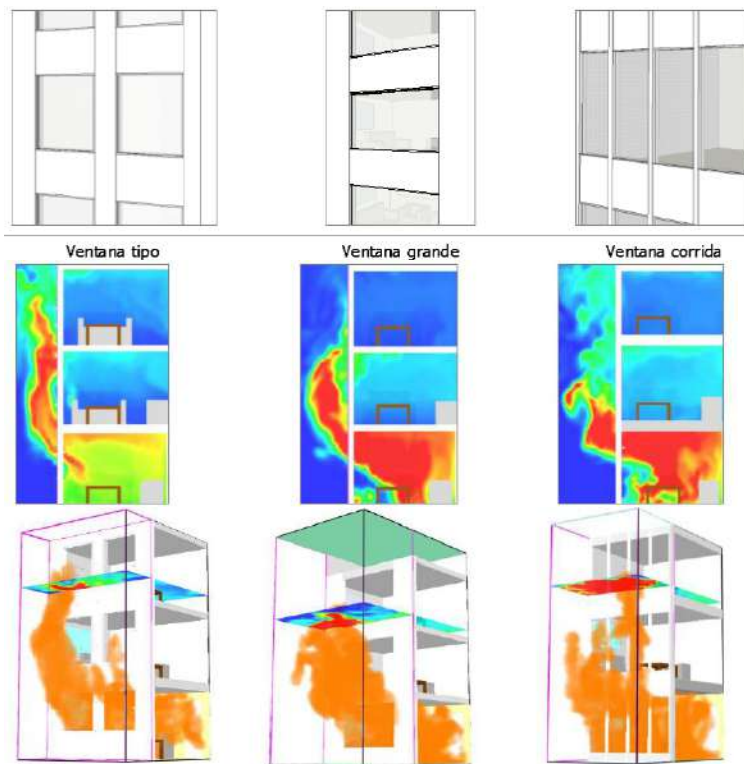


Fig. 42 Comparación de la propagación del fuego según las dimensiones de las ventanas (Giraldo M. P., 2014)

En los gráficos de las simulaciones hechos por Pilar Giraldo se aprecian las diferencias en la propagación del fuego en los diferentes casos, Donde el tamaño de penacho de fuego sobresale. (Giraldo M. d., 2012) Afirma que:

“Se podría afirmar que el tamaño de éste es directamente proporcional al tamaño de la ventana por la cual se proyecta hacia el exterior, por lo tanto las configuraciones con ventana grande y ventana corrida presentan un penacho con un tamaño considerablemente mayor al de la ventana tipo”. (p.333)

En la misma describe las distintas formas de penacho de fuego con respecto a la ventana de la cual proviene. Donde el penacho de fuego de la ventana tipo de (1.5x1.5m; 2.25m²) es esbelto y curvilíneo, asimismo en la ventana grande (2.8x1.8m; 5.04m²) se torna algo oscilar y con una forma cambiante, mantiene una curva acentuada que retorna sobre las ventanas del nivel superior y concentra hacia la superficie. Luego la ventana corrida (4x1.9m; 7.6m²) presenta un gran penacho amorfo que ocupa todo la ventana, con una trayectoria concentrada cercana a la fachada, incidiendo de forma permanente sobre ésta.

Por otra parte las normativas de distintos países han considerados la geometría de la fachada y estos elementos como posibles ente para limitar la propagación vertical del fuego. Del mismo modo el código técnico de la edificación (CTE) y seguridad en caso de incendio plantea que para impedir la propagación vertical del incendio debe existir, entre ellos, una franja mayor o igual que 1 m, medida sobre el plano de la fachada, que tenga una clasificación frente al fuego igual o mayor que EI60.

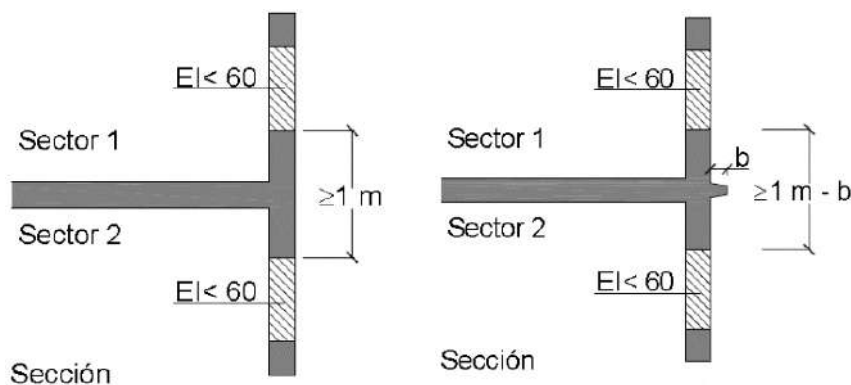


Fig. 43 Esquema de cálculo de separación de huecos en la fachada. (Código Técnico de la Edificación de España, 2015)

Casos como Francia, Noruega y Bélgica quienes contemplan en sus normativas el uso de franjas verticales, vuelos o balcones de mínimo un metro de separación sin importar la proporción entre la franja vertical y el elemento horizontal. Con el fin de impedir la propagación vertical del fuego entre ventanas. Mientras en el caso de Suecia respecto a este punto solo establece el mínimo de 1.2 metros de separación vertical entre ventanas.

Concerniente a las fachadas desfasadas o retranqueadas la normativa francesa contempla que la suma de franjas o aleros será igual a un metro cuando la carga de fuego prevista en el sector de incendio sea inferior a los 130 Mj/m². Esto sin importar la orientación o desfase de la fachada. Y en caso de que la carga de fuego sea mayor a 130mj/m² las sumas de las distancias serán mayor o igual a 1.3 metros.

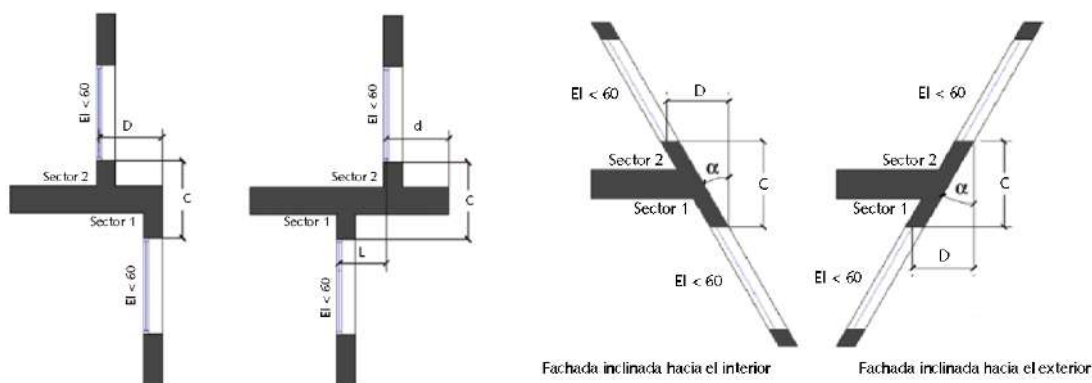


Fig. 44 Esquema de cálculos para fachadas retranqueadas según la Normativa Francesa. (Zavala, 2014)(p.29)

5. Simulación de propagación por fachada en un edificio residencia en Sto. Dgo.

En el siguiente apartado se busca de manera breve desarrollar mediante un modelo computacional el tema central de la presente tesis, el cual consiste en la descripción del escenario simulado y los análisis de los resultados arrojados a partir de éstos. El análisis

se realizara mediante el software de modelado y simulación computacional de incendio PyroSim el cual cuenta con una plataforma de FDS. El cual permite evaluar la propagación del fuego a través de la fachada.

De modo que la intención principal de esta fase experimental, es aproximarse al fenómeno de la propagación exterior del fuego mediante un modelo virtual a escala de unos posibles escenarios de incendio, lo cual reflejaría las situaciones concretas que podría suceder en el diseño de esta fachada. Y así determinar puntos que requieren ser revisados desde el punto de la perspectiva de la seguridad contra incendios. Sin embargo. Dada la complejidad del fenómeno del fuego, este estudio se ha centrado principalmente en la evaluación de algunos aspectos físicos de su desarrollo, los cuales son de gran importancia en la dinámica del incendio. Por lo cual se han considerado agrupar los componentes de evaluación que están relacionados factores físicos en grupos: la Configuración geométrica de la fachada, sus elementos constructivos y los factores climatológicos y de ventilación. Donde también consideraremos la influencia de los materiales combustibles que pudiesen existir en el escenario. Basados en estos se buscará analizar los posible se efectos de la propagación como: La evolución del incendio, su trayectoria, la velocidad de propagación, forma y tamaño del penacho de fuego, la superficie de exposición al fuego, las condiciones físicas (térmicas, visuales, gases y oxígeno) dentro de los recintos.

