

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**DISEÑO ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE INCENDIO DEL
SISTEMA DE ENTREPISO DEL EDIFICIO “TORINO” APLICANDO
UN MÉTODO DE CÁLCULO BASADO EN LA MODELACIÓN
ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL,
MENCION ESTRUCTURAS**

SOFÍA PAMELA CARRERA LEÓN
sofipame_1994@hotmail.com

MARÍA VANESSA IRIGOYEN MOGRO
vane_irigoyen@hotmail.com

DIRECTOR: PhD. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ
luis.hernandezr@epn.edu.ec

Quito, octubre 2018

DECLARACIÓN

Nosotras, Sofía Pamela Carrera León, María Vanessa Irigoyen Mogro, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

SOFÍA PAMELA CARRERA LEÓN

M^a VANESSA IRIGOYEN MOGRO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sofía Pamela Carrera León y María Vanessa Irigoyen Mogro, bajo mi supervisión.

PhD. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque es por su gracia y su infinito amor que puedo cumplir una de las metas más anheladas en mi vida. Él ha sido fiel y he visto su mano cuidándome a diario, y por eso el logro alcanzado, no es mío, sino de Él.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por brindarme una educación de la más alta calidad y ponerme retos que me han llevado a exigirme más cada día. A José Vicente Carrera García por tu cariño incondicional, por tu bondad y tu tiempo, por tu comprensión y tus consejos sabios, por toda tu ayuda, por tus noches de desvelo trabajando para que yo pueda alcanzar mis metas. Gracias papá. A Narcisa Marisol León Carrera por brindarme apoyo incondicional todos los días, por tus palabras sabias que me llevaron a seguir adelante y por la confianza para lograr esta meta. Gracias mamá. A mi hermana Patricia Carrera, por su paciencia y sus consejos.

Al Dr. Ing. Hernández por su apoyo y confianza puesta en nosotras para desarrollar el presente proyecto. A mis mejores amigas Damaris Guerrero y Soraya Chalco porque creyeron desde el principio en mí, por su amistad incondicional, su amor, sus consejos que me han brindado, gracias por estar siempre para mí en los buenos y malos momentos. A John, Mateo y Carlos que más que mis amigos son mis hermanos, gracias por su ayuda incondicional, su tiempo valioso y su paciencia. A mi compañera de tesis Vanessa Irigoyen, gracias por la confianza depositada en mí para apoyarnos en este trabajo, por tu amistad valiosa y sincera, por todo lo que aprendimos y compartimos a lo largo de esta etapa universitaria. Y, por último, pero no menos importante a mis amigos y compañeros de batallas y alegrías durante esta etapa; Andrea, Lenin G, Nicole, Katy, Lenin C, Maka, Henry y Samuel, gracias por su hermosa y valiosa amistad, porque con ustedes aprendí a sonreír a pesar de las dificultades y a seguir adelante.

Sofía Pamela Carrera León

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme, darme fuerzas y la voluntad de poder culminar una etapa importante dentro de mi carrera universitaria.

A mi papá, Renán, quién con su continuo apoyo y confianza ha hecho que cada paso que he tomado me ayude a fortalecer mis valores y principios. Gracias por tu cariño, por tus enseñanzas y por tu ayuda en cada momento en que lo necesito. Gracias por tus virtudes que te definen como un hombre respetable y honesto ya que ello ha sido fundamental para ser una mejor persona.

A mi mamá, María Piedad, por toda su compañía, cariño, por ser una persona valiosa que me impulsa a seguir adelante, por su gran personalidad y su amistad, cualidades que no son suficientes para describir en su totalidad la gran madre y mujer que eres. Gracias por ser parte importante de mi vida.

A mi hermana y hermano, Belén y Jorge, dos grandes y admirables ejemplos que lograron culminar sus metas y convertirse en excelentes profesionales. Gracias por todos los buenos momentos que me ayudaron a continuar, por sus consejos, por sus llamados de atención y, en general, gracias por ser mis hermanos.

A mi compañera de tesis, Sofía, muchas gracias por tu confianza, por todo el esfuerzo, el empeño y las ganas de realizar un trabajo nuevo que a pesar de las dificultades el resultado fue positivo. Gracias por tu amistad durante todo este tiempo que hemos compartido inolvidables experiencias.

Al Ing. Hernández por su motivación a realizar un tema que conllevó retos, por sus conocimientos y predisposición para el desarrollo de este proyecto. A Carlitos y a Mateo que, por medio de su amistad, su apoyo y su ayuda fue posible de alguna manera culminar este trabajo y, finalmente, a Andre A., Oscar C., Mishu J., Eri R., Maka M., Lenin C., Sami G., John A. y Elvis L., por formar parte importante de mi vida en la EPN.

María Vanessa Trigojen Mogro

DEDICATORIA

A Dios, "Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos, amén." Romanos 11:36.

Esta tesis se la dedico con mucho amor y cariño a mis padres, familia y amigos, porque gracias a su amor incondicional y su confianza depositada en mí, he llegado a este punto de mi vida.

Sofía Pamela Carrera León

DEDICATORIA

A mis padres, Renán y María Piedad, por todo su afecto, su confianza y sus grandes valores.

A mi hermana y hermano, Belén y Jorge, por su gran apoyo y cariño.

A mi Zuquito, por toda su compañía y amistad que me ha brindado sin dudar desde el día en que lo vi y así mi mundo tuvo sentido.

María Vanessa Trigojen Mogro

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIA.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XXI
RESUMEN	XXV
ABSTRACT	XXVI
PRESENTACIÓN.....	XXVII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	3
1.4.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	4

1.4.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	4
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 FENÓMENO DE INCENDIO.....	6
2.1.1 EL INCENDIO.....	6
2.1.2 MODELOS DE INCENDIO	9
2.1.3 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	11
2.1.4 TIPOS DE INCENDIO	12
2.1.5 COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN Y DEL ACERO ANTE EL FUEGO.....	12
2.1.6 RIESGO DE INCENDIO EN LAS ESTRUCTURAS.....	13
2.2 VIGAS DE SECCIÓN COMPUESTAS O MIXTAS	14
2.2.1 ACCIÓN COMPUESTA.....	15
2.2.2 ANCHO EFECTIVO.....	16
2.3 PLANTEAMIENTO NORMATIVO.....	17
2.3.1 NORMA ECUATORIANA	18
2.3.2 NORMATIVA BRASILEÑA.....	18
2.3.3 NORMATIVA EUROPEA.....	18
2.4 INVESTIGACIONES RELEVANTES EN VIGAS COMPUESTAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO	19
2.5 PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL Y DEL HORMIGÓN EN SITUACIÓN DE INCENDIO	21
2.5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS A ALTAS TEMPERATURAS DEL ACERO Y DEL HORMIGÓN.....	22
2.5.2 PROPIEDADES TÉRMICAS DEL ACERO Y DEL HORMIGÓN	27

CAPÍTULO 3	31
ANÁLISIS NUMÉRICO DEL SOFTWARE DE MODELACIÓN	31
3.1 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	31
3.1.1 INTRODUCCIÓN.....	31
3.1.2 PASOS DE DESARROLLO DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	32
3.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE MODELACIÓN	36
3.2.1 ESPACIO DE TRABAJO DEL SOFTWARE FEA	37
3.2.2 CONSIDERACIONES DE MODELACIÓN MEDIANTE FEA	37
3.2.3 ANÁLISIS TÉRMICO EN EL SOFTWARE FEA.....	42
3.2.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN EL SOFTWARE FEA	45
CAPÍTULO 4	50
MODELACIÓN DEL SISTEMA DE ENTREPISO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE	50
4.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO “TORINO”	50
4.2 MATERIALES.....	52
4.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS	53
4.2.2 PROPIEDADES TÉRMICAS	62
4.3 MODELO VT4	66
4.3.1 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS DEL MODELO.....	66
4.3.2 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS	67
4.3.3 CONTACTOS	70
4.3.4 MALLADO.....	71
4.3.5 ANÁLISIS TÉRMICO.....	74

4.3.6	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	78
4.4	MODELO V4	82
4.4.1	CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS DEL MODELO.....	82
4.4.2	DEFINICIÓN DE ELEMENTOS	84
4.4.3	CONTACTOS	85
4.4.4	MALLADO.....	86
4.4.5	ANÁLISIS TÉRMICO.....	87
4.4.6	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	91
4.5	MODELO VT1	95
4.6	MODELO V1	95
CAPÍTULO 5	96
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	96
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL	96
5.1.1	RESULTADOS DEL ANÁLISIS TÉRMICO	96
5.1.2	RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	106
5.2	COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LAS DIFERENTES NORMATIVAS.....	120
5.2.1	COMPARACIÓN CON LA VIGA VT4.....	120
5.2.2	COMPARACIÓN CON LA VIGA VT1.....	122
5.2.3	COMPARACIÓN CON LA VIGA V4.....	124
5.2.4	COMPARACIÓN CON LA VIGA V1.....	126
5.3	ALTERNATIVAS DE PROTECCIÓN DE LAS VIGAS DE ACERO FRENTE AL FUEGO	128
5.3.1	PROTECCIÓN PASIVA.....	128

5.3.2	PROTECCIÓN ACTIVA.....	135
5.3.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE ROCIADORES CONTRA INCENDIOS.....	138
5.4	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	145
5.4.1	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MASIVIDAD	146
5.4.2	CÁLCULO DE LOS ESPESORES	147
5.4.3	COMPONENTES DE LOS ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	155
5.4.4	COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	157
	CAPÍTULO 6	159
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	159
6.1	CONCLUSIONES	159
6.2	RECOMENDACIONES	164
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
	ANEXOS	176

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Tetraedro del Fuego.....	7
FIGURA 2.2 Fases de un fuego natural	8
FIGURA 2.3 Modelo de incendio estándar	9
FIGURA 2.4 Proceso de transferencia de calor en una viga	12
FIGURA 2.5 Viga de sección compuesta	15
FIGURA 2.6 Esquema típico de un sistema de entrepiso	16
FIGURA 2.7 Esfuerzos reales y uniformes equivalentes en el ancho efectivo	17
FIGURA 2.8 Test de fuego realizado en la Universidad de Cardington.....	20
FIGURA 2.9 Ejemplificación de la condición <i>restrained</i> en vigas mixtas en acción de fuego.....	21
FIGURA 2.10 Modelo matemático de la relación esfuerzo-deformación del acero estructural a altas temperaturas	23
FIGURA 2.11 Modelo matemático de la relación esfuerzo-deformación del hormigón a altas temperaturas	25
FIGURA 3.1 Esquema representativo de las condiciones de contorno de un sistema.....	32
FIGURA 3.2 Tipos de elementos finitos	34
FIGURA 3.3 Comportamiento de los pares de contacto	40

FIGURA 3.4 Contacto simétrico y asimétrico	41
FIGURA 4.1 Ubicación de las vigas a modelar en la planta tipo.....	51
FIGURA 4.2 Curva de fuego estándar.....	53
FIGURA 4.3 Representación gráfica de la reducción de las propiedades mecánicas debido a la temperatura.....	54
FIGURA 4.4 Esfuerzo-Deformación Total del acero estructural a altas temperaturas	56
FIGURA 4.5 Diagrama Esfuerzo-Deformación Total real del acero a altas temperaturas	57
FIGURA 4.6 Diagrama Esfuerzo-Deformación Plástica real del acero a altas temperaturas	57
FIGURA 4.7 Coeficiente de dilatación térmica del acero en función de la temperatura	58
FIGURA 4.8 Esfuerzo-Deformación del hormigón bajo compresión a altas temperaturas	59
FIGURA 4.9 Diagrama Esfuerzo-Deformación Total ingenieril del hormigón a altas temperaturas	60
FIGURA 4.10 Diagrama Esfuerzo-Deformación Plástica real del hormigón a altas temperaturas	61
FIGURA 4.11 Calor específico del acero en función de la temperatura	63
FIGURA 4.12 Conductividad térmica del acero en función de la temperatura.....	63

FIGURA 4.13 Variación de la densidad del hormigón en función de la temperatura.....	64
FIGURA 4.14 Calor específico del hormigón.....	65
FIGURA 4.15 Conductividad térmica del hormigón.....	65
FIGURA 4.16 Dimensiones geométricas de la sección compuesta VT4 en el modelo CAD	67
FIGURA 4.17 Elemento finito SOLID90 utilizado en el módulo <i>Transient Thermal</i>	68
FIGURA 4.18 Elemento finito SURF152 utilizado en el módulo <i>Transient Thermal</i>	68
FIGURA 4.19 Elemento finito SURF252 utilizado en el módulo <i>Transient Thermal</i>	68
FIGURA 4.20 Elemento finito SOLID186 utilizado en el módulo <i>Static Structural</i>	69
FIGURA 4.21 Elemento finito SURF154 utilizado en el módulo <i>Static Structural</i>	70
FIGURA 4.22 Asignación del elemento contacto: a) Contact y b) Target.....	71
FIGURA 4.23 Mallado del Modelo VT4	72
FIGURA 4.24 Estudio de Convergencia para un mallado óptimo	73
FIGURA 4.25 Emisividad Equivalente en función de la temperatura.....	74
FIGURA 4.26 Superficies sometidas a radiación en el Modelo VT4.....	75

FIGURA 4.27 Superficies expuestas a la convección experimental en el Modelo VT4	76
FIGURA 4.28 Superficies expuestas a la convección ambiental en el Modelo VT4	77
FIGURA 4.29 Restricción de los desplazamientos en las caras de la viga metálica VT4	78
FIGURA 4.30 Soportes fijos en las caras laterales y a lo largo de la losa de hormigón	79
FIGURA 4.31 Aplicación de la carga debido al peso propio de las paredes en el Modelo VT4	81
FIGURA 4.32 Asignación de la gravedad de todos los cuerpos en el Modelo VT4	81
FIGURA 4.33 Dimensiones geométricas de la sección compuesta V4 en el modelo CAD	83
FIGURA 4.34 Elementos de contacto superficie-superficie a) CONTA174 y b) TARGE170	86
FIGURA 4.35 Mallado del Modelo V4	87
FIGURA 4.36 Superficies sometidas a la radiación en el Modelo V4	88
FIGURA 4.37 Superficies expuestas a la convección experimental en el Modelo V4	89
FIGURA 4.38 Superficies expuestas a la convección ambiental en el Modelo V4	90
FIGURA 4.39 Apoyo simple izquierdo de la viga metálica V4	91

FIGURA 4.40 Apoyo simple derecho de la viga metálica V4	91
FIGURA 4.41 Restricciones en las caras laterales de los extremos de la losa.....	92
FIGURA 4.42 Aplicación de la carga debido al peso propio de las paredes en el Modelo V4	94
FIGURA 4.43 Asignación de la gravedad de todos los cuerpos en el Modelo V4	94
FIGURA 5.1 Temperatura del ala inferior de la viga del Modelo VT4.....	96
FIGURA 5.2 Temperatura del alma de la viga del Modelo VT4	97
FIGURA 5.3 Temperatura del ala superior de la viga del Modelo VT4	97
FIGURA 5.4 Temperatura a media altura de la losa en el Modelo VT4.....	98
FIGURA 5.5 Temperatura del ala inferior de la viga en el Modelo VT1	99
FIGURA 5.6 Temperatura del alma de la viga en el Modelo VT1	99
FIGURA 5.7 Temperatura del ala superior de la viga en el Modelo VT1	100
FIGURA 5.8 Temperatura a media altura de la losa en el Modelo VT1.....	100
FIGURA 5.9 Temperatura del ala inferior de la viga en el Modelo V4	101
FIGURA 5.10 Temperatura del alma de la viga en el Modelo V4	102
FIGURA 5.11 Temperatura del ala superior de la viga en el Modelo V4	102
FIGURA 5.12 Temperatura a media altura de la losa en el Modelo V4	103
FIGURA 5.13 Temperatura del ala inferior de la viga en el Modelo V1	104

FIGURA 5.14 Temperatura del alma de la viga en el Modelo V1	104
FIGURA 5.15 Temperatura del ala superior de la viga en el Modelo V1	105
FIGURA 5.16 Temperatura a media altura de la losa en el Modelo V1	105
FIGURA 5.17 Distribución de esfuerzos de corte y flexión elástica en la sección transversal del perfil de acero	106
FIGURA 5.18 Diagramas de Corte y Momento para vigas empotradas y simplemente apoyadas	107
FIGURA 5.19 Escala de colores para la distribución de esfuerzos de corte y normales por flexión desde el valor máximo hasta el valor mínimo	108
FIGURA 5.20 Geometría de la sección compuesta VT4 en sentido longitudinal	109
FIGURA 5.21 Distribución de esfuerzos de corte en la viga VT4	109
FIGURA 5.22 Degradación del cortante de la viga VT4	110
FIGURA 5.23 Distribución de esfuerzos normales por flexión en la viga VT4	111
FIGURA 5.24 Degradación del momento de la viga VT4	111
FIGURA 5.25 Geometría de la sección compuesta VT1 en sentido longitudinal	112
FIGURA 5.26 Distribución de esfuerzos de corte en la viga VT1	112
FIGURA 5.27 Degradación del cortante de la viga VT1	113
FIGURA 5.28 Distribución de esfuerzos normales por flexión en la viga VT1	113

FIGURA 5.29 Degradación del momento de la viga VT1	114
FIGURA 5.30 Geometría de la sección compuesta V4 en sentido longitudinal	115
FIGURA 5.31 Distribución de esfuerzos por corte en la viga V4	115
FIGURA 5.32 Degradación del cortante de la viga V4	116
FIGURA 5.33 Distribución de esfuerzos normales por flexión en la viga V4	116
FIGURA 5.34 Degradación del momento de la viga V4	117
FIGURA 5.35 Geometría de la sección compuesta V1 en sentido longitudinal	118
FIGURA 5.36 Distribución de los esfuerzos por corte en la viga V1	118
FIGURA 5.37 Degradación del cortante de la viga V1	119
FIGURA 5.38 Distribución de los esfuerzos normales por flexión en la viga V1	119
FIGURA 5.39 Degradación del momento de la viga V1	120
FIGURA 5.40 Mortero ignífugo en estructuras de acero	129
FIGURA 5.41 Proceso de transformación de la pintura intumescente ante la acción del fuego	131
FIGURA 5.42 Sistema de placas de yeso	133
FIGURA 5.43 Vigas protegidas por placas de lana mineral	134
FIGURA 5.44 Paneles de Fibrosilicatos Ignífugos ante la acción del fuego	135

FIGURA 5.45 Sistema de rociadores en una estructura	136
FIGURA 5.46 Curva Temperatura vs. Tiempo afectada por la presencia de rociadores	137
FIGURA 5.47 Curva Área/Densidad.....	141
FIGURA 5.48 Descarga de agua de un rociador de 1/2" y 17/32" de orificio nominal	143
FIGURA 5.49 Sección de viga expuesta al fuego en tres de sus caras	146

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 Factores de reducción del acero para diferentes temperaturas	24
TABLA 2.2 Factores de reducción del hormigón de peso normal con agregados silíceos y calcáreos, para diferentes temperaturas	26
TABLA 3.1 Tipos de contactos de los elementos	40
TABLA 3.2 Métodos para la verificación de la Resistencia al fuego vs. Severidad del incendio.....	49
TABLA 4.1 Longitudes críticas de las vigas a modelar	50
TABLA 4.2 Características mecánicas del acero	52
TABLA 4.3 Características mecánicas del hormigón	52
TABLA 4.4 Funciones para el cálculo a altas temperaturas de las propiedades mecánicas del acero	55
TABLA 4.5 Funciones para el cálculo a altas temperaturas de las propiedades mecánicas del hormigón	59
TABLA 4.6 Valores del módulo de elasticidad del hormigón para cada temperatura.....	61
TABLA 4.7 Propiedades geométricas de la sección compuesta VT4.....	66
TABLA 4.8 Cálculo de la fuerza debido al peso propio de las paredes para Modelo VT4.....	80
TABLA 4.9 Propiedades geométricas de la sección compuesta V4	83

TABLA 4.10 Cálculo de la fuerza debido al peso propio de las paredes en el Modelo V4	93
TABLA 5.1 Comparación del cortante resistente del Modelo VT4 bajo incendio.....	121
TABLA 5.2 Comparación del momento resistente del Modelo VT4 bajo incendio.....	122
TABLA 5.3 Comparación del cortante resistente del Modelo VT1 bajo incendio.....	123
TABLA 5.4 Comparación del momento resistente del Modelo VT1 bajo incendio.....	124
TABLA 5.5 Comparación del cortante resistente del Modelo V4 bajo incendio.....	124
TABLA 5.6 Comparación del momento resistente del Modelo V4 bajo incendio.....	125
TABLA 5.7 Comparación del cortante resistente del Modelo V1 bajo incendio.....	127
TABLA 5.8 Comparación del momento resistente del Modelo V1 bajo incendio.....	128
TABLA 5.9 Ventajas y desventajas de los morteros proyectados.....	129
TABLA 5.10 Ventajas y desventajas de las pinturas intumescentes	130
TABLA 5.11 Dimensiones de la placa de yeso	132
TABLA 5.12 Tiempo mínimos de protección según el tipo de riesgo.....	139
TABLA 5.13 Diámetros del sistema de tuberías para Riesgo Ordinario	144

TABLA 5.14 Superficie máxima y separación para rociadores	145
TABLA 5.15 Perímetro de la sección de acero a proteger por sus tres caras.....	147
TABLA 5.16 Espesor del mortero proyectado para la viga VT4.....	148
TABLA 5.17 Espesor del mortero proyectado para la viga V4.....	149
TABLA 5.18 Espesor del mortero proyectado para la viga VT1.....	149
TABLA 5.19 Espesor del mortero proyectado para la viga V1	150
TABLA 5.20 Espesor de pintura intumescente para la viga VT4	150
TABLA 5.21 Espesor de pintura intumescente para la viga V4	151
TABLA 5.22 Espesor de pintura intumescente para la viga VT1	151
TABLA 5.23 Espesor de pintura intumescente para la viga V1	152
TABLA 5.24 Espesor de placa de yeso para la viga VT4	153
TABLA 5.25 Espesor de placa de yeso para la viga V4.....	154
TABLA 5.26 Espesor de placa de yeso para la viga VT1	154
TABLA 5.27 Espesor de placa de yeso para la viga V1.....	155
TABLA 5.28 Comparación económica de la protección pasiva y activa contra el fuego de la planta tipo.....	157
TABLA 5.29 Comparación económica de la protección pasiva y activa contra el fuego en el área de parqueaderos.....	158
TABLA 6.1 Resultados de cortante resistente a temperatura ambiente de las vigas metálicas.....	160

TABLA 6.2 Resultados de momento flector resistente a temperatura ambiente de las vigas metálicas	161
--	-----

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla la modelación de vigas compuestas a condiciones de incendio, donde se busca obtener la degradación de la capacidad resistente tanto a corte como a momento flector de las mismas. Consecuentemente, se validaron los resultados obtenidos mediante la comparación de los calculados por medio de tres normativas extranjeras en un estudio técnico anterior, como son: EUROCÓDIGO, NORMATIVA BRASILEÑA y AISC.

Para la realización del análisis numérico utilizando el software FEA, se revisaron las principales características que el programa ofrece en cuanto a la modelación térmica y estructural, con el fin de simular el sistema de entrepiso del edificio "TORINO" para que todas las consideraciones puedan ser lo más aproximadas a la realidad.

Una vez obtenidos los resultados de las modelaciones, se procedió a comparar la capacidad resistente bajo condiciones de incendio con las obtenidas por medio de las tres normativas extranjeras antes mencionadas, verificando que las secciones dadas cumplan con el tiempo requerido de resistencia al fuego dispuesto en el Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN Parte 8:1986 y la Regla Técnica Metropolitana RTQ 3/2015, las cuales estipulan que los elementos estructurales deben resistir 1 hora de exposición al fuego.

Por medio del análisis comparativo desde el punto de vista técnico, se optó por plantear algunas alternativas de protección contra incendio en el sistema de entrepiso, con el propósito de mejorar el comportamiento de los mismos bajo los efectos del fuego. Finalmente, se efectuó una valoración económica de la protección contra incendio para determinar en dichos términos la mejor opción.

ABSTRACT

In the present work the modeling of composite beams to fire conditions is developed, where it is sought to obtain the degradation of the resistant capacity both shear force and the bending moment of the same. Consequently, the results obtained by comparing those calculated by means of three foreign regulations in a previous technical work were validated, such as: EUROCODE, BRAZILIAN NORM and AISC.

To perform the numerical modeling using the FEA software, the main features that the program offers in terms of thermal and structural modeling were reviewed, in order to simulate the "TORINO" building's steel-concrete floor system so that all considerations can be closest to reality.

Once obtained the results of the modeling, we proceeded to compare the resistant capacity under fire conditions with those obtained by means of the three aforementioned foreign regulations, verifying that the given sections satisfy with the requires fire resistance time established in the Code of Fire Ecuadorian Practice Part 8:1986 and Metropolitan Technical Rule 3/2015, which stipulates that the structural elements must withstand 1 hour of exposure to fire.

Through the comparative analysis from the technical point of view, it was decided to propose some fire protection alternatives in the steel-concrete floor systems, with the purpose of improving its behavior under fire conditions. Finally, an economic assessment of the fire protection was carried out to determine in these terms the best option.

PRESENTACIÓN

La modelación del sistema de entrepiso del edificio “TORINO” bajo condiciones de incendio se describen en seis capítulos para el presente proyecto de titulación.

En el Capítulo 1, se realiza una breve descripción del comportamiento de los materiales (acero y hormigón) ante la acción del fuego, además se presenta los objetivos planteados para el desarrollo del presente trabajo conjuntamente con la justificación teórica, metodológica y práctica.

En el Capítulo 2, se desarrolla el marco teórico, el mismo que detalla conceptos sobre el fenómeno de incendio además del comportamiento del acero y el hormigón a altas temperaturas abarcando sus propiedades mecánicas y térmicas.

En el Capítulo 3, se describe el análisis numérico que el software FEA utiliza tanto para el módulo termal como estructural, que va desde el análisis de los distintos tipos de elemento hasta el planteamiento de las ecuaciones de equilibrio y ensamblaje que el programa utiliza para el desarrollo de la modelación. Finalmente se describe los espacios de trabajo utilizados en el presente trabajo.

En el Capítulo 4, se presenta información acerca de la geometría del modelo, las propiedades térmicas y mecánicas de los materiales ingresados en el espacio de trabajo, además del tipo de elementos, contactos, mallado, condiciones de contorno tanto térmicas como estructurales y condiciones de carga aplicados al modelo.

En el Capítulo 5, se muestran los resultados de temperatura vs tiempo, esfuerzos cortantes y esfuerzos normales por flexión obtenidos de las vigas compuestas simuladas para, posteriormente, realizar un análisis comparativo acerca de los resultados obtenidos mediante el software de la modelación y las tres normativas internacionales. Por otro lado, se analiza económicamente sobre el desarrollo de la protección contra incendio para el sistema de entrepiso del edificio “TORINO”.

En el Capítulo 6, se presenta una discusión de los resultados obtenidos de la modelación numérica de las vigas compuestas a condiciones de incendio y recomendaciones a seguir a futuro en cuanto a la modelación.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Las estructuras de acero, muy usadas en la actualidad en el campo de la ingeniería, sufren serias alteraciones en sus capacidades resistentes como la: rigidez y resistencia, por efecto del incremento de temperatura, que puede provocar serios daños, incluso el colapso, de la estructura dejando como resultado la pérdida de vidas humanas (Virgili, 2007).

En diferentes partes del mundo se han desarrollado importantes y significativos avances en lo que respecta al diseño de estructuras de acero frente a un evento de incendio, logrando establecer las dimensiones apropiadas de estos elementos por medio de un análisis térmico y un análisis estructural (Corporación Instituto Chileno del Acero, 2009). De esta manera el estudio se convierte en una consideración relevante para efectuar diseños de estructuras ante condiciones de incendio y no solamente tomar en cuenta normas estandarizadas que muestran requisitos mínimos en los que un edificio debe cumplir para salvaguardar la vida de las personas durante un tiempo requerido (Castillo & Fuertes, 2017), por tal motivo, si no se toman en cuenta las medidas pertinentes para evitar los daños estructurales provocados por la afectación debido al fuego, se tendrá en un futuro deterioros en los sistemas estructurales. Además, la ingeniería civil en el Ecuador seguirá considerando los métodos tradicionales de cálculo y diseño sin dar un paso adelante en prevenir las falencias que están relacionadas con la amenaza debido al fuego en el sistema constructivo.

La evaluación de un edificio en condiciones de incendio está asociada con la adecuada protección de los elementos estructurales que son más susceptibles al fuego, dando lugar a que los propósitos de este análisis tengan como un objetivo esencial el de proteger la vida humana brindando seguridad a las personas de tal manera que al final del evento de incendio la estructura sea funcional, es decir, tenga la capacidad suficiente para que las personas que habitan en él puedan

continuar con sus labores diarias (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2008). La normativa ecuatoriana NEC-HS-CI (2015) propone parámetros mínimos para el diseño y el mantenimiento de edificaciones, pero no se propone un método de diseño de estructuras que permitan cumplir con la resistencia ante la situación de incendio. Por tal razón es importante empezar el estudio mediante un método directo de cálculo ofreciendo alternativas de análisis para verificar y comparar el comportamiento de la estructura bajo condiciones de incendio y a temperatura ambiente, según lo recomendado en las investigaciones realizadas por Larrúa (2016).

La aplicación de métodos directos será una opción muy importante para analizar el comportamiento de un sistema de entrepiso después de ocurrir un evento de incendio, que por medio del estudio y las conjeturas que se realicen con otros trabajos servirán para tomar decisiones en cuanto a la realización de normativas que fomenten la implementación de diseños de cálculo de los elementos estructurales que forman parte de diferentes tipos de edificaciones permitiendo minimizar los impactos de los incendios (Alonso, 2011).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño estructural en condiciones de incendio del sistema de entrepiso del edificio "TORINO" por medio de la aplicación de métodos avanzados de modelación numérica.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar las vigas compuestas mediante la utilización de un software basado en el método de elementos finitos, que permitirá la obtención de la resistencia a cortante y a momento flector a temperatura ambiente y en situación de incendio de las secciones transversales de las vigas metálicas.
- Comparar los resultados con el obtenido por medio del uso de tres normas internacionales en un estudio técnico anterior y así validar el método numérico de análisis termo-estructural propuesto.

- Plantear distintas alternativas de protección contra incendios para los elementos estructurales que conforman un edificio de acero, valorando el costo de cada una.

1.3 ALCANCE

La construcción civil, principalmente los edificios, durante toda su vida útil está en constante exposición a varios tipos de cargas y peligros estructurales, como es el fuego (Naser, 2016). Por tal razón, la situación de incendio en una estructura representa una carga accidental que puede afectar severamente y llevar al colapso de la misma; debido al crecimiento de la urbanización, así como el uso de materiales combustibles en edificios y otras ocupaciones, el conocimiento del comportamiento de las estructuras en situación de incendio se convierte en un parámetro de diseño crítico (Nunes, 2005). Con lo anteriormente mencionado el presente estudio corresponde a un aporte diferente y novedoso que no ha sido contemplado en las asignaturas a lo largo de la formación estudiantil, siendo una contribución adicional a los conocimientos obtenidos durante el período de aprendizaje.

El desarrollo del presente trabajo está dirigido con el propósito esencial de aplicar un método numérico a partir de la modelación termo-estructural, que permita determinar la variación de la capacidad resistente en función de tiempo de las vigas metálicas sin revestimiento conforme aumenta la temperatura ante un incendio. Esta propuesta tendrá como fin velar por el bienestar de los ocupantes del edificio y preservar en lo posible los bienes inmuebles, constituyendo un estudio de vital importancia para la construcción (Fundora & Peña, 2014).

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En estudios previos se ha determinado que realizar un análisis y diseño directo de las estructuras metálicas ante efectos de incendio resulta económicamente no viable y muy complicado de realizarlo (Mulet, 2014), por lo que la propuesta es aplicar un método numérico de diseño basado en la modelación estructural que permita determinar el tiempo de resistencia al fuego en base a la sección del

elemento estructural sin revestimiento contra incendio (Machado, 2014). Además, se pretende comparar y validar los resultados con los que se obtuvieron en el proyecto de investigación realizado por Castillo y Fuertes (2017), en el cual refiere a la comparación del diseño de un sistema de entrepiso de un edificio en condiciones de incendio aplicando diferentes normativas.

Para complementar el proyecto técnico propuesto se debe mencionar la importancia de considerar los tipos de protección que se puede proveer a los elementos estructurales de acero, puesto que en varias investigaciones, se ha llegado a la conclusión de que al no presentar una protección adecuada de estos elementos se tendrá una disminución importante de la capacidad resistente a pocos minutos de ocurrido el incendio, no cumpliéndose con lo dispuesto en el Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN Parte 8:1986 y la Regla Técnica Metropolitana RTQ 3/2015, que estipula que los elementos estructurales deben resistir 1 hora de exposición al fuego (Castillo & Fuertes, 2017).

1.4.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Mediante el presente estudio se empleará un software de modelación numérica que permitirá realizar un análisis térmico y, en consecuencia, realizar un análisis estructural para determinar la capacidad resistente (corte y momento) de las secciones transversales de vigas de acero (Albuquerque, 2012), a temperatura ambiente y en situación de incendio (Machado, 2014). Con el fin de encontrar una analogía de los resultados, se verificarán con los obtenidos por las normas extranjeras que integran métodos de cálculo para el diseño de sistemas de entrepiso en situación de incendio, que son: EUROCÓDIGO, NORMA BRASILEÑA y AISC. Finalmente, se expondrán las alternativas de protección pasiva para los elementos estructurales ante el fuego, estableciendo la opción más adecuada según sea su comportamiento y complementando el estudio con el análisis económico de los mismos.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Mediante los resultados de este proyecto, se podrá obtener tiempos de resistencia al fuego de elementos estructurales como vigas de acero y así verificar que cumplen con la capacidad resistente ante condición de incendio, ya que las

estructuras ante esta situación se consideran seguras cuando poseen la capacidad para soportar, sin colapso, los esfuerzos (Larrúa, 2016). Estos resultados serán de gran importancia en las estructuras importantes, como: hospitales, escuelas, edificios residenciales, entre otros, ya que al determinar un tiempo de resistencia al fuego ayudará para que sus ocupantes desalojen las instalaciones y el cuerpo de bomberos sea capaz de controlar el incendio y evitar la pérdida de vidas humanas (Castillo & Fuertes, 2017). De igual manera, el presente trabajo servirá como punto de partida para la inclusión en la normativa ecuatoriana en el diseño de elementos compuestos en condiciones de incendio.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 FENÓMENO DE INCENDIO

2.1.1 EL INCENDIO

El incendio se puede definir como un fuego no controlado que se produce tanto en el tiempo como en el espacio de un sistema cuyo ambiente no tiene la capacidad adecuada para soportar dicha reacción (Nunes, 2005). En cuanto al fuego, propiamente dicho, se define como una combustión caracterizada que consiste en un proceso exotérmico de rápida reacción química que se autoalimenta mediante la presencia de dos elementos principales, que son: la *substancia combustible* que puede encontrarse en fase sólida, líquida o gaseosa y, el *comburente* que generalmente es el oxígeno presente en el aire (Gavilanes, 2016). De esta manera los productos que se generan de la combustión se da por medio del desprendimiento de una gran cantidad de humo, llamas, calor y gases calientes (Nunes, 2005).

A partir de las definiciones antes mencionadas se puede establecer que debido a la similitud que presentan ambas palabras, son utilizadas de forma indistinta para describir el “*proceso exotérmico de combustión incontrolada de materiales*” (Virgili, 2007, p. 9).

La *teoría del tetraedro del fuego* permite representar al combustible, al comburente, a la energía de activación y a la reacción en cadena, como los cuatro factores que condicionan la ocurrencia del fuego (Pumar & González, 2008). Estos componentes deben actuar de manera conjunta y simultánea para que el fuego pueda desarrollarse ya que la supresión de cualquiera de estos componentes provocaría la extinción del mismo (Hitado, 2015).

- *Calor*: Se genera a una temperatura con suficiente energía de activación que debe ser suministrado de manera externa, que pueden ser las llamas abiertas, superficies calientes, chispas, entre otros.

- *Combustible*: Es cualquier material que puede combinarse con el agente oxidante en una reacción exotérmica. Además, se requiere que estos elementos puedan ser oxidados para que durante el proceso de reacción liberen energía.
- *Comburente*: Representa al agente oxidante con la capacidad de oxidar al combustible; el ejemplo más común es el oxígeno del aire.
- *Reacción en cadena*: Factor que provoca que el fenómeno de incendio se propague espontáneamente en el tiempo y en el espacio, sin la necesidad de mantener la fuente de ignición.

FIGURA 2.1 Tetraedro del Fuego



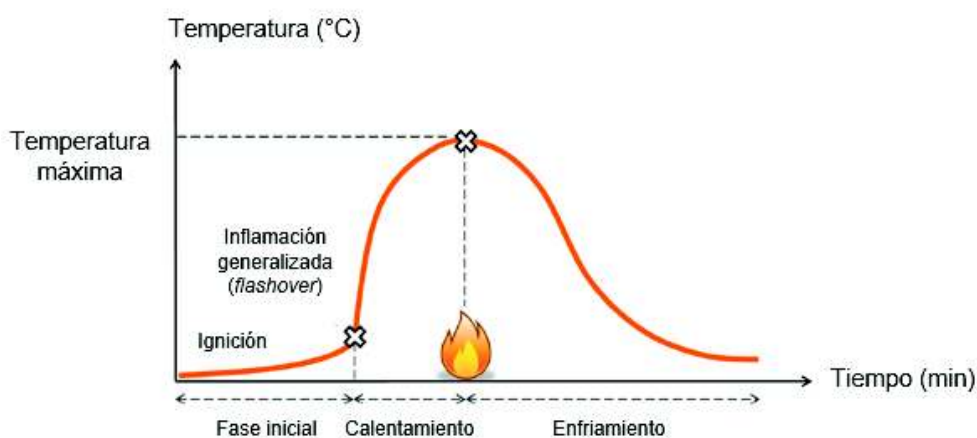
FUENTE: (Hitado, 2015)

En todo proceso de combustión se presenta un contacto intrínseco entre el material combustible y el material comburente, que resulta ser característico de un campo inflamable donde el sistema se encontrará sometido a una temperatura mucho mayor que la temperatura que presenta cada material. Esta diferencia corresponde a la denominada *temperatura de auto-ascenso*, es decir, a la temperatura en la cual el combustible empieza a quemar de forma espontánea, sin la necesidad de suministrar un calor inicial (Nunes, 2005). Una vez que se produce el descenso de la temperatura se puede decir entonces, que el combustible se consumió completamente una vez finalizado el proceso de combustión (Nunes, 2005).

El incendio se desarrolla en tres fases principales: la *fase inicial o fase de ignición*, la *fase de calentamiento* y la *fase de enfriamiento* (Larrúa, 2016). En la fase de

calentamiento la cantidad de calor que se produce es superior a la cantidad de calor dispersa en el ambiente; en cambio, en la fase de enfriamiento el calor producido es inferior a la dispersa hasta el instante en el cual el fuego se haya extinguido completamente (Nunes, 2005). En la FIGURA 2.2 se puede observar que el aumento de la temperatura se origina posterior al punto de inflamación, en donde todos los materiales se queman de manera espontánea.

FIGURA 2.2 Fases de un fuego natural



FUENTE: (Albuquerque, 2012)

Según Virgili (2007), las fases comunes que el fuego presenta durante su desarrollo son los siguientes:

- *Fase I:* Conforme aumenta la temperatura el combustible desprende partículas imperceptibles al ojo humano.
- *Fase II:* Se forma el humo y vapor debido a la concentración de las partículas que se desprenden del material.
- *Fase III:* Con la presencia del oxígeno los vapores se transforman en llamas, aumenta el humo y el desprendimiento de calor.
- *Fase IV:* La cantidad de desprendimiento de los gases y vapores pueden inducir a explosiones.

El fuego real en un edificio depende del balance de masa y energía, donde esta energía se desprende guardando relación con la cantidad y el tipo de combustible y las condiciones de ventilación que presente la edificación (Guyadol, 2005). En la

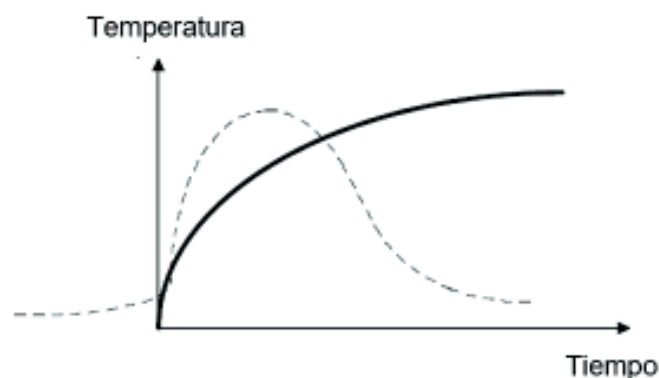
fase inicial del fuego, cuando sucede la ignición de la substancia combustible, la energía que se libera comienza a calentar lentamente los materiales; sin embargo, la edificación no presentará daños estructurales considerables (Albuquerque, 2012). Pero si el fuego no logra ser controlado por los sistemas de protección activa, las temperaturas se elevarán hasta el punto en el que el ambiente ingresará a la etapa de inflamación generalizada o *flashover*, punto más crítico del incendio para las estructuras, provocando daños graves en los elementos estructurales que conforman el edificio (Larrúa, 2016).

2.1.2 MODELOS DE INCENDIO

2.1.2.1 Incendio Estándar

El incendio estándar representa un modelo en donde se considera que la temperatura de los gases del ambiente está influenciada por las curvas estandarizadas que se utilizan para los análisis experimentales (Silva, 1997). La principal particularidad de la curva de incendio estándar es que presenta una temperatura siempre creciente a medida que transcurre el tiempo, es decir, una sola rama ascendente que corresponde a la fase de calentamiento independientemente de las características del ambiente y del tipo de material combustible (Albuquerque, 2012). Por consiguiente, este tipo de modelo no tiene ninguna correspondencia o relación con el incendio real, será válido solamente para estudios teóricos en donde las temperaturas involucradas no contengan parámetros precisos para el estudio (Nunes, 2005).

FIGURA 2.3 Modelo de incendio estándar



FUENTE: (Silva, 1997)

Existen diferentes curvas estandarizadas que se utilizan para los ensayos sobre incendios, entre las que más destacan por su similitud corresponden a las curvas temperatura-tiempo recomendadas por la International Organization for Standardization ISO 834 y la ASTM E-119, comúnmente usadas para realizar pruebas en elementos constructivos y, también, para el dimensionamiento de edificios residenciales y comerciales. La curva ISO 834 emplea una carga de incendio de materiales celulósicos (Costa & Silva, 2002), que se expresa de la siguiente manera (International Organization for Standardization, 1999):

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log (8 \cdot t + 1) \quad (2.1)$$

Dónde:

t = Tiempo, en [min]

θ_0 = Temperatura del ambiente en el tiempo $t = 0$ [T], en [°C]

θ_g = Temperatura del ambiente en el tiempo t , en [°C]

La temperatura ambiente media puede considerarse con el valor de 20 [°C] (Albuquerque, 2012).

2.1.2.2 Incendio Natural

El incendio natural se define como la variación térmica que permite simular el fuego real en función de la carga de incendio, del grado de ventilación y de las características térmicas de los elementos de sellado (NBR 14432, 2000). La curva temperatura-tiempo que presenta este tipo de modelo de incendio tiene las mismas características que se muestra en la FIGURA 2.2; esta forma de la curva se puede establecer como una generalización de las curvas de incendios naturales ya que no siempre la temperatura se muestra de forma creciente mientras perdure el siniestro (Nunes, 2005).

Las aplicaciones de las curvas de incendio natural no son muy recomendadas para la evaluación de estructuras sometidas a incendio debido a la complejidad por el gran número de variables que se requieren para cada caso particular de incendio y, además, los conocimientos aún no son suficientes para proyectar a un análisis estructural (Albuquerque, 2012).

2.1.3 TRANSFERENCIA DE CALOR

Durante un incendio, los flujos de calor por convección y por radiación provocan el incremento de la temperatura de los diferentes elementos estructurales, más que todo, por la diferencia de las temperaturas que existe entre los gases en llamas y las partes de la estructura (Larrúa, 2016). En otras palabras, cuando exista diferencia de temperaturas la energía o el calor se transferirá desde la parte de mayor temperatura hacia el extremo más frío (Hitado, 2015).

A continuación, se describen los tres medios por los cuales se propaga el fuego a lo largo y ancho de una estructura (Virgili, 2007):

2.1.3.1 Radiación

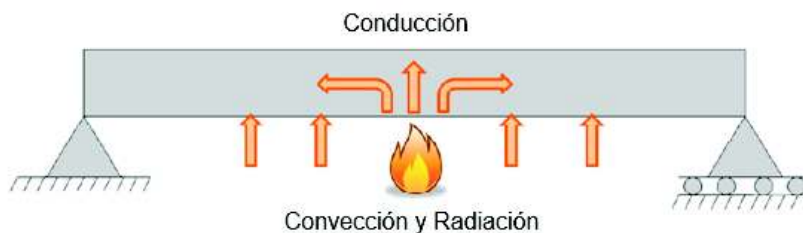
Proceso en que la energía en forma de ondas de calor o electromagnéticas se desplaza a través de un cuerpo que presenta altas temperaturas hacia otro con bajas temperaturas, como consecuencia de la alta agitación existente entre las partículas. Este proceso se origina ya sea cuando tales cuerpos se encuentran separados en el espacio aun cuando no haya vacío entre ellos (Barrosa, 2004).

2.1.3.2 Convección

Proceso que consiste en la transferencia de calor de los gases presentes en un ambiente generado por una fuente de calor. Las masas calientes de aire ascienden a la parte superior de dicho ambiente debido a su menor densidad y las masas frías con menor densidad descienden por acción de la gravedad (Hitado, 2015). Por esta razón, el calentamiento de los gases se produce con mayor fuerza en la parte superior de un entepiso de una edificación ya que los gases que se calientan tienden a ubicarse en dicho lugar.

2.1.3.3 Conducción

Corresponde al proceso en el cual se transmite la energía térmica desde las partes del material con altas temperaturas hacia las partes que presentan bajas temperaturas, de esta manera se alcanza el equilibrio térmico; también se produce este proceso entre elementos sólidos que están en contacto (Palomo, 2017).

FIGURA 2.4 Proceso de transferencia de calor en una viga

FUENTE: (Albuquerque, 2012)

2.1.4 TIPOS DE INCENDIO

En la NTE INEN 802 (2016) se clasifica al incendio según la naturaleza del combustible en cinco categorías, que son:

- *Incendios Clase A:* Son aquellos provocados por materiales orgánicos sólidos, como papel, madera, plásticos, etc.
- *Incendios Clase B:* Son aquellos que se producen debido a la presencia de líquidos inflamables, líquidos combustibles o sólidos con bajo punto de fusión. Entre los que se pueden mencionar son: gasolina, aceite, grasa, pinturas y disolventes, alcoholes, etc.
- *Incendios Clase C:* Estos son provocados por combustibles en fase gaseosa o involucran algún tipo de equipo electrónico energizado.
- *Incendios Clase D:* Son provocados por metales combustibles que se considera como un tipo de incendio de muy difícil y peligrosa extinción.
- *Incendios Clase K:* Este tipo de incendio se origina por medio de aceites de cocina y grasas, principalmente.