El escenario de simulación consiste en un módulo de cocina de 3 plantas de un apartamento ubicado en la ciudad de Santo Domingo. Aunque solo se trata de un representación a escala ofrece la alternativa de probar distintas variables bajo lo parámetro de la simulación. Por una parte la prueba consistirá en observar y valorar los efectos de un incendio que se origina en el 4to nivel de la edificación (planta cero del modelo virtual) y se propaga hacia el exterior a través de las ventanas.

5.1. Definición de los parámetros a analizar

Concerniente al análisis, nos planteamos parámetros básicos que consideramos de suma importancia desde el punto de vista de la seguridad contra incendio, que el software nos permite evaluar. Por otra parte la problemática principal de este estudio se centra en dos aspectos: el punto de ignición del fuego dentro del recinto y el medio de propagación. Sin embargo los efectos de mayor interés para los análisis se dan en la fase post Flashover, es decir, cuando se proyecta el penacho de fuego hacia el exterior del recinto y el incendio se propaga a través de la fachada.

En cuanto a nuestro caso específico los parámetros están establecidos por las propias limitaciones del modelo a ensayar. En caso de nuestro modelo son: las dimensiones de la ventana y la materialidad de la fachada. De igual manera, un pequeño saliente perteneciente al descanso de la escalera de emergencia, La franja entre ventanas, condiciones de térmicas propio del modelo, el flujo y dirección de vientos a través de la ventana, Etc.

5.2. Descripción del escenario de simulación

La fase experimental de este análisis consta de una prueba realizada mediante simulación computacional de incendio. El análisis se realizó en el software de la compañía Thunderhead Engineering, “PyroSim” versión 2015.4 el cual cuenta con una plataforma FDS (Fluid Dynamics Simulator) ^[18] versión 6.3.2. Sirviendo este como interfaz gráfica de modelado y Smokeview versión 1.8.0_60 para la visualización de los resultados.

Las variables son los datos de entrada (Inputs) los detalles relacionados al escenario y los aspectos que forma parte del proceso de la simulación. En nuestro caso son: La geometría del recinto, el tamaño y características de la malla computacional, las

¹⁸ El FDS (Fluid Dynamics Simulator), es una potente herramienta que permite evaluar situaciones de incendio determinadas considerando diversas variables.

condiciones de ventilación, el tiempo de simulación, las propiedades térmicas de los diferentes componentes del escenario (paredes, techo, suelo y mobiliario) la localización de la fuente de ignición y sus propiedades, entre otros.

5.3. Descripción del modelo

Para esta simulación utilizaremos el bloque de cocina el proyecto en construcción “Torre GG-26”. La cual es una edificación de altura baja según la clasificación de (Emporis, 2015). Su entrega está prevista para finales del verano del año 2016. Está ubicada en el sector de Piantini en el polígono central de la ciudad de Santo Domingo. Es exclusivamente de carácter residencial y cuenta de 37.54m de elevación distribuido en 14 apartamentos en 9 niveles más 1 niveles de estacionamientos sobre rasante y un nivel de estacionamientos soterrado. Su sistema estructural es porticado en hormigón armado y sus cerramientos en fabrica (Mampostería) de Bloques de cementos, revestido de mortero y luego pintura.



Fig. 45 Planta Arquitectónica y Elevación Frontal del edif. GG-26 - Cortesía de Estudio Hjaldo

Utilizaremos como escenarios la cocina de apartamento Tipo B. la cual tiene una superficie de 8.47m² dos vías de acceso (Puertas de madera) de la cuales ninguna da al exterior. Una ventana de vidrio con marcos de aluminio, con una apertura de 2.4x0.60m o 1.44m² de superficie. Elevada a un 1.10m sobre el nivel de piso terminado y 10cm sobre la meseta. La cocina está equipada con mobiliarios convencionales, en su gran mayoría compuesto de madera. A excepción de la estufa, extractor de grasas y el refrigerador.

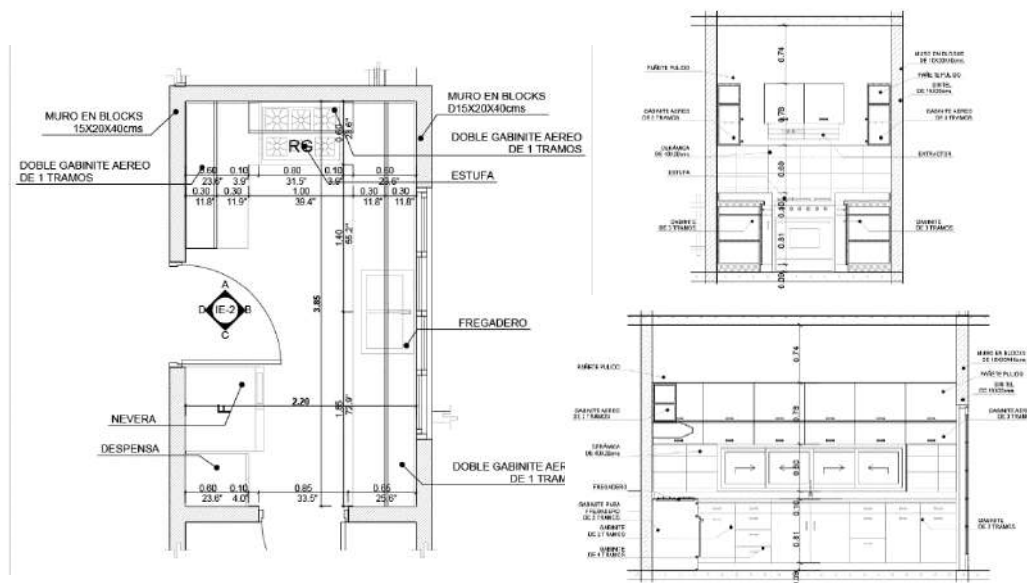


Fig. 46 Detalles de la cocina del Bloque B - Cortesía de Estudio Hjaldo

Concerniente al origen del incendio el punto de ignición. Este ocurre sobre la superficie de 0.9x0.9m de estufa (no se consideraron ningún tipo de combustible) ubicada en el 1er nivel de modelo. La fuente de ignición se caracteriza por un quemador de 8100 cm² emitiendo 1000 kW/m² del tipo Simple Chemical Model. Por la otra parte los datos climatológicos se utilizarán por default a excepción de la temperatura la cual será de 26 °C. Asimismo los mobiliarios de la cocina le fueron asignados en sus superficies los valores de "MATERIAL" Yellow Pine agregándole el dato de calor de combustión de 16.8kg/m³. Igualmente los materiales Concreto Y Steel se le asignaron valores predeterminados por Pyrosim.

The figure displays several configuration panels from the Pyrosim software interface:

- Environment Panel:** Includes settings for Ambient Temperature (26.0 °C), Ambient Pressure (1.01325E5 Pa), Ambient Oxygen Mass Fraction (0.232378 kg/kg), Ambient Carbon Dioxide Mass Fraction (5.95E-4 kg/kg), Atmospheric Lapse Rate (0.0 K/m), Relative Humidity (40.0 %), Ground Level (0.0 m), Maximum Visibility (30.0 m), Visibility Factor (3.0), and Initial Wind Velocity (X dir: 0.0 m/s).
- Radiation Panel:** Includes options to Enable Radiation Transport Solver and Use Wide Band Model (slower), along with Time Step Increment (3), Angle Increment (5), Number of Solid Angles (100), Number of Polar Angles (15), Assumed Radiative Source Temp. (900.0), Constant Absorption Coefficient (0.0), and Path Length.
- Heat Release Panel:** Features tabs for Thermal, Geometry, Particulate Injection, and Advanced. Under Thermal, it shows Heat Release Rate Per Area (HRRPUA) set to 1000.0 kW/m², Mass Loss Rate (0.0 kg/(m²·s)), Ramp-Up Time (Default), and Extinguishing Coefficient (0.0 m²·s/kg).
- Fuel Panel:** Includes tabs for Fire Suppression, Byproducts, and Advanced. It shows Fuel Type set to Simple Chemistry Model, with a note: "Fuel assumed to contain only C, O, H, and N." Composition values are: Carbon atoms (2.0), Hydrogen atoms (6.0), Oxygen atoms (1.0), and Nitrogen atoms (0.0).
- Material Properties Panels:**
 - YELLOW PINE:** Density (640.0 kg/m³), Specific Heat (Constant, 2.85 kJ/(kg·K)), Conductivity (Constant, 0.14 W/(m·K)), Emissivity (0.9), Absorption Coefficient (5.0E4 1/m), Heat of Combustion (16.8 kJ/kg).
 - STEEL:** Density (7850.0 kg/m³), Specific Heat (Constant, 0.46 kJ/(kg·K)), Conductivity (Constant, 45.8 W/(m·K)), Emissivity (0.95), Absorption Coefficient (5.0E4 1/m).
 - CONCRETE:** Density (2280.0 kg/m³), Specific Heat (Constant, 1.04 kJ/(kg·K)), Conductivity (Constant, 1.8 W/(m·K)), Emissivity (0.9), Absorption Coefficient (5.0E4 1/m).

Fig. 47 parámetros considerados para el modelado en Pyrosim

5.3.1. Diseño del escenario

Para este ensayo la recogida de los datos se realizará mediante termopares (o dispositivos) y planos animados (Slice) los cuales tomarán datos de diferentes tipo y ubicarán en lugares de interés de los modelos según la figura 46.

También consideraremos parcialmente los datos de la velocidad de cesión del calor HRR (Heat Release Rate) también llamado taza de compensación de calor, de la cual el FDS aporta un promedio de KW por unidad de tiempo (s) para todo el recinto, es decir, no se requiere ubicar ningún termopar para su obtención. Igualmente los planos dispuesto en el escenario detectaran la trayectoria y temperaturas emitidas por el penacho de fuego. Asimismo se colocaron tres dispositivos detectores de calor. El HD. Ubicado en el centro de la cocina. El D1 ubicado en el interior cercano a la ventana. Funciona como activador para la ventana al alcanzar 400°C. El D2 ubicado a 30cm sobre la fuente de reacción y entre los gabinetes. Y el D3 ubicado en el exterior de la cocina cerca al ras de franja superior a la ventana.

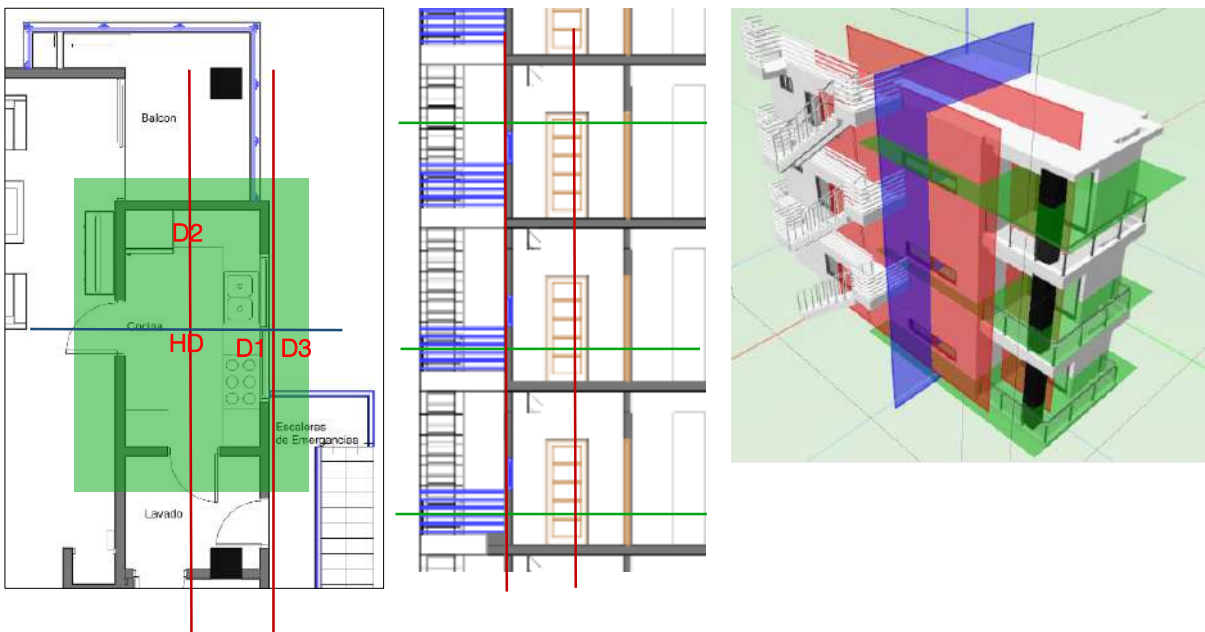


Fig. 48 Ubicación de los dispositivos. – Elaboración Propia

En cuanto a la visualización se utilizaron 6 planos animados (Slice) en total 3 de estos para observar el comportamiento del fuego. El numero 1 ubicado al ras y paralelo al del muro, 2 cortando la cocina longitudinalmente y el 3ero cortando de modo transversal y atravesando la puerta y ventana. El 4to y 5to plano están colocados a una altura de 0.9m sobre el Nivel de piso terminado (NPT). De las plantas 1 y 2. Con el fin de tomar medidas de visualización. Por último el 6to plano está colocado el 3er nivel a una altura de 1.8m sobre el NPT. Y simplemente es un apoyo de toma de datos visuales.

5.4. Análisis e interpretación de los resultados

En este apartado buscaremos examinar los resultados relacionados a las fases de simulación. Nos basaremos en el método de la observación del comportamiento del fuego y sus tendencias comparando los datos arrojados por Pyrosim. El escenario fue programado para simular: La fase inicial de fuego, el incremento de las llamas, la concentración de calor dentro del recinto y la propagación del fuego a otros objetos hasta la rotura de la ventana o activación de la ventana (en la simulación), para alcanzar el Flashover¹⁹. Dado que es la situación de mayor peligro para la fachada y también estadísticamente resulta ser la más significativa.

Concerniente a la simulación se puede apreciar como la ignición desde su inicio fue lo suficientemente potente y en los 10 primeros segundos llegó a alcanzar aproximadamente 1000°C. No siendo esta la temperatura pico. En las gráficas inferiores se muestra el comportamiento de la temperatura en diferentes puntos del recinto. En este se muestra como la trayectoria del calor fluye a través de la cocina hacia la ventana y como la temperatura del calor desciende al salir del recinto.

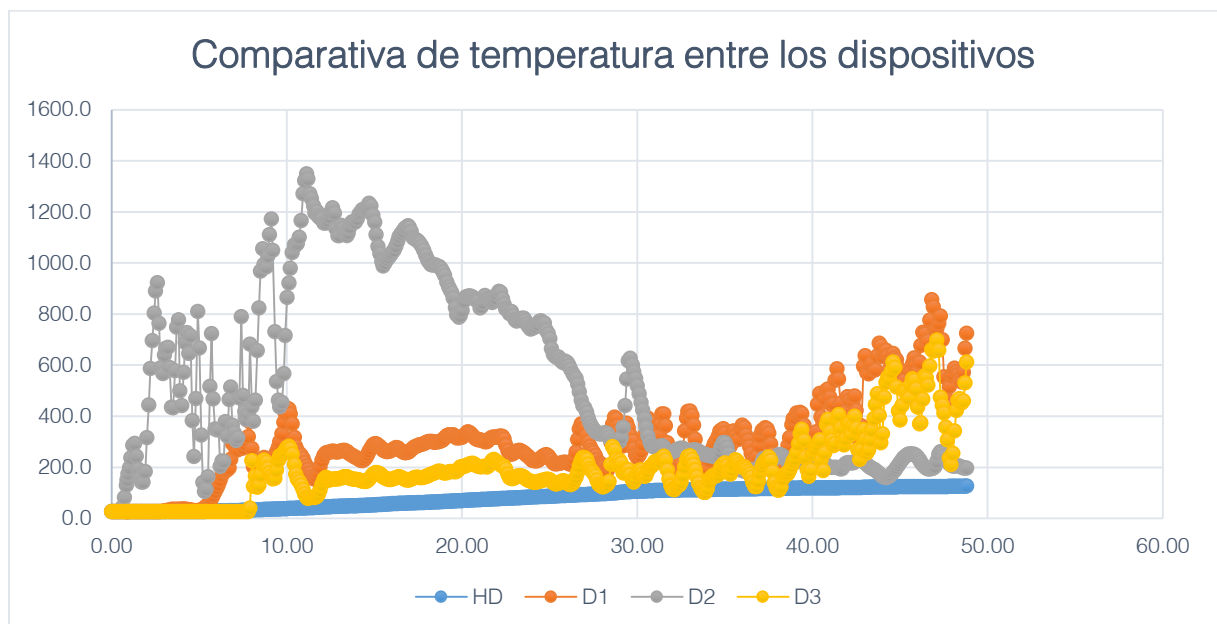


Fig. 49 Comparativa de las temperaturas entre los dispositivos. – Elaboración Propia con datos de Pyrosim

¹⁹ Se desarrolla de forma similar en todos los escenarios, salvo en aquellos que involucran el factor de ventilación

En lo tocante a las temperaturas vemos como a partir de los 9 segundos, el dispositivo 1 (D1) colocado en la ventana alcanza los 400°C y es cuando se activa el control de la ventana. Como resultado el Flashover. De igual forma se evidencia el incremento de la temperatura en los dispositivos D1, D2 y D3. Sin embargo el dispositivo HD mantiene incremento ligeramente progresivo a bajas temperaturas.