2.1.5 COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN Y DEL ACERO ANTE EL FUEGO

2.1.5.1 Comportamiento del hormigón

El hormigón es el elemento constructivo que se caracteriza por ser resistente a la compresión y a la flexión, pero no a la tracción. Por otro lado, este material también tiene un excelente comportamiento ante la acción del fuego ya que es incombustible (Vega & Burón, 2007) y tiene una velocidad de transferencia de calor muy baja. Estas ventajas que tiene el hormigón se debe, especialmente, porque

sus propiedades hacen que sea un tipo de material de construcción idóneo para brindar la funcionalidad apropiada a una estructura (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2008) y que son fundamentales para lograr un buen desempeño en diferentes ámbitos de una obra civil.

A pesar del comportamiento adecuado que tiene el hormigón ante la acción del fuego es preciso mencionar que, a altas temperaturas (mayores a los 600 [°C]), la resistencia a la tracción del hormigón comienza a disminuir significativamente que inclusive puede llegar a ser nula. Este fenómeno que provoca la reducción de la resistencia a la tracción trae consigo a la fatiga de la estructura provocando en algún momento dado el colapso de éste (Roscardi, 2014).

2.1.5.2 Comportamiento del acero

El acero se considera como un material importante dentro de la construcción debido a la calidad uniforme y a las propiedades mecánicas que presenta, como la alta resistencia a la carga estructural. También se lo considera como un material no combustible ante la presencia del fuego, pero tiene la propiedad de ser un excelente conductor de calor por el hecho de contener en su composición al hierro. Este metal presenta electrones libres que permite que el calor se propague con mayor facilidad hacia los demás elementos estructurales que conforman un edificio, como vigas o columnas (Roscardi, 2014). Por lo tanto, el acero se establece como un material bastante vulnerable a las temperaturas con la consecuente pérdida de la resistencia de manera que provoca el debilitamiento del elemento estructural (Pumar & González, 2008).

Según las consideraciones que se exponen en la norma ASTM E-119 acerca de los elementos estructurales de acero indican que la temperatura máxima y la temperatura promedio que una viga de acero puede soportar alcanza los 650 [°C] y 530 [°C], respectivamente, y que a partir de ese punto se produce la falla del elemento (Pumar & González, 2008).

2.1.6 RIESGO DE INCENDIO EN LAS ESTRUCTURAS

El incendio constituye un peligro muy relevante para toda clase de infraestructuras debido a que puede ocasionar daños graves como el colapso de los miembros

estructurales. La ocurrencia de un incendio puede ser definido mediante un análisis probabilístico puesto que el fuego en sí se considera como un evento aleatorio. Este análisis se lo puede realizar mediante una descripción de una serie de eventos independientes que suceden durante el transcurso del tiempo y de manera repetida. La herramienta que permite cuantificar estadísticamente la naturaleza de los incidentes suscitados por los incendios en los edificios corresponde a la distribución de Poisson, como se muestra a continuación (Naser, 2016):

$$P = 1 - e^{-\rho \cdot t} \quad (2.2)$$

Dónde:

P = Probabilidad de ocurrencia de un incendio

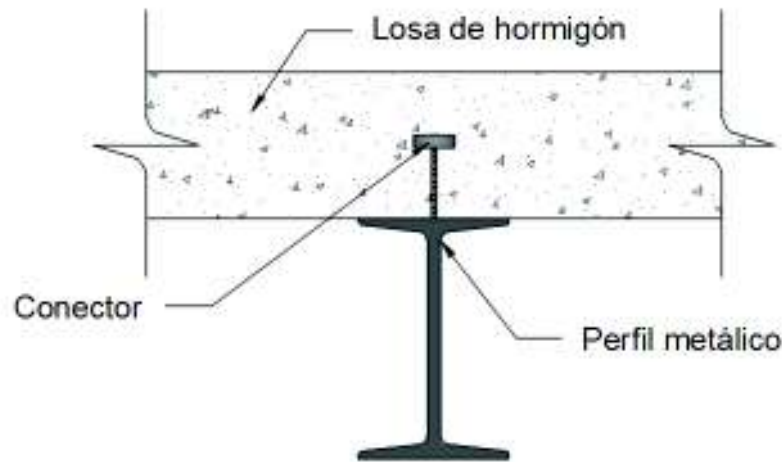
ρ = Intensidad del fuego

t = Tiempo, en años

2.2 VIGAS DE SECCIÓN COMPUESTAS O MIXTAS

Las vigas de sección compuesta o también los denominados sistemas de entrepiso compuestos o mixtos, son elementos formados por la combinación de dos o más materiales que presentan diferentes características para actuar como una unidad (Urruticoechea, 2014). Para el presente estudio, el sistema estructural a considerar está compuesto por un perfil de acero y una losa de hormigón, como se puede observar en la FIGURA 2.5, en el cual el ancho colaborante de la losa de hormigón actúa de forma conjunta con el perfil de acero dando como resultado a una viga compuesta (Morqui, Reboredo, & Spalvier, 2013). Adicionalmente, las vigas compuestas o mixtas son utilizadas para la construcción de sistemas de pisos que forman parte de edificios de tipo residencial o comercial (Kirchhof, Munaiar, & Malite, 2005).

FIGURA 2.5 Viga de sección compuesta



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

2.2.1 ACCIÓN COMPUESTA

La interfase acero-hormigón representa un aspecto importante para un buen comportamiento del entrepiso compuesto porque éste depende de la clase de interacción, que puede ser: completa, parcial o nula, que se da entre los dos materiales y, consecuentemente, determina el trabajo conjunto entre ambos. La interacción completa se refiere cuando la unión entre el hormigón y el acero no se produce ningún tipo de deslizamiento longitudinal relativo, pero en el caso de una interacción parcial significa que el deslizamiento relativo es posible (Kirchhof, Munaiar, & Malite, 2005).

Aunque la naturaleza del acero y del hormigón los convierte en materiales muy diferentes, se puede establecer que son completamente compatibles y se complementan entre sí, principalmente por las siguientes características (Muñoz, 2016):

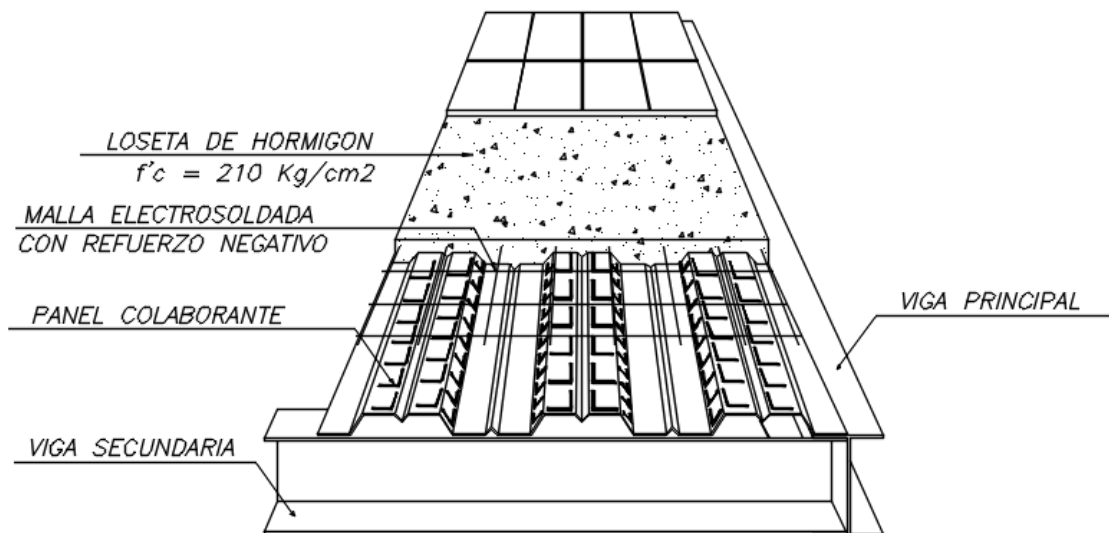
- Representa una concepto de construcción muy relevante debido a la alta resistencia a la compresión del hormigón y la resistencia a la tracción del acero (Kumar & Reddy, 2016).
- El hormigón brinda un arriostramiento a los elementos de acero para evitar el pandeo lateral.

- Ante la acción del fuego, el hormigón también provee de protección al acero para evitar la corrosión y ayuda al aislamiento térmico frente a las altas temperaturas.
- Presentan una dilatación térmica muy similar.
- La ductilidad de la estructura en cuestión es posible gracias a la presencia del acero.

López de Heredia (2004), menciona que el objetivo de un sistema de entrepiso es el de recibir la cargas gravitacionales y horizontales para transmitir a los elementos estructurales verticales (columnas), de tal manera que exista una distribución proporcional de fuerzas considerando las rigideces relativas de los elementos.

El sistema de entrepiso a tomar en cuenta en el presente estudio presenta la siguiente configuración, como se expone en la FIGURA 2.6:

FIGURA 2.6 Esquema típico de un sistema de entrepiso



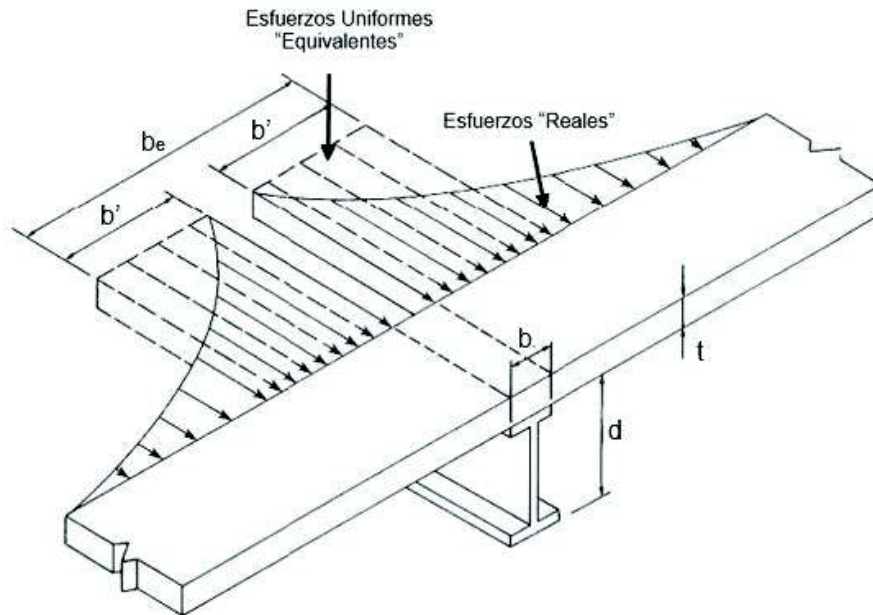
FUENTE: (Castillo & Fuertes, 2017)

2.2.2 ANCHO EFECTIVO

El concepto de ancho efectivo, para efectos de diseño, se introduce debido a la necesidad de trabajar con esfuerzos uniformes equivalentes en lugar de estudiar con los reales, puesto que la distribución que presenta es complicada y para el cálculo de la resistencia de la sección se considera como un análisis que

comprende un cierto grado de complejidad (Lerma & Valadez, 2009). Esta distribución real de esfuerzos o desfase de corte muestra una variación de esfuerzos no uniforme, siendo máxima en la zona en que la losa se conecta con la viga metálica y va disminuyendo conforme se aleja de esta zona (Álvarez & Cházaro, 2014), como se puede observar en la FIGURA 2.7:

FIGURA 2.7 Esfuerzos reales y uniformes equivalentes en el ancho efectivo



FUENTE: (López de Heredia, 2004)

De acuerdo a las especificaciones dictadas por el AISC (2016), el ancho efectivo de la losa corresponde a la suma de los anchos efectivos a cada lado del eje longitudinal de la viga de acero, cada uno de los cuales debe ser el menor de los siguientes:

1. $1/8$ del claro de la viga, medido centro a centro de los apoyos.
2. $1/2$ de la distancia entre centros de vigas.
3. La distancia medida hasta el borde de la losa.

2.3 PLANTEAMIENTO NORMATIVO

Actualmente las normativas optan por un sistema clásico de tipificación para definir la seguridad estructural de un elemento mediante su resistencia al fuego medida

en minutos, de modo que para describir el comportamiento de una estructura frente al fuego se habla de *Tiempo de Resistencia al Fuego* (Virgili, 2007).

2.3.1 NORMA ECUATORIANA

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción Contra Incendios NEC-HS-CI (2015) para edificaciones residenciales consideradas como edificaciones de carga baja de fuego de menos de $275\ 000\ [kcal/m^2]$, el tiempo de resistencia al fuego debe ser como mínimo 60 minutos; sin embargo, la Regla Técnica Metropolitana RTQ2 (2015) menciona que, para elementos estructurales de bajo riesgo, el tiempo de resistencia al fuego debe ser de 30 minutos.

2.3.2 NORMATIVA BRASILEÑA

Los criterios considerados en la norma brasileña para la determinación del tiempo de resistencia al fuego (TRF) de elementos constructivos como el acero y hormigón, son las condiciones de exposición al incendio patrón, la gravedad o el potencial destructivo del incendio, que está asociado a las áreas de uso de la edificación y a la facilidad de acceso para evitar la propagación del fuego.

Basados en estos criterios de resistencia al fuego, la ABNT NBR 14432 (2000) en su ANEXO A Tabla A.1, menciona para edificaciones de uso residencial de una altura entre $6\ [m]$ a $12\ [m]$, considera que el tiempo de resistencia al fuego debe ser alrededor de 30 minutos.

2.3.3 NORMATIVA EUROPEA

La normativa europea es una de las normativas más completas debido a que es la más utilizada en investigaciones internacionales en el campo del diseño estructural en situación de incendio.

Entre las normativas más importantes empleadas para el presente trabajo corresponden al Eurocódigo 3 Parte 2 (EN 1993-1-2) que aborda el estudio de vigas metálicas sometidas a altas temperaturas, el Eurocódigo 2 Parte 2 (EN 1992-1-2) y el Eurocódigo 4 Parte 2 (EN 1994-1-2) los cuales cubren el diseño de estructuras de concreto, y el estudio de estructuras de acero mixtas de acero y hormigón a condiciones de incendio, respectivamente. No obstante, es preciso

comentar que existen otros Eurocódigos que servirán como un aporte complementario para la investigación en desarrollo.

Las normativas europeas mencionadas anteriormente abordan la protección pasiva contra incendios y dimensionamientos para las estructuras con el fin de diseñarlas de manera adecuada para limitar la acción del fuego.

2.4 INVESTIGACIONES RELEVANTES EN VIGAS COMPUESTAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO

A lo largo de los años se han desarrollado varias investigaciones experimentales a escala real de estructuras en situación de incendio con el fin de estudiar el comportamiento de los materiales que componen a la estructura a elevadas temperaturas, en países como: Reino Unido y Estados Unidos.

Se presenta una revisión de varias investigaciones desarrolladas alrededor del mundo y publicadas hasta la fecha, cuyos alcances teóricos, prácticos y experimentales generan una fuente de referencia para el presente trabajo.

De los ensayos realizados a escala real destacan los llevados a cabo en el Cardington Laboratory of Building Research Establishment (BRE), Reino Unido en la década de los años 1990. Se efectuaron ensayos en 3 edificios de acero, de concreto y madera de 8, 7 y 6 pisos, respectivamente. En el edificio de acero ensayado con condiciones de incendio natural e incendio estándar provocó pandeo localizado en las vigas, achatamiento de extremidades de los pilares y uniones parcialmente rotas, además se alcanzaron en las vigas de acero, temperaturas en el orden de 1000 [°C] con deformaciones de hasta 600 [mm] sin colapsar (Larrúa, 2016).

En el año 2003, se realizó un ensayo donde se llevó a una estructura hasta temperaturas de 700 – 800 [°C] como se expone en la FIGURA 2.8, con la finalidad de estudiar el comportamiento de la estructura y evaluar la resistencia de la misma después de la acción de fuego (Virgili, 2007). En los resultados obtenidos de este test de fuego se menciona que las temperaturas de los elementos protegidos llegan hasta los 400 [°C] donde su resistencia es considerable, siendo éstos menores en comparación con aquellos elementos que no cuentan con protección ante la acción

del fuego presentando temperaturas que están alrededor de los 1000 [°C] (Dowling, 2004), llegando a la reducción de su resistencia drásticamente y comprometiendo seriamente a la estructura de acero.

FIGURA 2.8 Test de fuego realizado en la Universidad de Cardington

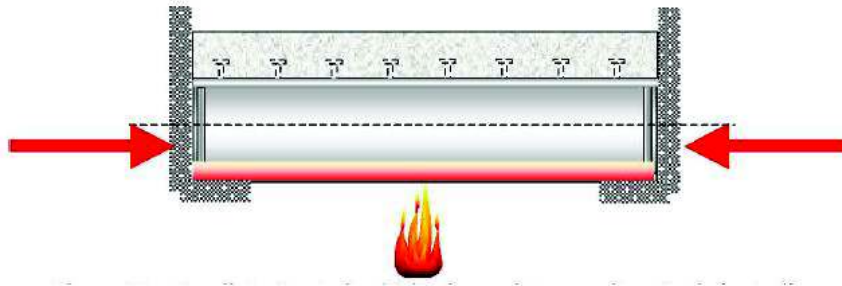


FUENTE: (Dowling, 2004)

El Nacional Institute of Standards and Technology de los EE.UU en el departamento de la Fire Research Division se llevan a cabo estudios de estructuras sometidas a incendio, donde se realizan investigaciones de leyes sobre la evolución del fuego con elementos de extinción tipo *sprinkler* (rociadores) y desarrollo de software comercial para modelar las estructuras bajo efectos térmicos cuyos resultados son avalados con los ensayos que se realizan en sus laboratorios (Virgili, 2007).

En Underwriters Laboratory de Chicago, EE. UU, se elaboraron ensayos de vigas con losas cargadas según la norma ASTM E119. Uno de los tres ensayos que se realizaron es: *restrained beam test*, donde no se impone un límite de temperatura, pero sí se incorpora una reacción excéntrica al eje de la viga vinculada a la dilatación como se observa en la FIGURA 2.9, al colocar esta reacción se favorece la reducción del momento flector, aumentando, por lo tanto, la capacidad resistente de la viga lo que conlleva a resultados económicos. Estos resultados pueden ser tomados para vigas de transición (Silva, 1997).

FIGURA 2.9 Ejemplificación de la condición *restrained* en vigas mixtas en acción de fuego



FUENTE: (Silva, 1997)

2.5 PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL Y DEL HORMIGÓN EN SITUACIÓN DE INCENDIO

El acero y el hormigón constituyen los dos tipos de materiales más utilizados dentro del área de la construcción a nivel mundial (Vega & Burón, 2007); sin embargo, por la acción del fuego pueden verse afectados mediante la pérdida de sus propiedades físicas y químicas, aun cuando no son materiales combustibles. Esta pérdida se vería reflejada por medio de la disminución de la capacidad resistente y de la rigidez de ambos materiales (Pannoni, 2017).

Por un lado, el acero es un gran conductor del calor, el cual se propagaría hacia los demás miembros estructurales ocasionando que presenten deformaciones excesivas (Adámez & Lloret, 2008) y, en consecuencia, fallar ante cualquier sollicitación externa a la que estén sujetas. En el caso del hormigón se produciría lo que se conoce como *Spalling* (desconchado), un fenómeno que induce a la reducción de la capacidad del material debido a que la cohesión existente entre las moléculas de agua tiende a perderse y como resultado se obtiene el desprendimiento del material (Pavez, 2011).

En base a los planteamientos que se exponen en las normativas europeas sobre estructuras en condiciones de incendio se tomará como referencia la información disponible en dichas normas para evaluar las propiedades tanto mecánicas como térmicas del acero y del hormigón.

2.5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS A ALTAS TEMPERATURAS DEL ACERO Y DEL HORMIGÓN

Entre las principales propiedades mecánicas que son fundamentales para el estudio de un análisis estructural ante condiciones de incendio de un sistema de entrepiso conformado por acero y hormigón, son las resistencias a la compresión y a la tracción, el módulo de elasticidad y las relaciones esfuerzo-deformación (Larrúa, 2016). Adicionalmente, se incorpora como propiedad mecánica al coeficiente de dilatación térmica ya que el efecto que se produce en los elementos de expandirse a elevadas temperaturas o comprimirse a bajas temperaturas es esencial para la realización de un modelo numérico (Milke, Kodur, & Marrion, 2002).

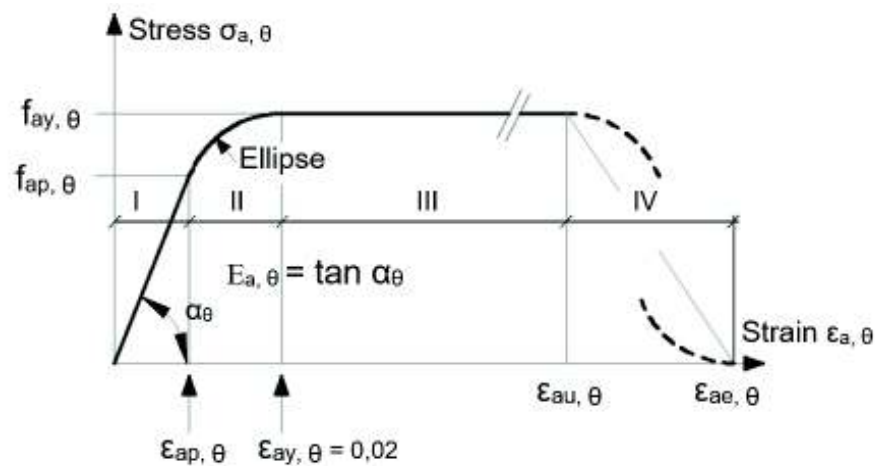
Las propiedades mecánicas de los materiales en cuestión serán estudiadas en base a lo dispuesto en el Eurocódigo 2 (EN 1992-1-2, 2004), Eurocódigo 3 (EN 1993-1-2, 2005) y Eurocódigo 4 (EN 1994-1-2, 2005), como se detalla a continuación:

2.5.1.1 Propiedades mecánicas del acero

La gráfica que relaciona el *esfuerzo vs deformación* del acero a diferentes temperaturas se puede observar en la FIGURA 2.10. Además, se visualizan cuatro zonas específicas:

1. *Zona I*: Representa la pendiente de la etapa elástica de la gráfica esfuerzo-deformación.
2. *Zona II*: Corresponde a una curva elíptica cuyo límite máximo es el esfuerzo de fluencia.
3. *Zona III*: Corresponde a la etapa plástica donde el esfuerzo se mantiene constante e igual al esfuerzo de fluencia.
4. *Zona IV*: Presenta un decaimiento en forma lineal del esfuerzo máximo.

FIGURA 2.10 Modelo matemático de la relación esfuerzo-deformación del acero estructural a altas temperaturas



FUENTE: (EN 1994-1-2, 2005)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Dónde:

$\epsilon_{a, \theta}$ = Deformación del acero en condiciones de incendio

$\sigma_{a, \theta}$ = Esfuerzo del acero estructural en condiciones de incendio

$E_{a, \theta}$ = Módulo de deformación del acero estructural en condiciones de incendio

$f_{ap, \theta}$ = Límite de proporcionalidad del acero estructural en condiciones de incendio

$f_{ay, \theta}$ = Esfuerzo de fluencia del acero estructural en condiciones de incendio

$\epsilon_{ap, \theta}$ = Deformación del acero en condiciones de incendio en el límite de proporcionalidad

$\epsilon_{ay, \theta}$ = Deformación plástica del acero en condiciones de incendio en el inicio del límite de fluencia

$\epsilon_{au, \theta}$ = Deformación del acero en condiciones de incendio en la parte final del límite de fluencia

$\epsilon_{ae, \theta}$ = Deformación última del acero estructural en condiciones de incendio

El Eurocódigo 4 (EN 1994-1-2) (2005) presenta, además, ciertos coeficientes de reducción que relaciona el factor a una temperatura θ con los factores establecidos a temperatura ambiente.

TABLA 2.1 Factores de reducción del acero para diferentes temperaturas

Temperatura del Acero [°C]	Factor de reducción de la pendiente de la zona elástica	Factor de reducción para el límite de proporcionalidad	Factor de reducción para el esfuerzo de fluencia	Factor de reducción del esfuerzo de rotura
	$k_{E,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{E_a}$	$k_{p,\theta} = \frac{f_{ap,\theta}}{f_y}$	$k_{y,\theta} = \frac{f_{ay,\theta}}{f_y}$	$k_{u,\theta} = \frac{f_{au,\theta}}{f_y}$
20	1,000	1,000	1,000	1,250
100	1,000	1,000	1,000	1,250
200	0,900	0,807	1,000	1,250
300	0,800	0,613	1,000	1,250
400	0,700	0,420	1,000	1,000
500	0,600	0,360	0,780	0,780
600	0,310	0,180	0,470	0,470
700	0,130	0,075	0,230	0,230
800	0,090	0,050	0,110	0,110
900	0,068	0,038	0,060	0,060
1000	0,045	0,025	0,040	0,040
1100	0,023	0,013	0,020	0,020
1200	0,000	0,000	0,000	0,000

FUENTE: (EN 1994-1-2, 2005)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El coeficiente de dilatación térmica del acero (α_a) que se mide en [$^{\circ}\text{C}^{-1}$], varía según los diferentes rangos de temperatura que se muestran a continuación:

Entre $20^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 750^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_a = -2.416 \cdot 10^{-4} + 1.2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta_a + 0.4 \cdot 10^{-8} \cdot \theta_a^2 \quad (2.3)$$

Entre $750^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 860^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_a = 11 \cdot 10^{-3} \quad (2.4)$$

Entre $860\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_a = -6.2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta_a \quad (2.5)$$

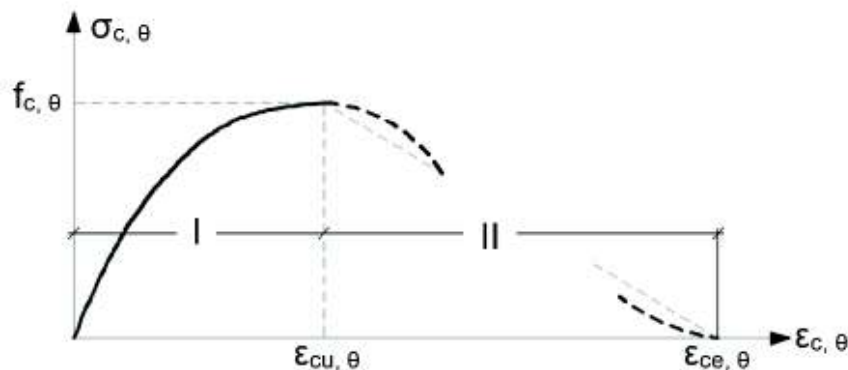
Dónde:

θ_a = Temperatura del acero, en [$^{\circ}\text{C}$]

2.5.1.2 Propiedades mecánicas del hormigón

Para el caso del hormigón, la gráfica *esfuerzo vs deformación* a altas temperaturas se presenta según la FIGURA 2.11:

FIGURA 2.11 Modelo matemático de la relación esfuerzo-deformación del hormigón a altas temperaturas



FUENTE: (EN 1994-1-2, 2005)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Dónde:

$\epsilon_{c, \theta}$ = Deformación del hormigón en condiciones de incendio

$\sigma_{c, \theta}$ = Esfuerzo del hormigón en condiciones de incendio

$f_{c, \theta}$ = Resistencia a la compresión del hormigón en condiciones de incendio

$\epsilon_{cu, \theta}$ = Deformación del hormigón en condiciones de incendio

$\epsilon_{ce, \theta}$ = Deformación máxima del hormigón en condiciones de incendio

Los coeficientes de reducción de la resistencia del hormigón y las deformaciones para elevadas temperaturas se muestran a continuación:

TABLA 2.2 Factores de reducción del hormigón de peso normal con agregados silíceos y calcáreos, para diferentes temperaturas

Temperatura del Hormigón [°C]	HORMIGÓN DE PESO NORMAL					
	Agregados Silíceos			Agregados Calcáreos		
	$k_{c,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{f'_c}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$	$k_{c,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{f'_c}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00	-	-	0,00	-	-

FUENTE: (EN 1992-1-2, 2004)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El *coeficiente de dilatación térmica del hormigón* (α_c) de densidad normal, cuya unidad es [$^{\circ}C^{-1}$], se puede estimar en función de la temperatura por medio de las siguientes ecuaciones:

Entre $20^{\circ}C < \theta_a \leq 700^{\circ}C$:

$$\alpha_c = -1.8 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-6} \cdot \theta_c + 2.3 \cdot 10^{-11} \cdot \theta_c^3 \quad (2.6)$$

Entre $700^{\circ}C < \theta_a \leq 1200^{\circ}C$:

$$\alpha_c = 14 \cdot 10^{-3} \quad (2.7)$$

Sin embargo, el coeficiente de expansión térmica del hormigón para estructuras compuestas se puede tomar como $10 \cdot 10^{-6} [C^{-1}]$, permitiendo el cálculo de los efectos estructurales a diferentes temperaturas (EN 1993-1-1, 2005).

2.5.2 PROPIEDADES TÉRMICAS DEL ACERO Y DEL HORMIGÓN

Las propiedades más importantes que influyen en el aumento de la temperatura para un análisis térmico corresponden a la densidad, calor específico y la conductividad térmica, más que todo, porque se hace factible estudiar cómo estas propiedades se distribuyen en los elementos estructurales en situación de incendio (Milke, Kodur, & Marrion, 2002). El calor específico se define como aquella característica que evalúa la variación térmica de un material cualquiera al estar sometido al calor. En cuanto a la conductividad térmica, mide la capacidad del material de transmitir el calor y, en lo que respecta a la densidad se la considera por la particularidad que tienen los sólidos en dilatarse o en contraerse cuando se calientan o se enfrían, respectivamente, produciendo un cambio brusco en el volumen del elemento (Larrúa, 2016).

2.5.2.1 Propiedades térmicas del acero

Las propiedades térmicas del material en cuestión serán determinadas en base a lo dispuesto en el Eurocódigo 4 (EN 1994-1-2) (2005), como se detalla a continuación:

Para el caso de la *densidad del acero* se puede considerar el valor de 7850 [kg/m^3], de acuerdo a lo establecido por el Eurocódigo 4 (EN 1994-1-2, 2005) como independiente de la temperatura.

El *calor específico del acero* (c_a) se puede expresar en función de la temperatura dependiendo de los rangos que se especifica a continuación, esta propiedad se mide en Joules por kilogramo por grados Kelvin [$J/(kg \cdot K)$]:

Entre $20\text{ }^\circ\text{C} < \theta_a \leq 600\text{ }^\circ\text{C}$:

$$c_a = 425 + 7.73 \cdot 10^{-1} \cdot \theta_a - 1.69 \cdot 10^{-3} \cdot \theta_a^2 + 2.22 \cdot 10^{-6} \cdot \theta_a^3 \quad (2.8)$$

Entre $600\text{ }^\circ\text{C} < \theta_a \leq 735\text{ }^\circ\text{C}$:

$$c_a = 666 - \left(\frac{13002}{\theta_a - 738} \right) \quad (2.9)$$

Entre $735\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 900\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c_a = 545 + \left(\frac{17820}{\theta_a - 731} \right) \quad (2.10)$$

Entre $900\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c_a = 650 \quad (2.11)$$

Dónde:

θ_a = Temperatura del acero, en [$^{\circ}\text{C}$]

La *conductividad térmica del acero* (λ_a) puede ser medida en función de la temperatura del material con las siguientes expresiones, la unidades de esta propiedad corresponden a [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]:

Entre $20\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 800\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\lambda_a = 54 - 3.33 \cdot 10^{-2} \cdot \theta_a \quad (2.12)$$

Entre $900\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\lambda_a = 27.3 \quad (2.13)$$

Donde:

θ_a = Temperatura del acero, en [$^{\circ}\text{C}$]

2.5.2.2 Propiedades térmicas del hormigón

Las propiedades térmicas del material en cuestión serán determinadas en base a lo dispuesto en el Eurocódigo 4 (EN 1994-1-2) (2005), y Eurocódigo 2 (EN 1992-1-2) (2004), como se detalla a continuación:

Debido a que el hormigón presenta pérdida de agua cuando está sometido a altas temperaturas, se establece que la *densidad del hormigón*, en [kg/m^3], varía conforme aumenta la temperatura, las expresiones se detallan a continuación:

Entre $20\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 115\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\rho(\theta) = \rho(20^{\circ}\text{C}) \quad (2.14)$$

Entre $115\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\rho = \rho(20^{\circ}\text{C}) \cdot \left[1 - 0.02 \cdot \frac{(\theta_c - 115)}{85} \right] \quad (2.15)$$

Entre $200\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 400\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\rho = \rho(20^{\circ}\text{C}) \cdot \left[0.98 - 0.03 \cdot \frac{(\theta_c - 200)}{200} \right] \quad (2.16)$$

Entre $400\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\rho = \rho(20^{\circ}\text{C}) \cdot \left[0.95 - 0.07 \cdot \frac{(\theta_c - 400)}{800} \right] \quad (2.17)$$

Dónde:

θ_c = Temperatura del hormigón, en [$^{\circ}\text{C}$]

La densidad a temperatura ambiente ($T = 20^{\circ}\text{C}$) del hormigón es igual a $2300\text{ }[\text{kg}/\text{m}^3]$ (EN 1994-1-2, 2005). Sin embargo, cabe aclarar que la NEC-SE-CG (2015) establece que la densidad del hormigón es igual a $2400\text{ }[\text{kg}/\text{m}^3]$ ($24\text{ }[\text{kN}/\text{m}^3]$).

El *calor específico del hormigón* (c_p) ya sea de tipo silíceo o calcáreo, sin la presencia de humedad (0%), puede ser calculado de la siguiente manera, sus unidades se expresan en [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]:

Entre $20\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 900 \quad (2.18)$$

Entre $100\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 900 + \theta_c - 100 \quad (2.19)$$

Entre $200\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 400\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 1000 + \frac{(\theta_c - 200)}{2} \quad (2.20)$$

Entre $400^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 1200^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 1100 \quad (2.21)$$

Dónde:

θ_c = Temperatura del hormigón, en [°C]

En el Eurocódigo 2 (EN 1992-1-2, 2004) menciona que cuando el contenido de humedad no es tomado en cuenta dentro del método de cálculo, puede ser modelado por medio de un valor constante ($c_{p,peak}$) para un rango de temperatura correspondiente entre 100 [°C] y 115 [°C] con un descenso lineal entre 115 [°C] y 200 [°C] para hormigones con agregados silíceos o calcáreos, es decir:

- $c_{p,peak} = 900 [J/(kg \cdot K)]$ con 0% de contenido de humedad del peso del hormigón.
- $c_{p,peak} = 1470 [J/(kg \cdot K)]$ con 1.5% de contenido de humedad del peso del hormigón.
- $c_{p,peak} = 2020 [J/(kg \cdot K)]$ con 3% de contenido de humedad del peso del hormigón.

La *conductividad térmica del hormigón* (λ_c) depende de dos límites: superior e inferior. El límite superior se obtiene mediante la modelación de elementos conformados de acero y hormigón; mientras que, el límite inferior se establece mediante la modelación de elementos de hormigón armado y pretensado (Larrúa, 2016). Se recomienda la aplicación de cualquiera de estos límites en base al tipo de estructura que se esté estudiando e incluso puede aplicarse un valor promedio entre ambos (Muñoz, 2016). La conductividad térmica se mide en [$W/(m \cdot K)$].

Para el límite superior entre $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ la ecuación es:

$$\lambda_c = 2 - 0.2451 \cdot \left(\frac{\theta_c}{100}\right) + 0.0107 \cdot \left(\frac{\theta_c}{100}\right)^2 \quad (2.22)$$

Para el límite inferior entre $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ la ecuación es:

$$\lambda_c = 1.36 - 0.136 \cdot \left(\frac{\theta_c}{100}\right) + 0.0057 \cdot \left(\frac{\theta_c}{100}\right)^2 \quad (2.23)$$

Dónde:

θ_c = Temperatura del hormigón, en [°C]

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS NUMÉRICO DEL SOFTWARE DE MODELACIÓN

3.1 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

3.1.1 INTRODUCCIÓN

El método de elementos finitos (MEF) se desarrolla sobre una base física para realizar análisis de problemas tanto físicos, de ingeniería o puramente matemáticos. A través del método de elementos finitos se hace posible resolver ecuaciones de gran complejidad de manera eficaz, debido a que muchas ecuaciones diferenciales no se pueden resolver analíticamente por lo que es necesario el uso de métodos numéricos aproximados para su resolución (Nunes, 2005).

De manera general, el método de elementos finitos representa una división de un medio continuo en un conjunto de pequeños elementos simples o subdominios que componen una estructura, cuerpo o dominio más complejo. A este conjunto de subdominios, no intersecantes entre sí, se denominan *elementos finitos* que, además, forman parte de la partición del dominio designado como *discretización* y que se encuentran interconectados mediante puntos llamados *nodos* (Polo, 2017). Para cada uno de estos subdominios se puede describir su comportamiento por medio de ecuaciones relativamente sencillas, que al ser unidos conforman un set relativamente grande de ecuaciones que constituye el comportamiento de la estructura compleja. Para la resolución de elementos finitos, los computadores son de gran importancia puesto que son capaces de resolver varias ecuaciones de manera simultánea aun cuando el número de elementos sea elevado, entregando una solución de los elementos por separado (Ortiz, 2006).

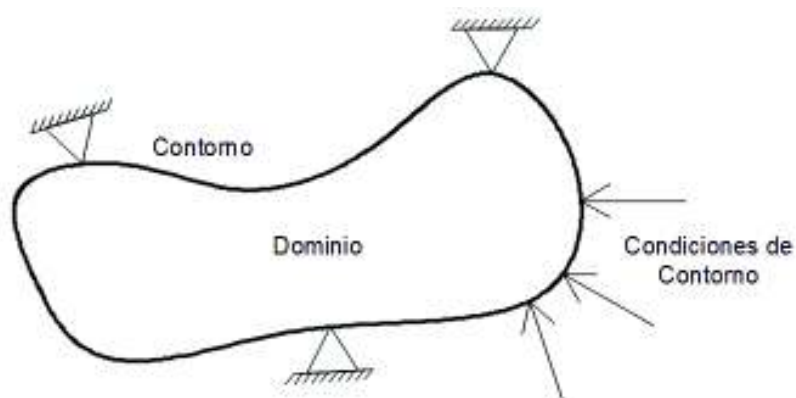
Con lo anteriormente mencionado, se puede decir entonces que se logra pasar de un sistema continuo con infinitos grados de libertad, a un sistema con finitos grados de libertad, gobernados por ecuaciones diferenciales lineales o no lineales (Fuentes, 2011). Para éste último caso se producirá cuando el estudio contemple

análisis más complicados que introduzcan un comportamiento en el rango no lineal del sistema (Gallegos, 2017).

Según Martín (2015), en todo sistema se puede identificar los siguientes:

- *Dominio*: Espacio geométrico en el que se va a analizar el sistema.
- *Condiciones de contorno o de borde*: Representan las variables conocidas que provocan la respuesta del sistema, es decir: cargas, desplazamientos, temperaturas, etc.
- *Incógnitas*: Representan las variables que se requieren conocer a partir de las condiciones de contorno que están afectando al sistema.

FIGURA 3.1 Esquema representativo de las condiciones de contorno de un sistema



FUENTE: (Martín, 2015)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

3.1.2 PASOS DE DESARROLLO DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

3.1.2.1 Selección del Tipo de Elemento y Mallado

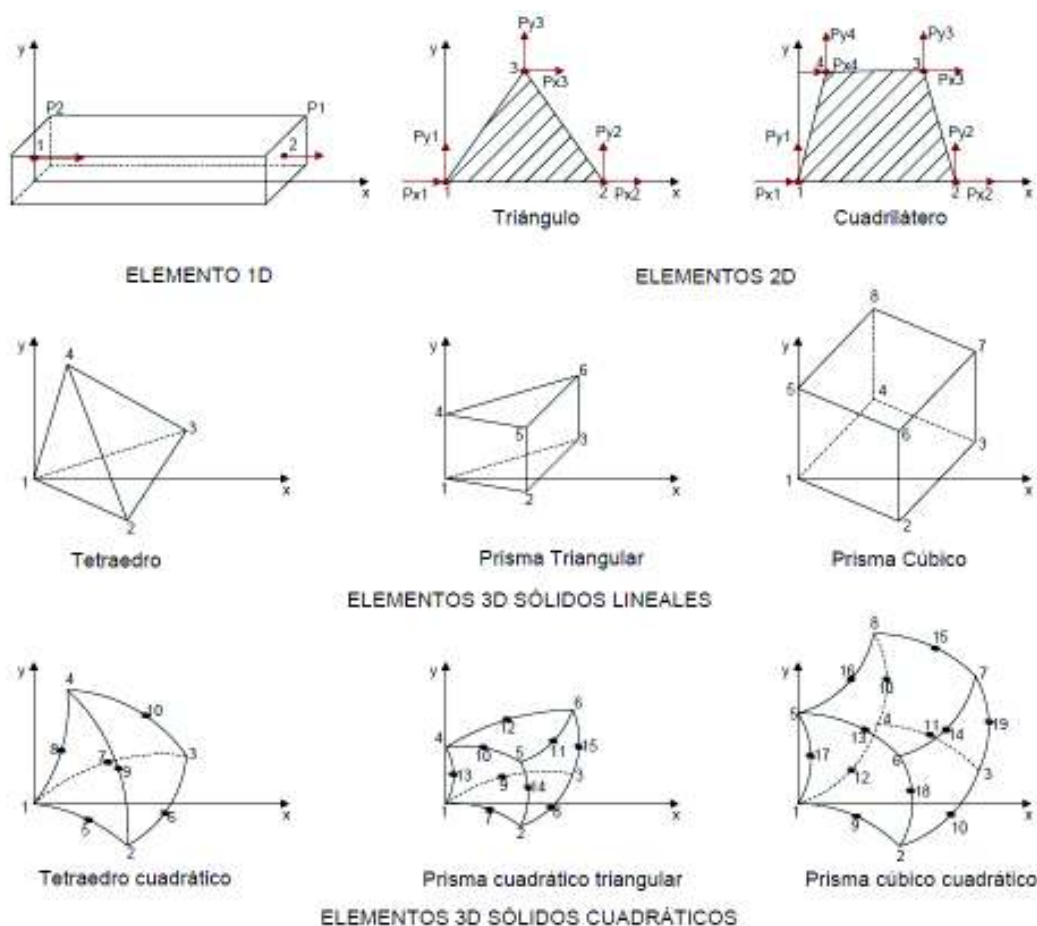
Se debe seleccionar el modelo matemático que describa el comportamiento o realidad física del elemento a estudiar, conjuntamente se debe definir las propiedades mecánicas que lo componen, además del carácter de la deformación de los mismos. Una vez definido el modelo matemático, se procede a discretizar la estructura en elementos más pequeños (elementos finitos), que están caracterizados por nodos, los mismos que están localizados en las aristas de los elementos. La discretización de los elementos es una parte fundamental de todo

análisis puesto que incluye la representación gráfica de la malla de elementos finitos (Ortiz, 2006).

Para simular la estructura se selecciona un elemento finito, en el software a utilizar, en su librería, presenta una gran variedad de elementos, tales como (Muñoz, 2016):

- *Elementos 1D*: Son de tipo lineal y curvo. Los elementos 1D lineal son de tipo barra que contienen un nodo en cada extremo, mientras que los de mayor orden presentan tres o cuatro nodos que son curvos a los cuales se les denomina 1D cuadráticos o cúbicos.
- *Elementos 2D (planos)*: Son utilizados para modelar estructuras cargadas por fuerzas en su propio plano, en los que se producen tensiones y deformaciones planas. Los elementos pertenecientes a este grupo son triangulares y cuadrangulares que generalmente son de espesor constante. Se denominan elementos 2D lineales aquellos que tienen nodos en sus vértices; por el contrario, se denominan elementos cuadráticos o cúbicos a los elementos de mayor orden que contienen uno o dos nodos entre sus vértices.
- *Elementos 3D (sólidos)*: Cargados por fuerzas 3D. Son elementos de tipo tetraédricos y hexaédricos que generalmente se emplean en geometrías complejas. Para geometrías un poco más simples que poseen nodos en los vértices se denominan sólidos lineales, y los de mayor orden que poseen uno o dos nodos entre vértices son cuadráticos o cúbicos.

Para autenticar el correcto uso del método, se debe hacer una serie de análisis de convergencia con el fin de validar el modelo matemático utilizado, el cual consiste en asignar diferentes tamaños a los elementos discretizadores (refinamiento de malla) para verificar la tendencia de los resultados a un valor constante, de esto dependerá la obtención de resultados más confiables en un menor tiempo de coste computacional (Muñoz, 2016).

FIGURA 3.2 Tipos de elementos finitos

FUENTE: (Muñoz, 2016)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

3.1.2.2 Formulación de las relaciones deformación-desplazamiento y esfuerzo-deformación

Para obtener la solución se comienza calculando los desplazamientos de los nodos ya que éstos son los que conectan los elementos pequeños entre sí. El desplazamiento del nodo en su forma más simple es una función lineal. Matemáticamente, al derivar el desplazamiento en dirección longitudinal se obtiene la deformación (Mugo, 2014). A continuación, se expresa la relación deformación-desplazamiento:

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (3.1)$$

Dónde:

ε_x = Deformación axial del elemento

u = Desplazamiento longitudinal

Para determinar la relación esfuerzo-deformación, se multiplica la deformación axial que sufre el elemento por el módulo de elasticidad, el mismo que representa la Ley de Hooke:

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x \quad (3.2)$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad

σ_x = Esfuerzo en dirección x

Al tener un mayor refinamiento en los elementos hace que las distribuciones de los esfuerzos sean más precisas, conduciendo a resultados más exactos. Sin embargo, la desventaja de obtener un mejor refinamiento provoca que se tengan una gran cantidad de elementos pequeños que influye en el tiempo de cálculo (Gallegos, 2017).

3.1.2.3 Planteamiento de las Ecuaciones de Equilibrio y Ensamblaje

Para obtener la matriz de rigidez de cada elemento, se plantea un sistema de ecuaciones de equilibrio directo y métodos de energía y trabajo de cada nodo que contiene la estructura. El método de equilibrio según Terreros (2014), "*consiste en aplicar condiciones de fuerzas en equilibrio y relaciones fuerza-deformación para cada elemento finito*" (p. 56). Una de las desventajas de este método es que solo se aplica a elementos unidimensionales, puesto que, para elementos de orden superior, 2D y 3D, es más factible trabajar con el método de trabajo virtual.

A continuación, se muestra la ecuación matricial:

$$\{f\} = [k] \cdot \{d\} \quad (3.3)$$

Dónde:

$\{f\}$ = Vector de fuerzas nodales

$[k]$ = Matriz de rigidez del elemento

$\{d\}$ = Vector de desplazamiento en los nodos

Para ensamblar la matriz de rigidez global se usa el método de rigidez directo, el cual se fundamenta en el equilibrio de fuerzas nodales, Muñoz (2016) afirma “*que para cualquier estructura en equilibrio, las fuerzas y desplazamientos nodales deben tener continuidad y compatibilidad en el elemento finito individual, así como en la estructura completa*” (p. 56). El vector de fuerzas de la estructura global se expresa como:

$$\{F\} = [K] \cdot \{D\} \quad (3.4)$$

Dónde:

$\{F\}$ = Vector de fuerzas nodales globales

$[K]$ = Matriz global de rigidez del elemento

$\{D\}$ = Vector de desplazamiento globales de la estructura

Se aplican métodos algebraicos o iterativos para la determinación de los desplazamientos en cada grado de libertad. Al determinar los esfuerzos, deformaciones, reacciones de los elementos, se diseña la estructura para evaluar sus modos de fallo, deflexiones máximas y mínimas y esfuerzos (Muñoz, 2016).