Por otra parte. A partir del segundo 40 se aprecia el inicio de combustión de los mobiliarios de la cocina. Con ellos el incremento de las temperaturas luego de un descenso aproximado de 1100°C de está. Éste incremento se mantiene fluctuoso a partir del segundo 40. Esto debido a la inestabilidad de la combustión de los mobiliarios. En cuanto a la región de ignición muestra un descenso de temperatura considerables a partir del segundo 30. Lo cual es sinónimo de su sofocamiento.

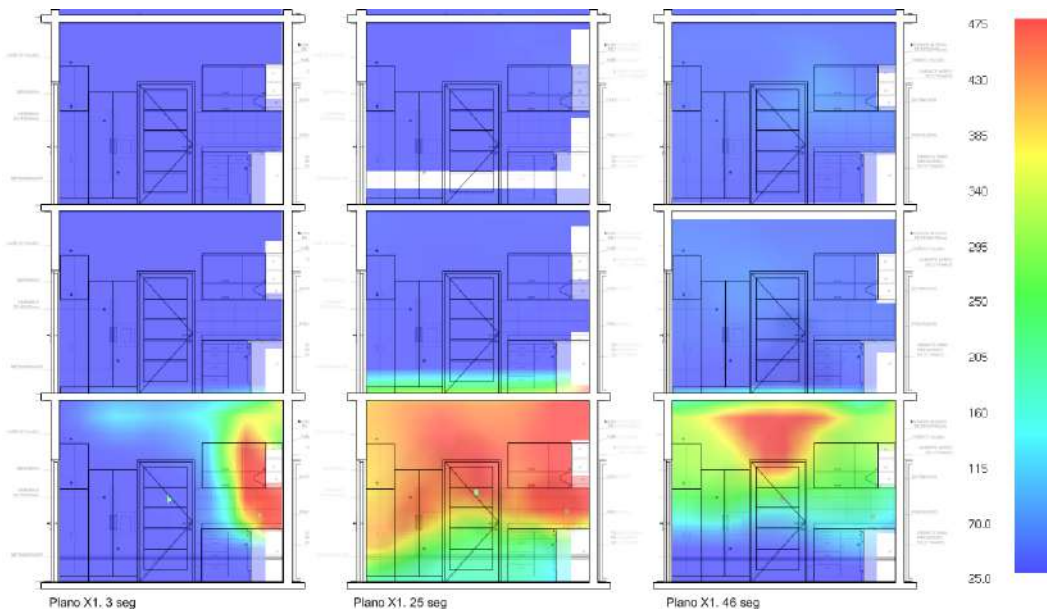


Fig. 50 Plano en el eje X1. Tomadas en los segundos 3, 25 y 46. – Elaboración Propia con datos de Pyrosim

La figura 50 pertenece al plano animado X1 ubicado en el centro de la cocina cortándola longitudinalmente. En éste se muestra la incidencia del fuego a los largo de la cocina. Es de considerarse como las altas temperaturas siempre se mantienen sobre los 80cm de altura desde el NPT. Además durante los 20 a 30 segundos es cuando se las altas temperaturas se concentran en la mayor parte del volumen del recinto y posteriormente dando paso a Flashover. Provocando así las salida del calor y los humos a través de la ventana.

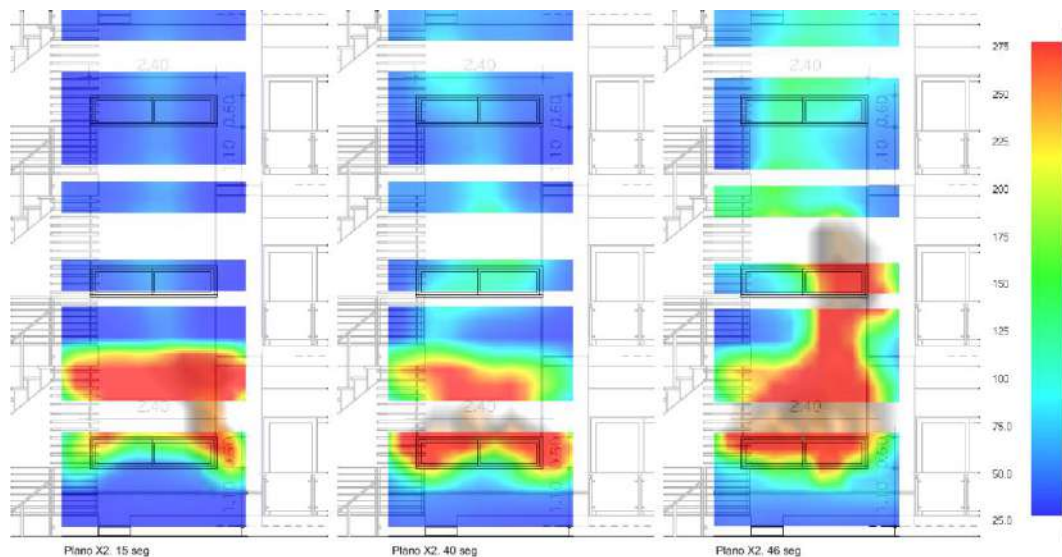


Fig. 51 Plano en el eje X. Tomas a segundo 15, 40 y 48. – Elaboración Propia con datos de Pyrosim

La figura 51 pertenece al plano animado X, ubicado en el exterior al ras del muro de la fachada. En él se muestra como incide el flujo de calor sobre la fachada. Es palpable como a partir del segundo 40 las llamas se expanden horizontalmente concentrándose en toda el área de las ventanas. Así mismo en esta etapa el penacho de fuego es bastante fluctuante con una temperatura aproximada de 425°C los cual se puede percibir en la toma del segundo 46. Dónde el penacho toma elevación atravesando la franja de 3.24m de largo, hasta alcanzar la ventana del nivel superior.



Fig. 52 Plano en el eje Y. Tomadas en los segundos 8 y 20. – Elaboración Propia con datos de Pyrosim

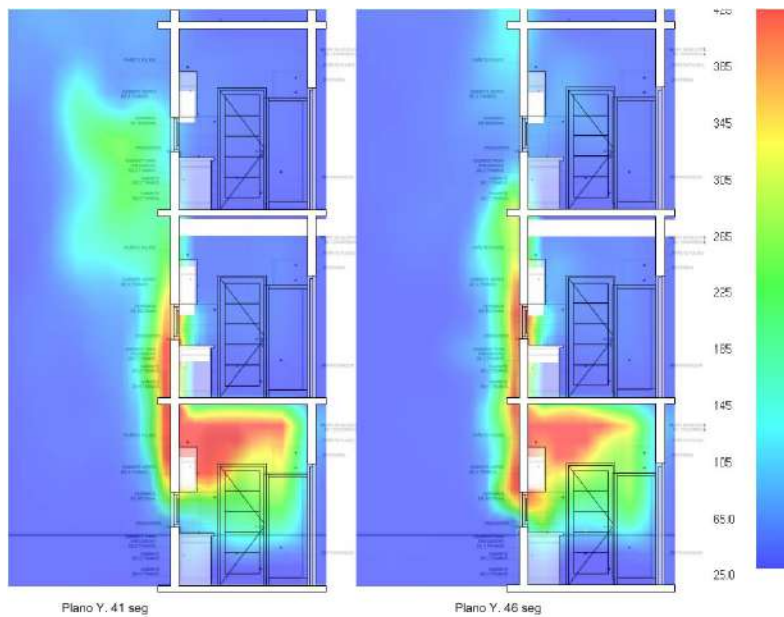


Fig. 53 Plano en el eje Y. Tomadas en los segundos 41, y 48. – Elaboración Propia con datos de Pyrosim

La figura 52 y 53 pertenece al plano animado Y. ubicado en el centro de la cocina cortándolo transversalmente. Se muestra de manera eficaz la evolución de la propagación del fuego hacia el exterior a partir de los segundo 20. Y como en éste a partir de los 40 segundos se visualizan la propagación vertical del fuego, con una temperatura máxima de 425°C que interactúa con la fachada. Posterior al segundo 46 la llama torna esbelta y su curva desaparece parcialmente. Estas llamas acompañadas de las altas temperatura y gases logran su mayor altura sobrepasando los 7 metros de elevación. A pesar de que la llamas no penetra en el nivel 2 se debe considerar que, objetos (cortinas, toldo. etc.) de fácil inflamación cercanos a la ventana pueden combustionar por efecto de radiación de las altas temperaturas favoreciendo así a la propagación en el interior de este planta.

Por otra parte, la tasa de compensación de calor muestra una progresión de menor a mayor en la intensidad de la propagación del fuego en los segundos 10, 27 y 40. Los cual es considerable debido a que en el segundo 10 se rompe la ventana, lo que conlleva a integrar el flujo de viento en el recinto. En el segundo 40 sucede un caso parecido debido quizás a las fluctuaciones del penacho del fuego hacia el exterior.

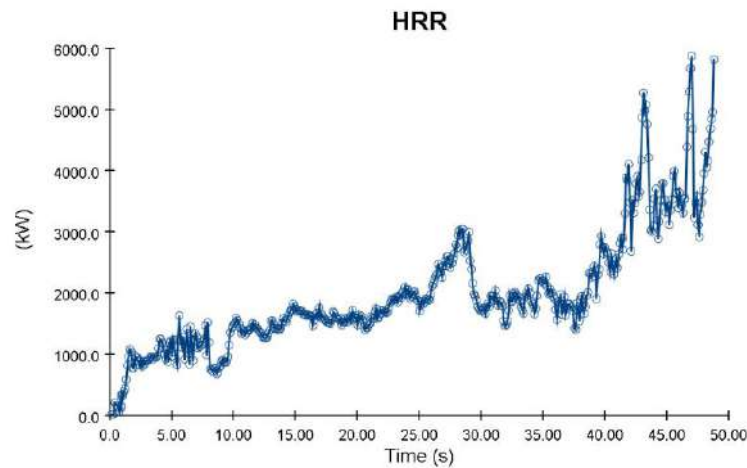


Fig. 54 Taza de compensación de Calor. – Datos de Pyrosim

6. Conclusiones

La investigación que se ha llevado a cabo en este trabajo de final de máster nació del interés de abordar distintos aspectos relacionados con la propagación del fuego a través de las fachadas, puesto que éste es un tema muy poco explorados en Latinoamérica y el Caribe, a pesar del crecimiento vertical que ésta ha tenido en los últimos años. Asimismo, para iniciar el contenido de este apartado, se han de recodar brevemente los objetivos planteados a principio de este trabajo de final de máster:

- Prevenir la propagación de incendio vertical por fachada durante las fases de diseño y constructivas de una edificación.
- Aportar el conocimiento necesario para optimizar el diseño arquitectónico de una edificación de altura contra un posible incendio.
- Minimizar el impacto de un incendio mediante sistemas pasivos y activos contra fuego.

Para lograr los objetivos fijados este trabajo, se han desarrollado en 5 capítulos principales, donde cada uno de estos aporta de manera precisa conocimientos sobre la temática trabajada en particular. Se ha realizado un inventario de edificios de altura en Sto. Dgo. Así como también hemos repasado los artículos aplicados en la Rep. Dom. Correspondiente a la prevención de incendios en edificios de altura. Las cuales se basan

en las normativas de la NFPA. Pero de manera muy superficial, donde predominan los sistemas interiores de prevención contra incendio en las edificaciones de altura, dejando de lado la importancia que tienen los incendios y la propagación por fachada en éstas.

Asimismo se han analizado diferentes incendios reales ocurridos en edificios de la región. También podemos considerar que a partir de la consulta de este trabajo se pueden llegar múltiples conclusiones. Esto dependerá de los conocimientos previos que tenga el lector y de los resultados o aplicaciones que necesite obtener. Cabe recordar que este trabajo tiene como objetivo expreso, servir como punto de partida a nuevos trabajos e investigaciones futuras.

A continuación, en el capítulo 5 se ha realizado una simulación computacional de la propagación de un incendio por fachada. Cabe resaltar que el capítulo referente a la propagación de Incendio frente a la morfología de la fachada. Sirve a la vez como predictor e hipótesis de lo que sucedería en la simulación y en un caso real de incendio. No obstante la experimentación permite observar el comportamiento del fuego en una situación determinada. Asimismo la simulación realizada ha permitido obtener datos específicos y cuantitativos útiles para deducir ciertas tendencias del comportamiento del fuego en este caso en particular.

En este mismo sentido, uno de los parámetros recurrente en la investigación previa fue el factor que representa la geometría de la fachada en el comportamiento de fuego. Contemplando ésta desde el punto de vista que la geometría, siendo ésta la configuración que abarca todos los elementos referentes a las fachadas. Asimismo la geometría de las fachadas suponen variaciones en el comportamiento del fuego, lo que nos lleva a reflexionar sobre la importancia que juega ésta y como debe ser considerada durante el proceso del diseño arquitectónico.

En cuanto a nuestro caso de simulación, la geometría de la fachada resulto desfavorable ante la propagación de fuego por la fachada. Esto fue debido básicamente a dos factores fundamentales planteados anteriormente:

- La proporción y la disposición de la ventana: este es un factor o característica singular de esta edificación. la cual emplea en su módulo de cocina ventanas de 2.4x0.6m dispuestas a una altura de 1.1m sobre el NPT (no frecuente en la tipología de residencial de la región). La poca altura de la ventana ayudo a extender la franja. Esta misma disposición tuvo como efecto una aplicación del espacio (volumen) sobre el nivel de la misma ventana. Concentrando en este espacio las altas temperaturas por tanto postergando el Flashover. Aunque se debe considerar que este será más potente debido a las fuertes cargas de los gases y de las temperatura.
- La dimensión de la franja: la dimensión de la franja es de 2.64m. más de un 1.64m mayor de los que demanda él (Código Técnico de la Edificación de España, 2015) lo cual es de 1m. esto se debe principalmente a la altura de los apartamentos ya la baja disposición de la ventana. De igual forma consideraremos que la fachada está recubierta con materiales de baja combustión.

En otro orden de ideas, suponíamos que la cercanía del descanso de la escalera de emergencia sería un facto significativo en el comportamiento de la propagación del fuego. Sin embargo, éste no tuvo ningún efecto. Por una parte cabe recalcar que es muy frecuente el uso de escaleras de emergencia en la cercanía de las cocinas. Y que estos elementos de circulación verticales suelen ser recubiertos con metales los que podría significar un impacto negativo en una posible exposición al fuego.

7. Referencia Bibliográfica

7.1. Referencia Bibliografía

Astray, F. N. (1987). *Incedio en edificios de Gran Altura*. MAPFRE SEGURIDAD(25), 39-44.

Ayuntamiento de Barcelona. (14 de Julio de 2011). *Procedimiento Operativo PROCOP 1.13 Intervención en edificios de Gran Altura*. Ayuntamiento de Barcelona. Area de prevención, Seguridad y Movilidad, Bomberos. Obtenido de http://www.zapater.org/incendios_urbanos/procop_ega/procop_ega.htm

Caro, A. D. (19 de abril de 2012). Edificios en altura. Concepto. Obtenido de Ángel Díaz Caro: <http://diazcaro.com/edificio-en-altura-conceptos/>

Código Técnico de la Edificación de España. (2015). Código Técnico de la Edificación Documento Básico sobre Seguridad en caso de incendio. Obtenido de <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DB SI.pdf>

Cuerpo de Bombero de Santo Domingo. (2010). *Edificaciones modernas no cuentan con sistema antisísmico ni de incendios*. EL Bombero, 6.