3.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE MODELACIÓN

El software de modelación está dentro de la categoría de Análisis de Elementos Finitos (FEA: “*Finite Element Analysis*” por sus siglas en inglés), gracias a sus aplicaciones se obtienen soluciones aproximadas de ingeniería a un menor costo y reduciendo el tiempo para concretar un diseño, pruebas, ensayos y evaluaciones reales (Barreto & Jiménez, 2013).

El software de modelación, es un programa computacional de elementos finitos utilizado para resolver problemas asociados al campo de ingeniería que comprende desde la ingeniería mecánica o estructural hasta la biomecánica o electrotecnia. En sus módulos se pueden analizar la transferencia de calor, mecánica de fluidos, entre otros (Manjarrés, 2015).

En el presente trabajo se desarrollan análisis térmicos transitorios con el fin de simular el comportamiento de vigas compuestas sometidas a una acción de incendio y análisis estáticos estructurales para observar la degradación de la resistencia a cortante y momento flector de la sección compuesta.

3.2.1 ESPACIO DE TRABAJO DEL SOFTWARE FEA

El espacio de trabajo del software de modelación FEA (Análisis por Elementos Finitos), es una herramienta que se utiliza junto con sistemas CAD y/o Design Modeler. En su entorno se pueden realizar varios tipos de análisis como, por ejemplo: estructurales, térmicos y electromagnéticos (Santelli & Nunes, 2017).

En el entorno de trabajo los proyectos están impulsados por un flujo de trabajo esquemático el cual gestiona las conexiones entre los sistemas. En cada esquema que se crea, se puede interactuar con aplicaciones nativas del software (áreas de trabajo). Los espacios de trabajo nativos contienen la geometría del proyecto, datos de ingeniería, parámetros y puntos de diseño (Santelli & Nunes, 2017).

3.2.2 CONSIDERACIONES DE MODELACIÓN MEDIANTE FEA

3.2.2.1 Geometría y Materiales

Se define la geometría mediante la creación de líneas, superficies o volúmenes simplificando pequeños detalles locales o pequeños recortes que interfieren en un mallado óptimo y que, a su vez, pueden generar distorsiones y un mayor tiempo de procesamiento en la modelación (Abambres & Rui Arruda, 2015).

En cuanto a los materiales se conoce que algunos presentan relaciones esfuerzo-deformación lineales o no lineales (Muñoz, 2016). En los programas que consideran en su interfaz el análisis de elementos finitos, se requiere que las propiedades inherentes de los materiales en cuestión sean ingresadas teniendo presente curvas reales esfuerzo-deformación para que, de cierta manera, se incluyan en el análisis los cambios de volumen que se generan en el rango plástico (Gallegos, 2017). Por esta razón, tanto los esfuerzos como las deformaciones unitarias ingenieriles deben ser transformadas a esfuerzos y deformaciones unitarias reales, según las expresiones que se muestran a continuación (Selamet & Garlock, 2010):

$$\sigma_{real} = \sigma \cdot (1 + \varepsilon) \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_{real} = \ln(1 + \varepsilon) \quad (3.6)$$

Dónde:

σ_{real} = Esfuerzo real

ε_{real} = Deformación unitaria real

σ = Esfuerzo ingenieril

ε = Deformación unitaria ingenieril

En el software de modelación FEA las propiedades elásticas e inelásticas del material las especifica de forma separada. De esta manera las deformaciones plásticas se determinan restando la deformación elástica real de la deformación total de las curvas reales de esfuerzo-deformación, como se indica en la siguiente expresión (Gallegos, 2017):

$$\varepsilon_{real}^{pl} = \ln(1 + \varepsilon) - \frac{\sigma_{real}}{E} \quad (3.7)$$

Dónde:

ε_{real}^{pl} = Deformaciones plásticas reales

σ_{real} = Esfuerzo real

ε = Deformación unitaria ingenieril

E = Módulo de Young o módulo de elasticidad

3.2.2.2 Contactos

La asignación de los contactos, dentro de la modelación de estructuras, para la mayor parte de las superficies es fundamental debido a que infiere en una representación cercana a la realidad. Es así que los contactos permiten describir la interacción existente entre los elementos que se encuentran conectados (Gallegos, 2017).

Según Urruticoechea (2014), cuando dos superficies se unen mutuamente se dice que están en contacto, las cuales presentan las siguientes características:

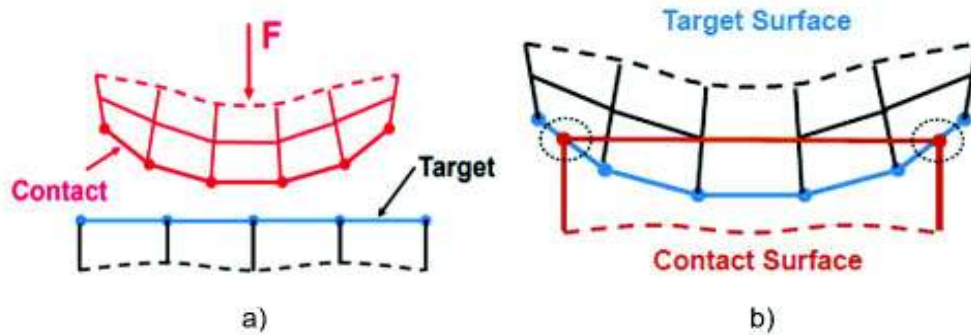
- Las superficies de los cuerpos en contacto no se compenetran.
- Transmiten esfuerzos normales de compresión y esfuerzos tangenciales de fricción.
- No transmiten fuerzas normales de tensión, esto conlleva a que sus superficies puedan separarse entre sí.

El entorno de trabajo del software de modelación FEA, define el *par de contacto* mediante dos tipos de elementos llamados *contact surface* (superficie de contacto) y *target surface* (superficie objetivo) (Rojas, 2015).

Para asignar el *par de contacto* se debe conocer la zona donde se producirá el contacto durante la deformación de los elementos en estudio (Ros Martín, 2017). Cabe recalcar, que los elementos de contacto no se compenetran; sin embargo, los elementos de destino pueden penetrar a través del elemento de contacto, como se representa en la FIGURA 3.3b.

Para la designación de contactos de tipo rígido-flexible, el elemento target corresponderá a la superficie rígida, mientras que el elemento deformable será el elemento contacto. Por el contrario, si el contacto es de tipo flexible-flexible se debe tener en cuenta las siguientes posibilidades para la designación de las superficies (Ros Martín, 2017):

- Si un elemento convexo entra en contacto con un elemento cóncavo, el elemento cóncavo será asignado como superficie objetivo.
- Si una superficie tiene un mallado más fino en comparación con las restantes, ésta será la *superficie objetivo* mientras que la *superficie contacto* corresponderá al elemento con mallado grueso.
- Para dos elementos rígidos que estén en contacto se asignará la superficie contacto al elemento más rígido entre ellos.

FIGURA 3.3 Comportamiento de los pares de contacto

FUENTE: (Urruticoechea, 2014)

Existen cinco tipos de contactos en el entorno de trabajo que a continuación, se mencionan:

TABLA 3.1 Tipos de contactos de los elementos

Tipos de Contactos	Comportamiento
<i>Bonded</i>	Las superficies seleccionadas no tienen la posibilidad de deslizarse o separarse entre ellas.
<i>No separation</i>	Las superficies en contacto no se separan ni se compenetrán entre sí, pero si se presenta un deslizamiento sin fricción entre las mismas.
<i>Frictionless</i>	Se limita a la compenetración entre elementos, pero sus superficies actúan con libertad de deslizarse y separarse sin resistencia.
<i>Frictional</i>	Se permite la separación y deslizamiento de los elementos, pero se debe proporcionar un coeficiente de fricción entre los componentes.
<i>Rough</i>	Se limita el deslizamiento, pero las superficies pueden separarse sin resistencia.

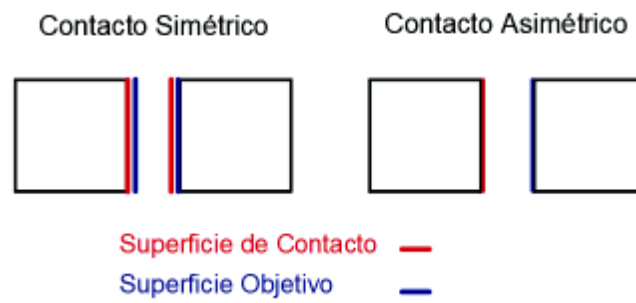
FUENTE: (Gallegos, 2017)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Además de definir el tipo de contacto de los elementos se debe seleccionar el comportamiento entre las superficies, el software FEA muestra dos opciones: comportamiento simétrico o asimétrico. El contacto asimétrico, por lo general, es utilizado para contactos de tipo *superficie-superficie*, donde se elige manualmente cuál es la superficie de contacto y la objetivo, así se asegura que la superficie de contacto no podrá penetrar a la superficie objetivo. Por otro lado, en el contacto simétrico que también se usa para contactos tipo *superficie-superficie*, en ambos lados se seleccionan de forma automática las superficies de contacto y las superficies objetivo (Vargas, 2010), como se muestra en la FIGURA 3.4.

Como dato adicional, el uso del tipo de contacto simétrico se recomienda cuando el comportamiento que se presume entre la superficie de contacto y la superficie objetivo no está claro, o en el caso de la presencia de un tipo de malla poco refinado (Ros Martín, 2017).

FIGURA 3.4 Contacto simétrico y asimétrico



FUENTE: (Urruticoechea, 2014)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

3.2.2.3 Mallado

El mallado tiene como objetivo principal el de representar la parte matemática del modelo geométrico, el mismo que forma parte de una idealización del modelo real que se requiere analizar. El software FEA define el mallado (o *mesh*) de manera automática dependiendo de la clase de problema y la física con la que se esté trabajando. Para poder controlar la calidad de la malla es necesario tomar en cuenta aspectos como: densidad, forma, tamaño, etc., donde no es posible realizar una discretización de los elementos de manera arbitraria (Urruticoechea, 2014).

Existen dos tipos de malla, que son: estructurada y la no estructurada. La malla estructurada se define de manera manual, dividiendo a un bloque en varios bloques pequeños que se van constituyendo en la superficie del modelo; este tipo de malla se utiliza con más frecuencia en geometrías sencillas. En cambio, la malla no estructurada se aplica para geometrías más complejas que puede definirse de manera automática por el programa mediante la utilización de diferentes métodos que tiene preestablecido el software FEA (De Vehi Sarrazin, 2016).

Es importante establecer qué factores intervienen para medir la calidad de la malla, entre los más comunes que se toman en cuenta son: la oblicuidad (*Skewness*), la

ortogonalidad (*Orthogonal quality*) y la relación de aspecto (*Aspect and Jacobian Ratio*). La oblicuidad mide la calidad de la malla en una escala de 0 a 1, donde 0 representa la mejor posible. La ortogonalidad mide, igualmente, en una escala de 0 a 1, siendo el valor de 1 la de mejor calidad (De Vehi Sarrazin, 2016). En cuanto a la relación de aspecto que se define como la relación entre la mayor dimensión y la menor dimensión de un elemento con forma de cuadrilátero, mide la calidad en un rango de 0 a 1, donde 1 se considera el valor ideal (Abambres & Rui Arruda, 2015).

3.2.3 ANÁLISIS TÉRMICO EN EL SOFTWARE FEA

La exposición al fuego puede asumirse que actúa uniformemente a lo largo de una viga de longitud (L), esto es posible, debido a los ensayos experimentales que se han realizado en las investigaciones de Kodur & Fike (2009) y que han permitido establecer dicha suposición como una simplificación válida para el análisis térmico de elementos estructurales (Naser, 2016). La ecuación de la transferencia de calor diferencial para secciones transversales de un miembro estructural se describe de la siguiente manera (Ibarra, 2010):

$$\rho \cdot c_{(T)} \cdot \frac{dT}{dt} = \nabla \cdot [k_{(T)} \cdot \nabla T] \quad (3.8)$$

Dónde:

ρ = Densidad

c = Calor específico

∇ = Operador de gradiente espacial

k = Conductividad térmica

T = Temperatura

t = Tiempo

Los principales mecanismos de transferencia de calor cuando se produce la acción del fuego están dados por la convección y la radiación (Barrosa, 2004), la ecuación que expresa este flujo de calor se muestra a continuación:

$$q_b = (h_{con} + h_{rad}) \cdot (T - T_f) \quad (3.9)$$

Dónde:

q_b = Flujo de calor, en $[W/m^2]$

h_{con} = Coeficiente de convección, en $[W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$

h_{rad} = Coeficiente de radiación, en $[W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$

T = Temperatura, en $[^\circ K]$

T_f = Temperatura del fuego, en $[^\circ K]$

Para incendios estándar se puede considerar el coeficiente de convección (h_{con}) igual a 25 $[W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$. El coeficiente de radiación se obtiene mediante la siguiente ecuación (EN 1991-1-2, 2002):

$$h_{rad} = 4 \cdot \sigma' \cdot \varepsilon' \cdot (T^2 - T_f^2) \cdot (T - T_f) \quad (3.10)$$

Dónde:

h_{rad} = Coeficiente de radiación, en $[W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$

T = Temperatura, en $[^\circ K]$

T_f = Temperatura del fuego, en $[^\circ K]$

σ' = Constante de Stefan-Boltzman, igual a $5.67 \cdot 10^{-8} [W/(m^2 \cdot ^\circ K^4)]$

ε' = Factor de emisividad, depende de las superficies expuestas del miembro estructural al fuego

Para un análisis numérico que contempla un estudio sobre la transferencia de calor, la emisividad constituye una propiedad muy importante a considerar debido a que el fuego tiene su origen desde un cuerpo negro que emite el máximo calor o energía posible en todas las direcciones espaciales. En consecuencia, para conocer la pérdida de calor que se produce en el entorno circundante durante el proceso en que el fuego viaja desde la fuente al miembro estructural, y para obtener resultados mucho más detallados, es preciso obtener una emisividad equivalente que dependa de la temperatura de la superficie del material y de los gases (Aziz, 2015). Esta temperatura puede ser establecida a partir de la curva de fuego estándar; la

ecuación que permite representar la emisividad equivalente en función de la temperatura que presenta cada material se expresa de la siguiente manera (Ghojel & Wong, 2005):

$$\varepsilon_{eq} = a + b \cdot \theta_m + c \cdot \theta_m^2 + d \cdot \theta_m^3 + e \cdot \theta_m^4 \quad (3.11)$$

Dónde:

$$a = 0.4050437; b = -0.00039097791; c = 1.2346388 \cdot 10^{-6};$$

$$d = -2.4208742 \cdot 10^{-9}; e = 1.3968447 \cdot 10^{-12}$$

θ_m = Temperatura de la superficie del material, en [°C]

ε_{eq} = Emisividad Equivalente, adimensional

La transferencia de calor por conducción de un elemento estructural según la Ley de Fourier corresponde a la siguiente ecuación (Naser, 2016):

$$-q_b = k \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial y} n_y + \frac{\partial T}{\partial z} n_z \right) \quad (3.12)$$

De la Ecuación (3.12) se establece que los componentes de los vectores normales del plano de la sección transversal se representan por n_y y n_z . Además, es importante considerar las condiciones de borde dentro del análisis, ya que si el miembro estructural está sometido a la acción del fuego por tres lados, entonces, existen dos clases de ecuaciones de borde o de contorno que describen lo anteriormente planteado (Naser, 2016), es decir:

- La ecuación del flujo de calor para condiciones de borde expuestos al fuego:

$$q_b = -h_f \cdot (T - T_f) \quad (3.13)$$

- La ecuación del flujo de calor para condiciones de borde no expuestos al fuego:

$$q_b = -h_o \cdot (T - T_o) \quad (3.14)$$

Dónde:

h_f = Coeficiente de transferencia de calor del lado que está expuesto al fuego

h_o = Coeficiente de transferencia de calor del lado que no está expuesto al fuego

T_f = Temperatura del lado expuesto al fuego

T_o = Temperatura del lado que no está expuesto al fuego

En cuanto a las temperaturas nodales de un elemento se obtienen mediante la matriz de función de forma (N) para así determinar la temperatura total del elemento, así:

$$T = [N]^T \cdot T_e \quad (3.15)$$

Para encontrar la ecuación de la transferencia de calor en forma matricial a partir de las Ecuaciones (3.8) y (3.12), según Cook, Malkus, Plesha & Witt (2002) se procedió de la siguiente manera:

$$Q_e = C_e^t \cdot \dot{T}_e + K_e^t \cdot T_e \quad (3.16)$$

Dónde:

C_e^t = Matriz de la capacidad de calor

K_e^t = Matriz de rigidez térmica, corresponde a la suma de las matrices de conducción y convección

T_e = Temperatura nodal

Q_e = Carga térmica nodal que involucra a los flujos de calor por convección y radiación

3.2.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN EL SOFTWARE FEA

El análisis estructural se basa en la aplicación de un principio fundamental denominado el principio del trabajo virtual. De manera que, si se produce algún cambio en el trabajo interno entonces se deberá equilibrar mediante un cambio en el trabajo externo como consecuencia de las cargas aplicadas en el sistema. Es importante mencionar que los datos preliminares que se requieren dentro del presente análisis corresponden a las temperaturas nodales que se generaron en los resultados de la parte térmica anteriormente descrito (Aziz, 2015).

Las ecuaciones que engloba el software de modelación para el análisis estructural según Aziz (2015) y Naser (2016), son descritas como sigue:

El trabajo realizado para deformar un sistema estructural es igual a la energía de deformación acumulada, la misma que utiliza el sistema para recuperar su forma original una vez que ya no estén aplicadas las cargas externas, esto se traduce en la Ecuación (3.17).

$$\delta U = \delta V \quad (3.17)$$

Dónde:

U = Energía de deformación

V = Trabajo externo

El cambio o variación de la energía de deformación (δU) puede ser evaluada en un diferencial de volumen de la siguiente manera:

$$\delta U = \int_v \{\delta \varepsilon_u\} \cdot \sigma_n \cdot dv \quad (3.18)$$

Dónde:

ε_u = Deformación unitaria

σ_n = Esfuerzo normal

dv = Diferencial de volumen

Para miembros estructurales sometidas a la acción del fuego, el vector de deformación (ε_1) representa la suma de la deformación térmica y deformación mecánica para todos los materiales, a excepción del hormigón que se incluirá en dicha suma la deformación lenta o *creep*. (Naser, 2016):

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_m + \varepsilon_{th} + \varepsilon_{cr} \quad (3.19)$$

Dónde:

ε_m = Deformación mecánica

ε_{th} = Deformación térmica

ε_{cr} = Deformación lenta (si el material en consideración es el hormigón)

En cuanto a la variación del trabajo externo (δV) debido a la aplicación de las cargas nodales puede ser calculada suponiendo que existe una variación de los desplazamientos nodales, es decir:

$$\delta V = \{\delta u\}^T \cdot \{F e^n\} \quad (3.20)$$

Dónde:

$F e^n$ = Fuerza nodal

δu = Desplazamiento nodal

Para obtener los desplazamientos nodales que considera el método de elementos finitos (MEF), se debe relacionar con el campo de desplazamiento nodal a través de la matriz de funciones de forma, como se indica a continuación:

$$u_e = \{N\}^T \cdot u \quad (3.21)$$

Dónde:

u_e = Desplazamiento nodal de elementos finitos

N = Matriz de funciones de forma

u = Desplazamiento nodal

Finalmente, la ecuación del trabajo virtual presentado en la Ecuación (3.17) puede describirse en forma de matriz, así:

$$K_e \cdot u_e - F e^{th} = F e^n \quad (3.22)$$

Dónde:

K_e = Matriz de rigidez

$F e^{th}$ = Vector de carga térmica del elemento

u_e = Desplazamiento nodal de elementos finitos

$F e^n$ = Fuerza nodal

3.2.4.1 Principios básicos de diseño estructural en situación de incendio

La probabilidad de colapso o inestabilidad estructural de un edificio debe ser mínima, esto se garantiza teniendo la seguridad de que los elementos estructurales provean de una capacidad portante que se mantenga en el tiempo que dure la acción del fuego (Clifton & Feeney, 2004). Dicho de otra manera, en caso de que la carga que se esté aplicando supere la capacidad portante del elemento estructural, se tendrá como resultado el fallo de este elemento en un instante determinado durante el desarrollo del incendio (Adámez & Lloret, 2008). Por lo tanto, los elementos estructurales deben conservar su integridad, estabilidad (capacidad de carga) y aislamiento, cumpliendo con un tiempo específico de resistencia, así como también de una temperatura crítica (Arcelormittal, Peiner Trager & Corus, 2008).

La verificación de que la resistencia de la estructura sea superior a la severidad del incendio constituye un paso fundamental para el diseño estructural, es por ello que debe cumplirse la siguiente expresión (Adámez & Lloret, 2008):

$$\textit{Resistencia al Fuego} \geq \textit{Severidad del Incendio} \quad (3.23)$$

De acuerdo con Adámez & Lloret (2008): “*La resistencia al fuego de la estructura es una medida de su capacidad para resistir el fallo o colapso mientras que la severidad del incendio es una medida de su potencial destructivo que podría llegar a producir el colapso de la estructura*” (p. 108).

Si se realiza un control en función del dominio del tiempo se debe conocer de antemano que los niveles de resistencia al fuego están basados en modelos de incendio de tipo estándar (Curva ISO 834) y que la duración del mismo se puntualiza regularmente en las normas referente a incendios (Lloret, 2009).

TABLA 3.2 Métodos para la verificación de la Resistencia al fuego vs. Severidad del incendio

Dominio	Unidades	Resistencia al Fuego	Severidad del Incendio
Tiempo	Minutos/horas	Tiempo de colapso	Duración del fuego calculada o especificada
Temperatura	°C	Temperatura que produce el colapso	Máxima temperatura alcanzada durante el incendio
Resistencia	kN	Capacidad de carga a temperatura elevada	Carga aplicada durante el incendio

FUENTE: (Adámez & Lloret, 2008)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

CAPÍTULO 4

MODELACIÓN DEL SISTEMA DE ENTREPISO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE

4.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO “TORINO”

El presente trabajo contempla el estudio del sistema de entrepiso del edificio “Torino”. Este edificio tiene como principal uso el tipo residencial y se sitúa en la zona administrativa norte de la ciudad de Quito, específicamente en la parroquia Kennedy, barrio La Victoria.

El edificio cuenta con 4 pisos y 1 subsuelo formando una altura total de 15.13 [m]. Cada piso posee un área promedio de 147.19 [m²], y 723.53 [m²] en su totalidad. La planta tipo se puede visualizar en la FIGURA 4.1, en la cual se especifican las vigas que se van a tomar en cuenta para la modelación y su ubicación en la planta tipo, determinadas a partir de la longitud más crítica que cada una presenta.

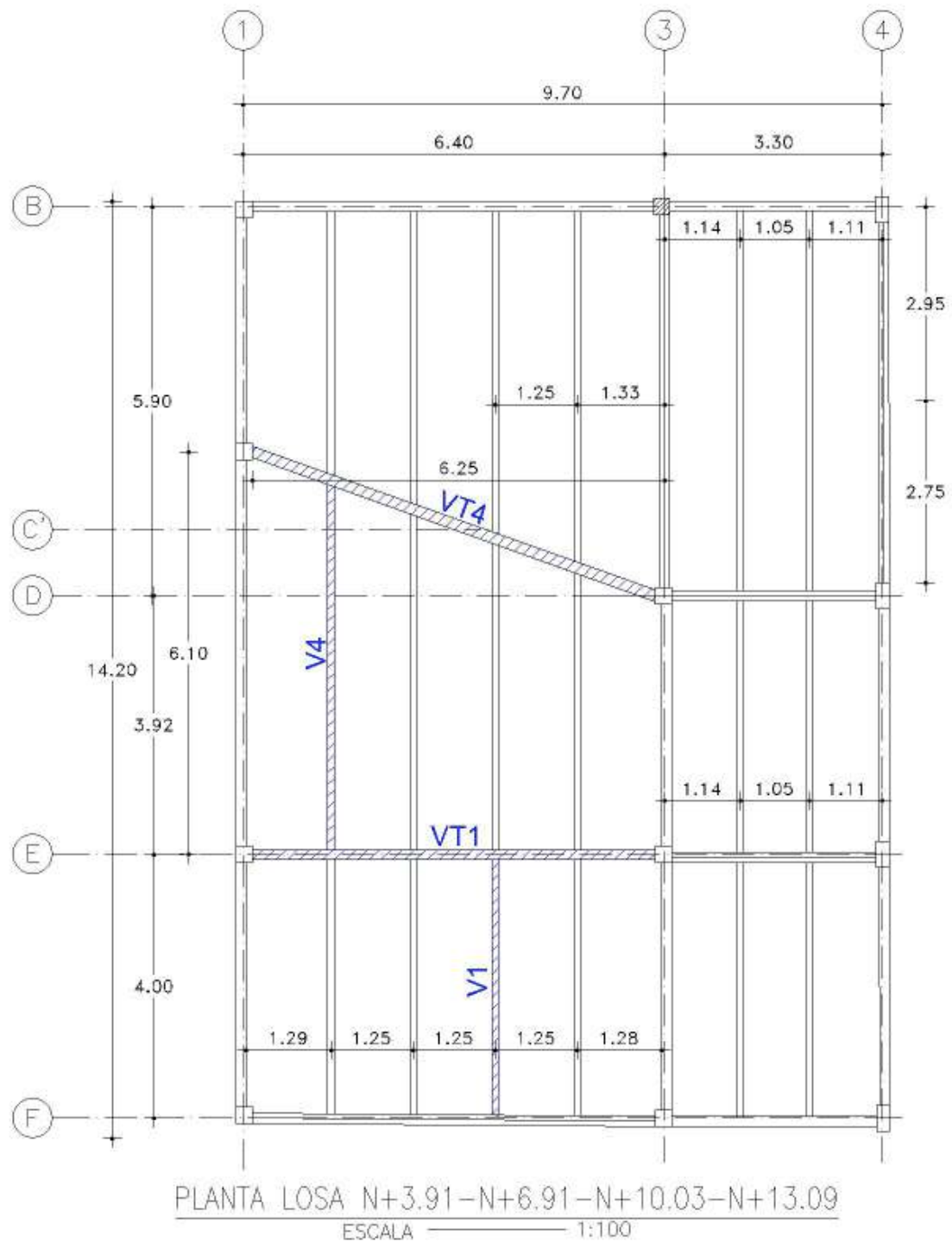
TABLA 4.1 Longitudes críticas de las vigas a modelar

Nomenclatura	Descripción	Longitud [m]
VT4	Viga principal	6,75
VT1	Viga principal	6,40
V4	Viga secundaria	6,10
V1	Viga secundaria	4,00

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Los modelos se denominarán de acuerdo a la nomenclatura expuesta para cada tipo de viga de la TABLA 4.1.

FIGURA 4.1 Ubicación de las vigas a modelar en la planta tipo



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.2 MATERIALES

Las principales características mecánicas de los materiales en cuestión: acero y hormigón, se determinaron en función de las especificaciones establecidas por el trabajo realizado de Castillo & Fuertes (2017). Los datos surgieron principalmente de la información que proporciona la norma ecuatoriana NEC-SE-CG Cargas No Sísmicas (2015), norma que puntualiza que el esfuerzo de fluencia en aquellos elementos que alcancen un comportamiento inelástico no debe exceder de 345 [MPa].

En la TABLA 4.2 y TABLA 4.3, se muestran los valores respectivos de esfuerzo de fluencia (F_y), y el módulo de elasticidad (E_s) del acero, y del hormigón se muestra únicamente el valor del esfuerzo máximo a compresión (f'_c); todas ellas a temperatura ambiente. Se debe señalar que el módulo de elasticidad del hormigón (E_c) se determinará tomando en cuenta las premisas que los Eurocódigos detallan acerca del cálculo que se debe realizar cuando varía la temperatura y que se describen en el apartado correspondiente a la Ley del Comportamiento del hormigón.

TABLA 4.2 Características mecánicas del acero

Material	Esfuerzo de Fluencia, F_y		Módulo de Elasticidad, E_s
	[MPa]	[ksi]	[MPa]
Acero A36	250	36	2,10E+05

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

TABLA 4.3 Características mecánicas del hormigón

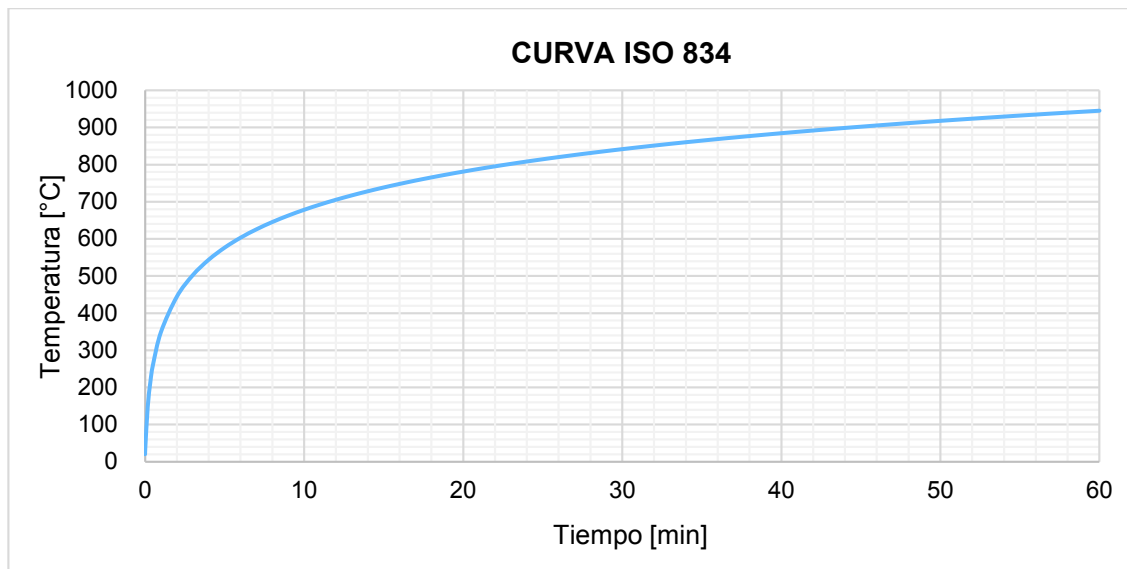
Material	Esfuerzo Máximo a Compresión, f'_c
	[kg/cm ²]
Hormigón	210

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

A partir de la Ecuación (2.1), que indica la expresión para la obtención de la curva de fuego estándar, se determinarán ciertos requisitos importantes para configurar las propiedades de los materiales y su variación con respecto a la temperatura

como, por ejemplo: la emisividad producto de la radiación y la convección debido a los gases y a la temperatura ambiente. La curva de fuego normalizada se representa en la FIGURA 4.2.

FIGURA 4.2 Curva de fuego estándar



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Las propiedades de los materiales que se detallan en los siguientes apartados deben ser ingresados en el módulo *Engineering Data* del software FEA.

4.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

El Eurocódigo 3 (EN 1993-1-2, 2005) que trata sobre el estudio y diseño de estructuras de acero frente al fuego permite entender cómo afecta la temperatura (en su fase de calentamiento) a las propiedades mecánicas del acero. En tanto que, para las propiedades mecánicas del hormigón se toma en consideración lo recomendado por el Eurocódigo 4 (EN 1994-1-2, 2005) y por el Eurocódigo 2 (EN 1992-1-2, 2004) que incluyen en su tratamiento los efectos que se produce en las características mecánicas del hormigón a causa de las altas temperaturas.

Generalmente, el comportamiento mecánico de la mayoría de estructuras ante acciones externas es de naturaleza elástica, pero en ciertas acciones de tipo accidental como la presencia del fuego provoca que la no linealidad del hormigón y del acero se tome en cuenta para un análisis de elementos finitos (Montava, 2017).

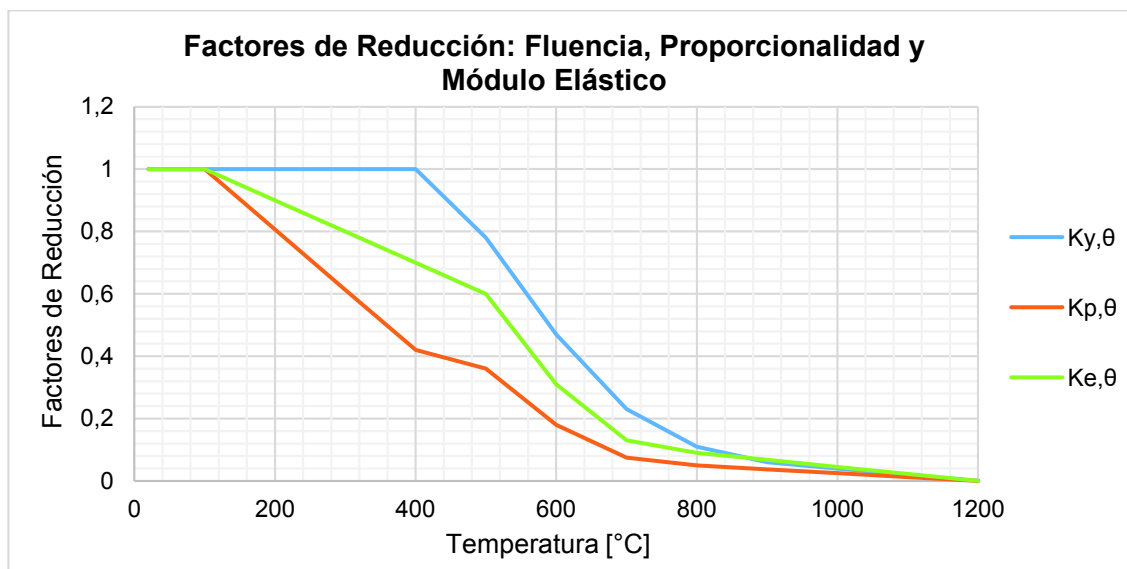
4.2.1.1 Propiedades mecánicas del acero

4.2.1.1.1 Ley del Comportamiento del acero

Para introducir un comportamiento no lineal en el software FEA, se debe descomponer a la deformación en la parte tanto elástica como plástica. El software ya define la parte elástica por medio del módulo de elasticidad y del límite elástico (Muñoz, 2016). El programa brinda varias opciones que permiten interpretar el comportamiento elástico-plástico del material, es decir: relaciones *bilinear* o *multilinear* esfuerzo-deformación y la opción *isotropic elasticity*, ambas importantes para simular un análisis de resistencia al fuego (Naser, 2016). Para el presente caso se prefiere realizar la modelación con la opción *multilinear* para obtener resultados más exactos.

Es así que, para definir la degradación que sufren las propiedades mecánicas del acero es necesario la utilización de los coeficientes de reducción: del esfuerzo de fluencia ($k_{y,\theta}$), del esfuerzo del límite de proporcionalidad ($k_{p,\theta}$) y del módulo de Young o de la pendiente de la zona elástica ($k_{E,\theta}$) (Virgili, 2007), antes expuestas en la TABLA 2.1, y que se muestran de forma gráfica de la siguiente manera:

FIGURA 4.3 Representación gráfica de la reducción de las propiedades mecánicas debido a la temperatura



FUENTE: (EN 1993-1-2, 2005)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Una vez que se degradan las tres propiedades antes mencionadas a diferentes temperaturas, se procede a obtener la ley del comportamiento: esfuerzo-deformación total, que presenta el EN 1993-1-2 (2005) por medio de las funciones que se detallan en la siguiente TABLA 4.4 y que de manera esquemática se puede observar en la FIGURA 4.4:

TABLA 4.4 Funciones para el cálculo a altas temperaturas de las propiedades mecánicas del acero

Rango de Deformación	Esfuerzo σ			Ecuación
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon \cdot E_{a,\theta}$			(4.1)
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + (b/a) \cdot [a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{0.5}$			(4.2)
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$			(4.3)
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} \cdot [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$			(4.4)
$\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00			(4.5)
Parámetros				
$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta}$	$\varepsilon_{y,\theta} = 0.02$	$\varepsilon_{t,\theta} = 0.15$	$\varepsilon_{u,\theta} = 0.20$	(4.6)
Funciones				
$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{a,\theta})$				(4.7)
$b^2 = c \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} + c^2$				(4.8)
$c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} - 2 \cdot (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$				(4.9)

FUENTE: (EN 1993-1-2, 2005)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Dónde:

$f_{y,\theta}$ = Esfuerzo de fluencia del acero estructural en condiciones de incendio

$f_{p,\theta}$ = Límite de proporcionalidad del acero estructural en condiciones de incendio

$E_{a,\theta}$ = Módulo de deformación del acero estructural en condiciones de incendio
(pendiente del rango elástico lineal)

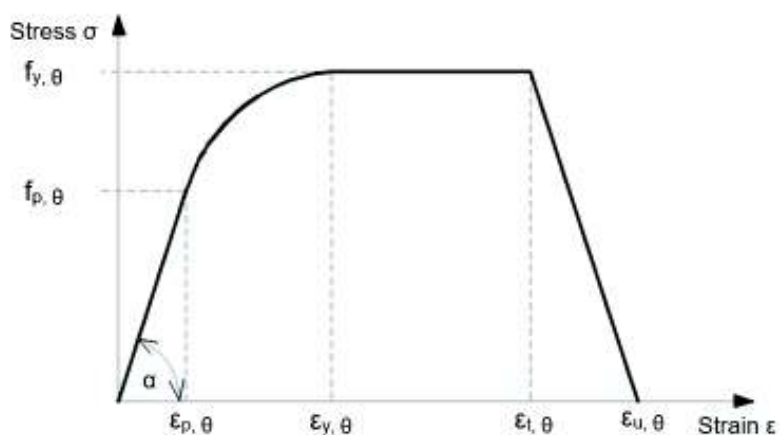
$\varepsilon_{p,\theta}$ = Deformación del acero en condiciones de incendio en el límite de proporcionalidad

$\varepsilon_{y,\theta}$ = Deformación plástica del acero en condiciones de incendio en el inicio del límite de fluencia

$\varepsilon_{t,\theta}$ = Deformación límite del acero en condiciones de incendio para el esfuerzo de fluencia

$\varepsilon_{u,\theta}$ = Deformación del acero en condiciones de incendio en la parte final del límite de fluencia

FIGURA 4.4 Esfuerzo-Deformación Total del acero estructural a altas temperaturas



FUENTE: (EN 1993-1-2, 2005)

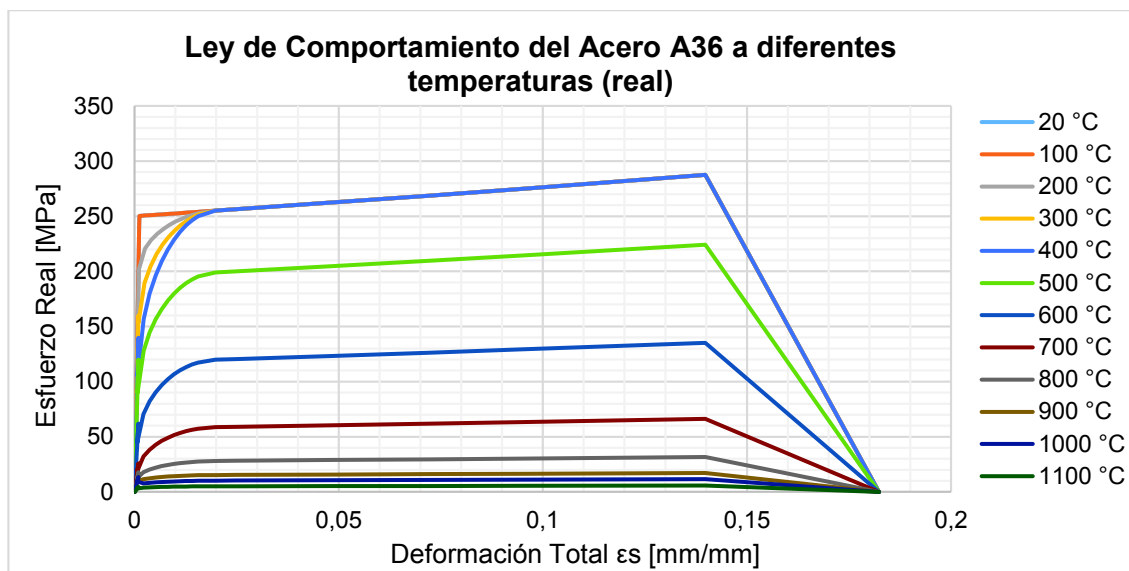
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Posteriormente, se deben ingresar las curvas reales de esfuerzo-deformación del acero puesto que las expresiones que presenta el código se encuentran en términos de esfuerzo-deformación ingenieriles. Por lo tanto, se utilizan las ecuaciones de transformación que se indican en el apartado 3.2.2.1: Ecuación (3.5) y (3.6), para así determinar las curvas que se visualizan en la FIGURA 4.5.

Como se mencionó en el inicio del presente apartado, la deformación elástica ya viene establecida por el propio software, entonces, el siguiente paso es restar a la deformación total su componente elástica mediante la aplicación de la Ecuación (3.7) y, así obtener la deformación plástica a cada temperatura. Como una

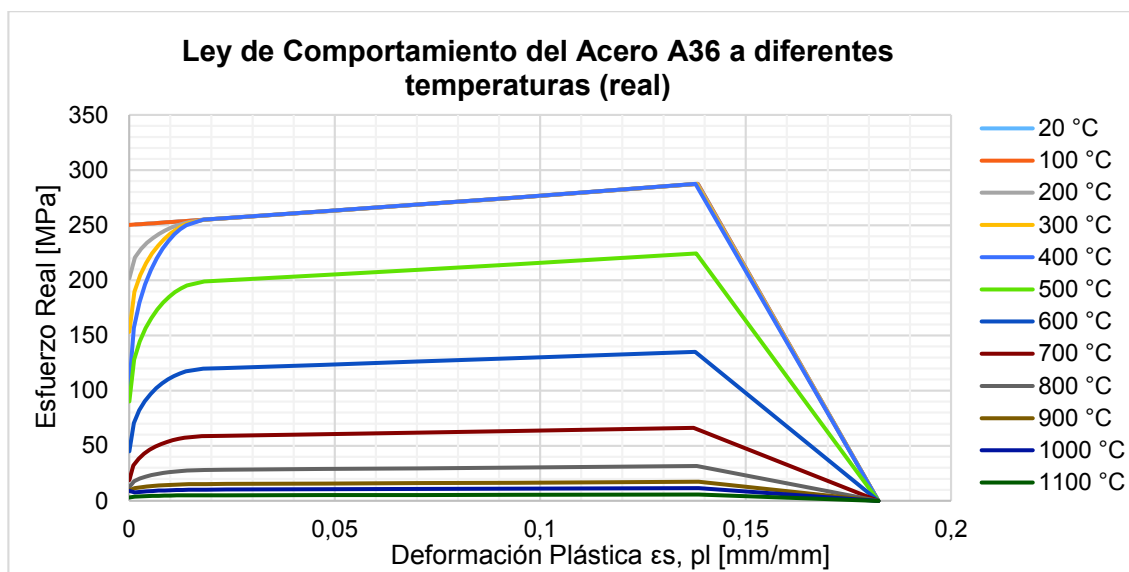
observación importante sobre el software es que éste no acepta tramos descendentes, por tal razón, el último tramo de la FIGURA 4.6 no debe ingresarse.

FIGURA 4.5 Diagrama Esfuerzo-Deformación Total real del acero a altas temperaturas



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA 4.6 Diagrama Esfuerzo-Deformación Plástica real del acero a altas temperaturas

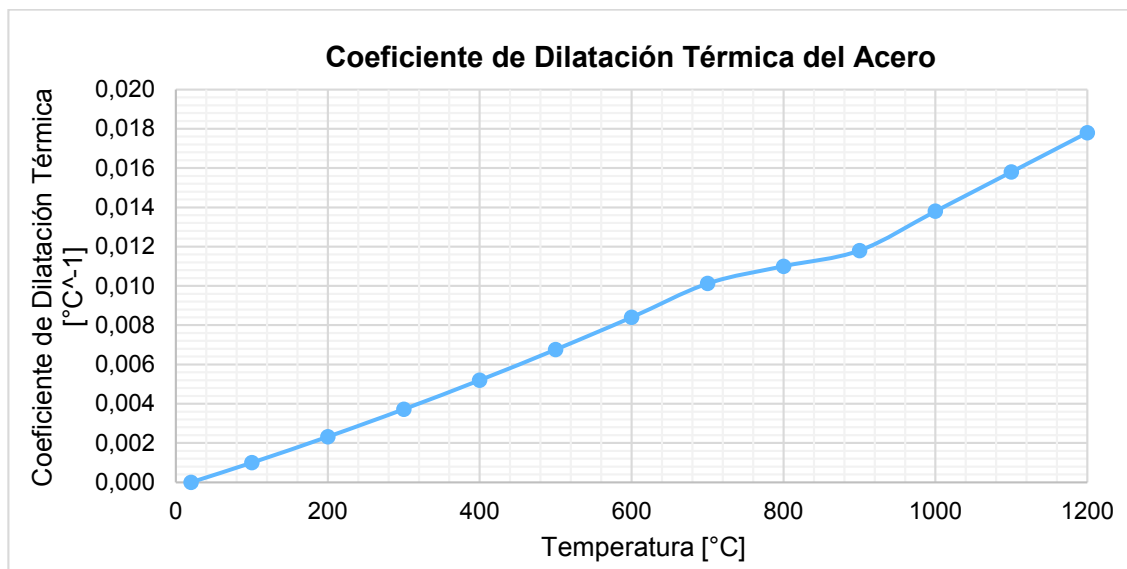


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.2.1.1.2 Coeficiente de dilatación térmica

Esta propiedad mecánica, para el caso del acero, puede representarse como una relación lineal que la EN 1993-1-2 (2005) permite determinar, esta relación se da entre los incrementos de temperatura y de longitud.

FIGURA 4.7 Coeficiente de dilatación térmica del acero en función de la temperatura



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

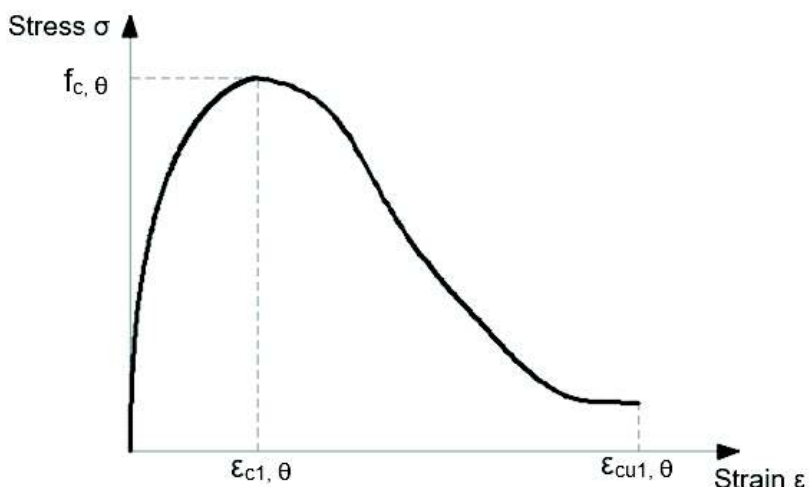
4.2.1.2 Propiedades mecánicas del hormigón

4.2.1.2.1 Ley del Comportamiento del hormigón

Para determinar la ley del comportamiento del hormigón que está sujeto a compresión, se deben tener definidas previamente dos medidas importantes, que son: la resistencia a la compresión ($f'_{c,\theta}$) y la deformación que coincide con la resistencia a la compresión a una temperatura dada ($\epsilon_{c1,\theta}$) (EN 1992-1-2, 2004). Como dato inicial se tiene el esfuerzo máximo a compresión del hormigón a temperatura ambiente mencionada en la TABLA 4.3 y por medio de la TABLA 2.2 se procede a calcular los esfuerzos que corresponden a cada temperatura. En este trabajo se emplean los coeficientes de reducción debidos a los agregados silíceos del hormigón de peso normal.