Fundacion Fuego. (2014). *Fire Seminar 2014: Seguridad y Protección contra Incendios*. Fire Seminar 2014: Seguridad y Protección contra Incendios. Barcelona. Obtenido de http://www.fundacionfuego.org/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=542:fire-seminar-2014-seguridad-y-proteccion-contra-incendios

Giraldo, M. d. (2012). *Evaluación Del Comportamiento Del Fuego Y Protección Contra Incendios En Diversas Tipologías De Fachadas (Tesis Doctoral)*. Barcelona, Barcelona, España.

Giraldo, M. P. (20 de Nov. de 2014). La propagación del incendio. *Instituto Catalán de la Madera, Bilbao*.

Ikeda, K. (2005). *Collapse Mechanism of the Windsor Building by Fire in Madrid and the Plan for its Demolition Process*, Fire Safety Design Group Design Division Shimizu Corporation 1-2-3. Workshop on Emergency Response and Rescue. Tokyo.

Moré, G. L. (2008). *Historias para la construcción de la arquitectura dominicana, 1492-2008*. Santo Domingo, República Dominicana: Grupo León Jimenes.

National Fire Protection Association (NFPA). (2006). *Life Safety Code*. Las vega.

- National Fire Protection Association (NFPA). (2013). NFPA Glossary of Terms. Obtenido de <http://goo.gl/48CUIB>*
- National Fire Protection Association -NFPA-. (2013). NFPA Glossary of Terms. Obtenido de <http://goo.gl/48CUIB>*
- Oficina Nacional de Estadística. (2014). Dominicana en Cifras 2014. Recopilación e integración de información., Oficina Nacional de Estadística de Republica Dominicana, Dirección Nacional de la Oficina Nacional de Estadística, Santo Domingo.*
- Parmeggiani, L. (1989). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. (M. d. Social, Ed.) Madrid, España.*
- Pastoriza, A. P. (2012). Análisis Del Comportamiento En Caso De Incendio De Las Diferentes Tipologías De Edificios De Gran Altura Construidos En El Siglo Xx En Barcelona Y Su Área Metropolitana (Tesis De Grado). Barcelona.*
- Zavala, G. P. (2014). Propagación vertical del incendio en encuentros de forjados y fachadas retranqueadas. Revista prevencion de incendios(61), 29. Obtenido de http://issuu.com/riesgolaboral/docs/revista_prevencion_de_incendios_n*

7.2. Referencia Web y Diarios Digitales

- cdn.com.do. (26 de Noviembre de 2015). cdn.com.do. Obtenido de <http://www.cdn.com.do/noticias/2015/09/15/se-incendia-una-torre-en-construccion-en-piantini/>*
- El Nacional. (06 de Noviembre de 2015). El Naciaonal. Obtenido de <http://elnacional.com.do/rescatan-51-residentes-en-una-torre-incendiada/>*
- El Pais. (2 de Enero de 2016). El Pais. Obtenido de El Pais: http://internacional.elpais.com/internacional/2015/12/31/actualidad/1451584937_479487.html*
- Emporis. (13 de Nov de 2015). emporis.com. Obtenido de <http://www.emporis.com/city/101197/santo-domingo-dominican-republic>*
- Ikeda, K. (2005). Collapse Mechanism of the Windsor Building by Fire in Madrid and the Plan for its Demolition Process, Fire Safety Design Group Design Division Shimizu Corporation 1-2-3. Workshop on Emergency Response and Rescue. Tokyo.*

La prensa. (02 de Diciembre de 2015). La prensa. Obtenido de <http://goo.gl/9qdLGq>

Skyscraperpage. (07 de Nov de 2015). Skyscraperpage. Obtenido de skyscraperpage.com: <http://skyscraperpage.com/diagrams/?cityID=908>

7.3. Referencia de Figuras

Fig. 1 Edificios de altura en las principales ciudades del Caribe. - Elaboración Propia con datos extraídos de (Emporis, 2015)	12
Fig. 2 Banco Central y “Huacal” - (Moré, 2008. p.291)	14
Fig. 3 vista del complejo Malecón Center - @jcorporcello.....	15
Fig. 4 Edificios de Altura de la Rep. Dom. - (Skyscraperpage, 2015).....	15
Fig. 5 Distrito Nacional. - (Google Maps)	17
Fig. 6 Número de Edificios de Altura en los Sectores de Distrito Nacional – Elaboración Propia.....	17
Fig. 7 Clasificación por Altura y Uso de Edificio de alturas en Sto. Dgo. – Elaboración Propia.....	18
Fig. 8 vista aérea de la Torre Caney y las Torres Mar Azul I, II y III. - @drfromsky.....	19
Fig. 9 Plaza Silver Sun Gallery, Edificio corporativo 20/10 y Torre Arboleda II. – Tomadas de Internet.....	21
Fig. 10 Triángulo del Fuego- – Elaboración propia	26
. Fig. 11 Tetraedro del Fuego. – Elaboración propia	27
Fig. 12 Fases del fuego en un material. - http://goo.gl/7c0lfb	30
Fig. 13 Propagación del fuego en un incendio	31
Fig. 14 Fases en las que el incendio está controlado por el combustible o controlado por la ventilación. - CFTB-US LLC http://cfbt-us.com/	33
Fig. 15 La geometría de las ventanas es un factor determinante en los incendios controlados por la ventilación. - (Giraldo M. d., 2012)	34
Fig. 16 Orígenes de un incendio en la fachada. - http://goo.gl/7Nkj9k	36
Fig. 17 Incendio originado desde el interior de la edificación. - http://goo.gl/7Nkj9k	39
Fig. 18 Hotel The Address Downtown - http://goo.gl/4jPWOI	40
Fig. 19 Hotel Mandarin Oriental - http://goo.gl/3psNM5	41
Fig. 20 Esquema de desarrollo del incendio del Windsor. - http://goo.gl/oUvVbw	42
Fig. 21 Incendio de la Torre Este, Complejo Parque Central. - http://goo.gl/dy2xfw	43

Fig. 22 Incendio en Costa del Este, Country Club. - http://goo.gl/HDGUbW	44
Fig. 23 Incendio en el Edificio PH Bicsa Financial Center. - http://goo.gl/9qdLGq	45
Fig. 24 Hotel intercontinental. - (cdn.com.do, 2015)	46
Fig. 25 Torre Altamar III. - (El Nacional, 2015).....	46
Fig. 26 Esquemas Constructivos de fachadas convencionales. - Imágenes de internet.....	48
Fig. 27 Vista de un muro cortina Brise Soleil aplicados. - Imágenes de internet.....	49
Fig. 28 esquema Constructivo de una Fachada ventilada. - Imágenes de internet	49
Fig. 29 Paneles de Fachadas Prefabricadas. - Imágenes de internet.....	50
Fig. 30 Propagación de fuego en los distintos los principales tipos de fachadas. – Elaboración Propia	50
Fig. 31 Incendio en el piso 20 de 42 en 43rd Street en NY. - http://goo.gl/b0umNh	51
Fig. 32 Simulación según ubicación de la franjas respecto a los forjados. - (Giraldo M. d., 2012) (p.362).....	52
Fig. 33 1- Deformación y fallo de la junta perimetral entre forjados y fachas. 2- Sellador Absorbe deformaciones de junta, impidiendo el paso de humo y fuego entre plantas. Sellador proyectable. (Hilti CFS CFS W). - http://goo.gl/1YdnL6	52
Fig. 34 Simulación de incendio con una cámara ventilada con material de aislamiento térmico combustible (Graf. 3) y aislamiento térmico incombustible (Graf. 4). (Giraldo M. P., 2014) (p.64).....	53
Fig. 35 Panel Sandwich de Aluminio. Ejemplo de uso del panel Sandwich. Simulación de incendio de una fachada con Revestimiento combustible. - Donde se aprecia una intensa propagación debido a la aportación del mismo material utilizado en la fachada. - http://goo.gl/qxNdBg - https://goo.gl/dmeR1P - (Giraldo M. d., 2012) (p.377).....	54
Fig. 36 Torre Atiemar, Edificio del Banco Central de Rep. Dom y Edificio Scotiabank – Fotos: http://goo.gl/bCXT2t y (Moré, 2008)(p. 284 y 373)	55
Fig. 37 Elementos verticales de protección (franja, Paño, etc.). Elementos horizontales (Vuelos, balcones, etc.). - (Giraldo M. d., 2012) (p.199)	55
Fig. 38 Comportamiento del fuego frente a los diferentes tipos de elementos de una fachada. - (Giraldo M. d., 2012)	56
Fig. 39 Comparación de simulaciones de incendios con distintas longitudes en los aleros y las franjas de las ventanas. (Giraldo M. P., 2014)	56
Fig. 40 Comparación de la propagación del fuego según espesor de muros. Graf 1 muros de 24cm. Graf. 2 Muros de 41cm. (Giraldo M. P., 2014).....	57
Fig. 41 Relación del tamaño y forma de las ventanas con el comportamiento del penacho de fuego. (A) Ventanas de distintos anchos y 1,50 m (h) (B) Ventanas de distintos anchos y 2,0 m (h). (Patterson, 1993)	58
Fig. 42 Comparación de la propagación del fuego según las dimensiones de las ventanas (Giraldo M. P., 2014)	58

Fig. 43 Esquema de cálculo de separación de huecos en la fachada. (Código Técnico de la Edificación de España, 2015)	59
Fig. 44 Esquema de cálculos para fachadas retranqueadas según la Normativa Francesa. (Zavala, 2014)(p.29).....	60
Fig. 45 Planta Arquitectónica y Elevación Frontal del edif. GG-26 - Cortesía de Hjaldo estudio	63
Fig. 46 Detalles de la cocina del Bloque B - Cortesía e Hjaldo estudio	64
Fig. 47 parámetros considerados para el modelado en Pyrosim.....	65
Fig. 48 Ubicación de los dispositivos.....	66
Fig. 49 Comparativa de temperaturas entre los dispositivos.	67
Fig. 50 Plano en el eje X1. Tomadas en los segundos 3, 25 y 46.	68
Fig. 50 Plano en el eje X. Tomas a segundo 15, 40 y 48.....	69
Fig. 51 Plano en el eje Y. Tomadas en los segundos 8, 20, 41, y 48.	70
Fig. 53 Taza de compensación de Calor	71

8. Anexos

Listado de las edificaciones de altura en Santo Domingo

Edificios	Altura (m)	Niveles	Uso	Tipo	Año	Sector
Torre Anacaona 27	180	42	Residencial	Rascacielos	2016	Los Cacicazgos
Torre Caney	150	39	Residencial	Rascacielos	2008	Los Cacicazgos
Torre Mar Azul I	140	37	Residencial	Rascacielos	2013	Los Cacicazgos
Silver Sun Gallery	130	30	Comercial	Rascacielos	2013	Ens. Naco
Malecon Center 1	122	31	Residencial	Rascacielos	2003	San Geronimo
Malecon Center 2	122	31	Residencial	Rascacielos	2003	San Geronimo
Malecon Center 3	122	31	Comercial	Rascacielos	2003	San Geronimo
Torre Mar Azul II	120	32	Residencial	Rascacielos	2013	Los Cacicazgos
Torre Mar Azul III	120	32	Residencial	Rascacielos	2013	Los Cacicazgos
Torre Citibank	115	22	Comercial	Rascacielos	2002	Piantini
Torre Azul	105	27	Residencial	Rascacielos	-	Los Cacicazgos
Torre Da Silva 4	100	24	Residencial	Rascacielos	2009	La Esperilla
Hotel Hilton	100	23	Comercial	Rascacielos	2003	San Geronimo
Torre del Sol	89	25	Residencial	Edificio Alto	1993	La Julia
Torre del Parque	85	23	Residencial	Edificio Alto	2002	Jardines del Embagador
Torre Carib	85	23	Residencial	Edificio Alto	2003	Los Cacicazgos
Torre Veiramar 2	85	22	Residencial	Edificio Alto	-	San Geronimo

ALCO Paradisso	83	22	Residencial	Edificio Alto	2005	La Esperilla
Soleil Grand I	81	24	Residencial	Edificio Alto	2012	La Esperilla
Soleil Grand II	81	24	Residencial	Edificio Alto	2013	La Esperilla
Torre Washington II	80	22	Residencial	Edificio Alto	-	El Cacique
Torre Atiemar 1	80	21	Residencial	Edificio Alto	-	La Esperilla
Torre Pedro Henríquez Ureña	80	23	Residencial	Edificio Alto	-	La Esperilla
Intercentro	78	18	Comercial	Edificio Alto	2003	Ens. Naco
Blue Mall	78	22	Comercial	Edificio Alto	2013	Piantini
Torre del Conservatorio	77	24	Residencial	Edificio Alto	2003	La Esperilla
Torre Hispania	77	22	Residencial	Edificio Alto	2010	La Esperilla
Torre Les Champs	76	20	Residencial	Edificio Alto	-	Los Cacicazgos
Torre Logroval XV	76	20	Residencial	Edificio Alto	-	Los Cacicazgos
Hotel el Prado	73	18	Comercial	Edificio Alto	-	Gascue
Torre Empresarial Forum	72	17	Comercial	Edificio Alto	-	El Millon II
Torre Azar	72	18	Comercial	Edificio Alto	-	Piantini
Torre Alexandra	70	20	Residencial	Edificio Alto	-	Ens. Paraiso
Torre Romanza	70	22	Residencial	Edificio Alto	-	La Esperilla
El Faro a Colón	70	31	Monumento	monument	1992	
Palma Real	70	18		Edificio Alto	1999	
Torre Libertador	69	19	Residencial	Edificio Alto	1999	Los Cacicazgos
Torre Naragua II	69	19	Residencial	Edificio Alto	1998	Los Cacicazgos
Torre Luperon I	65	18	Residencial	Edificio Alto	-	Av. Luperon
Edificio de oficina de Estado	65	14	Gubernamental	Edificio Alto	1973	Gascue
Torre Tabare	65	20	Residencial	Edificio Alto	-	Gascue
Torre Bolivar 1005	65	20	Residencial	Edificio Alto	1994	La Julia
Torre la Citadelle	64	20	Residencial	Edificio Alto	2000	La Esperilla
Torre Laurel III	63	18	Residencial	Edificio Alto	-	Los Cacicazgos
Torre Piatini	63	18	Residencial	Edificio Alto	2001	Piantini
Torre Luz	63	17	Residencial	Edificio Alto	2004	Serralles
Banco Central	62	13	Comercial	Edificio Alto	1976	Gascue
Torre Parco Mare	62	17	Residencial	Edificio Alto	-	La Esperilla
Torre Luperon II y III	60	18	Residencial	Edificio Alto	-	Av. Luperon
Torre Sarasota	60	18	Comercial	Edificio Alto	-	Jardines del Embagador
Torre Palmera X	60	18	Residencial	Edificio Alto	-	La Esperilla
Torre Palmera XI	60	18	Residencial	Edificio Alto	-	La Esperilla
Torre Dorada	60	17	Residencial	Edificio Alto	2005	Los Cacicazgos
Edificio Corporativo 2010	60	15	Comercial	Edificio Alto	2012	Piantini

Terrazas del Mediterráneo	58	18	Residencial	Edificio Alto	2005	Ens. Paraiso
Torre Santa María	58	16	Residencial	Edificio Alto	2003	Piantini
Torre Boreo	56	15	Residencial	Edificio Alto	2004	Bella Vista
Diandy XVII	56	16	Residencial	Edificio Alto	1994	La Esperilla
Don Carlos XI	56	15	Residencial	Edificio Alto	2001	La Esperilla
Pedro Henriquez Ureña, 152	56	15	Residencial	Edificio Alto	2004	La Esperilla
Torre Boticelli	56	15	Residencial	Edificio Alto	2003	Los Cacicazgos
Galerías del Parque	55	18	Residencial	Edificio Alto	1989	Los Cacicazgos
Torre Bernardo Gabriel II	55	15	Residencial	Edificio Alto		Los Cacicazgos
Torre Monticello	54	17	Residencial	Edificio Alto	2003	Piantini
Torre Popular	53	12	Residencial	Edificio Alto	1992	Miraflores
Torre Monaco VI	52	15	Residencial	Edificio Alto	-	Ens. Paraiso
Torre Empresarial AIRD	52	12	Comercial	Edificio Alto	2000	La Julia
Torre Naragua III	52	15	Residencial	Edificio Alto	1999	Los Cacicazgos
Arpel Tower 03	52	15	Residencial	Edificio Alto	2012	
City Tower	50	14	Residencial	Edificio Alto	2012	Piantini
Logroval XII	49	14	Residencial	Edificio Alto	2002	Los Cacicazgos
Torre Naragua	49	14	Residencial	Edificio Alto	1995	Los Cacicazgos
Torre Tramontana	49	15	Residencial	Edificio Alto	1999	Serralles
Imperial House	48	13	Residencial	Edificio Alto	2003	Serralles
Condominio Metropolitano San Juan	47	14	Residencial	Edificio Alto	1979	Ens. Naco
Torre la Fontana	47	15	Residencial	Edificio Alto	1998	Ens. Naco
Torre BHD	47	11	Comercial	Edificio Alto	1983	Evaristo Morales
Torre Mirella	47	13	Residencial	Edificio Alto		La Esperilla
Torre Attias	47	14	Residencial	Edificio Alto	2003	Los Cacicazgos
Torre Celini	46	14	Residencial	Edificio Alto		La Esperilla
Torre Gian-Susan	46	15	Residencial	Edificio Alto		Los Cacicazgos
Torre Verde	46	14	Residencial	Edificio Alto		Los Cacicazgos
Torre Baleares	46	13	Residencial	Edificio Alto		Piantini
Wind Towers Piantini	46	13	Residencial	Edificio Alto		Piantini
Palacio Real	45	14	Residencial	Edificio Alto		Bella Vista
Torre María Matilde	45	13	Residencial	Edificio Alto		Bella Vista
Torre Sol de Oro	45	12	Residencial	Edificio Alto		Bella Vista
Torre Marfil	45	14	Residencial	Edificio Alto		La Esperilla
Seguros Popular	44	10	Comercial	Edificio Alto		Evaristo Morales
Torre el Dorado	44	13	Residencial	Edificio Alto		Los Cacicazgos
Torre Gabriel	43	12	Residencial	Edificio Alto		Bella Vista
Edificio La Cumbre	43	12	Comercial	Edificio Alto	1968	Ens. Naco