Según el Eurocódigo 2 (EN 1992-1-2, 2004) la forma en cómo se presenta la relación esfuerzo-deformación del hormigón se puede visualizar gráficamente en la FIGURA 4.8.

FIGURA 4.8 Esfuerzo-Deformación del hormigón bajo compresión a altas temperaturas



FUENTE: (EN 1992-1-2, 2004)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Consecuentemente, para la obtención del modelo matemático de la figura antes mencionada, el mismo código recomienda la aplicación de las expresiones que se contemplan en la TABLA 4.5.

TABLA 4.5 Funciones para el cálculo a altas temperaturas de las propiedades mecánicas del hormigón

Rango de Deformación	Esfuerzo σ	Ecuación
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c1,\theta}$	$\frac{3 \cdot \varepsilon \cdot f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3 \right\}}$	(4.10)
$\varepsilon_{c1,\theta} < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu1,\theta}$	Para propósitos numéricos se puede adoptar una curva descendente. Se permite también en modelos lineales y no lineales.	(4.11)

FUENTE: (EN 1992-1-2, 2004)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Dónde:

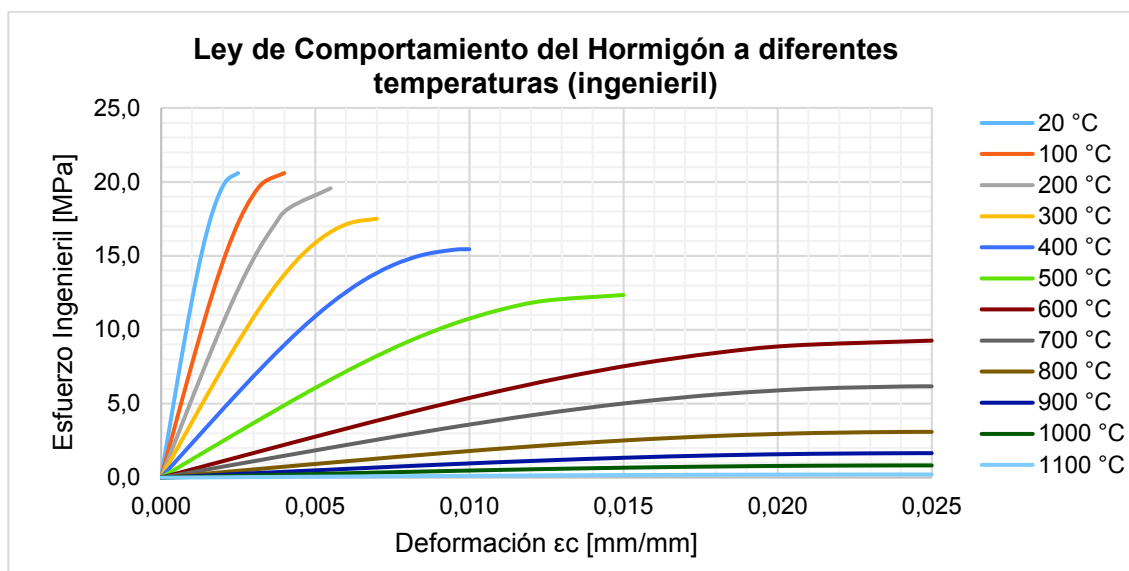
$\varepsilon_{c1,\theta}$ = Deformación del hormigón en condiciones de incendio

$f_{c,\theta}$ = Resistencia a la compresión del hormigón en condiciones de incendio

$\varepsilon_{cu1,\theta}$ = Deformación del hormigón en condiciones de incendio

Aplicadas las consideraciones del código se tiene como resultado la ley del comportamiento del hormigón representada en la FIGURA 4.9.

FIGURA 4.9 Diagrama Esfuerzo-Deformación Total ingenieril del hormigón a altas temperaturas



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

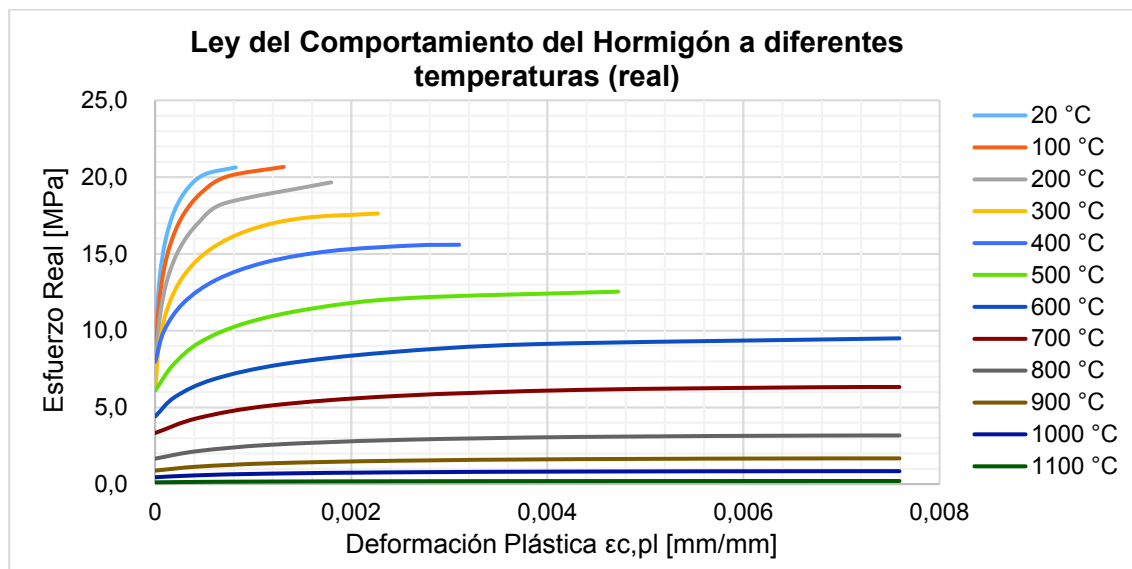
Para obtener el módulo de elasticidad del hormigón se debe calcular la pendiente del primer tramo de la curva para cada temperatura, los valores calculados se encuentran en la TABLA 4.6.

TABLA 4.6 Valores del módulo de elasticidad del hormigón para cada temperatura

Temperatura [°C]	Módulo de Elasticidad [MPa]
20	12316,77
100	7709,03
200	5330,01
300	3746,27
400	2277,78
500	1233,70
600	555,46
700	370,30
800	185,15
900	98,75
1000	49,37
1100	12,34

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Finalmente, las gráficas que deben ser ingresadas al software FEA corresponden a las relaciones esfuerzo-deformación plástica reales para cada temperatura.

FIGURA 4.10 Diagrama Esfuerzo-Deformación Plástica real del hormigón a altas temperaturas

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

De igual manera se utilizan las Ecuaciones (3.5) y (3.6) para transformar los esfuerzos y deformaciones ingenieriles a reales y luego se aplica la Ecuación (3.7)

para obtener las deformaciones plásticas. Las curvas que deben ser introducidas en el programa computacional se exponen en la FIGURA 4.10.

4.2.1.2.2 Coeficiente de dilatación térmica

Como se manifestó anteriormente, el coeficiente de dilatación o expansión térmica del hormigón puede ser representado como una función que varía con la temperatura o puede, simplemente, ser un valor constante igual a $10 \times 10^{-6} [C^{-1}]$. Por tal motivo, este valor brindará facilidad en el análisis mediante métodos avanzados de vigas compuestas (EN 1993-1-1, 2005).

4.2.2 PROPIEDADES TÉRMICAS

En base a lo planteado en la sección 2.5.2.1 y 2.5.2.2, se presenta a continuación las gráficas obtenidas sobre la variación que se produce en las propiedades tanto físicas como térmicas del acero y del hormigón en función de la temperatura, requisito fundamental para la asignación de los materiales que componen la sección compuesta en el software FEA.

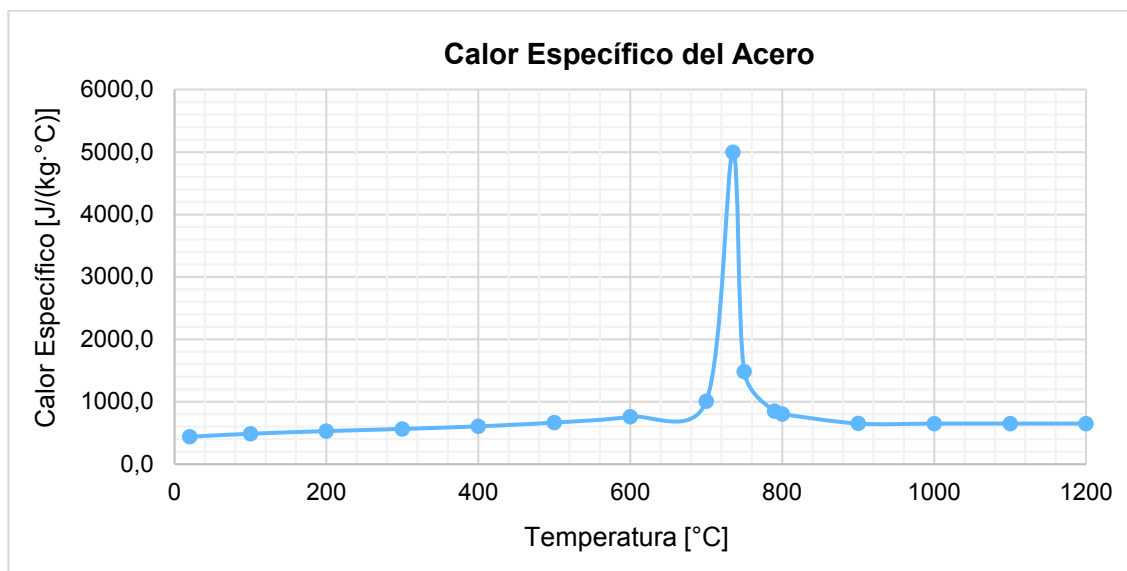
4.2.2.1 Propiedades térmicas del acero

4.2.2.1.1 Densidad

El valor de la densidad para el caso del acero se establece como una propiedad física independiente de la temperatura igual a $7850 [kg/m^3]$, como lo recomienda el Eurocódigo 3 (EN 1993-1-2, 2005).

4.2.2.1.2 Calor específico

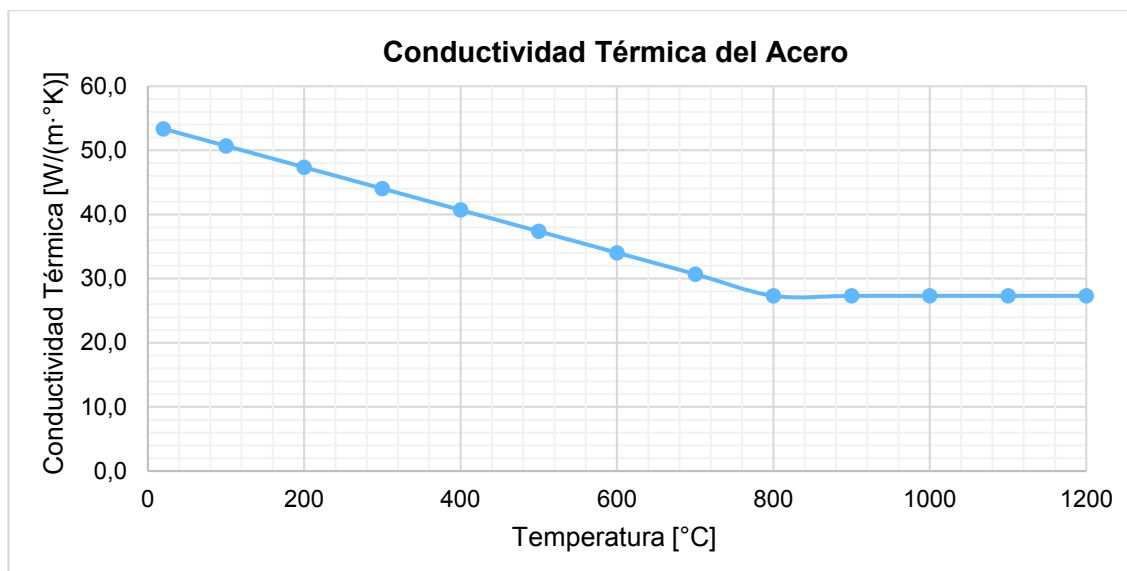
La representación gráfica de esta propiedad térmica se puede apreciar en la FIGURA 4.11, cumpliendo con las expresiones que se detallan en la EN 1994-1-2 (2005). Puede observarse además, que el calor específico tiene un valor máximo a una temperatura de $735 [^{\circ}C]$.

FIGURA 4.11 Calor específico del acero en función de la temperatura

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.2.2.1.3 Conductividad térmica

La variación de la conductividad térmica que muestra el acero A36 con respecto a la temperatura se puede observar de acuerdo a la FIGURA 4.12.

FIGURA 4.12 Conductividad térmica del acero en función de la temperatura

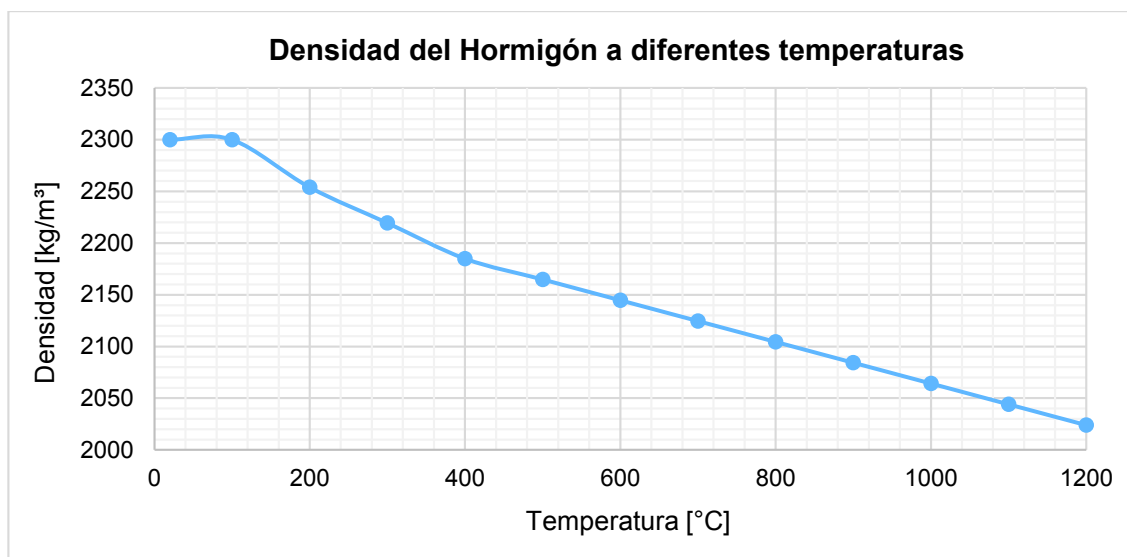
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.2.2.2 Propiedades térmicas del hormigón

4.2.2.2.1 Densidad

La densidad del hormigón a elevadas temperaturas sí presenta cierta afectación, por lo que se siguió las recomendaciones del EN 1994-1-2 (2005) para su respectivo cálculo. El valor de la densidad a temperatura ambiente es de $2300 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ establecido también por el propio código.

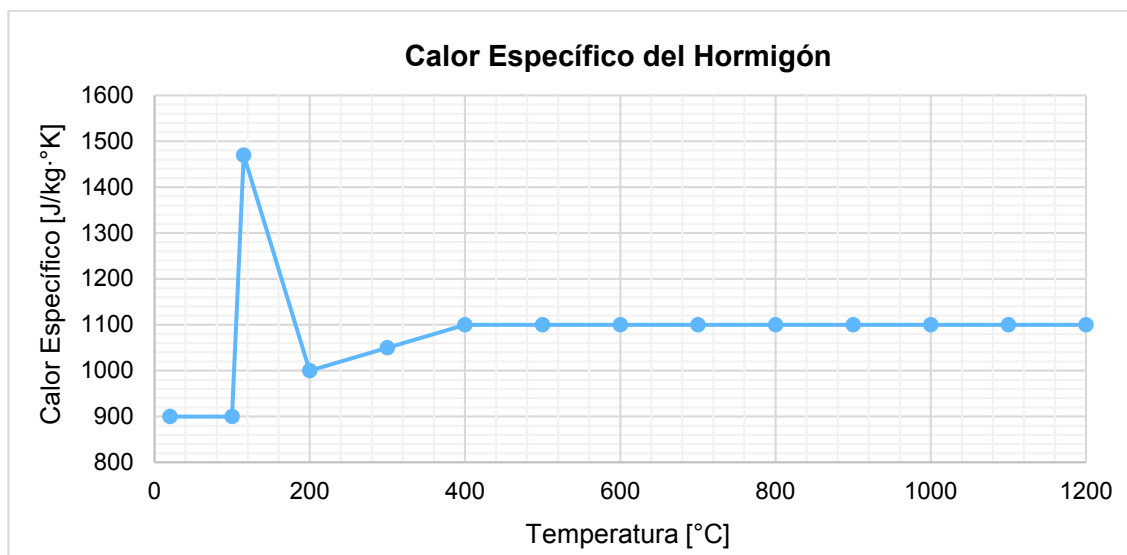
FIGURA 4.13 Variación de la densidad del hormigón en función de la temperatura



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.2.2.2.2 Calor específico

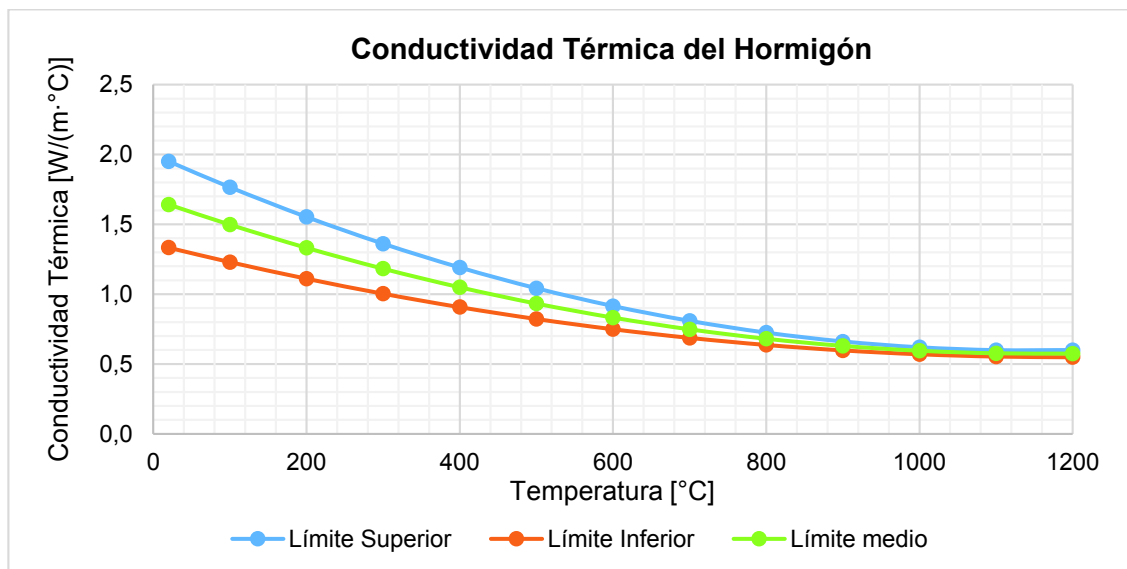
La variación que se muestra en la FIGURA 4.14 del calor específico permite determinar la cantidad de calor que se requiere para calentar una unidad de masa del hormigón a medida que aumenta la temperatura (Van Schuerbeck, 2013).

FIGURA 4.14 Calor específico del hormigón

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.2.2.2.3 Conductividad térmica

La conductividad térmica del hormigón de peso normal presenta la configuración de la FIGURA 4.15, conforme se eleva la temperatura (EN 1994-1-2, 2005). Entre los tres límites que se exponen en la gráfica, se empleará el límite medio tomando en consideración lo sugerido en el trabajo de Muñoz (2016).

FIGURA 4.15 Conductividad térmica del hormigón

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.3 MODELO VT4

4.3.1 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS DEL MODELO

La viga compuesta VT4 contiene una viga metálica de carga que está conectada a las columnas, por consiguiente, se considera como un elemento estructural biempotrado. Su dimensionamiento y el ancho efectivo de la losa están sujetos a lo que se muestra en la TABLA 4.7. Además, cabe aclarar que estas dimensiones no corresponden a perfiles de acero estandarizados.

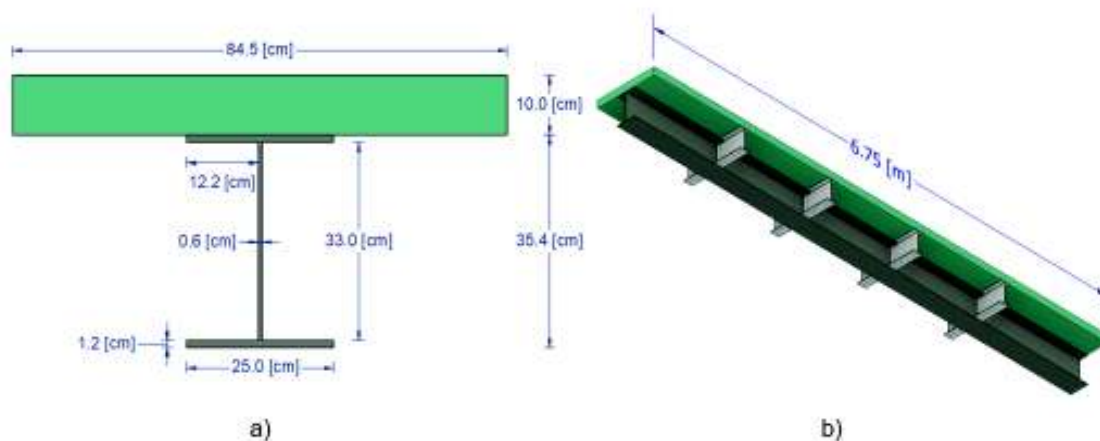
TABLA 4.7 Propiedades geométricas de la sección compuesta VT4

Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidades
bf	Ancho del patín	25	[cm]
tf	Espesor del patín	1,2	[cm]
hw	Altura del alma	33	[cm]
tw	Espesor del alma	0,6	[cm]
h	Altura total de la viga	35,4	[cm]
b_{eff}	Ancho efectivo de la losa	84,5	[cm]
e	Espesor de la losa	10	[cm]
L	Longitud de la sección compuesta	6,75	[m]
A_s	Área de la sección de acero	79,8	[cm ²]
A_c	Área de la sección de hormigón	845	[cm ²]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Por medio de un programa con formato CAD (*Computer Assisted Design*) se elaboró el modelo geométrico de la sección compuesta en tres dimensiones, el mismo que debe ser importado posteriormente al software FEA. Dentro del modelo de la geometría se dibujaron las vigas secundarias que tributan a la viga principal VT4.

FIGURA 4.16 Dimensiones geométricas de la sección compuesta VT4 en el modelo CAD



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En cuanto al elemento de unión (tornillos) entre la viga de acero y la losa de hormigón, no es objeto del presente trabajo ya que el comportamiento del mismo aporta a la complejidad del cálculo y su comportamiento es no lineal.

4.3.2 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS

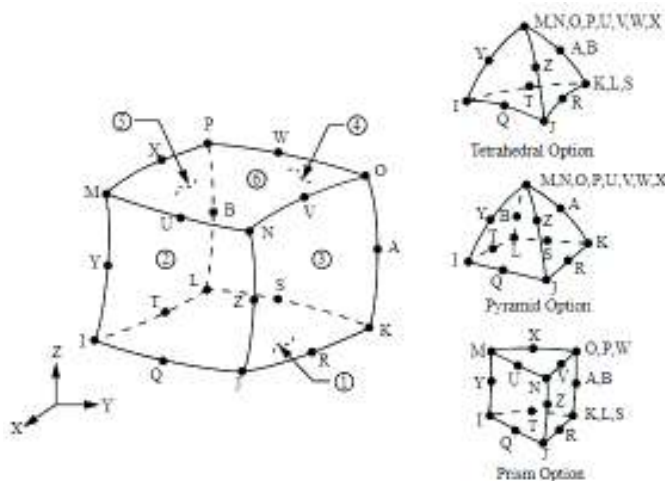
4.3.2.1 Elemento finito para análisis térmico

En esta sección se analizan los tipos de elementos que empleó el software FEA dentro de su biblioteca para el módulo *Transient Thermal* y sus características adoptadas para la modelación. Entre los elementos determinados por el programa computacional para la ejecución del modelo se denominan: SOLID90, SURF152 y SURF252.

SOLID90 se describe como un elemento térmico 3D de orden superior que presenta 20 nodos con un solo grado de libertad (temperatura) en cada uno, es muy utilizado para análisis térmicos transitorios. El SURF152 constituye un elemento aplicable a análisis térmicos tridimensionales, cuya utilidad se basa para la asignación de cargas y efectos de superficie en superficies de elementos térmicos tridimensionales (Naser, 2016). En cuanto al SURF252 es un elemento finito cuya función principal se basa en considerar cargas superficiales que están afectadas por la radiación (ANSYS, 2013). Para todos los elementos descritos en

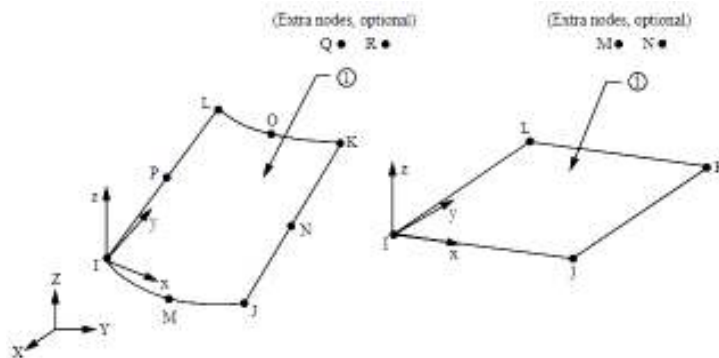
esta sección se puede apreciar de mejor manera su respectiva geometría, ubicación de los nodos y el sistema de referencia en la FIGURA 4.17, FIGURA 4.18, y FIGURA 4.19:

FIGURA 4.17 Elemento finito SOLID90 utilizado en el módulo *Transient Thermal*



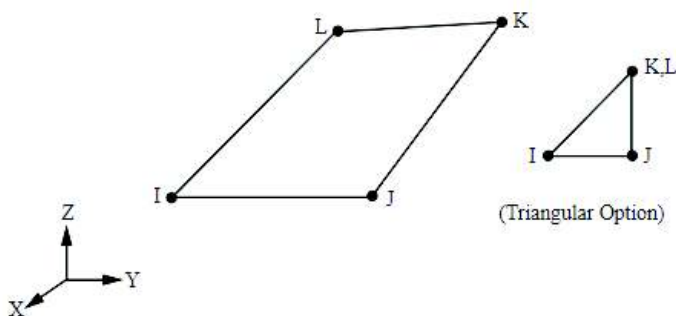
FUENTE: (ANSYS, 2013)

FIGURA 4.18 Elemento finito SURF152 utilizado en el módulo *Transient Thermal*



FUENTE: (ANSYS, 2013)

FIGURA 4.19 Elemento finito SURF252 utilizado en el módulo *Transient Thermal*



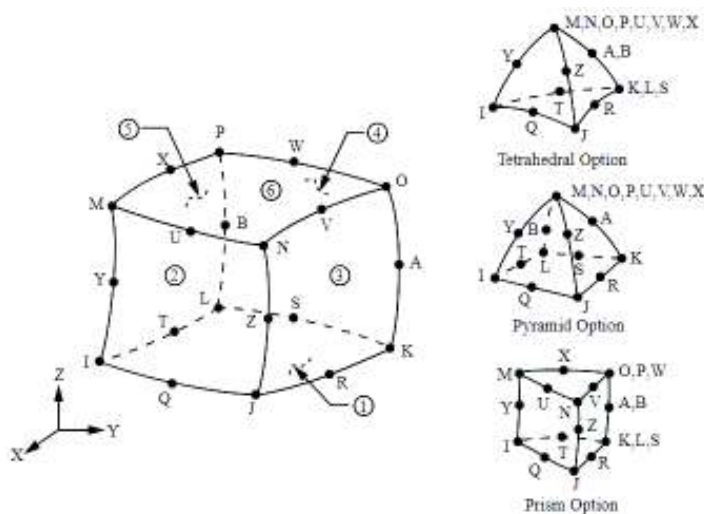
FUENTE: (ANSYS, 2013)

4.3.2.2 Elemento finito para análisis estructural

En el Modelo VT4 los principales elementos que el software FEA determinó dentro del módulo *Static Structural* para la resolución del problema estructural son: SOLID186 y SURF154.

SOLID186 es un elemento sólido en 3D de orden superior que presenta 20 nodos, cada uno de los cuales contiene tres grados de libertad en las direcciones nodales traslacionales “x”, “y” y “z”. Tiene la particularidad de tener un comportamiento de desplazamiento cuadrático y la capacidad para simular deformaciones de materiales elastoplásticos e hiperelásticos (Gallegos, 2017). El SOLID90 y el SOLID186 representan dos elementos compatibles cuando se realizan modelaciones desde el módulo térmico a un módulo estático estructural, los mismos que deberán ser sustituidos por el propio software para que de esa manera se complementen los respectivos análisis (térmico y estructural) y no originen errores durante la ejecución del modelo (Muñoz, 2016). La forma en cómo se esquematiza el SOLID186 puede referirse a la FIGURA 4.20.

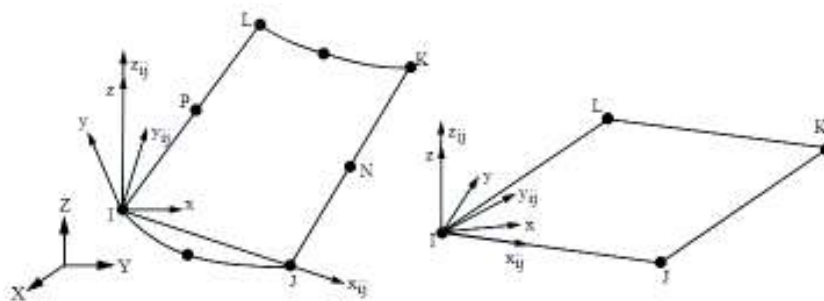
FIGURA 4.20 Elemento finito SOLID186 utilizado en el módulo *Static Structural*



FUENTE: (ANSYS, 2013)

SURF154 es un elemento que se utiliza para la aplicación de carga y efectos de superficies en análisis tridimensionales estructurales. De igual manera puede observarse en la FIGURA 4.21 la disposición de su geometría, de los nodos, entre otros detalles que el mismo conlleva.

FIGURA 4.21 Elemento finito SURF154 utilizado en el módulo *Static Structural*



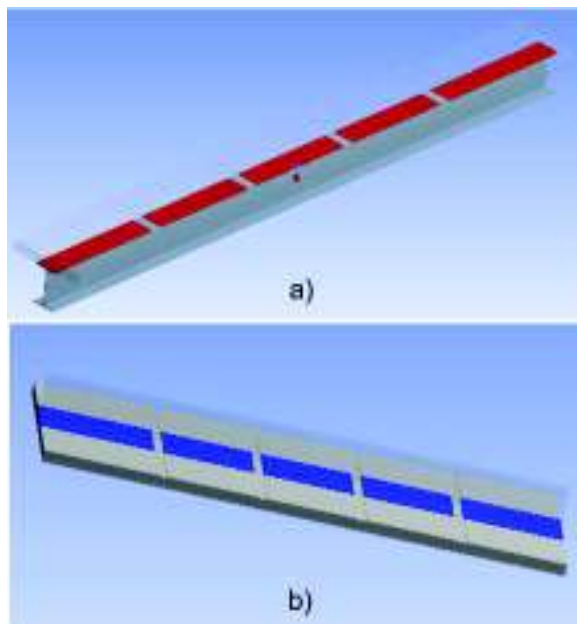
FUENTE: (ANSYS, 2013)

4.3.3 CONTACTOS

Una vez realizada la geometría del modelo, se importa al espacio de trabajo del software FEA, donde se establecen las zonas de contacto entre los diferentes cuerpos (losa y viga) de manera automática. Se verifica y se cambia las zonas de contacto denominando al perfil de acero como superficie de contacto (*contact bodies*) y a la losa de hormigón como superficie objetivo (*target bodies*) como se muestra en la FIGURA 4.22. Los contactos entre la losa de hormigón y la viga de acero se simularon asignando contactos de tipo “*Frictionless*” o sin fricción, ya que no hay ningún tipo de adhesivo entre ellas.

Con lo anteriormente expuesto, el software FEA internamente precisa los elementos de contacto que mejor se acoplan para que la configuración sea lo más confiable. Entonces, el programa computacional determinó los elementos CONTA174 y TARGE170. El TARGE170 es un elemento en 3D que consta de triángulos de 3 y 6 nodos, cuadriláteros de 4 y 8 nodos, y segmentos primitivos (cilindro, cono y esfera) que se pueden emparejar con la superficie 3D para elementos de contacto de superficie. Por lo general, se utiliza para impedir que los nodos de la superficie de contacto penetren en la superficie objetivo, solo permite que los elementos de contacto se superpongan a los elementos sólidos, placa o línea que describen el límite de un cuerpo deformable. Está asociado con los elementos de contacto, como: CONTA173, CONTA174, CONTA175, CONTA176 y CONTA177. Puede imponer desplazamientos traslacionales o rotacionales, temperatura, entre otros, además de fuerzas y momentos en el segmento objetivo (Urruticoechea, 2014).

FIGURA 4.22 Asignación del elemento contacto: a) Contact y b) Target



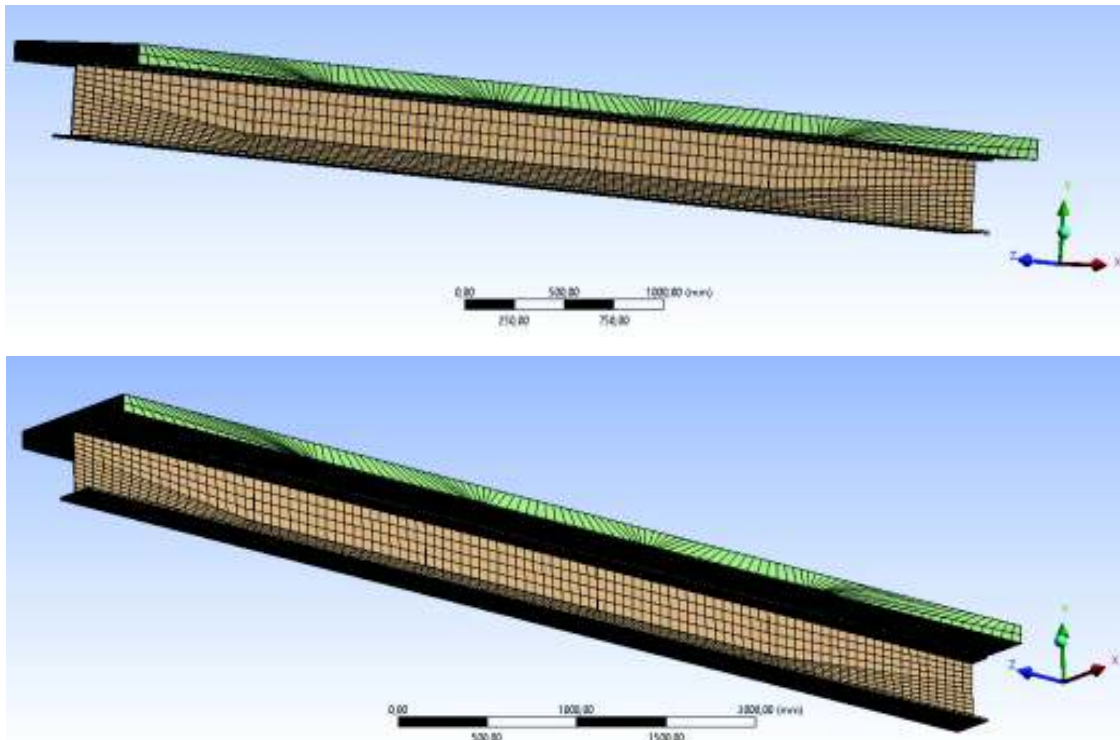
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.3.4 MALLADO

Al importar la geometría y definir los contactos en el espacio de trabajo del software FEA, se procede a realizar un mallado de forma automática puesto que la densidad de ésta dependerá del tipo de elemento usado y de la distribución de tensiones esperada. Luego, se hacen modificaciones sobre el mallado global generado asignando un nivel de relevancia (*Relevance*) de 100 con un centro de relevancia (*Relevance Center*) de tipo *Fine* que implica un mallado más fino. Se impone un tamaño máximo de caras de los elementos (*Element Size*), en este caso, se opta por un tamaño de 35 [mm]. Todas las consideraciones realizadas se muestran de manera gráfica en la FIGURA 4.23.

Este tipo de mallado será considerado tanto para el módulo térmico como para el módulo estructural.

FIGURA 4.23 Mallado del Modelo VT4



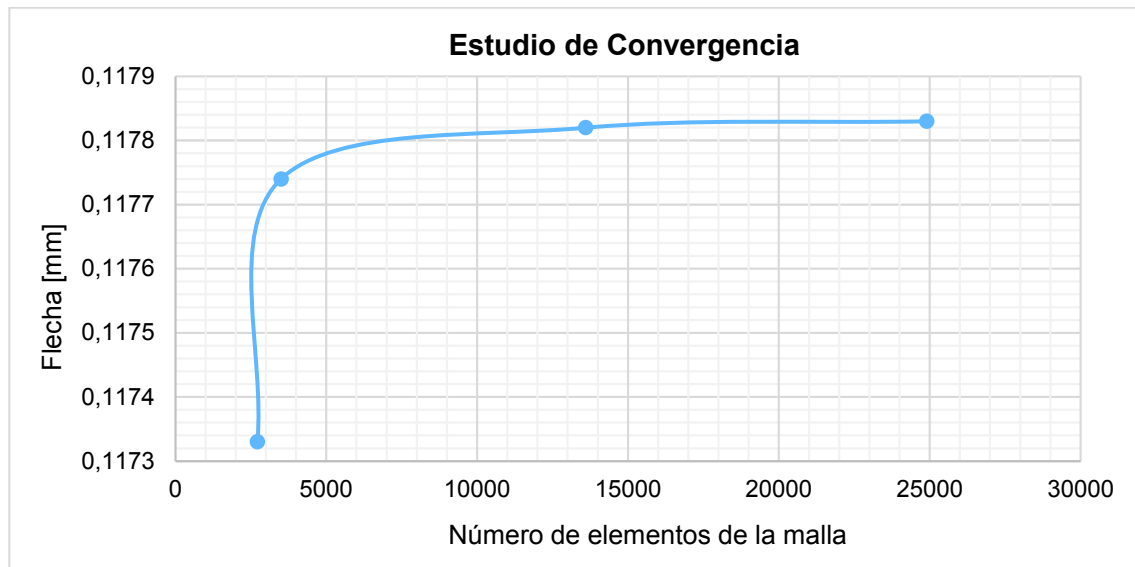
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En la FIGURA 4.23, se observa un mallado más fino en la parte inferior de la viga en estudio. De acuerdo con la literatura, cuando se producen zonas de cambio rápido de tensiones es importante que la malla sea fina para que los resultados sean favorables (Abambres & Rui Arruda, 2015). Esta condición, efectivamente, se está cumpliendo en este modelo ya que el cambio rápido de tensiones se está generando desde el patín inferior de la viga debido a que está sometida al fuego donde la discretización es más refinada (zona inferior del alma y en el patín inferior).

También se observa que en las proyecciones de las viguetas existe un mallado más fino, esto se debe a la discontinuidad de la geometría presentada en la losa donde, igualmente, ocurren cambios rápidos de esfuerzos. Por otro lado, en áreas en las que los esfuerzos varían de manera constante o lentamente se produce un mallado más grueso. Como el acero y el hormigón tienen conductividades térmicas diferentes, el acero tiende a calentarse o enfriarse más rápidamente en comparación con el hormigón generando esfuerzos en las superficies de contacto donde el mallado requiere ser de mejor calidad.

Siguiendo los parámetros de aspecto mencionados en el apartado 3.2.2.3, se verifica dentro del software que la relación de aspecto de los elementos sólidos, escogiendo la opción *Jacobian Ratio*, presenta un valor de 1.1058 el cual está alrededor de 1, cumpliendo así, las especificaciones descritas para obtener un mallado apropiado.

FIGURA 4.24 Estudio de Convergencia para un mallado óptimo



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Con el fin de calibrar un mallado confiable se procedió a modelar en el módulo *Static Structural* una viga sometida a una carga distribuida de 5000 [N/mm], considerando un acero A36 con las mismas dimensiones de la viga VT4. Hecho esto, el siguiente paso fue aplicar a partir de un mallado global a un mallado mucho más refinado hasta obtener una estabilidad en el número de elementos. Esta estabilidad se ve reflejada en el valor de la deflexión que se genera en la viga ante la aplicación de una misma carga, la cual converge a un valor de 0.1178 [mm] cuando el número de elementos es de 3502. Este proceso sirve como base para la calibración del mallado de los demás modelos en estudio.

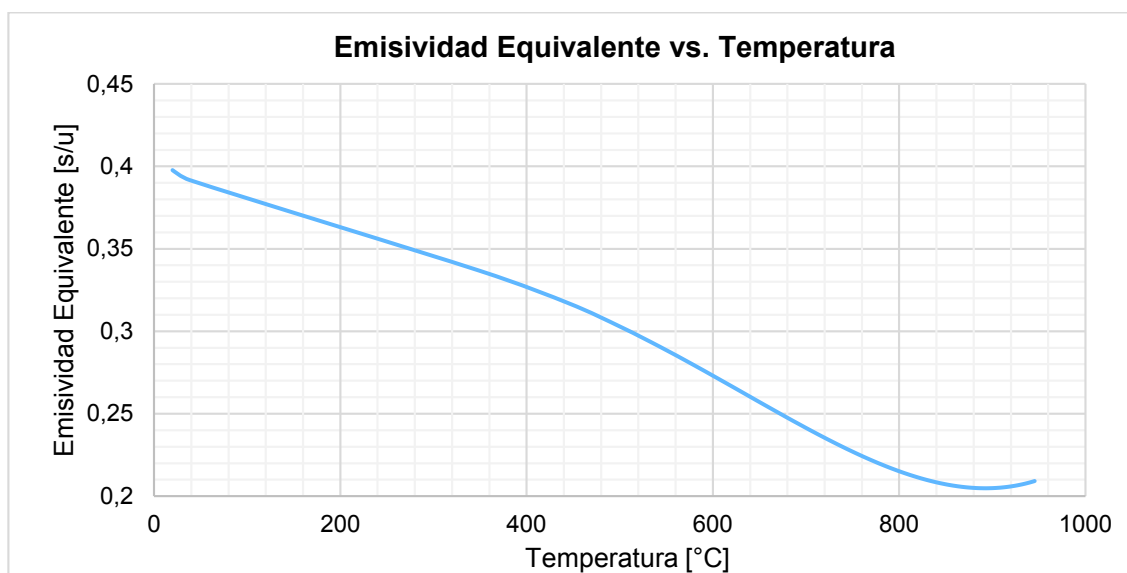
4.3.5 ANÁLISIS TÉRMICO

4.3.5.1 Condiciones de borde o de contorno

4.3.5.1.1 Radiación

Las superficies expuestas al fuego en las vigas sufren un intercambio de calor por radiación con las llamas, razón por la cual la propagación de ondas se da desde un cuerpo a alta temperatura hacia otro con una temperatura inferior. Para simular el efecto de la radiación se determina una emisividad equivalente en función de la temperatura de la superficie del material (Muñoz, 2016), como se muestra en la FIGURA 4.25.

FIGURA 4.25 Emisividad Equivalente en función de la temperatura

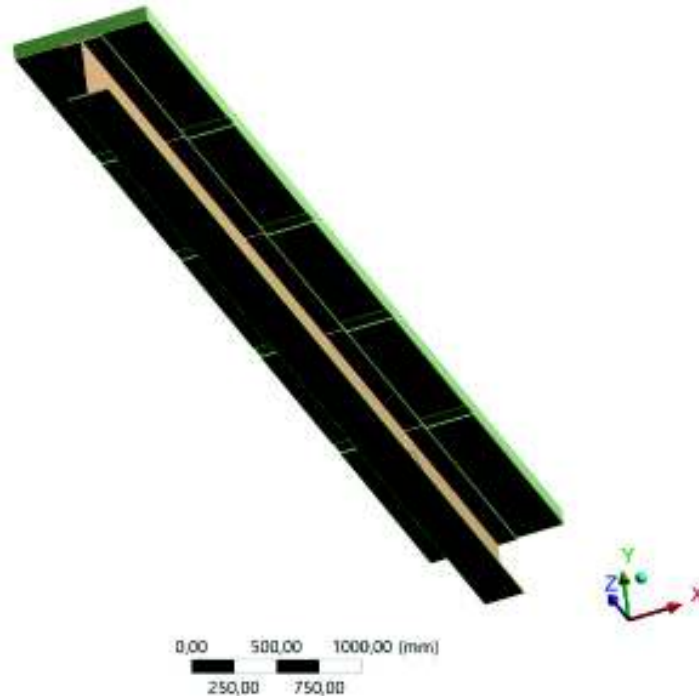


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Para considerar que la viga va a sufrir un intercambio de calor entre superficies, se selecciona *Correlation* → *Surface to Surface*, conjuntamente se expresa los valores de la variación de la emisividad en función de la temperatura a manera de tabla por lo que se selecciona *Emissivity* → *Tabular (Temperature)*. Para expresar la temperatura del ambiente, que va a aumentar progresivamente a causa de los efectos del fuego, en función del tiempo se selecciona *Ambient Temperature* → *Tabular (Time)*. Por la razón de que la radiación se ha determinado mediante la temperatura media de los gases que interactúan con la viga denominada como

“temperatura ambiente”, el tipo de recinto que intercambia calor por radiación es de tipo abierto, entonces se establece la opción *Enclosure Type* como *Open*.

FIGURA 4.26 Superficies sometidas a radiación en el Modelo VT4

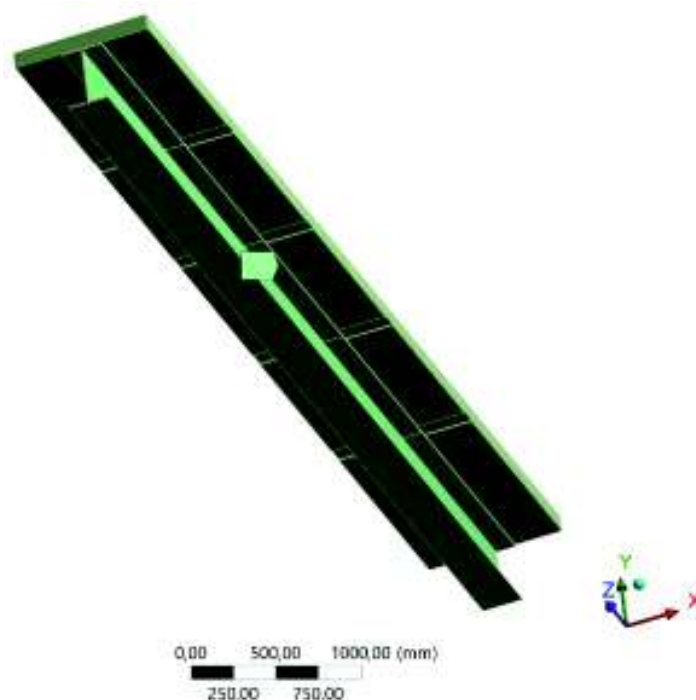


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.3.5.1.2 Convección Experimental

Tomando en consideración que la viga compuesta será modelada mediante el fuego estándar, el Eurocódigo 1 (EN 1991-1-2, 2002) puntualiza un valor constante de coeficiente de convección igual a $\alpha = 25 [W/(mm^2 \cdot ^\circ K)]$. Las superficies que están expuestas a convección experimental se muestran como sigue en la FIGURA 4.27. Para adoptar lo descrito anteriormente se expresa el valor de convección experimental como valor constante de la siguiente manera: *Film Coefficient* → *Constant*. De la misma forma se debe expresar la temperatura del ambiente en función del tiempo como: *Ambient Temperature* → *Tabular (Time)*.