Torre Allegro Norte	43	13	Residencial	Edificio Alto		Ens. Naco
Lloret de Mar	43	12	Residencial	Edificio Alto		Ens. Paraiso
México, 84	43	12	Residencial	Edificio Alto		Gascue
ALCO Suites	43	11	Residencial	Edificio Alto	2001	Piantini
Santa Domélica	43	12	Residencial	Edificio Alto		Piantini
Torre Casa Blanca	42	12	Residencial	Edificio Alto	2001	Bella Vista
Avenida México	42	12	Residencial	Edificio Alto	-	La Esperilla
Torre Emperador	42	12	Residencial	Edificio Alto	1988	Los Cacicazgos
Torre Mayán	42	12	Residencial	Edificio Alto	1996	Los Cacicazgos
Plaza Azteca I	41	13	Residencial	Edificio Alto	1993	La Esperilla
Plaza Azteca II	41	13	Residencial	Edificio Alto	1993	La Esperilla
Plaza Azteca III	41	13	Residencial	Edificio Alto	1993	La Esperilla
Marbella del Parque	41	12	Residencial	Edificio Alto	2003	Los Cacicazgos
Torres Gemelas del Parque	41	12	Residencial	Edificio Alto	1999	Los Cacicazgos
Torre Plaza Central	41	12	Residencial	Edificio Alto	1983	Piantini
Paseo del Norte	40	13	Residencial	Edificio Alto	2003	Arroyo Hondo
Edificio E. León Jiménez	40	9	Comercial	Edificio Alto	2000	El Cacique
M Residencias	40	12	Residencial	Edificio Alto	-	Ens. Naco
Torre Allegro Sur	40	13	Residencial	Edificio Alto	1999	Ens. Naco
District Tower	40	11	Comercial	Edificio Alto	-	Evaristo Morales
Hotel Melia	40	10	Comercial	Edificio Alto	-	Gascue
Logroval VII	40	12	Residencial	Edificio Alto	1999	Los Cacicazgos
Torre Da Vinci	40	10	Comercial	Edificio Alto	-	Piantini
Camara de Cuentas	40	10	Gubernamental	Edificio Alto	-	San Carlos
Hotel Plaza	39	12	Comercial	Edificio Bajo	1987	Ens. Naco
Torreblanca	39	12	Residencial	Edificio Bajo	1999	Ens. Naco
Torre Capri	39	13	Residencial	Edificio Bajo	2003	Ens. Paraiso
Las Mercedes	39	13	Residencial	Edificio Bajo	1988	Jardines del Embagador
Torre Serenata	39	12	Residencial	Edificio Bajo	1999	La Esperilla
Torre Stephanie	39	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Los Cacicazgos
Residencial Coral Gables	39	11	Residencial	Edificio Bajo	2001	Piantini
Torre Atasa I	39	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Urb. Real
Mineri III	38	13	Residencial	Edificio Bajo	2000	Ens. Naco
Plaza JR	38	12	Residencial	Edificio Bajo	-	Ens. Naco
Hotel Occidental El Embajador	38	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Jardines del Embagador
Diana Patricia	38	12	Residencial	Edificio Bajo	2004	La Esperilla
México, 110	38	12	Residencial	Edificio Bajo	2004	La Esperilla

Torre Marbella	38	10	Residencial	Edificio Bajo	-	
Diandy XIV	37	13	Residencial	Edificio Bajo	1991	Ens. Naco
Maracasa 1	37	11	Residencial	Edificio Bajo	2003	Ens. Naco
Torre Inmega II	37	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Ens. Naco
Torre E-S	37	12	Residencial	Edificio Bajo	2001	Los Cacicazgos
El Sol de Seguros	37	13	Comercial	Edificio Bajo	1989	Piantini
Torre T4	37	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Urb. Real
Torre Katherine Marie II	36	11	Residencial	Edificio Bajo	2003	Bella Vista
Torre las Villas	36	11	Residencial	Edificio Bajo	1998	Ens. Naco
Torre Montecarlo	36	11	Residencial	Edificio Bajo	2002	Ens. Naco
Torre Aljaira 1	36	12	Residencial	Edificio Bajo	1991	La Esperilla
Torre Mencia	36	12	Residencial	Edificio Bajo	1992	Los Cacicazgos
Logroval X	36	11	Residencial	Edificio Bajo	1999	Piantini
Ameriplaza	35	10	Residencial	Edificio Bajo	1994	El Millon II
Torre Mineri X	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Ens. Naco
Torre Quique	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Ens. Naco
Lilas del Mirador	35	10	Residencial	Edificio Bajo		Mirador Norte
Torre Residencial JQ-III	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Mirador Norte
Torre Michelle Natalie	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Piantini
Torre Michelle Natalie II	35	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Piantini
Condominios KG	35	12	Residencial	Edificio Bajo	1983	
Torre Marevento	33	10	Residencial	Edificio Bajo	-	La Julia
Hotel Barcelo Lina	32	10	Comercial	Edificio Bajo	-	Miraflores
Torre Don Pedro IX	32	10	Residencial	Edificio Bajo	-	Urb. Real
Edificio Corominas Pepín			Comercial	Edificio Alto	1986	Ens. Naco
Hotel Continental			Comercial	Edificio Alto	1978	Gascue

Tabla 6 Listado de las edificaciones de altura en Santo Domingo - Elaboración propia con datos extraídos de (Emporis, 2015)

9. Agradecimientos

"A DIOS POR ACOMPAÑARME Y GUIADO EN ESTA AVENTURA, Y DARME LA OPORTUNIDAD DE VIVIR ESTA EXPERIENCIA".

No podemos dar por finalizado este trabajo sin antes agradecer a las personas que han colaborado aportando conocimientos, experiencias y puntos de vista en los diversos temas. Sin sus aportes sin duda el camino hubiera sido arduo. Primero a mi directora de tesis la Dr. Ana María Lacasta por su asesoría a lo largo de esta investigación. Por compartir sus valiosos conocimientos y sus contribuciones que dieron sentido a esta investigación, por su apoyo permanente, su paciencia y por creer en mi capacidad para llevar esto a cabo.

Agradecerle a la UPC por ser el escenario para que esto sucediera, especialmente a la ESPEB y al equipo del Master de Ingeniería de Edificación por la oportunidad de participar en este programa de maestría y el uso de sus equipos cuando fue necesario. Y sobre todo a los maestros de máster quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudar y pendientes de nuestras dudas. Asimismo agradezco a todos los profesionales que de una u otra forma han colaborado con sus publicaciones a este trabajo.

A mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa. A mis compañeros de pisos Arleny Monte de Oca y José de Jesús Quiven. Por su apoyo y paciencia. Asimismo a Katherine feliz, Sandy Arias y Arq. Rocío Altagracia. Gracias por su apoyo a pesar de la distancia.