FIGURA 4.27 Superficies expuestas a la convección experimental en el Modelo VT4

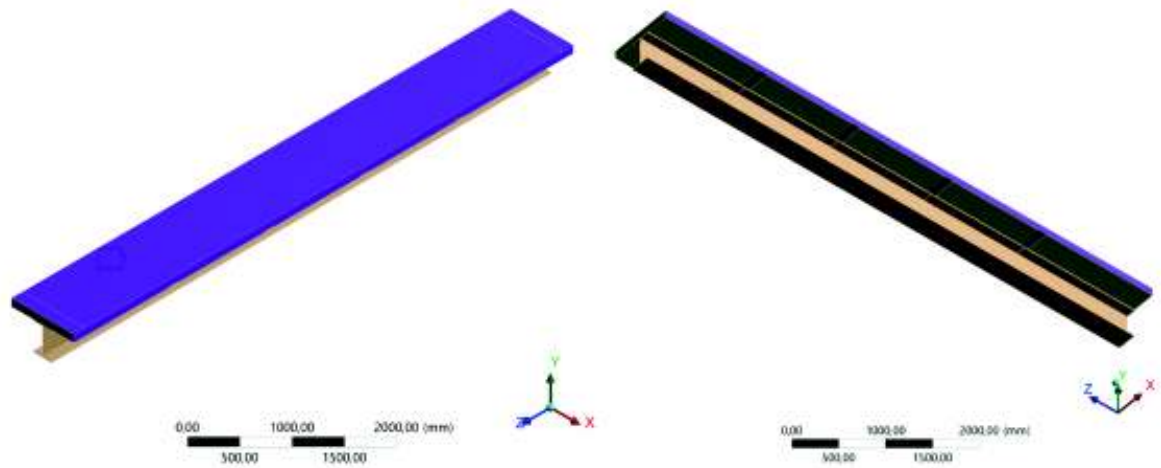


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.3.5.1.3 Convección al Ambiente

Las superficies que intercambian calor con el ambiente durante la acción de fuego son: la superficie superior de la losa y las proyecciones de las viguetas en el alma de la viga principal. El Eurocódigo 1 (EN 1991-1-2, 2002) también proporciona un valor constante para la convección ambiental de $\alpha = 9 [W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$, siempre y cuando se incluya el efecto de la radiación. Adoptando lo descrito anteriormente, en el software de modelación se procede a seleccionar el coeficiente de convección ambiental como: *Film Coefficient* \rightarrow *Constant* y la temperatura ambiente equivalente a 20 [°C] como: *Ambient Temperature* \rightarrow *Constant*.

FIGURA 4.28 Superficies expuestas a la convección ambiental en el Modelo VT4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.3.5.2 Criterios para la resolución del módulo térmico

Para la evaluación del proceso de solución, se debe especificar los pasos de control que pueden ser definidos de forma manual o establecidos automáticamente por el propio programa computacional, en ellos se detalla la cantidad de pasos necesarios para la resolución del problema y un tiempo final para cada uno de estos pasos. Los principales parámetros para la modelación térmica son:

- El valor de la temperatura inicial es igual a 20 [°C] en *Initial Temperature* → *Initial Temperature Value*.
- Se define para la simulación del Modelo VT4 un tiempo de 13 pasos (*steps*) en los cuales se especifican las condiciones de contorno mencionadas anteriormente. Además, se considera un tiempo de finalización para cada paso de 3600 [s]. En la sección *Auto Time Stepping* se deja con la opción *Program Controlled*, es decir, el programa controlará los tiempos: inicial, mínimo y máximo.
- Finalmente, para que el programa considere efectos de inercia térmica en el Modelo VT4, se activa la opción de integración temporal: *Analysis Settings* → *Time Integration: On*.

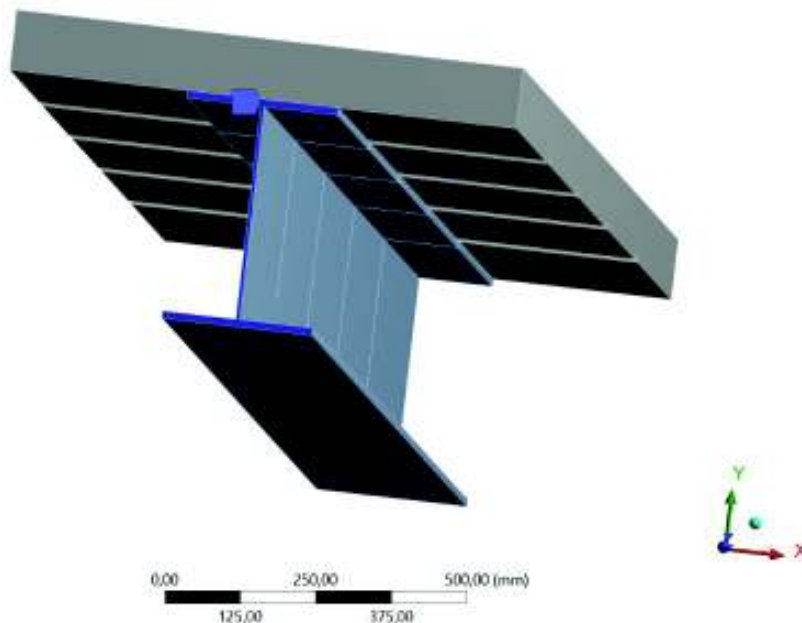
4.3.6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.3.6.1 Condiciones de borde o de contorno

4.3.6.1.1 Restricciones

La viga de sección compuesta VT4 se encuentra empotrada en sus dos extremos, para modelar el empotramiento se selecciona la opción de *Fixed Support* (soporte fijo) en las caras de la viga, tanto en el extremo izquierdo como en el derecho, restringiendo la rotación y el desplazamiento en cualquier dirección.

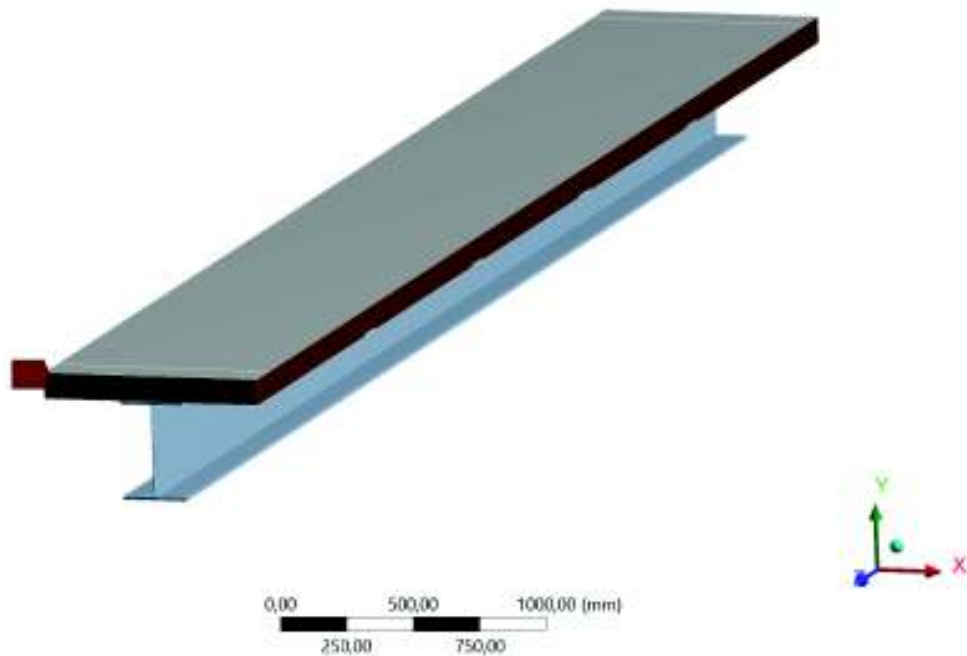
FIGURA 4.29 Restricción de los desplazamientos en las caras de la viga metálica VT4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Así mismo, y con el fin de simular que la losa tiene su continuidad por todas sus caras laterales y longitudinales, se fijó los bordes de la losa mediante la opción de *Fixed Support* (soporte fijo), es así que se restringe los movimientos tanto rotacionales como traslacionales.

FIGURA 4.30 Soportes fijos en las caras laterales y a lo largo de la losa de hormigón



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.3.6.1.2 Determinación de cargas

Para un diseño estructural estático es fundamental tomar en consideración las cargas muertas y vivas, pero debido a problemas de convergencia en los resultados y para que el tiempo de cálculo no se vea comprometido con un alto costo computacional fue preciso considerar solamente el peso propio de los miembros estructurales en estudio, y para brindar un poco más de realismo al modelo se calculó una carga muerta adicional que corresponde al peso de las paredes.

Es preciso señalar que las paredes están conformadas por mampostería de ladrillo cerámico prensado, cuyo peso específico es igual $19.2 [kN/m^3]$ de acuerdo a la Tabla 8 de la NEC-SE-CG Cargas No Sísmicas (2015).

TABLA 4.8 Cálculo de la fuerza debido al peso propio de las paredes para Modelo VT4

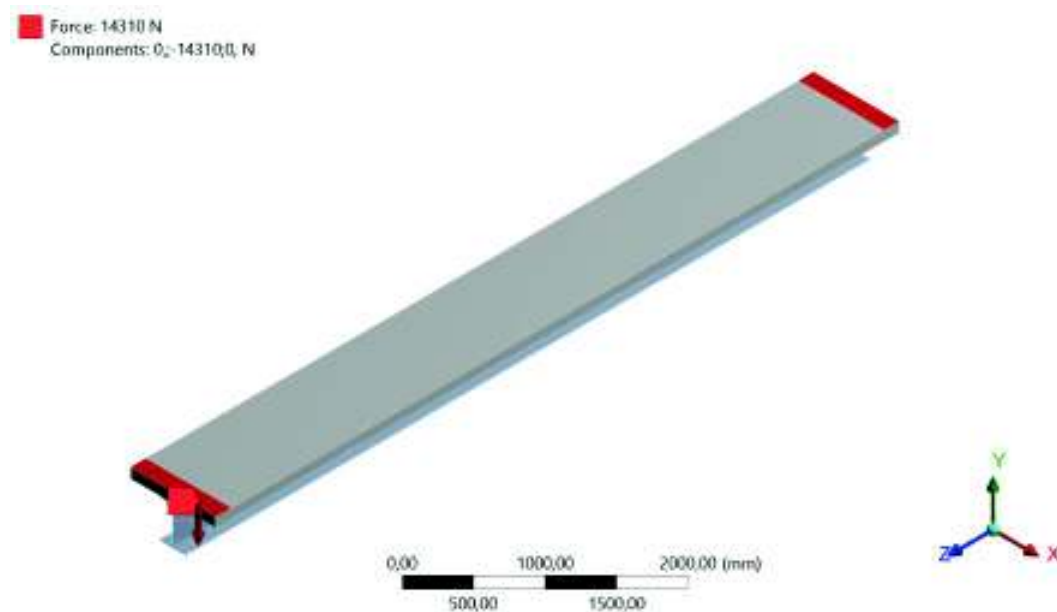
CARGA MUERTA PAREDES - MODELO VT4			
Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidades
H	Altura	3,00	[m]
b_{pared}	Ancho	0,85	[m]
e_{pared}	Espesor	0,15	[m]
V_{pared}	Volumen	0,38	[m ³]
$\gamma_{ladrillo}$	Peso específico de la mampostería	1920	[kg/m ³]
$N^{\circ}_{paredes}$	Número de paredes	2	-
$F_{paredes}$	Fuerza por peso propio	1460,16	[kg]
		14310	[N]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Previamente, en el modelo CAD se debe incluir el dibujo de la geometría de las paredes en el plano respectivo para que, una vez importado en el espacio de trabajo *Geometry* que tiene el propio software FEA, se pueda imprimir las caras que están en contacto (e. g. pared sobre losa). Esto representa una particularidad muy importante que tienen los programas FEA cuando se trata de asignar cualquier tipo de carga (puntual o repartida) que están afectando a una estructura ya que en la realidad estas cargas están aplicadas sobre un área en específico. De este modo, para simular la carga muerta debido al peso de las paredes que están actuando sobre la viga mixta en análisis se asigna una fuerza en el sentido negativo del eje global “y”, siguiendo el procedimiento que se menciona a continuación: *Loads* → *Force* → *Define by* → *Y Component* con un valor de -14310 N, así las paredes interactúan con la losa.

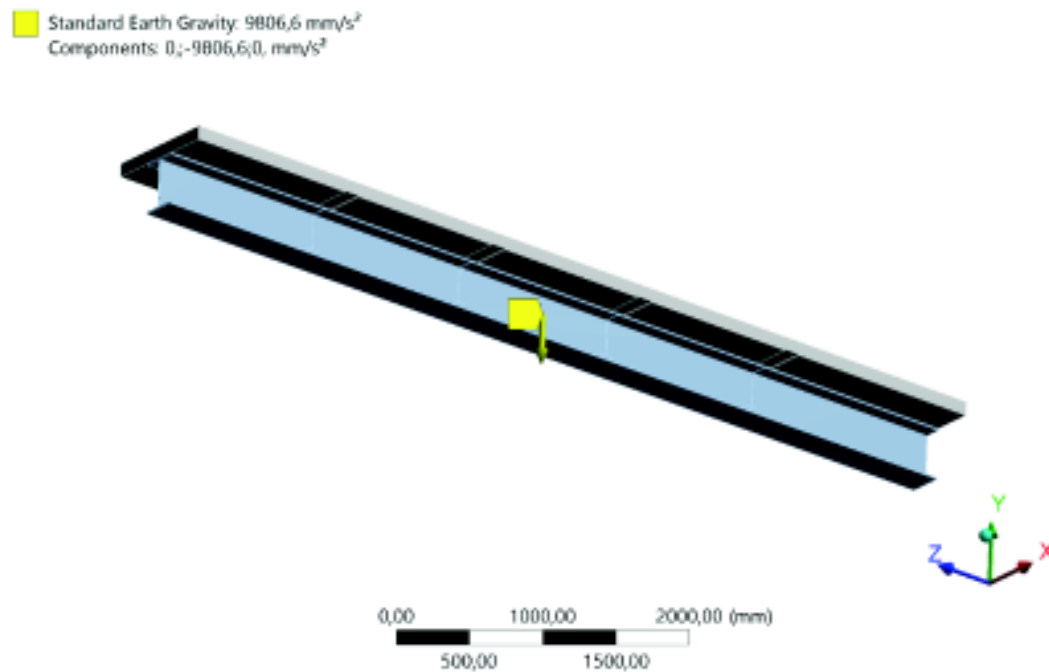
Por último, para representar la acción del peso propio de los miembros estructurales por medio de la gravedad durante el incendio, se seleccionan primero los sólidos en la sección *Geometry* → *All bodies*, luego se selecciona *Standard Earth Gravity* desde el menú *Inertial* y se elige el sentido negativo del eje “y” global, como se muestra en la FIGURA 4.32. Además, por defecto el programa asigna el valor de la gravedad como 9806,6 [mm/s²].

FIGURA 4.31 Aplicación de la carga debido al peso propio de las paredes en el Modelo VT4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA 4.32 Asignación de la gravedad de todos los cuerpos en el Modelo VT4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.3.6.2 Criterios para la resolución del módulo estructural

Para el análisis de la degradación del corte y momento flector en función del tiempo de la viga mixta VT4, se ha realizado las siguientes configuraciones para que el programa resuelva de manera adecuada el análisis no lineal ya que su resolución conlleva a ciertas complicaciones que se exponen a continuación:

- Se selecciona un número de pasos igual a 4 (*steps*) y el tiempo de finalización para cada paso será 700 [s], con las condiciones de contorno descritas anteriormente.
- Para el cálculo no lineal, el método de resolución es iterativo el cual en cada paso busca aproximarse a la solución a partir de la solución obtenida en el paso anterior. El método que se utiliza en la modelación es el método de Newton-Raphson (*Newton Raphson Option* → *Program Controlled*), la gran ventaja de utilizar este procedimiento se debe a que proporciona una velocidad de convergencia cuadrática.
- Por último, se importa la carga de temperatura mediante: *Imported Load* → *Imported Body Temperature*, ingresando dos pasos que son: el tiempo al 1 [s] y el tiempo final (*End Time*) igual a 700 [s].

4.4 MODELO V4

4.4.1 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS DEL MODELO

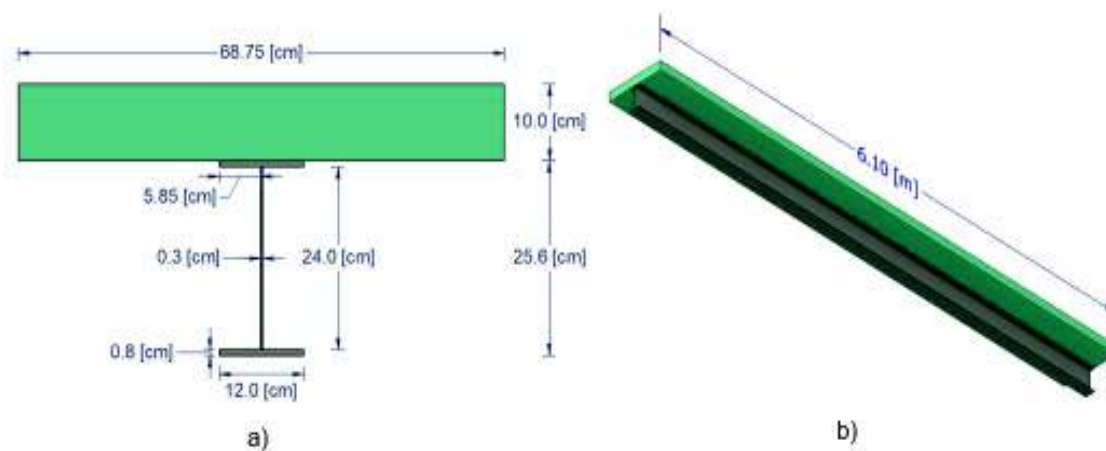
La geometría de la viga compuesta V4, así como el ancho efectivo de la losa, se encuentran detallados en la TABLA 4.9 teniendo en cuenta que el perfil de acero no es normalizado, sino que se obtuvo los datos de los planos estructurales del edificio en cuestión.

Se realizó un modelo geométrico tridimensional desde un formato CAD para luego importarlo al módulo *Geometry* del software FEA. Las dimensiones se disponen en la FIGURA 4.33.

TABLA 4.9 Propiedades geométricas de la sección compuesta V4

Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidades
bf	Ancho del patín	12	[cm]
tf	Espesor del patín	0,8	[cm]
hw	Altura del alma	24	[cm]
tw	Espesor del alma	0,3	[cm]
h	Altura total de la viga	25,6	[cm]
b_{eff}	Ancho efectivo de la losa	68,75	[cm]
e	Espesor de la losa	10	[cm]
L	Longitud de la sección compuesta	6,10	[m]
A_s	Área de la sección de acero	26,4	[cm ²]
A_c	Área de la sección de hormigón	687,5	[cm ²]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA 4.33 Dimensiones geométricas de la sección compuesta V4 en el modelo CAD

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Cabe mencionar que la viga de acero V4 corresponde a una viga secundaria que tributa a la viga principal VT4.

4.4.2 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS

4.4.2.1 Elemento finito para análisis térmico

En el análisis termal transitorio o módulo *Transient Thermal*, los elementos finitos que fueron designados por parte del software FEA se identifican como: SOLID90, SURF152 y SURF252. Éstos facilitaron que el problema térmico sea resuelto de la mejor manera posible.

SOLID90 representa un elemento térmico tridimensional que contiene 20 nodos con un solo grado de libertad, cuya variable es la temperatura (Liu & Niu, 2015). Además, es importante mencionar que al emplear este tipo de elementos dentro de un análisis estructural deberá ser remplazado por su respectivo elemento equivalente denominado SOLID186 (Duthinh & Khaskia, 2017). El esquema que permite observar la geometría, los nodos y el sistema de referencia del presente elemento se describe en la FIGURA 4.17.

El elemento SURF152 es aplicable para análisis térmicos tridimensionales, tiene la opción de ser utilizado para ser sometido a distintas cargas (convección y radiación) y ver el efecto que se produce en las superficies. También tiene la opción de superponerse sobre un área de otro elemento térmico 3D (Lambert, 2012). De igual manera se puede establecer su geometría, la localización de los nodos y el sistema de coordenadas de acuerdo a la FIGURA 4.18.

En lo que respecta al elemento SURF252 se puede afirmar que se utiliza para cargas superficiales de radiación que, según el software FEA, este elemento solo se puede considerar si dentro del análisis se usa como método de resolución el denominado *radiosity* (ANSYS, 2013). Se puede apreciar la configuración geométrica del elemento SURF252 en la FIGURA 4.19.

4.4.2.2 Elemento finito para análisis estructural

Los elementos finitos que el software FEA consideró dentro del análisis computacional en el módulo *Static Structural* son: SOLID186 y SURF154. A través de estos elementos fue factible una mejor convergencia del modelo para obtener resultados óptimos.

SOLID186 corresponde a un elemento sólido tridimensional que contiene 20 nodos, cada uno de éstos presenta tres grados de libertad en las direcciones nodales de traslación “x”, “y” y “z”. Este elemento es útil para soportar la plasticidad, hiperelasticidad, fluencia, rigidez por estrés y cuando se producen grandes deformaciones. También tiene la función de realizar simulaciones de deformación en materiales elastoplásticos que no sean muy compresibles y en materiales hiperelásticos que sean incompresibles (Kulisek, 2016). En la FIGURA 4.20 se exhibe la configuración geométrica, la disposición de los nodos y el sistema de coordenadas del elemento en cuestión; se concluye además que el SOLID 186 es compatible con el SOLID90 pues presentan las mismas características geométricas.

SURF154 se define como un elemento que puede ser utilizado en análisis estructurales, específicamente, para la aplicación de cargas sobre superficies de elementos tridimensionales y sus efectos (Cai, Pan, Zhu, & Gu, 2013). En la FIGURA 4.21 se muestra la geometría, los nodos que contiene con su respectiva ubicación y el sistema de coordenadas.

4.4.3 CONTACTOS

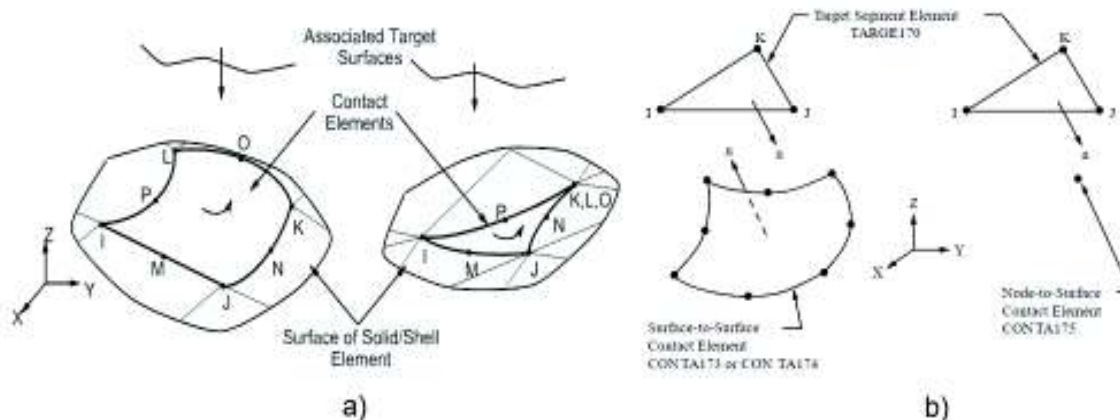
Para este modelo el contacto que se asignó entre la losa y la viga metálica es de tipo “*bonded*”. Este tipo de contacto no se ajusta a la realidad física que compete a la viga compuesta; sin embargo, fue necesaria su aplicación para la convergencia de resultados. Se puede decir, también, que una razón técnica por la que se optó en asignar este contacto, se debe precisamente a simular la función que tienen los conectores de unir tanto a la losa y a la viga con el objetivo de impedir el deslizamiento y la separación entre estos dos elementos estructurales (Hernández, Bonilla, & Rodríguez, 2014).

En cuanto al comportamiento del contacto (*Behavior*) se estableció como: simétrico (*Symmetric*), de tal manera que ambas superficies de la losa y del perfil de acero trabajen como superficies de contacto (*contact bodies*) y como superficies objetivo (*target bodies*). Ahora la formulación apropiada para esta configuración de contactos corresponde a la opción *Augmented Lagrange*, la misma que es empleada para resolver problemas no lineales. Tiene como principal función el de

satisfacer la situación de no penetración utilizando multiplicadores de Lagrange para que la penetración no exceda a la máxima permitida (Vicente Alonso, 2011). Como último requisito se debe realizar el siguiente proceso para que el programa no actualice la rigidez a medida que la modelación se resuelva, esto es: *Advanced* → *Update Stiffness* → *Never*.

Es así que el software FEA dentro de su análisis estableció los tipos de elementos *superficie-superficie*: CONTA174 y TARGE170. El CONTA 174 brinda la capacidad de representar el contacto y el deslizamiento que existe entre las superficies 3D objetivo y una superficie que se deforma. Este elemento contiene tres grados de libertad en cada nodo: traslación en las direcciones nodales “x”, “y” y “z”. En cuanto al TARGE170 se describe como un elemento que modela superficies objetivo en 3D y que están asociados a los elementos de contacto como el CONTA174 (Bindhu, 2009).

FIGURA 4.34 Elementos de contacto superficie-superficie a) CONTA174 y b) TARGE170



FUENTE: (ANSYS, 2013)

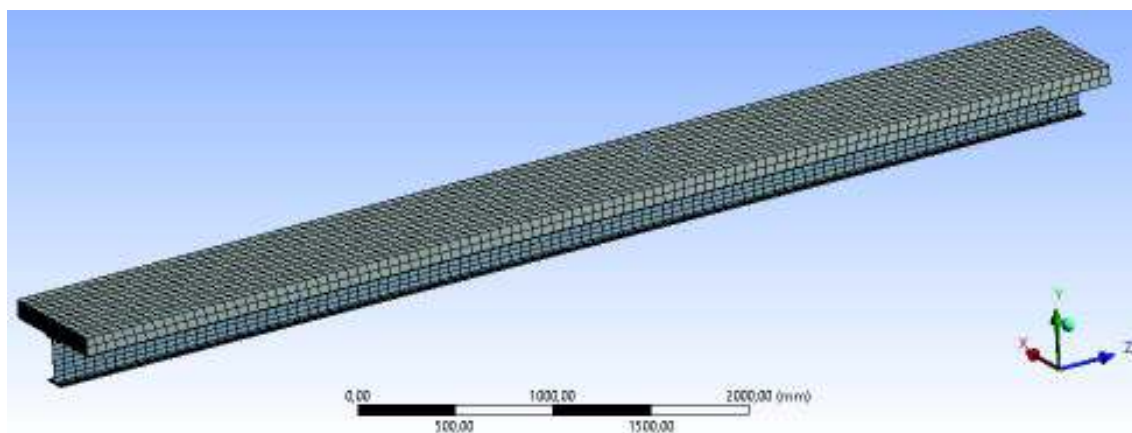
Otro de los motivos por la que se escogió el tipo de contacto “*bonded*” se debe a que durante el procesamiento de la modelación existían penetraciones entre los elementos constituyendo una característica que no puede ser admitida.

4.4.4 MALLADO

Si bien es conveniente obtener un alto número de elementos para que los resultados sean lo más confiables posibles, el costo computacional y la memoria

del computador se verían afectados en todo análisis basado en elementos finitos. Por tal motivo, para determinar el mallado del modelo en consideración se tomó como premisa el aplicar un mallado global realizado de manera automática por el mismo programa, asignando un nivel de relevancia (*Relevance*) de 100 y el centro de relevancia (*Relevance Center*) como *Fine*. Con estas opciones se asegura un refinamiento adecuado permitiendo anticipadamente que los resultados converjan.

FIGURA 4.35 Mallado del Modelo V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

No fue necesario la asignación de un tamaño específico de los elementos finitos (*Element Size*) puesto que la calidad o métrica de la malla a través del *Jacobian Ratio* da un promedio de 1.0582. Este valor se considera aceptable debido a que se aproxima a lo indicado en la sección 3.2.2.3, en donde se precisa que para lograr un mallado excelente la relación de aspecto debe ser igual o cercano a 1, lo cual sucede en este caso y, además, propone que los elementos sean rectangulares uniformes.

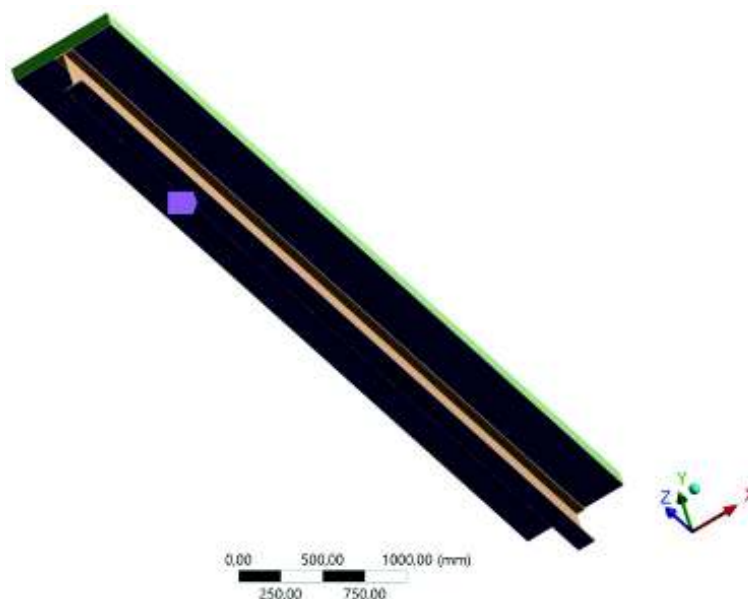
4.4.5 ANÁLISIS TÉRMICO

4.4.5.1 Condiciones de borde o de contorno

4.4.5.1.1 Radiación

Las zonas del sistema de entepiso que están expuestas a las llamas producto del fuego y, por consiguiente, donde se genera el principal proceso de intercambio de calor hacia las superficies de los elementos combustibles se muestran en la FIGURA 4.36.

FIGURA 4.36 Superficies sometidas a la radiación en el Modelo V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

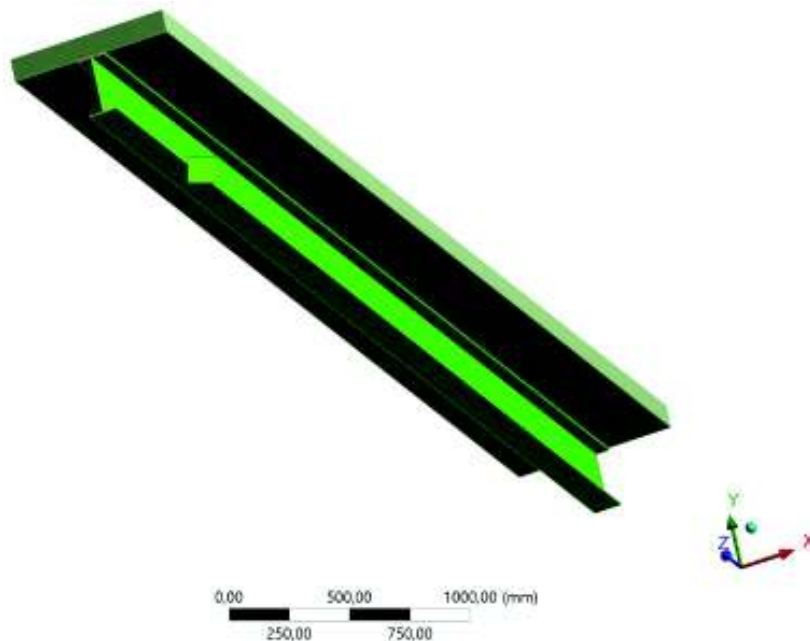
Como se está realizando un análisis a partir de un modelo de fuego estándar y para llevar esta simulación a un estado real se debe considerar la emisividad equivalente mencionada en la sección 3.2.3. Esta emisividad representa un indicador de la eficiencia que tiene la superficie que se ve afectada por las llamas como una fuente de radiación (Van Schuerbeck, 2013) y que puede ser calculada en función de la temperatura según la curva de fuego estándar; esta representación es la misma que se expone en la FIGURA 4.25. La variación de la emisividad con respecto a la temperatura se debe ingresar en la modelación para asegurar que exista el intercambio que se presenta entre las superficies, por ello como primer paso en la opción *Correlation* se elige la categoría *Surface to Surface*, luego en las opciones *Emissivity* y *Ambient Temperature* se escogen las categorías *Tabular (Temperature)* y *Tabular (Time)*, respectivamente. Por último, como se está modelando los gases del fuego estándar que rodean a la viga mixta, en la opción *Enclosure Type* se opta por *Open*.

4.4.5.1.2 Convección Experimental

En esta condición las superficies que sufren afectación por la convección debido a los gases del fuego estándar son las que se presentan en la FIGURA 4.37, es decir,

se seleccionaron todas las caras que componen la viga metálica a excepción de las superficies de la sección transversal a ambos lados. El valor del coeficiente de convección debido a incendios de tipo estándar se consideró igual $25 [W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$, según el EN 1991-1-2 (2002).

FIGURA 4.37 Superficies expuestas a la convección experimental en el Modelo V4

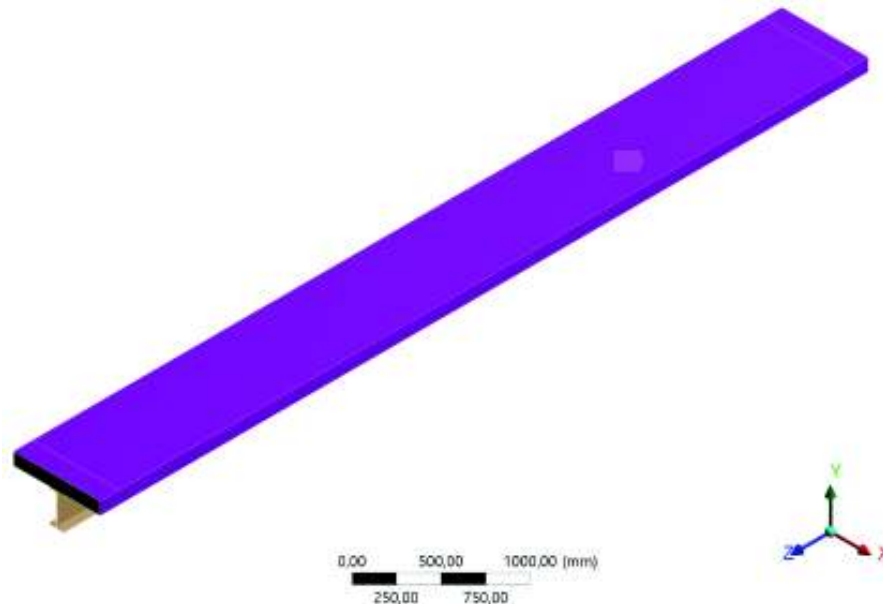


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.4.5.1.3 Convección al Ambiente

Las superficies de la viga mixta que se encuentran transfiriendo calor con el ambiente en el momento del incendio, corresponden a la cara superior de la losa como las caras en dirección longitudinal de la misma. Conforme lo dicta el Eurocódigo 1 (EN 1991-1-2, 2002) el coeficiente de convección para este caso y, como se está tomando en consideración la radiación, debe ser igual a $9 [W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$.

FIGURA 4.38 Superficies expuestas a la convección ambiental en el Modelo V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.4.5.2 Criterios para la resolución del módulo térmico

A continuación, se describen los principales parámetros que se tomaron en cuenta para que el análisis térmico sea resuelto:

- Se establece el valor de temperatura inicial igual a 20 [°C] en *Initial Temperature* → *Initial Temperature Value*.
- La simulación térmica se realiza para un tiempo total de 3600 [s], dividiéndolo en un número de 13 pasos (empezando desde 1, 300, 600 hasta 3600 [s]), se admite que la opción *Auto Time Stepping* sea controlado por el propio programa donde se especifica que el tiempo inicial de cada paso sea de 3 [s], el tiempo mínimo igual a 0.3 [s] y el tiempo máximo de cada paso sea de 30 [s].
- Finalmente, para que el programa advierta que se está modelando para una situación transitoria se debe activar la opción *Time Integration* → *On* desde *Analysis Settings*. Los demás parámetros que integra este tipo de análisis es controlado por el software FEA.

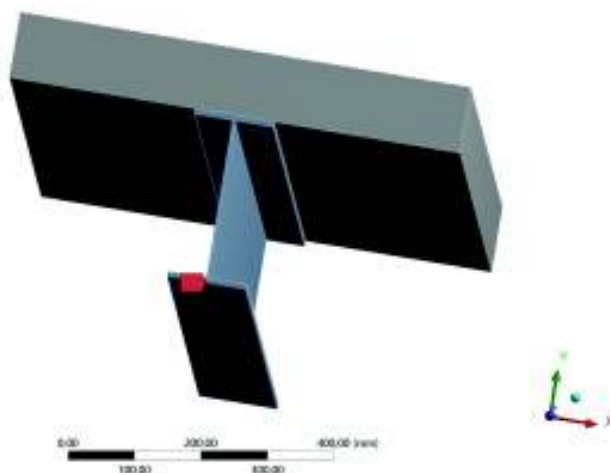
4.4.6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.4.6.1 Condiciones de borde o de contorno

4.4.6.1.1 Restricciones

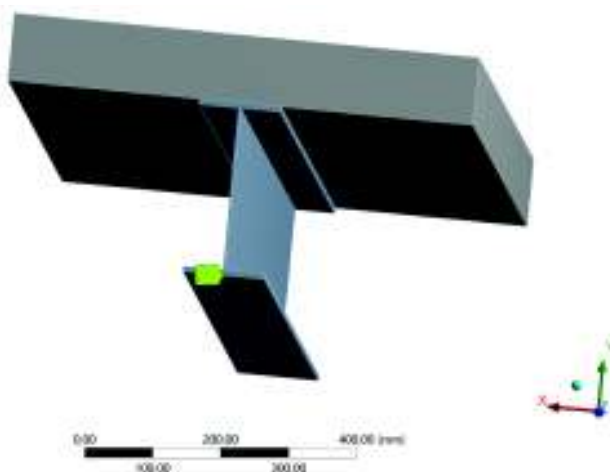
La viga metálica que forma parte del sistema en entrespiso del Modelo V4 corresponde a una viga simplemente apoyada que no puede trasladarse en las direcciones “x”, “y” y “z”, por tal razón se modela una restricción de tipo *Fixed Support* en el eje del patín inferior de ambos extremos de la viga, así como se puede observar el soporte izquierdo en la FIGURA 4.39 y el soporte derecho en la FIGURA 4.40.

FIGURA 4.39 Apoyo simple izquierdo de la viga metálica V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

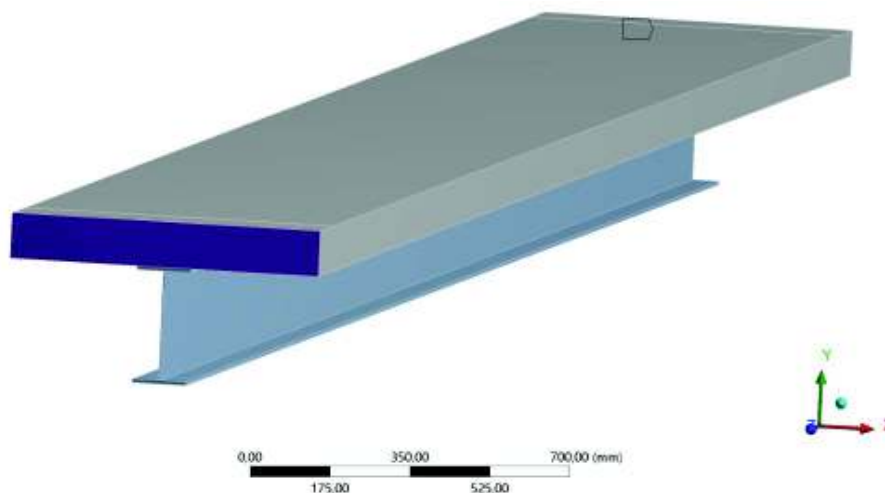
FIGURA 4.40 Apoyo simple derecho de la viga metálica V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

También se procedió a colocar restricciones en las caras laterales de la losa dado que este elemento se supone que se encuentra empotrada en sus dos extremos. De manera más explicativa sobre lo antes mencionado se puede apreciar en las siguiente FIGURA 4.41:

FIGURA 4.41 Restricciones en las caras laterales de los extremos de la losa



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Con esta disposición de los soportes es posible entonces que la matriz de rigidez no presente dificultades al momento de que sea calculado por el software FEA, más que todo, para que la dimensión de la matriz no presente inconsistencias.

4.4.6.1.2 Determinación de Cargas

Para un análisis estático se requiere estimar tanto cargas muertas como cargas vivas, en esta ocasión solo fue viable tomar en consideración el peso propio de los elementos estructurales y para acercarse un poco a la realidad se tomó como carga muerta adicional el peso de las paredes que se ubican en los extremos de la losa con un ancho igual al ancho efectivo de la losa del Modelo V4 presentado en la TABLA 4.9. El respectivo cálculo de la fuerza producida por el peso de las paredes se ejemplifica en la TABLA 4.10 y en la FIGURA 4.42 se muestra la ubicación en el modelo computacional.

Al igual que en el Modelo VT4, las paredes están compuestas por mampostería de ladrillo cerámico prensado (NEC-SE-CG, 2015).

TABLA 4.10 Cálculo de la fuerza debido al peso propio de las paredes en el Modelo V4

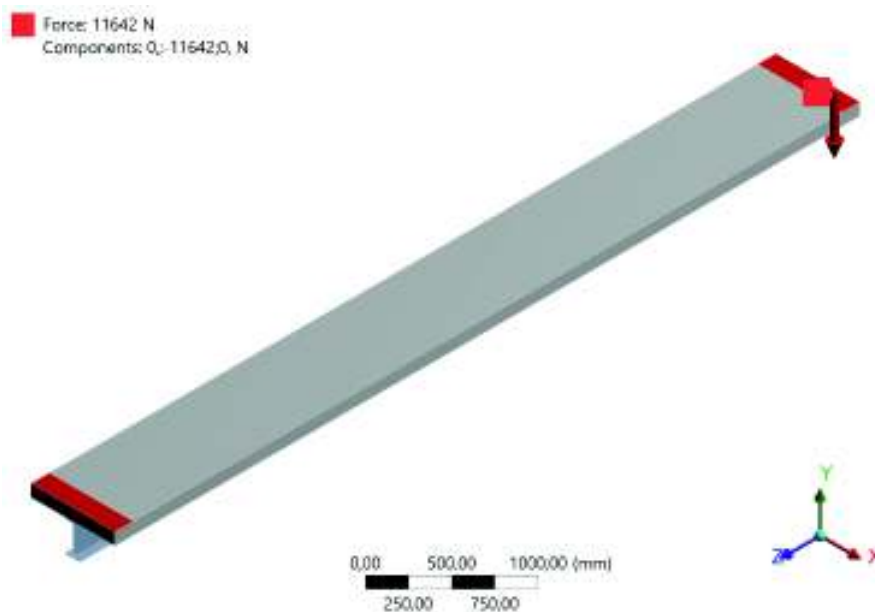
CARGA MUERTA PAREDES - MODELO V4			
Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidades
H	Altura	3,00	[m]
b_{pared}	Ancho	0,69	[m]
e_{pared}	Espesor	0,15	[m]
V_{pared}	Volumen	0,31	[m ³]
$\gamma_{ladrillo}$	Peso específico de la mampostería	1920	[kg/m ³]
$N^{\circ}_{paredes}$	Número de paredes	2	-
$F_{paredes}$	Fuerza por peso propio	1188,0	[kg]
		11642,40	[N]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Una vez dibujada, con anterioridad, la geometría correspondiente a las paredes se importa al módulo *Geometry* que contiene el software FEA para proceder a imprimir las caras de estos elementos sobre la losa de la misma forma que se indicó en el Modelo VT4. Dicho esto, los pasos a seguir para ingresar la fuerza de las paredes son: *Loads* → *Force* → *Define by* → *Components* → *Y Component*: -11642.40 N, sin antes haber seleccionado las superficies generadas sobre la losa para poder simplificar el peso de las paredes en esas zonas.

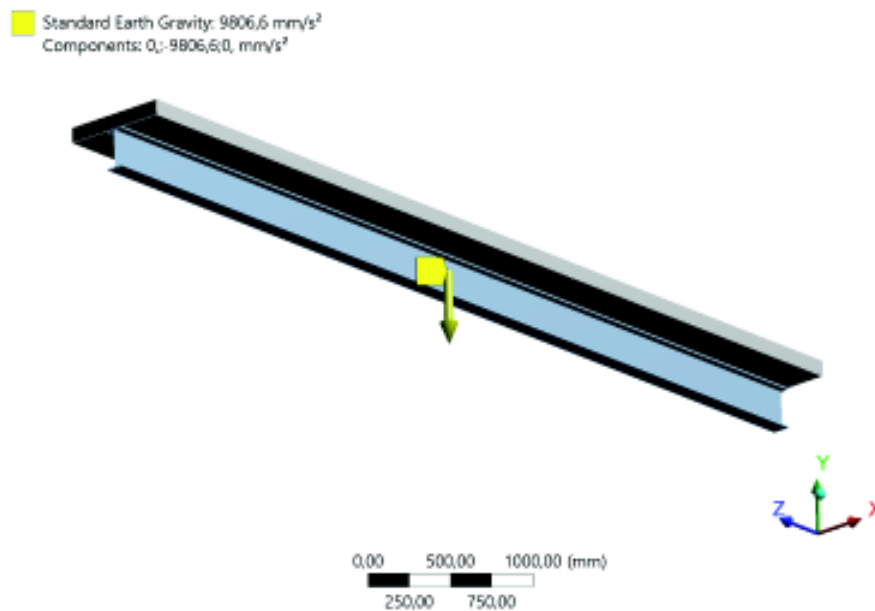
Para activar el peso propio de los elementos que están componiendo la modelación se debe escoger la opción: *Inertial* → *Standard Earth Gravity*, se selecciona en *Geometry* → *All bodies* y se debe indicar la dirección de la gravedad que, en este caso, es la dirección “y” negativa. Asimismo, en la FIGURA 4.43 se representa la asignación de la gravedad y el peso propio de los sólidos.

FIGURA 4.42 Aplicación de la carga debido al peso propio de las paredes en el Modelo V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA 4.43 Asignación de la gravedad de todos los cuerpos en el Modelo V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

4.4.6.2 Criterios para la resolución del módulo estructural

En este apartado, se describen los principales parámetros que se tomaron en cuenta para que el análisis estructural pueda ser solucionado:

- El tiempo de la simulación estática estructural se define, desde *Analysis Settings*, para un tiempo total de 650 [s], dividiéndolo en ocho pasos (10, 100, 190, 280, 370, 460, 550, 600 y 650 [s]). Se establece que las opciones *Auto Time Stepping*, *Solver Type* y *Newton Raphson Option* sean controlados por el propio programa al igual que otros parámetros que vienen por defecto en el módulo *Static Structural*.
- Como último paso, se importa la carga de temperatura (*Imported Load* → *Imported Body Temperature*) que resultó del análisis termal, precisando dos pasos que son: el tiempo al 1 [s] y el tiempo final (*End Time*) equivalente al que se propuso en la parte estructural que es de 650 [s].

4.5 MODELO VT1

La descripción de la modelación del sistema de entrepiso que está conformado por la viga VT1 es semejante con lo dictado en el Modelo VT4; sin embargo, se puede apreciar en mayor detalle en el ANEXO N° 1.

4.6 MODELO V1

La descripción de la modelación de la sección compuesta que está conformada por la viga V1 es similar a lo manifestado en el Modelo V4; no obstante, se podrá observar las consideraciones y criterios que se dispusieron para este modelo en el ANEXO N° 2.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL

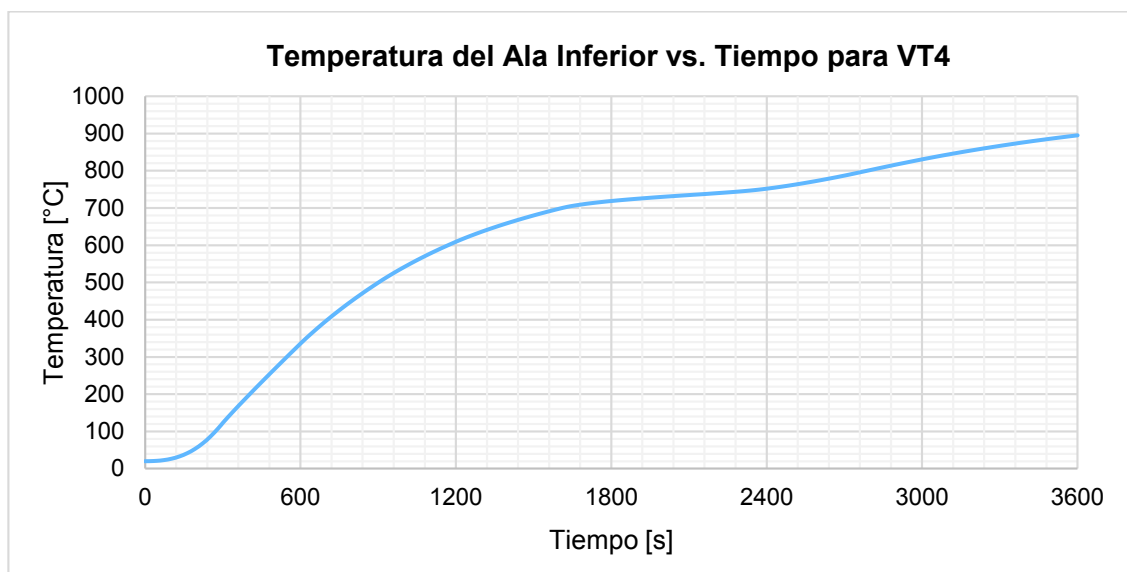
Por medio de las modelaciones realizadas que contemplan el sistema de entrepiso del edificio “Torino” y descritas en el Capítulo 4, se explica en seguida los resultados obtenidos en el módulo térmico y en el módulo estructural.

5.1.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS TÉRMICO

5.1.1.1 Resultados del Modelo VT4

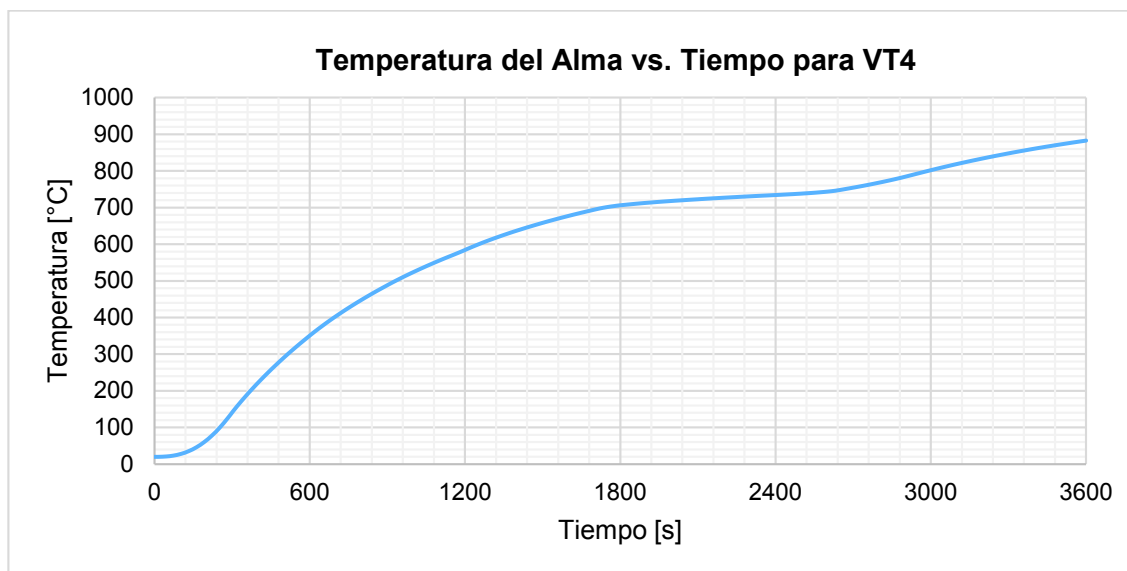
A continuación, se detallan los resultados del análisis termal realizado a la viga principal del Modelo VT4 para un tiempo de 3600 [s].

FIGURA 5.1 Temperatura del ala inferior de la viga del Modelo VT4



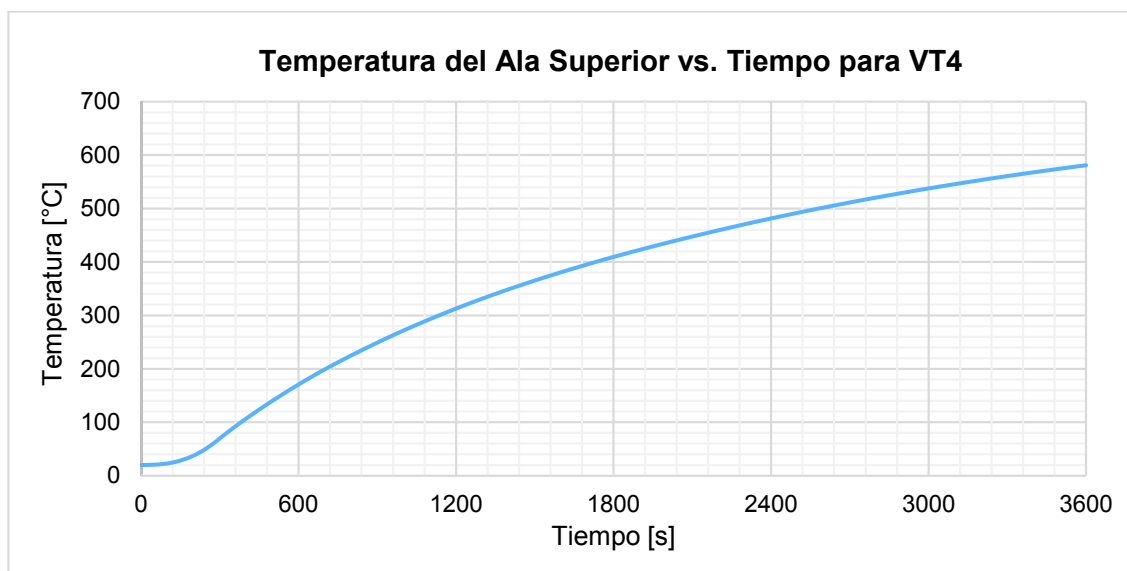
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En la FIGURA 5.1 se evidencia que existe una mayor concentración de calor en el elemento estructural, puesto que a los 3600 [s] el ala presenta una temperatura aproximada de 895 [°C], debiéndose principalmente a que el incendio está produciendo efectos desfavorables que afectan a la parte inferior de la viga.

FIGURA 5.2 Temperatura del alma de la viga del Modelo VT4

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

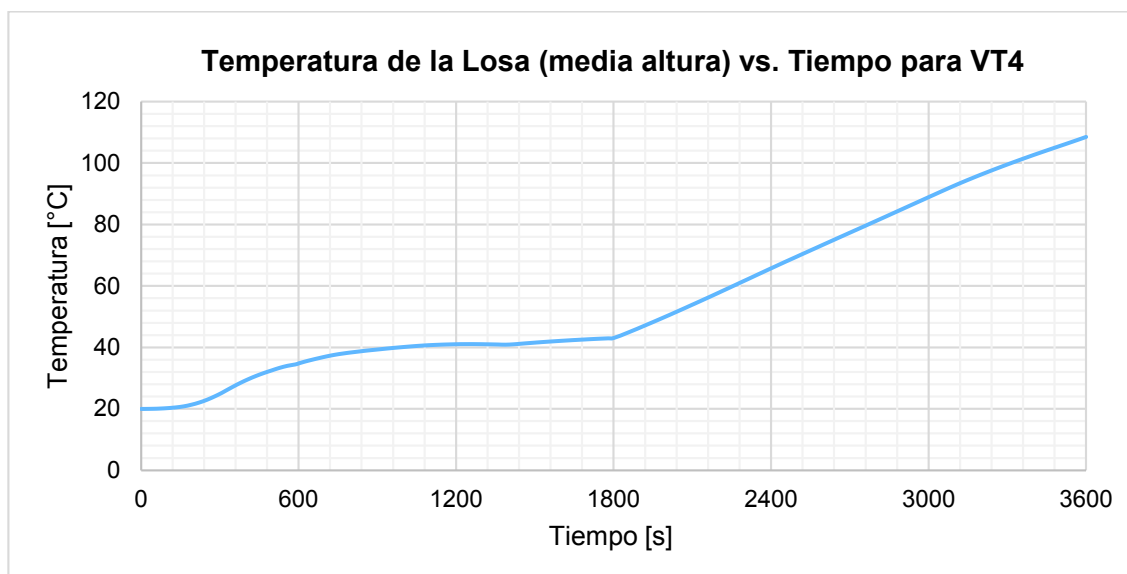
Por medio de la FIGURA 5.2 se determina que existe también una considerable concentración de calor, pues a los 3600 [s] el alma presenta una temperatura de 882 [°C]. Aunque su temperatura es menor que la que tiene el ala inferior del perfil de acero es claro que la gran conductividad del acero se ve reflejada en estos resultados.

FIGURA 5.3 Temperatura del ala superior de la viga del Modelo VT4

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En la FIGURA 5.3 se observa que existe una tendencia creciente de la temperatura en el ala superior a medida que el tiempo aumenta. El ala superior de la viga VT4 presenta una temperatura de 580 [°C] en 3600 [s], esto se debe a que la acción del fuego se concentra más en los elementos inferiores de la viga.

FIGURA 5.4 Temperatura a media altura de la losa en el Modelo VT4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

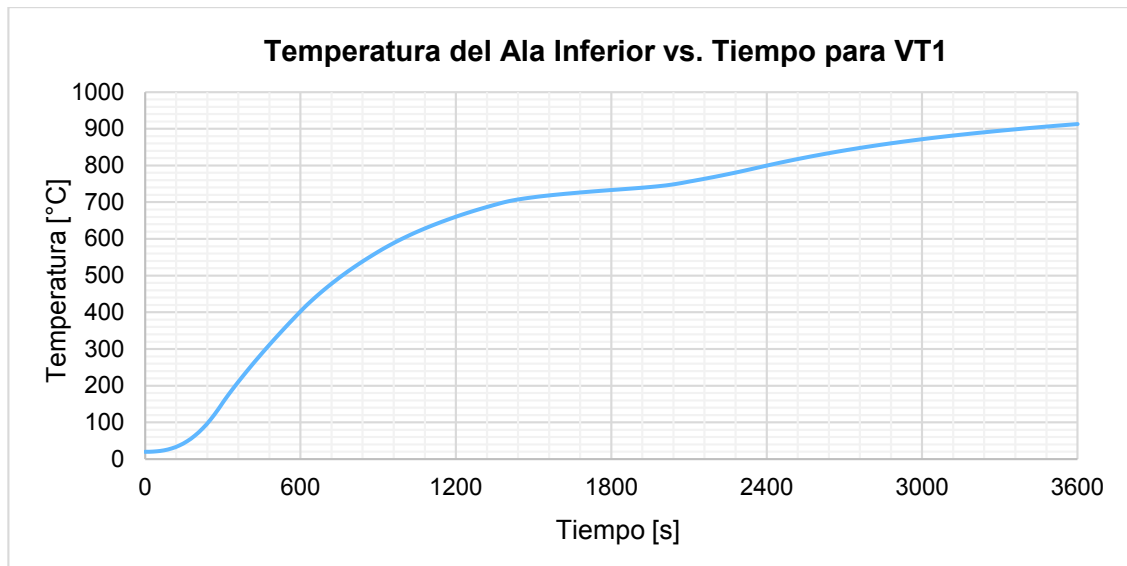
Se puede advertir en la FIGURA 5.4 que la temperatura de la losa a mitad de espesor del Modelo VT4 llega hasta los 108 [°C] una vez que se cumplen los 3600 [s]. Además, la temperatura es mucho mayor en la parte inferior de la losa que en la parte superior del mismo, esto se debe a que, a medida que la transferencia de calor se aleja de la acción del fuego, tiende a disminuir la temperatura de la losa provocando que en la parte inferior exista una mayor concentración de calor a diferencia de la parte superior, es decir, la razón tiene que ver con la baja conductividad térmica que posee el hormigón cuando es afectado por las altas temperaturas.

5.1.1.2 Resultados del Modelo VT1

El tiempo de simulación de este modelo fue para un total de 3600 [s]. Como se observa en la FIGURA 5.5, la acción del fuego que afecta a la viga VT1 en el ala inferior presenta un punto de inflexión a los 1400 [s], correspondientes a los

704 [°C] y a los 3600 [s] la temperatura que alcanza el ala inferior de la viga es de 913 [°C].

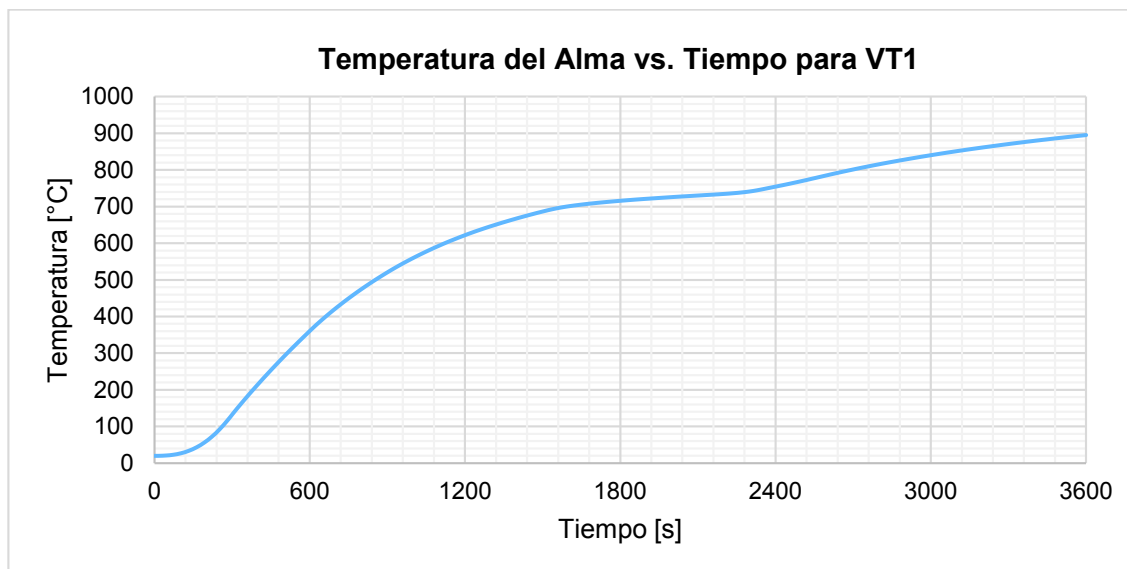
FIGURA 5.5 Temperatura del ala inferior de la viga en el Modelo VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El alma muestra una mayor área de exposición del fuego por lo que presenta una mayor concentración de calor llegando hasta una temperatura cercana a los 896 [°C] al transcurrir 1 hora de incendio.

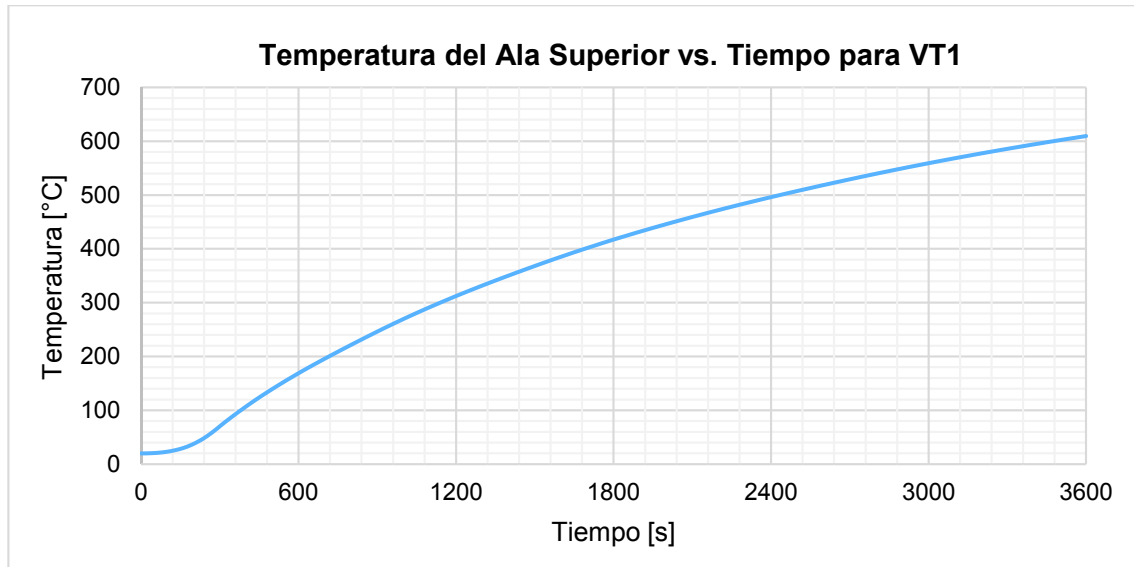
FIGURA 5.6 Temperatura del alma de la viga en el Modelo VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Como se puede observar en la FIGURA 5.7, la tendencia de la curva temperatura vs tiempo del ala superior es creciente conforme aumenta el lapso de tiempo, donde la temperatura, a los 3600 [s], se concreta en los 610 [°C].

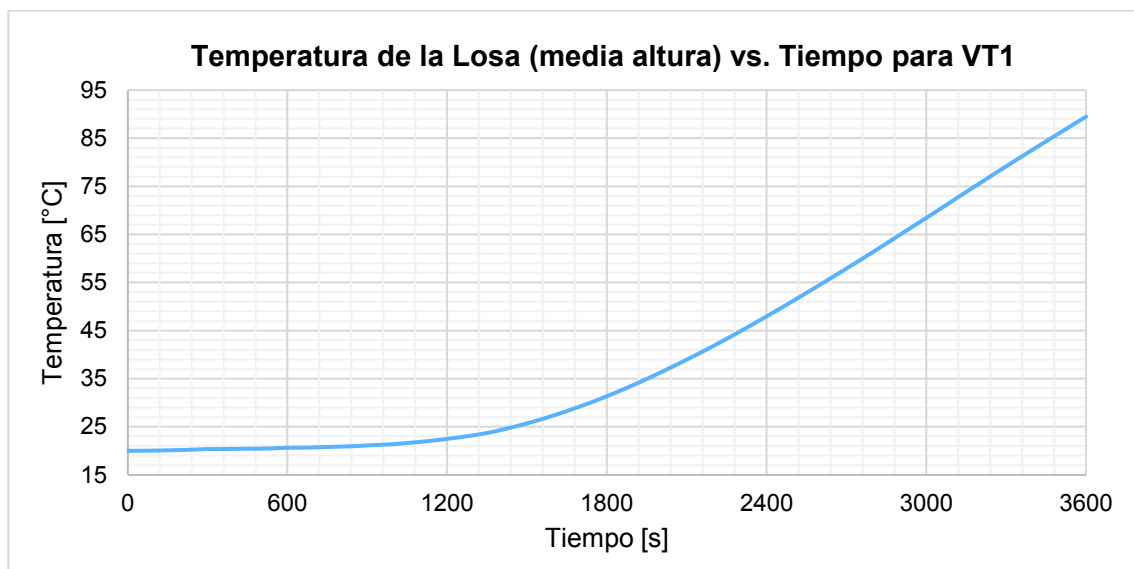
FIGURA 5.7 Temperatura del ala superior de la viga en el Modelo VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El ala superior al no estar directamente influenciada por la acción del fuego, le corresponden temperaturas inferiores en comparación con las que adquiere el ala inferior.

FIGURA 5.8 Temperatura a media altura de la losa en el Modelo VT1



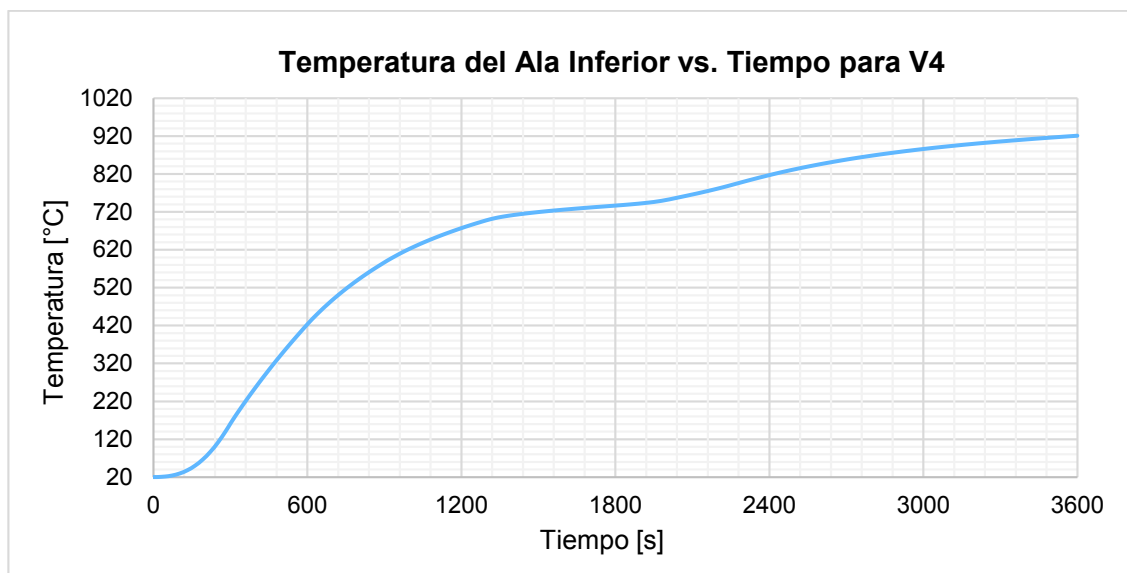
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Finalmente, en lo que concierne a la temperatura de la losa a mitad de su espesor, cuando ya ha transcurrido 1 hora de incendio, es de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la parte inferior de la misma según la curva que se expone en la FIGURA 5.8 y se puede evidenciar un crecimiento cóncavo exponencial creciente. Es necesario manifestar que el elemento estructural en análisis al estar directamente afectada por los efectos del fuego y, específicamente a partir de los $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, la mayoría de los agregados dejan de ser estables, con la consecuente pérdida de la resistencia mecánica del hormigón, tal como lo expone Pavez (2011).

5.1.1.3 Resultados del Modelo V4

Es posible determinar, con la ayuda de la FIGURA 5.9, que la temperatura en la cual se alcanza en el ala inferior de la viga metálica V4 después de un tiempo equivalente a 3600 [s] , corresponde a $921\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al modelar la viga, la acción de fuego tiene una gran incidencia en el ala inferior de la viga, razón por la cual la concentración de calor en este elemento estructural va a ser mayor en comparación con los demás elementos que forman parte del miembro estructural.

FIGURA 5.9 Temperatura del ala inferior de la viga en el Modelo V4

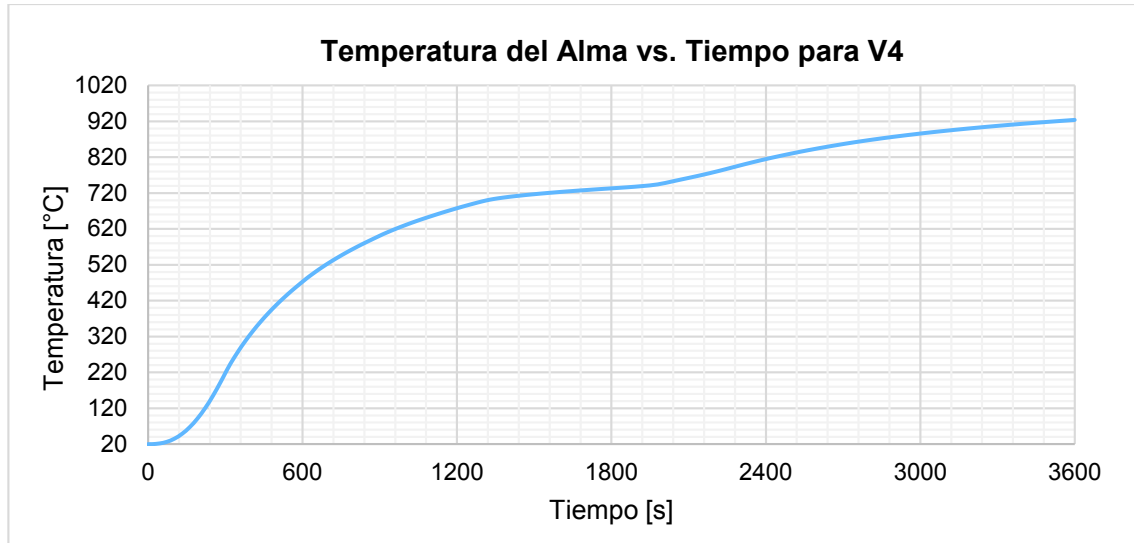


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Se aprecia en la FIGURA 5.10 que la temperatura en el alma de la viga V4 en estudio es similar a la temperatura del ala inferior, esto se debe precisamente a

que la acción del fuego afecta notoriamente a estos dos elementos. La temperatura obtenida a un tiempo de 3600 [s] es de 923 [°C].

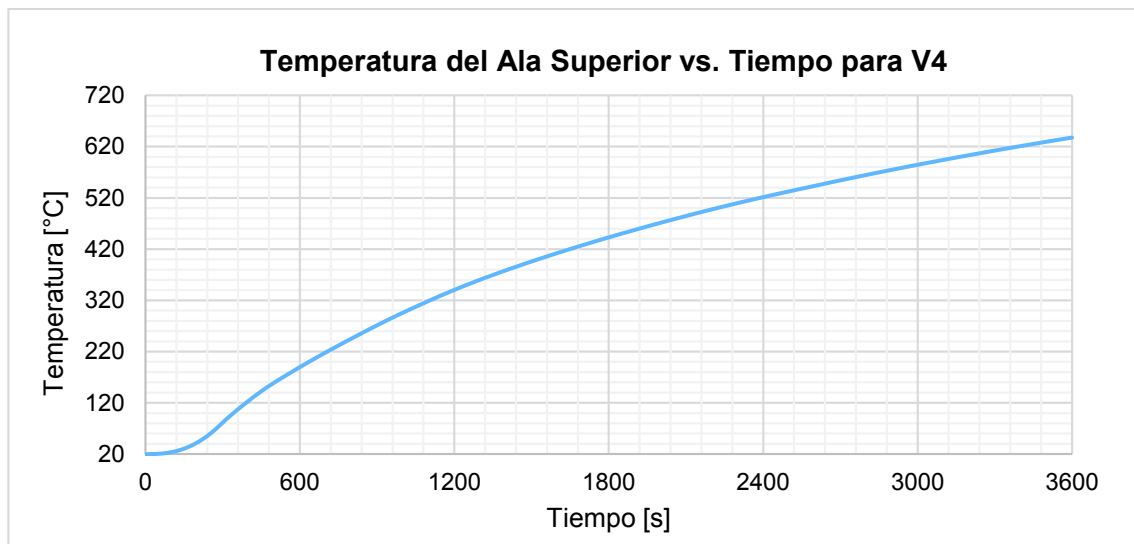
FIGURA 5.10 Temperatura del alma de la viga en el Modelo V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

La temperatura que se observa en la FIGURA 5.11 en el ala superior de la viga V4 es de 637 [°C] a un tiempo de 3600 [s], cabe señalar que la transferencia de calor hasta el ala superior de la viga V4 va disminuyendo porque al estar en contacto con la losa permite que la temperatura tenga un decaimiento por la baja conductividad térmica del hormigón en comparación con la del acero.

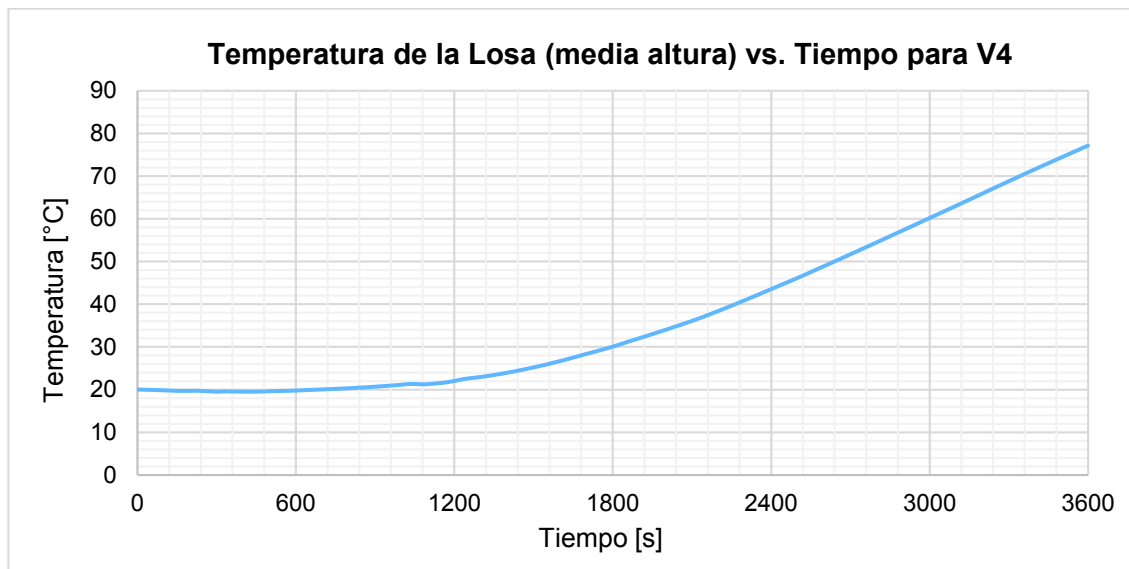
FIGURA 5.11 Temperatura del ala superior de la viga en el Modelo V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En cuanto a la losa, se observa mediante la FIGURA 5.12 que su temperatura correspondiente a mitad de su altura, en el instante en el cual se alcanza un tiempo de 3600 [s] es de 77 [°C]. De manera general, para este elemento estructural se predicen temperaturas menores en relación a los demás elementos estructurales que conforman el sistema de entrepiso en asunto.

FIGURA 5.12 Temperatura a media altura de la losa en el Modelo V4



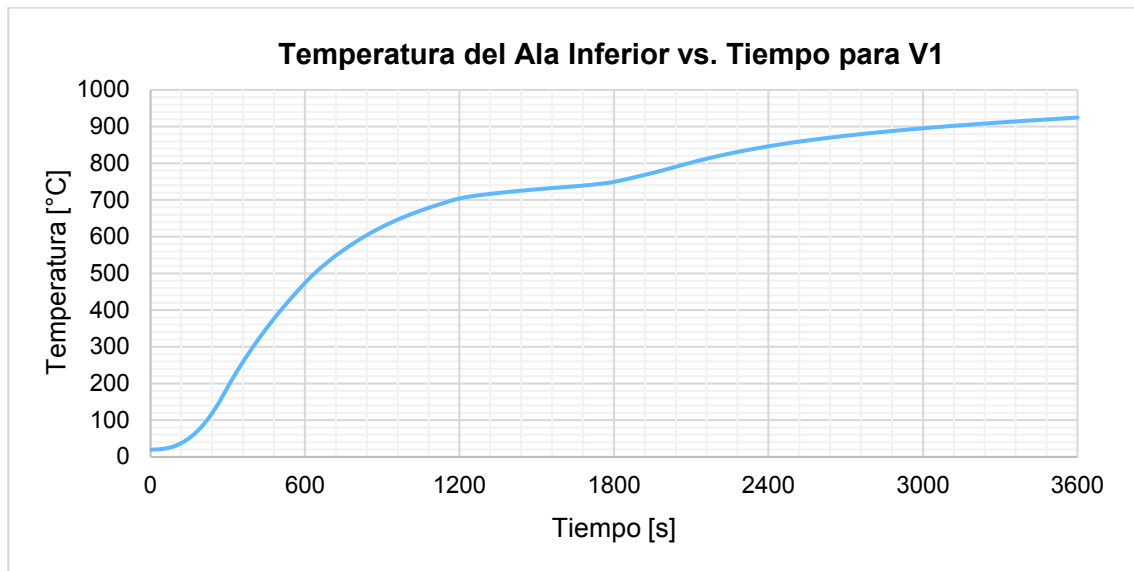
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Una vez más se verifica que, en la losa de hormigón la conductividad térmica es mucho menor en comparación con la que posee el acero y porque la losa en su parte superior se encuentra a temperatura ambiente.

5.1.1.4 Resultados del Modelo V1

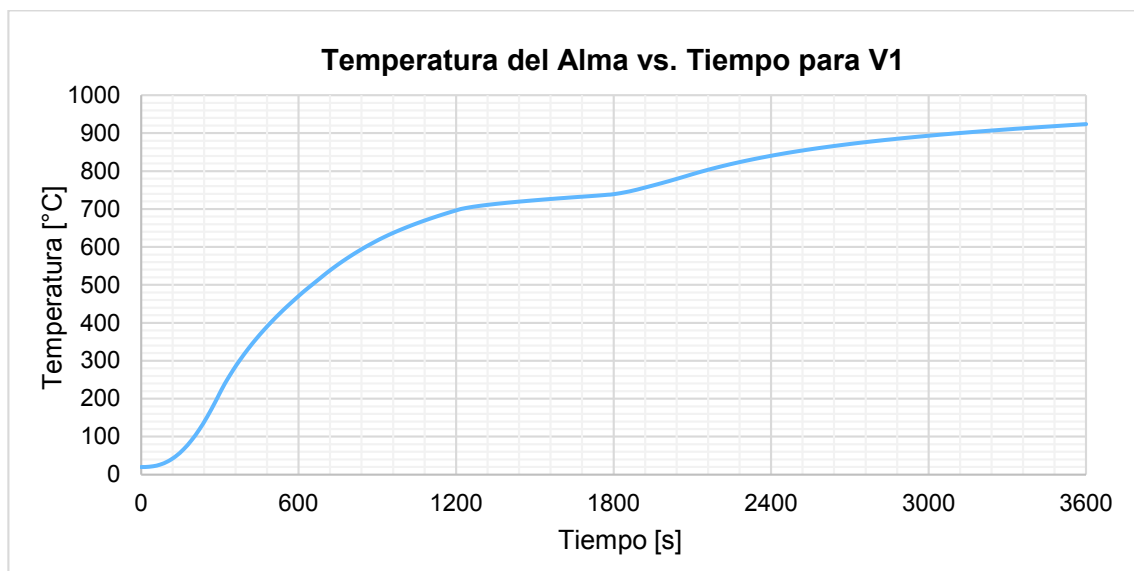
Este modelo también fue configurado para un tiempo total de análisis térmico igual a 3600 [s].

A través de la FIGURA 5.13, en el momento en que la viga metálica V1 se ve afectada por la acción del fuego durante los 1700 [s] se presenta un punto de inflexión de tal manera que el acero alcanza los 742 [°C], esto significa que este material consigue su punto máximo de calor específico.

FIGURA 5.13 Temperatura del ala inferior de la viga en el Modelo V1

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

De acuerdo con la FIGURA 5.14, la temperatura del alma determinada en la modelación de la viga V1 es igual a 924 [°C] a un tiempo correspondiente de 3600 [s], generándose un punto de inflexión en la curva temperatura vs tiempo alrededor de los 1800 [s] cuyo valor coincide cuando se ha alcanzado los 739 [°C].

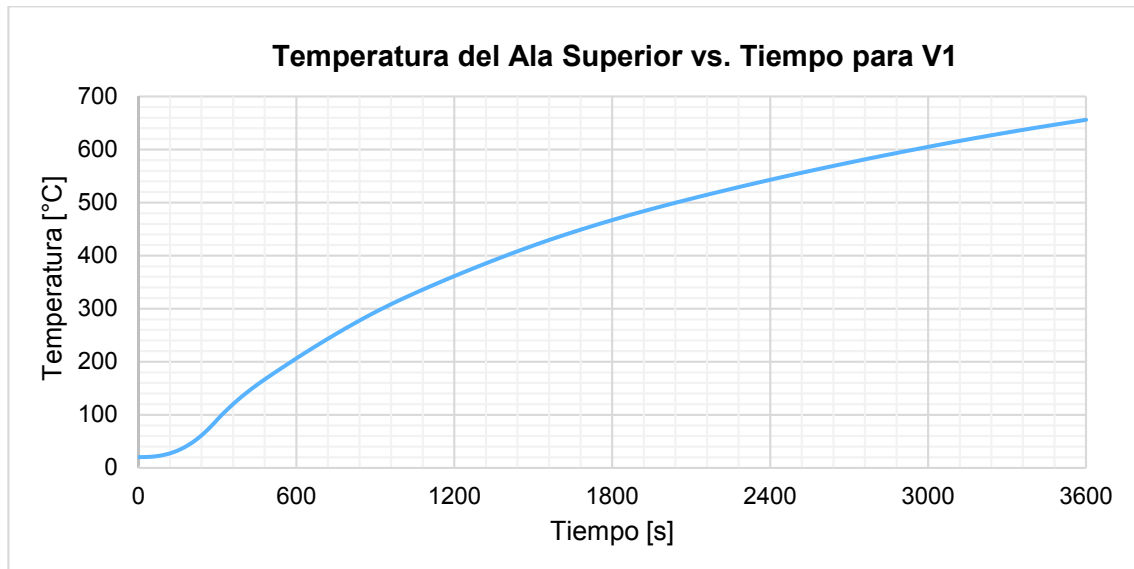
FIGURA 5.14 Temperatura del alma de la viga en el Modelo V1

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El alma muestra una temperatura similar al ala inferior, puesto que los dos elementos están directamente afectados por los efectos del incendio.

Según se puede visualizar en la FIGURA 5.15, la temperatura en el ala superior de la viga V1 al ser sometida al fuego estándar es igual a 656 [°C] cuando el período de tiempo cumple los 3600 [s].

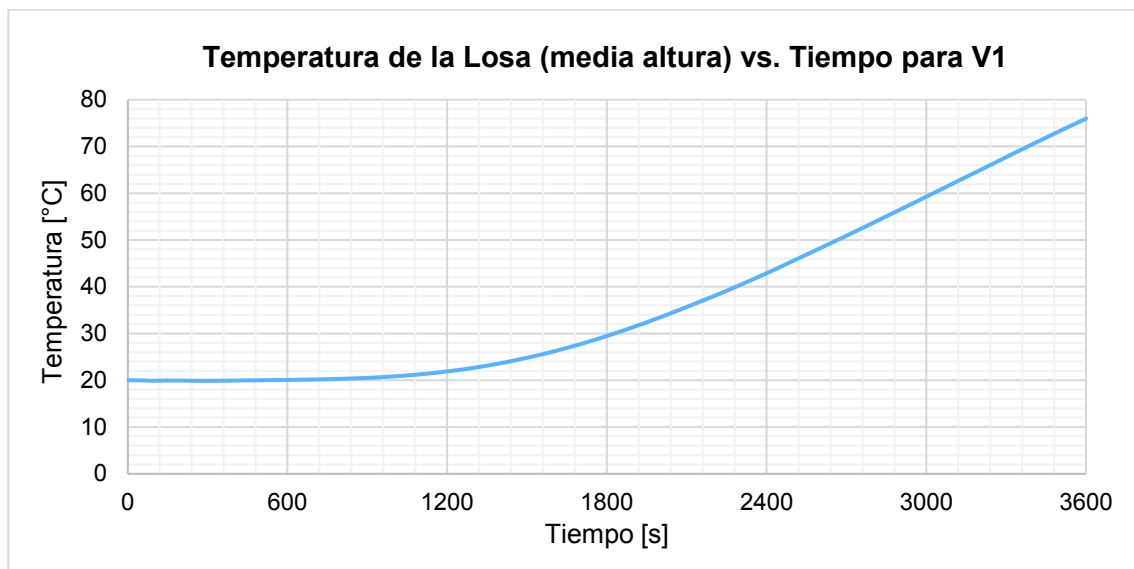
FIGURA 5.15 Temperatura del ala superior de la viga en el Modelo V1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Por último, en la FIGURA 5.16 se observa que la losa a mitad de su espesor de la viga compuesta V1 obedece a una temperatura de 76 [°C] a los 3600 [s].

FIGURA 5.16 Temperatura a media altura de la losa en el Modelo V1



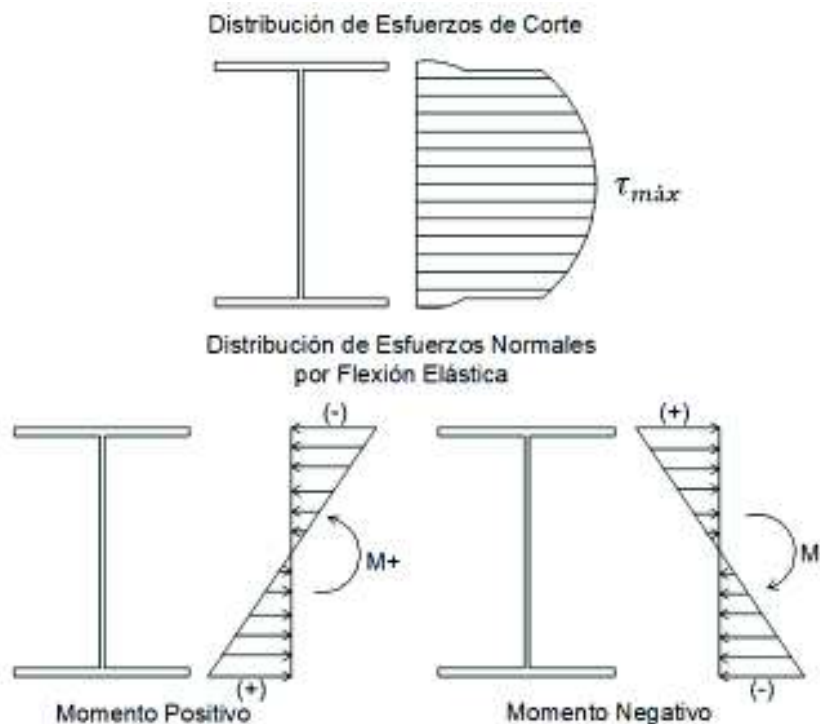
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Existe cierta tendencia de fallo del hormigón al verse perjudicado por la acción del fuego cuando se encuentra trabajando a elevadas temperaturas; sin embargo, en este modelo particularmente, en la parte superior del elemento, al estar a temperatura ambiente impide que la losa se vea altamente afectada.

5.1.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El software FEA en su respectivo módulo estructural despliega datos o resultados en términos de esfuerzos máximos cortantes y esfuerzos normales de Von Mises, además de otros, pero los mencionados constituyen las dos principales soluciones a las que se hará referencia para la deducción del cortante y momento resistente que las vigas de acero presentan conforme varía la distribución de esfuerzos en la sección transversal (Márquez, 2015). Esta variación de esfuerzos: cortante y normal, se puede visualizar según la FIGURA 5.17 y en la FIGURA 5.18 se exponen los diagramas de corte y momento a lo largo de la viga.

FIGURA 5.17 Distribución de esfuerzos de corte y flexión elástica en la sección transversal del perfil de acero



FUENTE: (Márquez, 2015)

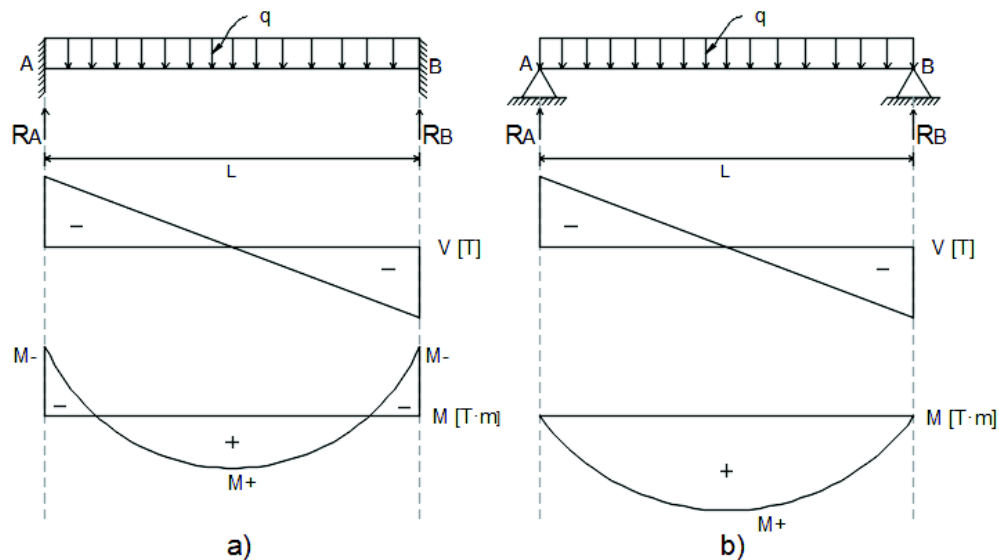
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Los diagramas de corte y momento varían a medida que cambian las condiciones de apoyo de un elemento estructural (Márquez, 2015), por ello es importante que para los casos en estudio se aclare lo siguiente:

1. Las vigas principales tienen como condiciones de apoyo empotramiento, por lo tanto, en la zona del apoyo las fibras están en tensión en la parte superior y en compresión en la parte inferior (momento negativo, M^-). En la zona central de la viga las fibras superiores se encuentran en compresión; mientras que, en la parte inferior las fibras se hallan en tensión (momento positivo, M^+).
2. En cuanto a las vigas secundarias presentan condiciones de apoyo simple donde todas las fibras superiores están en compresión y las inferiores se encuentran en tensión (momento positivo, M^+).

Asumiendo que ambos tipos de vigas están siendo afectados por una carga distribuida debido a su propio peso.

FIGURA 5.18 Diagramas de Corte y Momento para vigas empotradas y simplemente apoyadas



FUENTE: (Márquez, 2015)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Es preciso indicar que el software FEA muestra la distribución de esfuerzos mediante una escala de colores, siendo los valores máximos aquellos que

presenten colores cercanos al rojo; en tanto que, los valores mínimos corresponderán cuando se presenten colores cercanos al azul, en la FIGURA 5.19 se puede apreciar de mejor manera lo antes dicho:

FIGURA 5.19 Escala de colores para la distribución de esfuerzos de corte y normales por flexión desde el valor máximo hasta el valor mínimo



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Para transformar los esfuerzos cortantes y normales en términos de fuerza cortante y momento flector se toma en cuenta las fórmulas básicas de la Resistencia de Materiales (Márquez, 2015), que se expresan como:

- *Esfuerzo Cortante:*

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V}{A_w} \rightarrow V = \tau_{m\acute{a}x} \cdot A_w \quad (5.1)$$

Dónde:

$\tau_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo cortante máximo, en $[kg/cm^2]$

V = Fuerza cortante máximo de la viga metálica, en $[T]$

A_w = Área del alma (altura total por el espesor del Alma), en $[cm^2]$

- *Esfuerzo Normal por Flexión:*

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \rightarrow M = \frac{\sigma \cdot I}{y} \quad (5.2)$$

Dónde:

σ = Esfuerzo normal por flexión, en $[kg/cm^2]$

M = Momento de la viga metálica, en $[T \cdot m]$

I = Momento de inercia de la sección transversal del miembro estructural en la dirección en donde se produce la flexión, en $[cm^4]$

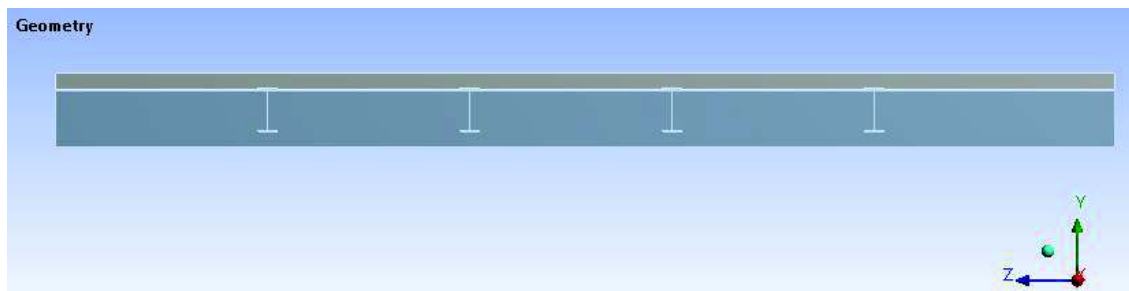
y = Distancia desde el eje neutro al extremo de la fibra que se encuentra en tensión o en compresión, en $[m]$

Con lo anteriormente planteado se analiza en los siguientes apartados los resultados que se obtuvieron por medio de la modelación de cada tipo viga que compone el sistema de entrepiso del edificio "Torino".

5.1.2.1 Resultados del Modelo VT4

En base a la geometría que se expone en la FIGURA 5.20, se procedió a señalar la región en el cual se producen los esfuerzos de corte y los esfuerzos normales por flexión a causa del incendio, precisamente en la viga metálica.

FIGURA 5.20 Geometría de la sección compuesta VT4 en sentido longitudinal

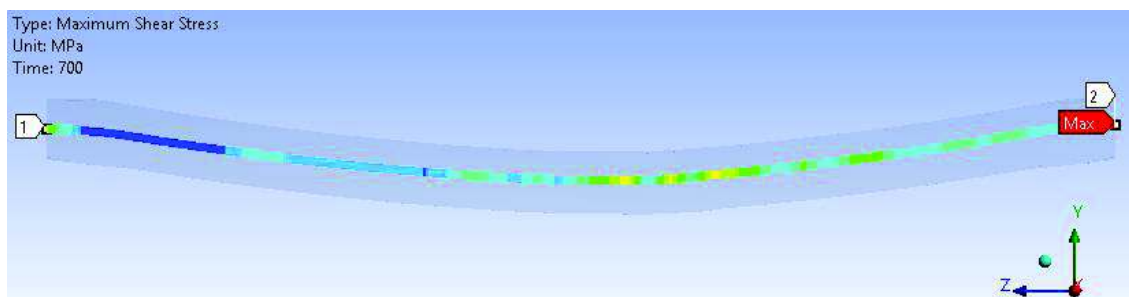


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.1.2.1.1 Degradación del cortante de la Viga VT4

La capacidad a corte de la viga VT4 fue evaluada entre 0 a 11.67 $[min]$ (700 $[s]$), los cuales corresponden a un rango de temperatura entre 20 $[°C]$ a 700 $[°C]$ según la curva ISO 834, respectivamente.

FIGURA 5.21 Distribución de esfuerzos de corte en la viga VT4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Durante los primeros 5 [min], la capacidad a corte de la viga presenta un valor de 35.77 [T] cuando la temperatura es aún de 576 [°C]. Una vez que se cumplen los 6 [min] de incendio, la capacidad a corte de la viga resulta ser de 29.05 [T] a una temperatura de 620 [°C], o sea la capacidad que se tiene al inicio disminuyó en un 19%. Luego, y de manera progresiva, la viga reduce su capacidad resistente a corte debido a la exposición a altas temperaturas, esto puede evidenciarse ya que al acercarse a los 12 [min] con una temperatura en torno a los 700 [°C] la capacidad a corte de la viga se halla en un 10% respecto a su capacidad inicial.

FIGURA 5.22 Degradación del cortante de la viga VT4

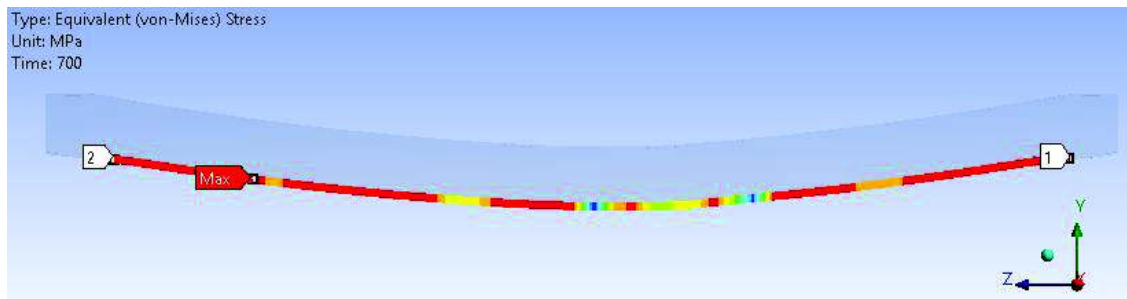


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.1.2.1.2 Degradación del momento de la Viga VT4

La capacidad a momento de la viga VT4 fue concisa entre 0 a 11.67 [min] (700 [s]), los cuales corresponden a una temperatura de 20 [°C] a 700 [°C] según el modelo de fuego estándar (curva ISO 834), respectivamente. Es preciso destacar que para la obtención de la curva de la capacidad resistente a momento se escogió la zona de momento positivo.

FIGURA 5.23 Distribución de esfuerzos normales por flexión en la viga VT4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El momento resistente de la viga VT4 permanece constante con un valor igual a $32.05 [T \cdot m]$ hasta alrededor de los $5 [min]$ cuando la temperatura coincide con los $576 [^{\circ}C]$. A los $6 [min]$ con una temperatura equivalente a los $620 [^{\circ}C]$ de incendio, la viga se encuentra trabajando a un 80% de la capacidad a momento inicial y a los $10 [min]$ cuando se alcanzan los $680 [^{\circ}C]$ la viga se encuentra trabajando en un 15% de su capacidad inicial.

FIGURA 5.24 Degradación del momento de la viga VT4



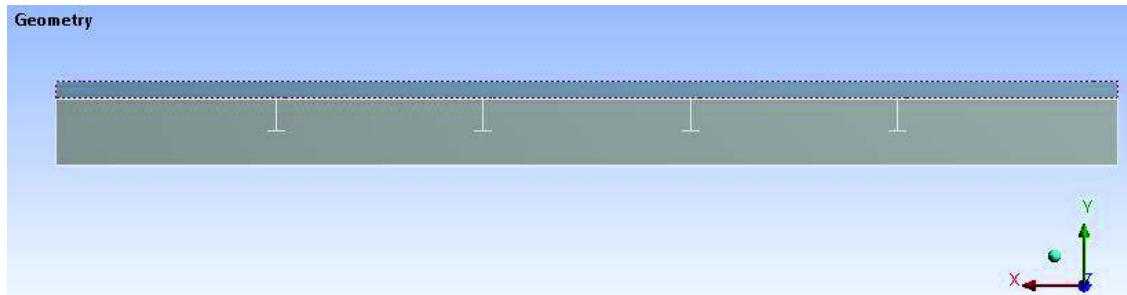
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Pero cuando el tiempo tiende a los $12 [min]$ la capacidad resistente inicial se ha visto perjudicada por los efectos del fuego en un 93%, en consecuencia, apenas el 7% de la resistencia es aún servible.

5.1.2.2 Resultados obtenidos del Modelo VT1

En la FIGURA 5.25 se enseña la configuración geométrica de la sección compuesta en sentido longitudinal.

FIGURA 5.25 Geometría de la sección compuesta VT1 en sentido longitudinal



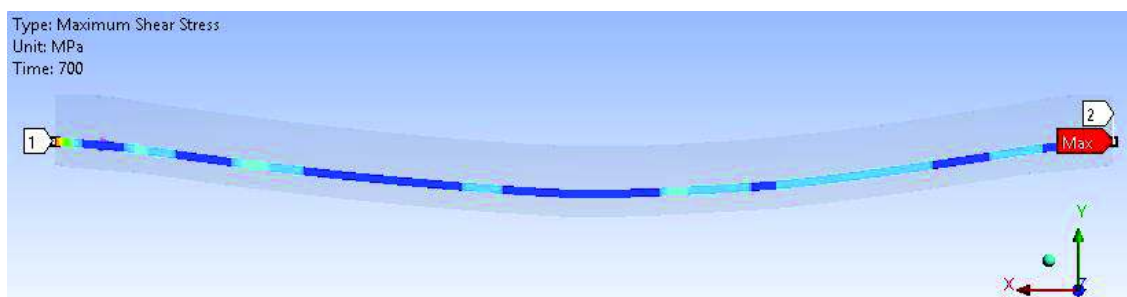
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

De esta manera se podrá elegir las regiones en que se presenta la variación de esfuerzos de corte y esfuerzos normales debido a la flexión en la viga de acero, como consecuencia de los efectos del fuego.

5.1.2.2.1 Degradación del cortante de la Viga VT1

La capacidad a corte de la viga VT1 fue calculada en un rango de tiempo de 0 a 11.67 [min] (700 [s]), correspondientes a una temperatura inicial de 20 [°C] y una temperatura final de 700 [°C].

FIGURA 5.26 Distribución de esfuerzos de corte en la viga VT1

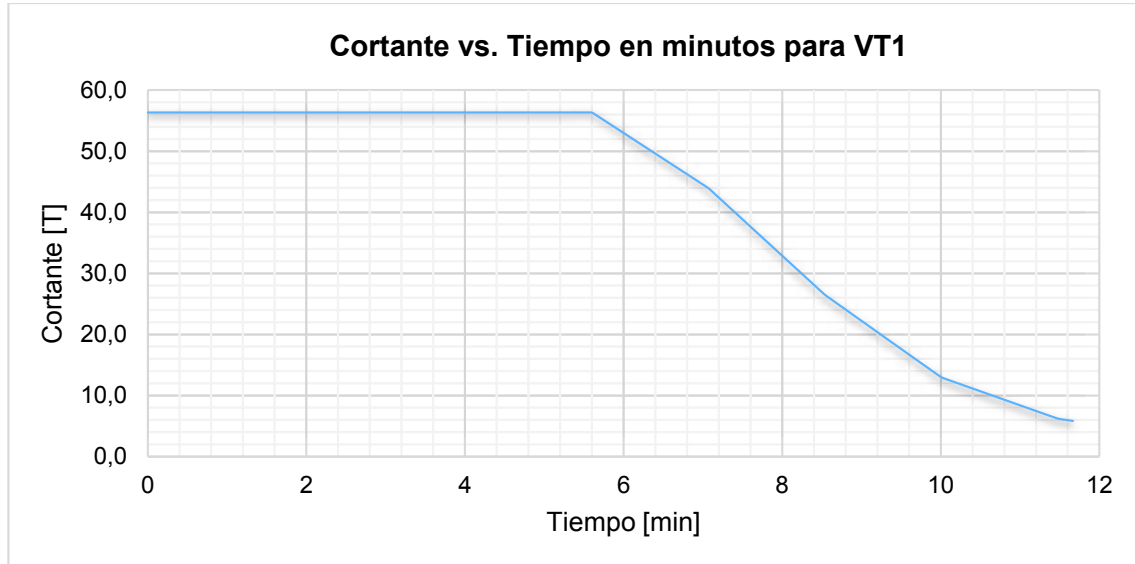


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

La capacidad resistente a corte calculada por el software FEA hasta un tiempo inmediato a los 5 [min] permanece uniforme con un valor equivalente a 56.32 [T]. A un tiempo correspondiente a los 8 [min] que coincide cuando se ha alcanzado una temperatura de 645 [°C], la viga muestra una disminución del 42% de su capacidad inicial, a los 10 [min] de exposición al fuego se reduce en un 78% y

cuando se alcanza un tiempo cercano a los 12 [min] la resistencia de la viga se ha visto afectada en un 90% de sus propiedades mecánicas iniciales.

FIGURA 5.27 Degradación del cortante de la viga VT1

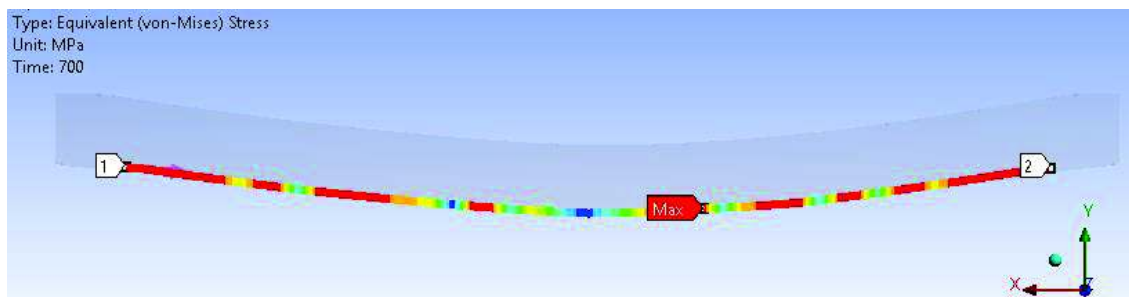


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.1.2.2.2 Degradación del momento de la Viga VT1

El intervalo de tiempo se definió entre 0 a 11.67 [min] (700 [s]), tiempo en el cual se alcanza una temperatura de 700 [°C], conforme lo especifica el modelo de incendio estándar. Se escogieron los resultados de esfuerzo normal de Von Mises para luego transformar en momento flector a través de la Ecuación (5.2) en la zona de momento positivo donde las fibras están sujetas a tensión.

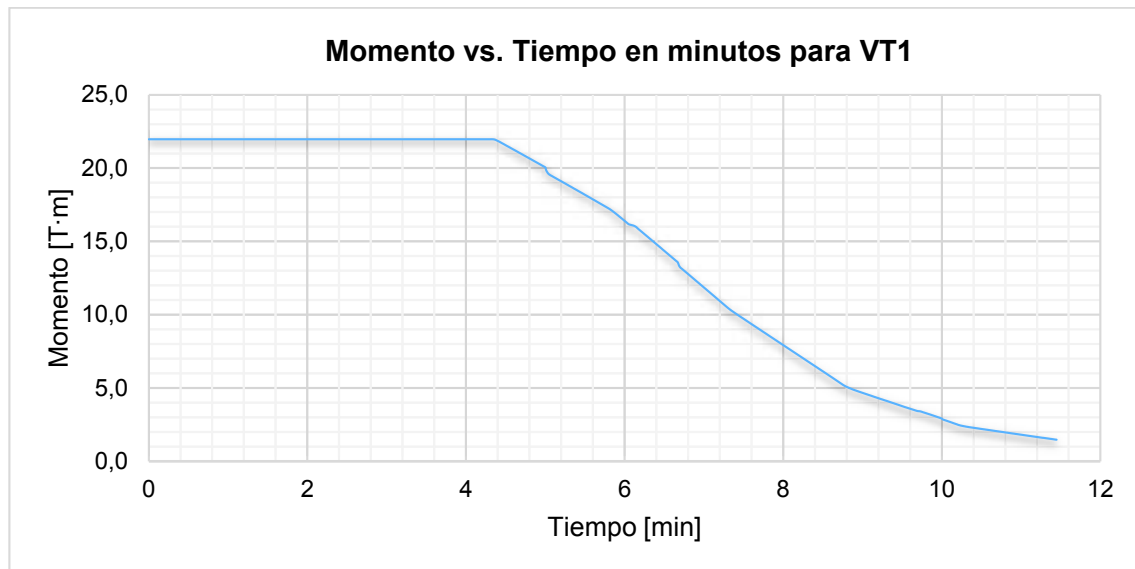
FIGURA 5.28 Distribución de esfuerzos normales por flexión en la viga VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En la FIGURA 5.29 se puede establecer que el momento resistente de la viga cuando se supera un poco más de 4 [min] es igual a 21.97 [T · m]. Este valor cambia por medio de una disminución tal, que a los 8 minutos de incendio estándar (645 [°C]) la capacidad a momento se encuentra en un 36% en relación a lo que muestra cuando el incendio no se ha desarrollado completamente.

FIGURA 5.29 Degradación del momento de la viga VT1



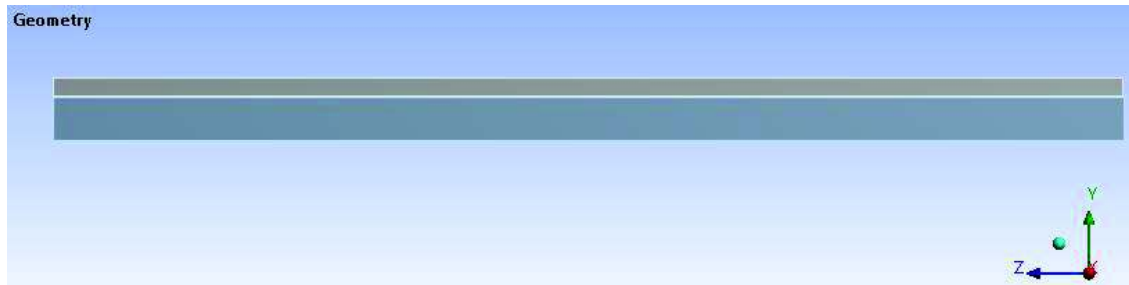
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Una vez que se llega a un tiempo mayor a los 11 [min], la capacidad a flexión tiende a disminuir radicalmente debido a que la viga solo puede soportar un 7% de su capacidad inicial.

5.1.2.3 Resultados obtenidos del Modelo V4

Por medio de la geometría que se muestra en la FIGURA 5.30 se asignaron las zonas en donde se producen los esfuerzos por corte y esfuerzos normales por flexión en la viga metálica, zonas en las cuales se indica posteriormente.

FIGURA 5.30 Geometría de la sección compuesta V4 en sentido longitudinal



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.1.2.3.1 Degradación del cortante de la Viga V4

Para la obtención de la curva de la capacidad cortante de la viga V4 en función del tiempo fue posible considerar hasta un tiempo de modelación cercano a los 11 [min] (650 [s]), instante en el cual se alcanza una temperatura de 690 [°C], según la curva de fuego estándar ISO 834.

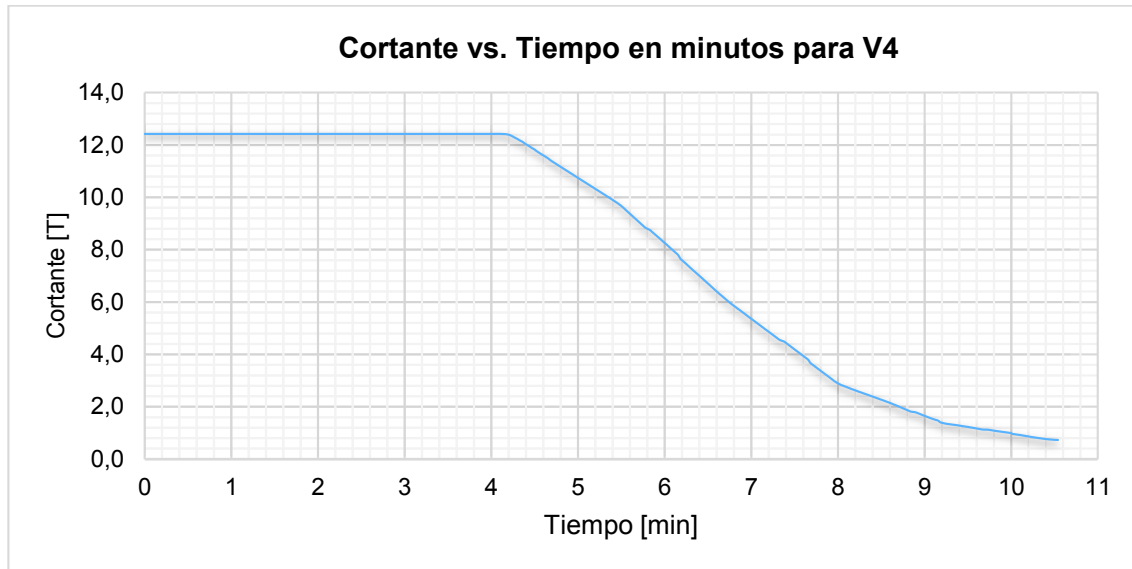
FIGURA 5.31 Distribución de esfuerzos por corte en la viga V4



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Además, se puede apreciar la zona en la cual se generan los esfuerzos de corte en el centro longitudinal del alma de la viga de acero, ya que como se especificó inicialmente refiere a que en este elemento estructural es donde se originan los máximos esfuerzos debido al corte.

De acuerdo con la FIGURA 5.32, es posible observar que hasta un tiempo de 4 [min] la capacidad a corte de la viga es de 12.42 [T], manteniéndose hasta una temperatura igual a 564 [°C].

FIGURA 5.32 Degradación del cortante de la viga V4

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

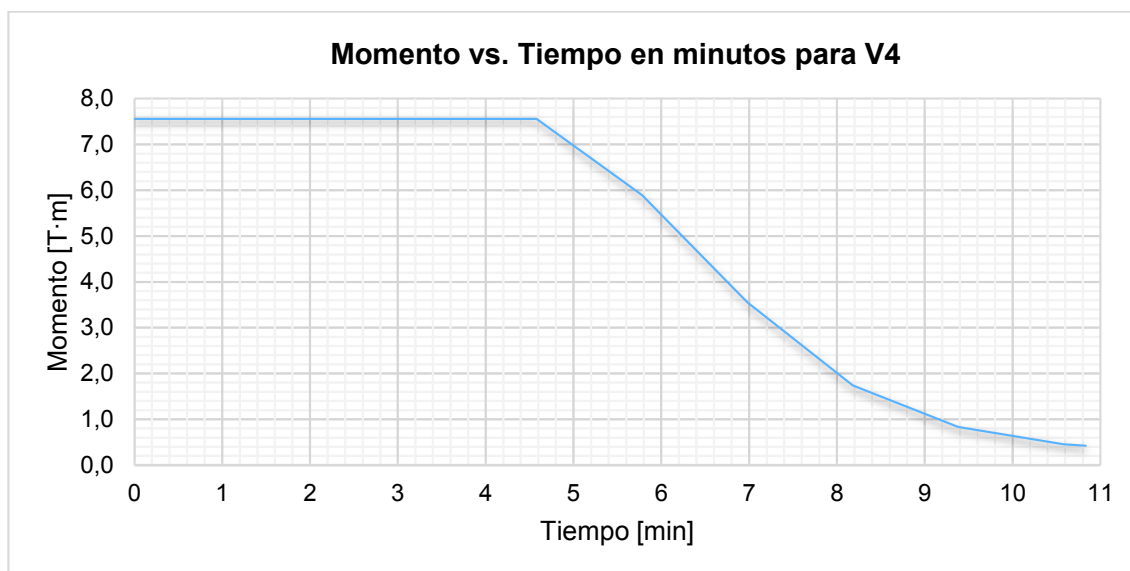
Una vez que se incrementa la temperatura a medida que transcurre el tiempo, la capacidad a corte del elemento estructural comienza a disminuir de tal forma que a los 7 [min] de incendio (626 [°C]) aún está trabajando en un 43% de su capacidad inicial y al llegar a los 10 [min] de exposición al fuego (678 [°C]) el cortante resistente inicial de la viga se ha degradado en un 92%.

5.1.2.3.2 Degradación del momento de la Viga V4

Del mismo modo, el momento resistente de la viga V4 fue analizada para un tiempo total de 11 [min] (650 [s]) que corresponde a una temperatura de 690 [°C], siguiendo los criterios propuestos para un fuego de tipo estándar.

FIGURA 5.33 Distribución de esfuerzos normales por flexión en la viga V4

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA 5.34 Degradación del momento de la viga V4

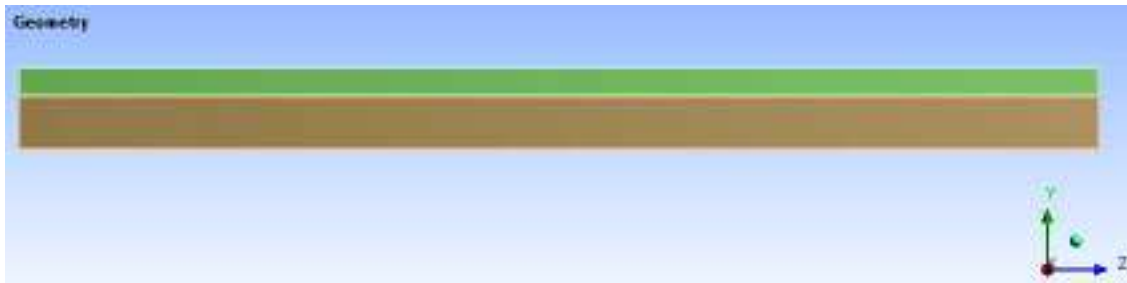
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El momento resistente calculado durante los 4 [min] y un poco más es igual a 7.56 [T], conservándose hasta una temperatura correspondiente a los 450 [°C]. A partir de un tiempo exacto de 4.6 [min] se puede comprobar que existe una reducción significativa del momento resistente de tal manera que la viga está trabajando en un 46% de su capacidad en el instante de 7 [min], en otras palabras, hasta ese minuto la viga está trabajando en menos de la mitad de su capacidad total inicial. Una vez alcanzado cerca de los 11 [min], la capacidad a momento de la viga es del 6% con respecto a la capacidad inicial, esto constituye una pérdida del 94% de la capacidad resistente inicial.

5.1.2.4 Resultados obtenidos del Modelo V1

Con la disposición geométrica en sentido longitudinal de la viga V1 será posible visualizar de mejor manera la forma en como varían los esfuerzos de corte y de momento flector por efecto del incendio.

FIGURA 5.35 Geometría de la sección compuesta V1 en sentido longitudinal

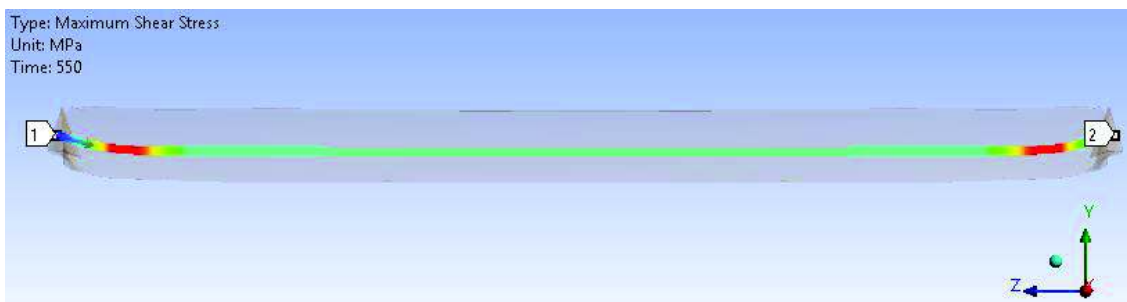


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.1.2.4.1 Degradación del cortante de la Viga V1

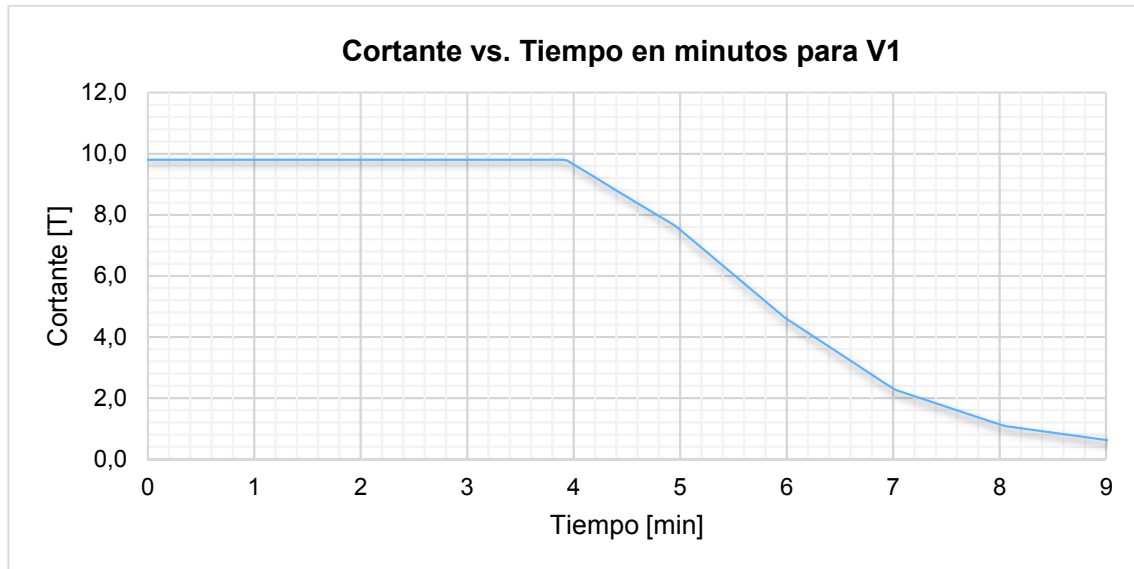
La modelación del sistema de entrepiso que compone la viga secundaria V1 se realizó para un intervalo de tiempo comprendido entre 0 a 9.16 [min] (550 [s]). Las temperaturas de incendio estándar que pertenecen a estos tiempos antes mencionados son de 20 [°C] a 665 [°C], respectivamente.

FIGURA 5.36 Distribución de los esfuerzos por corte en la viga V1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

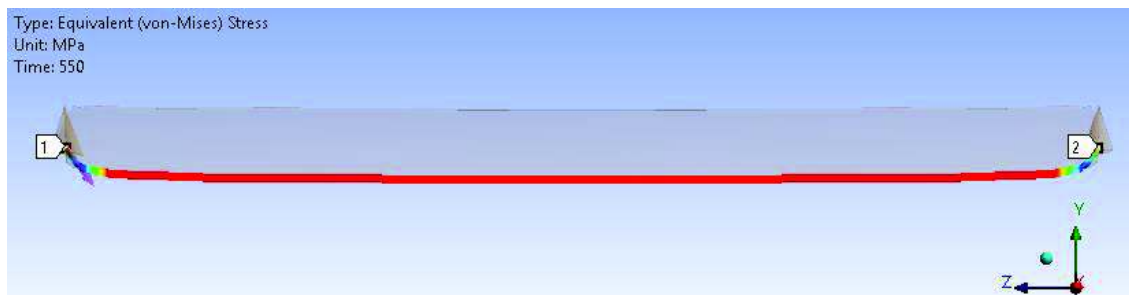
La capacidad a corte de la viga en cuestión, según la FIGURA 5.37, presenta un valor de 9.81 [T] que perdura hasta menos de 4 [min] y hasta una temperatura de 544 [°C]. A los 6 [min] de incendio cuando se supera la temperatura de 600 [°C] la viga se encuentra trabajando en un 45% de su capacidad inicial y a los 9 [min] de incendio cuando la temperatura corresponde a 665 [°C], la capacidad a corte de la viga ha perdido el 94% de lo que podía soportar inicialmente, quedando solamente el 6% efectivo.

FIGURA 5.37 Degradación del cortante de la viga V1

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.1.2.4.2 Degradación del momento de la Viga V1

Se obtuvieron resultados de momento resistente de la viga metálica para un tiempo total de 9 [min], que en términos de temperatura de incendio estándar corresponde a los 665 [°C]. En la FIGURA 5.38 se dispone la selección en donde se generan esfuerzos normales en la zona de tensión y en la FIGURA 5.39 se explica de manera gráfica la curva de la capacidad a flexión en función del tiempo.

FIGURA 5.38 Distribución de los esfuerzos normales por flexión en la viga V1

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA 5.39 Degradación del momento de la viga V1

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El momento resistente que presenta la viga es de $3.84 [T \cdot m]$, el mismo que no cambia hasta llegar antes de los $4 [min]$ cuando la temperatura es de $540 [^{\circ}C]$. A los $5 [min]$ de incendio ($576 [^{\circ}C]$), el momento resistente tiene una disminución de momento igual a $2.79 [T \cdot m]$, o sea la viga tiene un 73% de su capacidad inicial. No obstante, cuando se alcanzan los $9 [min]$ de incendio la viga ha perdido casi en su totalidad, con un 94%, su capacidad resistente a momento inicial.

5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LAS DIFERENTES NORMATIVAS

5.2.1 COMPARACIÓN CON LA VIGA VT4

5.2.1.1 Cortante resistente bajo condiciones de incendio

Los resultados obtenidos con la ayuda del software FEA presentan una diferencia promedio de $5.25 [T]$ respecto a las tres normativas que se muestran en la TABLA 5.1 a temperatura ambiente ($20 [^{\circ}C]$), en forma porcentual, el software FEA es un 15% mayor que las normativas.

TABLA 5.1 Comparación del cortante resistente del Modelo VT4 bajo incendio

CORTANTE RESISTENTE BAJO INCENDIO - MODELO VT4				
Temperatura	Eurocódigo	Norma Brasileña	AISC	Software FEA
[°C]	[T]			
20	28,92	32,24	30,05	35,65
100	28,92	32,24	30,05	35,65
200	28,92	32,24	30,05	35,65
300	28,92	32,24	30,05	35,65
400	28,92	32,24	30,05	35,65
500	22,56	25,15	22,84	33,79
600	13,59	15,15	14,43	20,09
700	6,65	7,42	7,51	8,75

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Se puede afirmar que la capacidad resistente a corte de la viga VT4 se mantiene constante hasta una temperatura de 400 [°C], es decir, a un tiempo equivalente a 2 [min] de incendio, esto sucede tanto para las tres normativas como para el software FEA.

Adicionalmente, para el caso del cortante obtenido por medio del software no se aprecia una disminución significativa hasta los 500 [°C], como sí lo tienen las tres diferentes normativas. Sin embargo, a una temperatura de 700 [°C] la diferencia de cortante resistente calculado por medio del software FEA es igual a un 75% con respecto a lo que indica al principio del incendio, este porcentaje es muy cercano a la pérdida determinada por el Eurocódigo, Norma Brasileña y AISC, los cuales presentan una reducción del 76% de la capacidad resistente inicial de la viga en cuestión.

5.2.1.2 Momento resistente bajo condiciones de incendio

A temperatura ambiente (20 [°C]) el momento resistente calculado por el software FEA es mayor en relación a lo obtenido por las tres diferentes normativas, existiendo una diferencia promedio de 4.57 [T · m], que representa un 14% de diferencia. A medida que aumenta la temperatura, la Norma Brasileña y el software FEA tienden a asemejarse en sus resultados con una ligera variación de esta última que presenta una mayor capacidad a momento.

TABLA 5.2 Comparación del momento resistente del Modelo VT4 bajo incendio

MOMENTO RESISTENTE BAJO INCENDIO - MODELO VT4				
Temperatura	Eurocódigo	Norma Brasileña	AISC	Software FEA
[°C]	[T·m]			
20	23,58	30,09	28,77	32,05
100	23,58	30,09	28,21	32,05
200	23,37	30,09	26,87	32,05
300	23,13	30,09	26,80	32,05
400	22,83	30,09	25,80	32,05
500	17,97	23,47	19,90	28,21
600	10,66	14,14	12,39	14,35
700	5,13	6,92	6,86	7,01

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Cuando el incendio alcanza una temperatura de 700 [°C] la resistencia a momento flector que existe entre el software FEA y las tres normativas se demuestra una diferencia de 0.71 [T · m] que en otros términos significa un 10% de diferencia.

Entre la Norma Brasileña y el software FEA el momento resistente empieza a decaer una vez cumplidos los 400 [°C], en cambio, el cálculo de la curva de capacidad del momento resistente del Eurocódigo y del AISC empieza a decaer a partir de los 200 [°C], siendo más críticos estas dos últimas normativas.

5.2.2 COMPARACIÓN CON LA VIGA VT1

5.2.2.1 Cortante resistente bajo incendio

El cortante resistente de la viga VT1 evaluada por el software FEA presenta un valor alto con respecto a las normativas, pese a ello, se tiene una proximidad en los resultados con la Norma Brasileña con una diferencia del 10%.

Se puede observar en la TABLA 5.3 que la capacidad a corte disminuye a partir de los 550 [°C] según el software FEA y en lo que se puede apreciar de las tres normativas tiene referencia en que la capacidad a corte de la viga decae desde los 400 [°C], hasta ese punto se produce una diferencia promedio de las tres normas con respecto al software de 7.71 [T], es decir, contrastan los resultados en un 14%.

También se puede deducir que a una temperatura de 600 [°C] la viga está trabajando en un 47% de su capacidad total inicial de acuerdo a las disposiciones dictadas por las normativas, porcentaje que también se presenta con base a lo arrojado por el software de modelación.

TABLA 5.3 Comparación del cortante resistente del Modelo VT1 bajo incendio

CORTANTE RESISTENTE BAJO INCENDIO - MODELO VT1				
Temperatura	Eurocódigo	Norma Brasileña	AISC	Software FEA
[°C]	[T]			
20	46,74	50,52	48,57	56,32
100	46,74	50,52	48,57	56,32
200	46,74	50,52	48,57	56,32
300	46,74	50,52	48,57	56,32
400	46,74	50,52	48,57	56,32
500	36,46	39,40	36,92	56,32
600	21,97	23,74	23,32	25,93
700	10,75	11,62	12,14	13,01

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.2.2.2 Momento resistente bajo incendio

Acorde a la TABLA 5.4 se puede apreciar que, en este caso, el momento resistente calculado por el software FEA es mayor con respecto al Eurocódigo en un 33% y con relación al AISC se da un 9% de divergencia, pero es menor con lo que muestra la Norma Brasileña, existiendo una diferencia mínima del 0.7%. Sin embargo, entre la Norma Brasileña y el software FEA la tendencia de disminución del momento resistente comienza cuando la temperatura sobrepasa los 400 [°C], siendo más crítico los momentos determinados por el Eurocódigo y el AISC, ya que éstos reducen sus valores apenas se inicia la acción del fuego.

Finalmente, cuando el incendio estándar llega a una temperatura de 700 [°C] la viga se encuentra aún con el 37% de su capacidad a momento con respecto al inicial acorde a lo que arroja el software, mientras que, según lo concluido por medio de las normativas extranjeras la viga puede resistir menos de la cuarta parte de su capacidad a momento inicial, que en porcentaje representa un 22%.

TABLA 5.4 Comparación del momento resistente del Modelo VT1 bajo incendio

MOMENTO RESISTENTE BAJO INCENDIO - MODELO VT1				
Temperatura	Eurocódigo	Norma Brasileña	AISC	Software FEA
[°C]	[T·m]			
20	14,65	22,13	20,11	21,97
100	14,65	22,13	19,32	21,97
200	14,43	22,13	17,53	21,97
300	14,16	22,13	17,24	21,97
400	13,84	22,13	16,20	21,97
500	10,97	17,26	12,41	19,31
600	6,43	10,40	7,59	12,21
700	3,05	5,09	4,48	6,98

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.2.3 COMPARACIÓN CON LA VIGA V4

5.2.3.1 Cortante resistente bajo incendio

Cuando la temperatura es de 20 [°C] el cortante resistente obtenido por medio del software FEA es mayor en comparación con los valores que presentan las tres normativas, es decir, que existe una diferencia promedio de 2.30 [T], representando un 18% de diferencia.

TABLA 5.5 Comparación del cortante resistente del Modelo V4 bajo incendio

CORTANTE RESISTENTE BAJO INCENDIO - MODELO V4				
Temperatura	Eurocódigo	Norma Brasileña	AISC	Software FEA
[°C]	[T]			
20	10,52	10,18	9,68	12,42
100	10,52	10,18	9,68	12,42
200	10,52	10,18	9,68	12,42
300	10,52	10,18	9,68	12,42
400	10,52	10,18	9,68	12,42
500	8,20	7,94	7,36	9,91
600	4,94	4,78	4,65	5,40
700	2,42	2,34	2,42	3,03

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Los valores de capacidad cortante de los cuatro métodos de cálculo se mantienen constantes hasta los 400 [°C], siendo el más favorable aquel determinado por el software FEA, según se especifica en la TABLA 5.5. Ahora, analizando el resultado calculado por el programa computacional cuando la temperatura es de 500 [°C] el cortante restante representa el 80% de su capacidad inicial, en lo que respecta al Eurocódigo y al Norma Brasileña representa el 78%, y en el AISC es de un 76%. De esta manera se expresa, una vez más, que el escenario más favorable recae sobre el software FEA y el más crítico es de la norma americana.

Finalmente, a una temperatura de 700 [°C], es decir, cuando ha ocurrido casi 12 [min] de incendio la capacidad a corte de la viga de acero es del 24% en promedio con respecto a su capacidad a temperatura ambiente, esta afirmación sucede para todos los casos estudiados. Se puede decir, entonces, que los resultados que se obtuvieron del software FEA y de las tres normativas son ligeramente aproximados conforme aumenta la temperatura de incendio estándar.

5.2.3.2 Momento resistente bajo incendio

Un mayor momento resistente es calculado por parte del software FEA en relación a los resultados obtenidos por las tres normativas. Es decir, que a temperatura ambiente hay constancia de un 40% de diferencia promedio con respecto a lo que muestra el software FEA.

TABLA 5.6 Comparación del momento resistente del Modelo V4 bajo incendio

MOMENTO RESISTENTE BAJO INCENDIO - MODELO V4				
Temperatura	Eurocódigo	Norma Brasileña	AISC	Software FEA
[°C]	[T·m]			
20	4,06	6,40	3,06	7,56
100	4,06	6,40	3,06	7,56
200	3,93	6,40	2,75	7,56
300	3,77	6,40	2,51	7,56
400	3,59	6,40	2,12	7,56
500	2,90	4,99	1,57	5,52
600	1,65	3,01	0,90	4,92
700	0,76	1,47	0,79	1,68

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Analizando la TABLA 5.6 se puede manifestar que la capacidad resistente a momento se mantiene constante desde la temperatura ambiente (20 [°C]) hasta cuando el fuego se desarrolla a una temperatura equivalente a los 400 [°C], situación que coincide para el caso de la Norma Brasileña y el software FEA. A partir de esa temperatura en adelante se aprecia una reducción de las propiedades mecánicas del acero y, por ende, del momento resistente donde el software FEA, para una temperatura de 500 [°C], predice que la viga se encuentra trabajando en un 73% y en el caso de la Norma Brasileña en un 78%, donde éste último muestra condiciones más favorables; a pesar de ello, estos dos métodos de cálculo presentan resultados más aproximados entre sí. Pero comparando el software FEA con el Eurocódigo y el AISC refiere a que, en éstas dos últimas, la capacidad a momento de la viga V4 empieza a perder sus propiedades mecánicas desde los 100 [°C]. Por ejemplo, a una temperatura de 300 [°C], mientras el momento resistente todavía es del 100% según el software, en las normas ya demuestran una decaimiento aproximadamente del 12% de la capacidad total.

5.2.4 COMPARACIÓN CON LA VIGA V1

5.2.4.1 Cortante resistente bajo incendio

En la TABLA 5.7 que se muestra a continuación se puede verificar que el mayor cortante resistente de la viga V1 es calculado por el software FEA, esto se debe a la precisión que tienen los programas computacionales en emplear métodos numéricos.

A temperatura ambiente (20 [°C]) los métodos de cálculo simplificados: Eurocódigo, Norma Brasileña, AISC y el método de cálculo directo: software FEA, presentan valores cercanos con una diferencia promedio del 11% respecto al software. La capacidad resistente a corte obtenido por medio del programa computacional empieza a descender a los 500 [°C] donde la viga ha perdido su cortante resistente cerca de un 50%, en cambio, en las tres normativas esta capacidad disminuye cuando se ha alcanzado los 400 [°C] de incendio estándar, en los cuales se produce una pérdida únicamente entre un 22% a un 24%, aproximadamente.

TABLA 5.7 Comparación del cortante resistente del Modelo V1 bajo incendio

CORTANTE RESISTENTE BAJO INCENDIO - MODELO V1				
Temperatura	Eurocódigo	Norma Brasileña	AISC	Software FEA
[°C]	[T]			
20	8,33	9,20	8,65	9,81
100	8,33	9,20	8,65	9,81
200	8,33	9,20	8,65	9,81
300	8,33	9,20	8,65	9,81
400	8,33	9,20	8,65	9,81
500	6,49	7,17	6,58	9,81
600	3,91	4,32	4,15	4,93

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Al producirse un incremento de la temperatura hasta los 600 [°C], en ese punto se demuestra que la capacidad cortante restante es del 48% según las tres normativas, por consiguiente, sus respectivas disposiciones de diseño estructural en condiciones de incendio son relativamente menos optimistas que las consideraciones que toma en cuenta el software FEA para el diseño.

5.2.4.2 Momento resistente bajo incendio

El momento resistente que resultó de la modelación a temperatura ambiente (20 [°C]) es mayor con respecto a las normativas extranjeras aplicadas en un proyecto técnico anterior. Se refleja que entre los valores obtenidos a partir de la Norma Brasileña y el software FEA son cercanos con una diferencia mínima entre ellos del 14%.

En la TABLA 5.8 se puede observar que la reducción del momento resistente entre el software FEA y las tres normativas difiere en las temperaturas en las cuales decaerá su capacidad a momento. Este momento resistente disminuye a los 500 [°C] de acuerdo al programa computacional, por el contrario, en la Norma Brasileña empieza a decaer a los 400 [°C] y, tanto en el Eurocódigo como en el AISC el decremento inicia a los 200 [°C]. A una temperatura igual a 300 [°C], el momento resistente del elemento estructural es del 93% según el Eurocódigo y 80% según el AISC, en cuanto se puede decir de la Norma Brasileña y del software FEA permanece completamente con el 100% de la capacidad inicial de la viga V1.

TABLA 5.8 Comparación del momento resistente del Modelo V1 bajo incendio

MOMENTO RESISTENTE BAJO INCENDIO - MODELO V1				
Temperatura	Eurocódigo	Norma Brasileña	AISC	Software FEA
[°C]	[T·m]			
20	2,14	3,31	1,82	3,84
100	2,14	3,31	1,82	3,84
200	2,08	3,31	1,64	3,84
300	2,00	3,31	1,44	3,84
400	1,92	3,31	1,18	3,84
500	1,54	2,58	0,91	3,84
600	0,88	1,56	0,52	1,81

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.3 ALTERNATIVAS DE PROTECCIÓN DE LAS VIGAS DE ACERO FRENTE AL FUEGO

Uno de los principales objetivos de proteger a los elementos estructurales contra incendio es esencialmente evitar el desplome de la estructura con la propagación del fuego hacia otras partes del edificio, razón por la cual se busca ampliar el tiempo de resistencia de los elementos estructurales a través de acciones protectoras (Rifá, 1978).

Existen dos grandes campos de protección contra incendio, que son: la protección pasiva y la protección activa.

5.3.1 PROTECCIÓN PASIVA

Son aquellos elementos constructivos o productos que aíslan y retardan los efectos del fuego, el humo y gases calientes evitando la alta emisión principalmente del humo durante un incendio, y así limitar que las estructuras alcancen temperaturas críticas y sean seriamente comprometidas (Cichinelli, 2016).

5.3.1.1 Morteros Projectados

Consiste en recubrir o envolver al elemento formando una barrera térmica sin uniones ni juntas mediante un material inerte al fuego que presente un alto

coeficiente de aislamiento térmico en forma de placas o como morteros para aplicarlos mediante proyección (Romero & Lopez, 2007).

Pueden ser de distintos tipos como: vermiculita y/o perlita, que están compuestos de áridos ligeros de aproximadamente 2 a 5 [cm], con una coloración blanca y estabilidad al fuego de 240 [min], presentan una importante presencia de agua de forma libre, químicamente unida a algunos compuestos que actúa como estabilizador de la temperatura mientras el agua se evapora (Romero & Lopez, 2007).

TABLA 5.9 Ventajas y desventajas de los morteros proyectados

MORTEROS PROYECTADOS	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Económicos. • Estabilidad al fuego de hasta 240 [min]. 	<ul style="list-style-type: none"> • No presentan una buena adherencia. • Se debe proteger contra la humedad y reforzar con una malla metálica para espesores superiores a 60 [mm]. • Uso solo para interiores.

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Son aplicados mediante máquinas o manualmente, como: bombas mezcladoras o compresores.

FIGURA 5.40 Mortero ignífugo en estructuras de acero



FUENTE: (INTROPOL, 2018)

Estos morteros se utilizan en estructuras, como: vigas sobre cielo-rasos o columnas, además, son aplicables en estructuras metálicas, hormigón y madera.

- *Estructuras Metálicas*: Debido a la baja resistencia del acero ante la acción de incendio es necesario calcular el factor de forma del perfil (masividad) para determinar el espesor del mortero que se debe aplicar al elemento estructural para que alcance la resistencia al fuego, basada en la norma UNE ENV 13381-4:2005 (Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz, 2016).
- *Estructuras de Hormigón*: Los morteros que se aplicarán deben cumplir con el ensayo UNE ENV 13381-3:2005 en el que se describirán los espesores equivalentes en función del tiempo de resistencia al fuego de la estructura y de la densidad de aplicación del mortero (Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz, 2016)

5.3.1.2 Productos Intumescentes

La intumescencia por acción del fuego produce un importante incremento de volumen de espuma carbonosa disipadora de calor, alrededor de hasta 20 y 30 veces su espesor original en el elemento protegido debido a reacciones químicas. Uno de los principales productos son las pinturas intumescentes que al ser aplicadas en el acero son capaces de mantener durante 120 [min] una temperatura muy por debajo de la temperatura media en la cual el acero pierde su resistencia (alrededor de los 500 [°C]) (Romero & Lopez, 2007).

TABLA 5.10 Ventajas y desventajas de las pinturas intumescentes

PINTURAS INTUMESCENTES	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • No incrementa el peso del edificio. • Adherencia directa. • Aplicable in situ. • Protege a los perfiles frente a la corrosión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son sistemas complejos de aplicar. • Costo económico elevado. • No deben exponerse a ambientes húmedos. • Deben ser sellados con esmaltes si se exponen a lluvias.

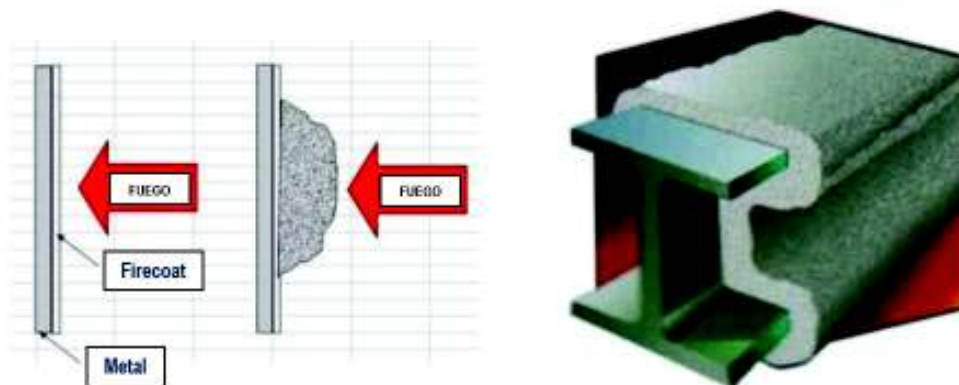
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

La pintura intumescente se puede utilizar sobre superficies metálicas, hormigón y madera. No obstante, antes de emplear la pintura se debe revisar el estado del perfil si contiene incrustaciones, óxidos, suciedades, etc., y luego se procede a una

imprimación que sea compatible con la pintura que se desea colocar (Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz, 2016).

- *Estructuras Metálicas:* La intumescencia crea una masa carbonosa que protege al perfil metálico debido a la baja conductividad que posee. Para su aplicación se debe calcular la masividad del perfil y la cantidad de caras expuestas al fuego para determinar el espesor y la cantidad de pintura a aplicar en el elemento, basada en la norma UNE ENV 1381-4:2005 (Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz, 2016).
- *Estructuras de Hormigón:* La pintura debe ser acreditada mediante UNE ENV 13381-3:2005, en donde se describen los espesores equivalentes que deberán aplicarse en la estructura para aumentar la resistencia al fuego de la misma (Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz, 2016).

FIGURA 5.41 Proceso de transformación de la pintura intumescente ante la acción del fuego



FUENTE: (FERROLAN, 2014)

5.3.1.3 Materiales Rígidos

Son placas rígidas y mantas flexibles o semirrígidas que están compuestas de varios materiales como cerámica, yeso, placas de silicato de calcio y vermiculita. Estas placas o paneles propician una protección a los elementos estructurales y son fijados en seco (Pannoni, 2017).

La aplicación de los paneles se los debe realizar, cerciorándose que los perfiles estén limpios para que se puede hacer un correcto montaje del sistema. Luego se

cortarán los paneles de acuerdo a las caras que el elemento este expuesto a la acción del fuego y, finalmente, se deberá fijar a los paneles con tornillos autoroscantes, grapas o clavos (Pannoni, 2017).

5.3.1.3.1 Placas de Yeso Acartonado

Están constituidos de fibra de vidrio y vermiculita en algunos casos, brindando una mayor cohesión a temperaturas elevadas que la placa de yeso estándar. Su funcionamiento consiste en que a medida que ocurre la acción del fuego, el yeso de la placa pierde moléculas de agua de hidratación retardando la transmisión de altas temperaturas del acero, alrededor de 120 [min] (Pannoni, 2017). Pueden ser usados en cielos rasos y revestimientos, en coberturas de vigas, pilares estructurales y todo tipo de conducto (Patrel, 2017).

Existen otros tipos de placas de yeso acartonado que constituyen sistemas de protección que están estructurados por un núcleo de lana de roca bihidratado, por lo cual presenta una mayor dureza cuando está revestido en sus dos caras con una lámina de papel de celulosa especial. Se fabrican en base a la norma ASTM C1396 y presentan un ancho estándar de 1220 [mm] con distintas longitudes y espesores (GYPLAC, 2014).

TABLA 5.11 Dimensiones de la placa de yeso

Descripción	DIMENSIONES			Resistencia al Fuego [min]	Usos
	Largo [m]	Ancho [m]	Espesor [mm]		
PLACA RF (Resistente al Fuego)	2.44	1.22	12.7 (1/2")	30, 60 o 90	En paredes divisorias, cielos rasos o revestimientos
PLACA ER (Extra Resistente)	2.44	1.22	15.9 (5/8")	30, 60 o 90	En paredes divisorias o revestimientos. Es recomendada para hospitales, colegios, hoteles, centros comerciales, viviendas, entre otros.

FUENTE: (GYPLAC, 2014)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Entre las características más importantes de la lámina de yeso es su resistencia al fuego, presentan esta característica debido a que son reforzadas con fibra de vidrio la cual aumenta la resistencia estructural de la misma. El tiempo de resistencia al fuego depende del espesor de la plancha, el tipo de plancha y el tipo de aislamiento que se requiere. El yeso no es inflamable debido a que contiene un 21% de agua que es combinada químicamente dando lugar al agua cristalina. Cuando existe la acción de fuego, el calor de éste convierte el agua cristalina en vapor absorbiendo la energía térmica para mantener el lado opuesto de la lámina del panel de yeso fresco hasta que el panel se rompa (GYPLAC, 2014), es importante reiterar que no produce humos ni gases tóxicos.

Uno de los principales usos de estos sistemas refiere a que sirven como revestimientos (interiores) para elementos estructurales contribuyendo al aislamiento de las estructuras frente a la acción de fuego, así como se puede ver en la siguiente FIGURA 5.42. También puede ser empleado para tabiques, cielos rasos, muros cortafuegos y enchape de muros (Rodríguez, 2017).

FIGURA 5.42 Sistema de placas de yeso



FUENTE: (Rodríguez, 2017)

5.3.1.3.2 Placas de Lana de Mineral

Son placas de materiales fibrosos, aglomerados por la adición de resinas termoendurecedoras, mantienen el aire inmóvil, poseen una baja densidad y un comportamiento rígido y flexible, se colocan soldándoles a las estructuras metálicas (Pannoni, 2017).

Son de origen natural ya que están compuestos por arena silíceo para la lana de vidrio, roca basáltica para la lana de roca, que son transformados mediante

procesos de producción. Son incombustibles, no generan gases ni humos asfixiantes lo que ayuda a la evacuación de habitantes de un inmueble. Actúan como barrera gracias a su poder aislante el cual protege los elementos estructurales generando una mayor resistencia al fuego (ACERO MUNDO, 2018).

FIGURA 5.43 Vigas protegidas por placas de lana mineral



FUENTE: (Domingos, 2015)

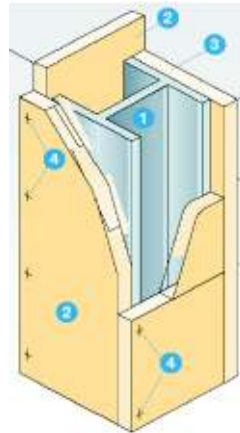
5.3.1.3.3 Paneles de Fibrosilicatos Ignífugos

Son placas de silicato cálcico hidratado, reforzados con fibras especiales. Los paneles en su proceso de fabricación son sometidos a un tratamiento a altas temperaturas para determinar una excelente estabilidad ante el fuego.

Los paneles y placas pueden ser aplicados en estructuras metálicas, de hormigón y madera.

- *Estructuras Metálicas:* Se calculará la masividad del perfil para determinar el espesor de la placa a ser aplicado a partir el perímetro del perfil a ser expuesto ante la acción del fuego y del área de la sección transversal (Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz, 2016).

FIGURA 5.44 Paneles de Fibrosilicatos Ignifugos ante la acción del fuego



FUENTE: (Jiménez & Maimón, 2017)

5.3.2 PROTECCIÓN ACTIVA

Son aquellos sistemas que deben su eficacia a una acción directa sobre el fuego, son usados de forma individual o coordinada para detectar, controlar y apagar un incendio (CEJ, 2014).

Entre estos sistemas se tienen:

- Detección y alarma
- Extintor de incendio
- Sistemas de abastecimiento de agua
- Boca de incendio
- Hidrante
- Sistemas de extinción por rociadores
- Sistemas de extinción por agua nebulizada

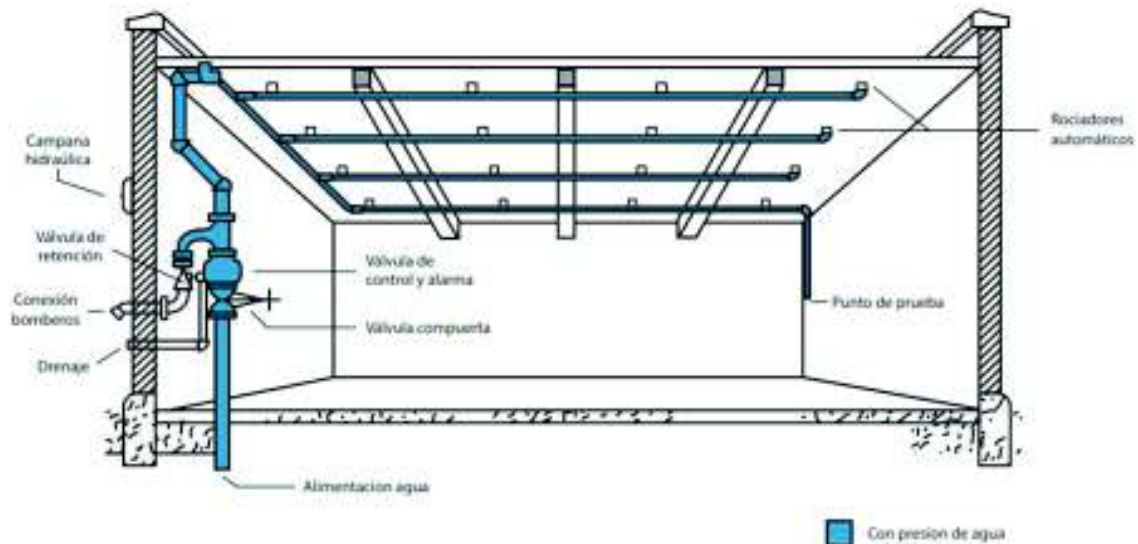
El principal sistema activo que se contempla en el presente trabajo, se expone a continuación:

5.3.2.1 Sistemas de extinción por rociadores

Funcionan como elementos de extinción, que detectan el aumento de calor descargando agua sobre los puntos de ignición para impedir su propagación y a su vez se activa un sistema de alarma de incendios debido al paso del agua por una válvula de alarma. El sistema de rociadores se instala en techos o falso techos,

estanterías, dentro de hornos y estufas. Su mantenimiento debe realizarse cada año (Regla Técnica Metropolitana RTQ 7, 2014).

FIGURA 5.45 Sistema de rociadores en una estructura



FUENTE: (Junta de Andalucía, 2016)

El 75% de los fuegos que son manejados con rociadores se controlan con hasta 4 bocas rociadoras que representa un área de 50 [m²] (ITEA, 2006).

Los rociadores se diferencian por su posición y montaje, como sigue:

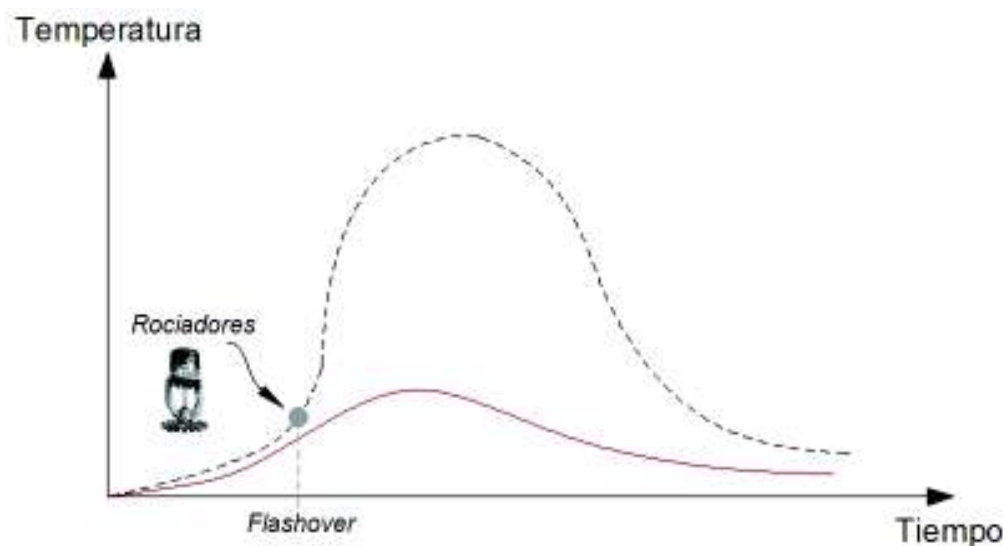
- *Rociador colgante*: Se utiliza generalmente en instalaciones con tubería de distribución de falsos techos, la dirección de su deflector es hacia abajo y es muy utilizado en oficinas, hospitales, garajes, etc.
- *Rociador montante*: Se utiliza en instalaciones con tubería de distribución vista, en almacenes, industrias, etc.
- *Rociador de pared*: Debido a su deflector solo distribuye el agua hacia una sola dirección generalmente se los utiliza en pasillos, habitaciones de hoteles, etc.

Además, el tipo de instalación de los rociadores depende de las diferentes clases de riesgo a proteger. Entre las instalaciones que se pueden mencionar son: de tubería húmeda, seca y acción previa (Garayoa, 2017).

- *Tubería húmeda*: Representa el 75% de instalaciones en rociadores, la red de tuberías es bajo presión de agua.
- *Tubería seca*: Mayormente se utiliza cuando existe presencia de heladas, ya que el agua llega hasta la válvula de control siendo comprimida de aire hasta el rociador.
- *Acción previa*: La válvula de control opera por un sistema de detección independiente, siendo ésta la diferencia en relación con el sistema de tubería seca.

Si un edificio está protegido por distintos sistemas de protección activa, entre ellos los rociadores, para extinguir el fuego antes del flashover entonces se verá poco afectado ya que la curva de fuego tiende a disminuir su intensidad (Silva, 1997), como se muestra en la FIGURA 5.46. En esta figura es necesario recalcar que la línea entrecortada representa la curva de fuego natural y la línea continua denota la curva de fuego natural reducida debido a la intervención de los rociadores.

FIGURA 5.46 Curva Temperatura vs. Tiempo afectada por la presencia de rociadores



FUENTE: (Silva, 1997)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE ROCIADORES CONTRA INCENDIOS

Los sistemas de rociadores contra incendios pueden considerarse como una opción muy acertada para la protección de todas las estructuras que conforman un edificio ante la acción del fuego. En lo que refiere a los sistemas de rociadores automáticos, su uso puede ser muy viable por dos motivos: la primera, debido a la eficiencia con la que pueden controlar o suprimir el incendio y, la segunda, por aspectos económicos (Milke, Kodur, & Marrion, 2002).

En el presente apartado se muestra el cálculo respectivo para la obtención del número de rociadores que se distribuirá en el subsuelo del edificio "Torino". La razón principal por la que se contempla este tipo de protección activa contra incendios solamente en el área de parqueaderos se debe especialmente porque en estas zonas no se suelen colocar cielos rasos, dejando a la vista el sistema de rociadores.

5.3.3.1 Normativas Aplicables

Las normativas a las que se hará referencia para la determinación de los diferentes parámetros que engloba el diseño de un sistema de rociadores se nombran a continuación:

- Regla Técnica Metropolitana RTQ 1/2015
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 2/2015
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 3/2015
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 7/2014
- National Fire Protection Association NFPA 13

5.3.3.2 Clasificación de Ocupaciones y Tiempos Mínimos

La norma NFPA 13 (1996) establece que la clasificación de las ocupaciones según el riesgo tiene referencia solamente a la instalación de rociadores y a su respectivo suministro de agua.

Ocupaciones de Riesgo Leve (RL): Los contenidos tienen baja combustibilidad donde se espera que el fuego no se auto propague debido al bajo índice de liberación de calor.

Ocupaciones de Riesgo Ordinario (RO): Existen dos tipos de ocupaciones, las cuales se mencionan a continuación:

- *Riesgo Ordinario (Grupo 1):* Representan las ocupaciones donde la combustibilidad es baja y la cantidad de combustibles es moderada con la posibilidad de arder con cierta rapidez o que se produzca volúmenes de humo relativamente considerables.
- *Riesgo Ordinario (Grupo 2):* Representan las ocupaciones donde la combustibilidad es baja, la cantidad de combustibles y la posibilidad de que ocurran los incendios es de moderada a alta.

Ocupaciones de Riesgo Alto o Extra (RE): La cantidad de los contenidos, así como su combustibilidad es alta con la posibilidad de que el fuego se propague con mucha rapidez o se pueden producir explosiones generando gases tóxicos por la presencia de materiales peligrosos.

Los estacionamientos o parqueaderos, según la RTQ 3/2015, se categorizan también como un tipo de Ocupación de Almacenamiento, que se define como la agrupación de “*las edificaciones, establecimientos, locales y/o estructuras destinadas a guardar, conservar y proteger bienes, mercaderías, productos, vehículos o animales*” (p. 7). En cuanto al tipo riesgo que presentan los estacionamientos se determina como de *Riesgo Ordinario (Grupo 1)* debido a las características que puedan presentar los contenidos o productos almacenados en el lugar (Regla Técnica Metropolitana RTQ 3, 2015).

TABLA 5.12 Tiempo mínimos de protección según el tipo de riesgo

Tipo de Riesgo	Tiempos Mínimos de Protección [min]
Leve	30
Ordinario	60
Alto	90

FUENTE: (Regla Técnica Metropolitana RTQ 7, 2014)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Adicionalmente, el tipo de riesgo está relacionado con los tiempos mínimos de protección de un sistema contra incendio, tiempo que servirá como dato importante

para la determinación del volumen que se requiere para el sistema de rociadores y que contemplan los siguientes valores de acuerdo a la TABLA 5.12.

5.3.3.3 Selección del sistema de rociadores

Para el presente estudio se estableció que el sistema de rociadores a considerar sea del tipo: *rociadores automáticos de tubería húmeda*, que cumplan con los requisitos de diseño dispuestos en la Regla Técnica Metropolitana RTQ 7/2014, una vez definido la ocupación a la que pertenecen los estacionamientos con su respectivo tipo de riesgo. Estos rociadores deberán estar conectados a una red de tuberías que contenga agua y que a su vez deberán estar conectados a un suministro de agua para que al detectar el calor producido por el incendio el agua pueda ser descargada desde el sistema de rociadores automáticos (Campoverde, Pesántez, & Anchundía, 2015).

Las principales características que tiene un rociador para que tenga la capacidad de controlar o extinguir un incendio se mencionan a continuación (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996):

- Sensibilidad térmica (de respuesta rápida o de respuesta estándar).
- Temperatura de activación.
- Diámetro del orificio.
- Orientación de instalación.
- Características de la distribución del agua.
- Condiciones especiales de servicio.

Entre las características antes mencionadas se destaca para el sistema de rociadores automáticos: la sensibilidad térmica, ya que para riesgo ordinario el tipo de rociador a instalar debe ser de *Cobertura Extendida de Respuesta Rápida (QREC)* según la Tabla 8 de la Regla Técnica Metropolitana RTQ 7/2014.

5.3.3.3.1 Cálculo del caudal y del volumen necesario en red de rociadores

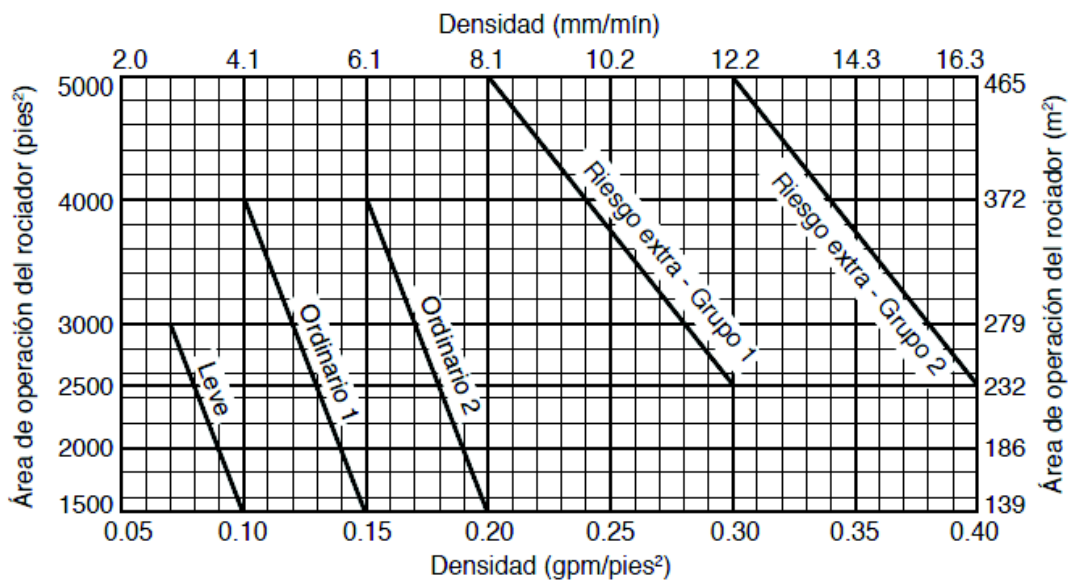
Para el cálculo del caudal y del volumen que se requiere en la red en que los rociadores van a operar y con la curva de descarga del rociador estándar seleccionado se podrá determinar el número de rociadores que van a estar

distribuidos en el área de parqueaderos. Los datos iniciales para el presente ejemplo de cálculo son:

- El área en el cual los rociadores van a operar corresponde a $156.10 [m^2]$.
- El tipo de rociador estándar a considerar será de $\frac{1}{2}$ ".

Por medio de la curva área/densidad, como se muestra en la FIGURA 5.47, se obtuvo que la densidad del riego es igual a $0.145 \left[\frac{gal}{min \cdot pie^2} \right]$ tomando como premisa los parámetros antes mencionados acerca del tipo de riesgo y del área respectiva del tipo de ocupación de almacenamiento en consideración, que son: Riesgo Ordinario (Clase 1) y una área de $1680.26 [pie^2]$, respectivamente.

FIGURA 5.47 Curva Área/Densidad



FUENTE: (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996)

Por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

$$Q_{TR} = Ad \cdot \rho \quad (5.3)$$

$$Q_{TR} = 1680.26 [pie^2] \cdot 0.145 \left[\frac{gal}{min \cdot pie^2} \right]$$

$$Q_{TR} = 243.64 [gal/min]$$

Dónde:

A_d = Área de operación de rociadores, en [pie^2]

ρ = Densidad del riego, en [$\frac{gal}{min \cdot pie^2}$]

Q_{TR} = Caudal total de los rociadores, en [gal/min]

$$V_{TR} = Q_{TR} \cdot t \quad (5.4)$$

$$V_{TR} = 243.64 [gal/min] \cdot 60 [min]$$

$$V_{TR} = 14618.4 [gal]$$

$$V_{TR} = 55.34 [m^3]$$

Dónde:

Q_{TR} = Caudal total de los rociadores, en [gal/min]

t = Tiempo mínimo según el riesgo, en [min]

V_{TR} = Volumen total de los rociadores, en [gal]

Con éste último resultado, además de obtener el volumen requerido en la red de rociadores, se obtiene el volumen correspondiente a la fuente de suministro de agua o cisterna.

5.3.3.3.2 Número de rociadores en el área de diseño

El número de rociadores se calcula considerando un tipo de rociador estándar como se mencionó en el apartado anterior, es decir, el rociador a tomar en cuenta tiene un diámetro de 1/2" que descarga 18 [gal/min] con una presión de 10 [PSI], según la FIGURA 5.48.

Por medio de la relación entre el caudal total de rociadores calculado anteriormente y el caudal del rociador estándar se obtiene lo siguiente:

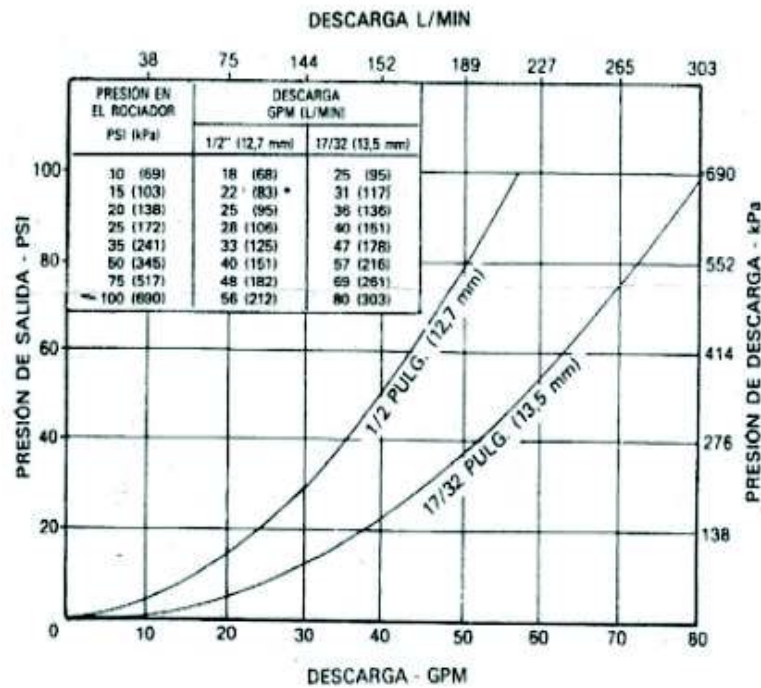
$$\# \text{ Rociadores} = \frac{Q_{TR}}{Q_R} \quad (5.5)$$

$$\# \text{ Rociadores} = \frac{243.64 [gal/min]}{18 [gal/min]}$$

$$\# \text{ Rociadores} = 13.54$$

$$\# \text{ Rociadores} \approx 14$$

FIGURA 5.48 Descarga de agua de un rociador de 1/2" y 17/32" de orificio nominal



FUENTE: (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996)

El área de diseño estará compuesto por 14 rociadores conformado por 5 ramales entre 2 y 3 unidades de rociadores, donde cada uno de éstos abarcará un área de $11.15 [m^2]$.

5.3.3.3.3 Dimensión y selección de tuberías de la red de rociadores

Los requerimientos para determinar el diámetro de los sistemas de tuberías mediante tablas no se aplican a los sistemas que son calculados hidráulicamente, como en el presente caso (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996). El diámetro y material de las tuberías para Riesgo Ordinario debe estar acorde a lo especificado en la TABLA 5.13.

TABLA 5.13 Diámetros del sistema de tuberías para Riesgo Ordinario

Diámetro	TIPO DE MATERIAL	
	Acero	Cobre
1"	2 rociadores	2 rociadores
1 1/4 "	3 rociadores	3 rociadores
1 1/2"	5 rociadores	5 rociadores
2"	10 rociadores	12 rociadores
2 1/2"	20 rociadores	25 rociadores
3"	40 rociadores	45 rociadores
3 1/2"	65 rociadores	75 rociadores
4"	100 rociadores	115 rociadores
5"	160 rociadores	180 rociadores
6"	275 rociadores	300 rociadores
8"	Ver Sección 4-2	Ver Sección 4-2
Para unidades SI: 1 pulgada = 25,4 mm		

FUENTE: (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Se determina, entonces, que el diámetro de la red de tubería principal que alimentará a los rociadores sea de 2" y el diámetro de los ramales en donde estarán ubicados cada rociador se dispone de 1½" debido a criterios constructivos.

5.3.3.3.4 Superficie de cobertura y separación máxima de los rociadores

Los mínimos requerimientos de espaciamiento, ubicación y posición de los rociadores están basados en lo que se menciona a continuación (CODE CONSULTANTS, Inc., 2010):

1. Los rociadores deben ser instalados en todo el recinto (se permiten que ciertas áreas permanezcan sin rociadores).
2. Los rociadores deben estar localizados de tal manera que no excedan el área máxima de protección de cada rociador.
3. Los rociadores deben ubicarse de tal manera que proporcionen de un rendimiento satisfactorio con respecto al tiempo de activación y distribución.

La norma española (UNE-EN 12845, 2004) indica ciertos parámetros máximos que debe cumplir un sistema de rociadores automáticos tomando en consideración el tipo de riesgo.

TABLA 5.14 Superficie máxima y separación para rociadores

Tipo de Riesgo	Superficie Máxima por Rociador [m ²]	DISTANCIAS MÁXIMAS [m]
		Configuración Normal S Y D
Leve	21,0	4,6
Ordinario	12,0	4,0
Alto	9,0	3,7

FUENTE: (UNE-EN 12845, 2004)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Dónde:

 S = Separación horizontal entre rociadores D = Separación vertical entre rociadores

En el ANEXO N° 3 se muestra el esquema correspondiente a la distribución de los rociadores de acuerdo a las especificaciones definidas para el diseño del sistema de rociadores.

5.4 VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

En base a las alternativas de protección pasiva y activa que se sugieren en los apartados anteriores, se desarrolla en esta sección los precios acordes a las especificaciones técnicas que proporcionan las diferentes empresas locales y de igual manera se toma en consideración la información que aportan las fichas técnicas europeas. En el caso de la protección pasiva se evaluarán los precios de los: morteros ignífugos, pinturas intumescentes y placa de yeso tipo Gypsum, y en lo que refiere a la protección activa se evaluará el costo del sistema de rociadores contra incendio.

Un factor importante que es conveniente abarcar en la protección pasiva se trata sobre la masividad de las vigas metálicas, ya que de ello depende el cálculo del espesor que se requiere en cada tipo de material protector para que de esa manera las estructuras metálicas adquieran un tiempo de resistencia al fuego para cumplir lo estipulado en las normas contra incendios.

5.4.1 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MASIVIDAD

El factor de masividad es la relación del perímetro del perfil de acero expuesto a la acción de fuego, que depende del número de caras afectadas, sobre el área de la sección transversal del perfil. Las unidades de la masividad están expresadas en $[m^{-1}]$ (Hadid, 2008).

$$M = \frac{P}{A_s} \quad (5.6)$$

Dónde:

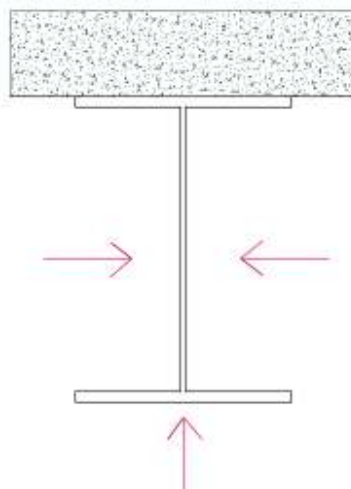
P = Perímetro expuesto al fuego, en $[m]$

A_s = Área de la sección transversal, en $[m^2]$

M = Masividad del elemento considerado, en $[m^{-1}]$

A medida que aumenta el valor de masividad el elemento estructural será esbelto térmicamente llegando a temperaturas más altas en el tiempo y, en consecuencia alcanzará el colapso del miembro estructural (Silva, 1997).

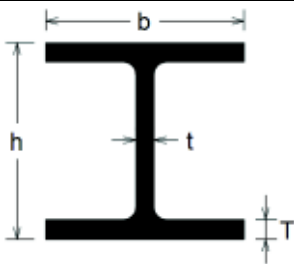
FIGURA 5.49 Sección de viga expuesta al fuego en tres de sus caras



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En la siguiente TABLA 5.15 se presentan las distintas maneras de deducir el perímetro del perfil de acero que debe ser protegido según el tipo de protección pasiva a ser empleada si las caras expuestas al evento del fuego son tres (Hadid, 2008).

TABLA 5.15 Perímetro de la sección de acero a proteger por sus tres caras

Sección de Acero	Protección con Morteros y Pinturas	Protección con Placas de Yeso por Cajado
	a)	b)
	3 caras	
		
	$3 \cdot b + 2 \cdot h - 2 \cdot t$	$b + 2 \cdot h$

FUENTE: (Hadid, 2008)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5.4.2 CÁLCULO DE LOS ESPESORES

5.4.2.1 Espesores para morteros proyectados y pinturas intumescentes

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo para la determinación de la masividad y el espesor que se debe aplicar de: morteros proyectados y de pinturas intumescentes, en las vigas de estudio.

Como primer paso se requiere estimar el perímetro y el área de la sección transversal de la viga de acero VT4 por ejemplo, para obtener su respectivo factor de forma y aplicar las tablas de temperatura crítica (habitual $500 [^{\circ}C]$ para el acero) determinados en base a ensayos realizados por los fabricantes del producto que se pueden observar en el ANEXO N° 4 (morteros ignífugos) y en el ANEXO N° 5 (pinturas intumescentes). En dichas tablas, además, proporciona varios tiempos de resistencia al fuego que se mide en minutos (R30, R60, R90 o R120), por lo que es necesario escoger dicho tiempo de acuerdo a las necesidades que las normativas locales señalan dentro de sus dictámenes, en el caso de Ecuador el tiempo de resistencia al fuego debe ser de $60 [min]$ si el tipo de riesgo es ordinario (Regla Técnica Metropolitana RTQ 3, 2015).

Aplicando la Ecuación (5.6) y según la fórmula del perímetro de la TABLA 5.15a, se logra obtener el siguiente valor de factor de forma o de masividad para la viga VT4, así:

$$M_{VT4} = \frac{1446 [mm]}{7890 [mm^2]} \cdot \frac{1000 [mm]}{1 [m]}$$

$$M_{VT4} = 181.2 [m^{-1}]$$

Si se observa en la tabla de factor de forma en el ANEXO N° 4, se obtiene el grosor de 17 [mm] que se debe aplicar de mortero proyectado para llegar a la estabilidad de fuego a los 60 [min] (Hadid, 2008).

TABLA 5.16 Espesor del mortero proyectado para la viga VT4

MORTERO IGNÍFUGO - VIGA VT4		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	250	[mm]
Espesor patín (tf)	12,0	[mm]
Altura de la viga (h)	354	[mm]
Espesor del alma (tw)	6,0	[mm]
Altura del alma (hw)	330	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	1446	[mm]
Área de la sección transversal	7980	[mm ²]
Factor de Masividad	181,2	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	17	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, se calcula el espesor de morteros ignífugos para las vigas: V4, VT1 y V1, que se encuentra representado en las siguientes tablas:

TABLA 5.17 Espesor del mortero proyectado para la viga V4

MORTERO IGNÍFUGO - VIGA V4		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	120	[mm]
Espesor patín (tf)	8,0	[mm]
Altura de la viga (h)	256	[mm]
Espesor del alma (tw)	3,0	[mm]
Altura del alma (hw)	240	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	866	[mm]
Área de la sección transversal	2640	[mm ²]
Factor de Masividad	328,0	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	19	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Es importante mencionar que el espesor que se requiere de mortero ignífugo para la viga secundaria V4 es prácticamente 2 [cm], por lo cual el rendimiento de la mano de obra será muy relevante para la determinación de su respectivo precio; no obstante, la geometría de cada tipo de viga representa una característica de mucho interés para obtener el precio requerido y su posterior análisis.

TABLA 5.18 Espesor del mortero proyectado para la viga VT1

MORTERO IGNÍFUGO - VIGA VT1		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	170	[mm]
Espesor patín (tf)	8,0	[mm]
Altura de la viga (h)	416	[mm]
Espesor del alma (tw)	8,0	[mm]
Altura del alma (hw)	400	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	1326	[mm]
Área de la sección transversal	5920	[mm ²]
Factor de Masividad	224,0	[m ²]
Resistencia al Fuego 60 [min]	18	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

TABLA 5.19 Espesor del mortero proyectado para la viga V1

MORTERO IGNÍFUGO - VIGA V1		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	100	[mm]
Espesor patín (tf)	6,0	[mm]
Altura de la viga (h)	202	[mm]
Espesor del alma (tw)	3,0	[mm]
Altura del alma (hw)	190	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	698	[mm]
Área de la sección transversal	1770	[mm ²]
Factor de Masividad	394,4	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	19	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Ahora, con el mismo factor de forma determinado anteriormente para la viga VT4 se ingresa en la tabla con dicho valor en el ANEXO N° 5 donde se obtiene un grosor igual a 980 [μ] que se debe aplicar de pintura intumescente para alcanzar la estabilidad de fuego a los 60 [min] (PROMAT, 2017).

TABLA 5.20 Espesor de pintura intumescente para la viga VT4

PINTURA INTUMESCENTE - VIGA VT4		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	250	[mm]
Espesor patín (tf)	12,0	[mm]
Altura de la viga (h)	354	[mm]
Espesor del alma (tw)	6,0	[mm]
Altura del alma (hw)	330	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	1446	[mm]
Área de la sección transversal	7980	[mm ²]
Factor de Masividad	181,2	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	980	[μ]
	0,98	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Continuando con el mismo procedimiento explicado para los morteros proyectados, se procede a calcular la masividad de cada miembro estructural dependiendo de su geometría y, posteriormente, establecer el espesor que se requiere de pinturas

intumescentes para las vigas: V4, VT1 y V1 acorde al ANEXO N° 5, valores resueltos de la siguiente manera:

TABLA 5.21 Espesor de pintura intumescente para la viga V4

PINTURA INTUMESCENTE - VIGA V4		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	120	[mm]
Espesor patín (tf)	8,0	[mm]
Altura de la viga (h)	256	[mm]
Espesor del alma (tw)	3,0	[mm]
Altura del alma (hw)	240	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	866	[mm]
Área de la sección transversal	2640	[mm ²]
Factor de Masividad	328,0	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	1112	[μ]
	1,112	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

TABLA 5.22 Espesor de pintura intumescente para la viga VT1

PINTURA INTUMESCENTE - VIGA VT1		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	170	[mm]
Espesor patín (tf)	8,0	[mm]
Altura de la viga (h)	416	[mm]
Espesor del alma (tw)	8,0	[mm]
Altura del alma (hw)	400	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	1326	[mm]
Área de la sección transversal	5920	[mm ²]
Factor de Masividad	224,0	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	1034	[μ]
	1,034	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

TABLA 5.23 Espesor de pintura intumescente para la viga V1

PINTURA INTUMESCENTE - VIGA V1		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	100	[mm]
Espesor patín (tf)	6,0	[mm]
Altura de la viga (h)	202	[mm]
Espesor del alma (tw)	3,0	[mm]
Altura del alma (hw)	190	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	698	[mm]
Área de la sección transversal	1770	[mm ²]
Factor de Masividad	394,4	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	1119	[μ]
	1,119	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Cabe acotar que la resistencia al fuego es una característica de un material de construcción para resistir, sin perjuicio significativo de su capacidad funcional, en situación de incendio estándar (Salamanca, 2014).

Con los espesores determinados anteriormente será posible establecer la cantidad del material necesario para la elaboración de los precios unitarios de cada uno de ellos.

5.4.2.2 Espesor para la placa de yeso acartonado

De la misma manera se expone un ejemplo de cálculo sobre la obtención de la masividad y del espesor que se demanda de la placa de yeso para que sea un material de protección por cajeado de las vigas de acero en asunto, siendo capaces de soportar el fuego a un tiempo específico.

Para estimar la masividad de la viga VT4, primero se debe aplicar correctamente la fórmula del perímetro que está siendo afectado por la acción del fuego, esto se puede observar con la ayuda de la TABLA 5.15b. Una vez obtenido el valor de la masividad, el siguiente paso conlleva a determinar el espesor correspondiente de acuerdo a las especificaciones que facilitan los fabricantes del material y que se pueden observar de manera expresa en el ANEXO N° 6 (placas de yeso) según el tiempo de resistencia al fuego que se desea, para este trabajo el tiempo es de

60 [min], considerando el riesgo de tipo ordinario (Regla Técnica Metropolitana RTQ 3, 2015).

Se utiliza la Ecuación (5.6) y el resultado que se obtiene para la viga VT4 con las aclaraciones antes dichas es igual a:

$$M_{VT4} = \frac{958 [mm]}{7890 [mm^2]} \cdot \frac{1000 [mm]}{1 [m]}$$

$$M_{VT4} = 120.1 [m^{-1}]$$

Con este valor se ingresa en la tabla del ANEXO N° 6 y con el tiempo de estabilidad al fuego de 60 [min] se consigue que el espesor de la placa de yeso debe ser de 25 [mm].

TABLA 5.24 Espesor de placa de yeso para la viga VT4

PLACA DE YESO - VT4		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	250	[mm]
Espesor patín (tf)	12,0	[mm]
Altura de la viga (h)	354	[mm]
Espesor del alma (tw)	6,0	[mm]
Altura del alma (hw)	330	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	958	[mm]
Área de la sección transversal	7980	[mm ²]
Factor de Masividad	120,1	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	25	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Con el mismo procedimiento antes descrito, se determina el factor de masividad y el espesor de la placa de yeso para las vigas: V4, VT1 y V1, que se encuentra representado a continuación:

TABLA 5.25 Espesor de placa de yeso para la viga V4

PLACA DE YESO - V4		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	120	[mm]
Espesor patín (tf)	8,0	[mm]
Altura de la viga (h)	256	[mm]
Espesor del alma (tw)	3,0	[mm]
Altura del alma (hw)	240	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	632	[mm]
Área de la sección transversal	2640	[mm ²]
Factor de Masividad	239,4	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	25	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

TABLA 5.26 Espesor de placa de yeso para la viga VT1

PLACA DE YESO - VT1		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	170	[mm]
Espesor patín (tf)	8,0	[mm]
Altura de la viga (h)	416	[mm]
Espesor del alma (tw)	8,0	[mm]
Altura del alma (hw)	400	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	1002	[mm]
Área de la sección transversal	5920	[mm ²]
Factor de Masividad	169,3	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	25	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

TABLA 5.27 Espesor de placa de yeso para la viga V1

PLACA DE YESO - V1		
Sección de la Viga		
Ancho del patín (bf)	100	[mm]
Espesor patín (tf)	6,0	[mm]
Altura de la viga (h)	202	[mm]
Espesor del alma (tw)	3,0	[mm]
Altura del alma (hw)	190	[mm]
Factor de Forma		
Perímetro expuesto al fuego	504	[mm]
Área de la sección transversal	1770	[mm ²]
Factor de Masividad	284,7	[m ⁻¹]
Resistencia al Fuego 60 [min]	25	[mm]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Como se puede apreciar los espesores de las placas de yeso para cada tipo de viga debe ser de 25 [mm]. Por lo tanto, el costo unitario de este material se hará en base a la descripción que se presenta de manera resumida en la TABLA 5.11 sobre la Placa RF (Resistente al Fuego), la cual ya tiene preestablecida un espesor de 12.7 [mm] para un tiempo de resistencia al fuego de 60 [min]. Entonces, para este material se usarán dos placas de yeso con dicho espesor para suplir con los parámetros calculados de las vigas en cuestión. De igual modo, se incluirá en el análisis económico de la placa de yeso resistente al fuego (RF) y la placa de yeso estándar (RE) si su uso se considera como cielo raso.

5.4.3 COMPONENTES DE LOS ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Es importante especificar los diferentes componentes que se incluyen dentro del análisis de precios unitarios, donde el costo obedece a las cantidades y rendimientos, entre los que se pueden citar son (Patrel, 2017):

5.4.3.1 Equipos

Corresponden a las herramientas de albañilería, para la obtención de su costo es común calcular el 5% del costo total de la mano de obra (M/O). En cuanto a los equipos se debe establecer la tarifa por hora, así como también el rendimiento para que con la multiplicación de éstos se pueda obtener el precio final.

5.4.3.2 Mano de Obra

En este componente se toman en cuenta los trabajadores (maestro de obra, albañil, peón, etc.) que intervienen en la ejecución de la obra o del rubro. Para determinar los sueldos de la mano de obra según el tipo de ocupación primero se debe asegurar que cumplan con los sueldos mínimos que son fijados por la administración competente. Para el presente proyecto técnico se tomará como referencia los sueldos especificados por la Revista de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON, 2018).

5.4.3.3 Materiales

Son los materiales que se van a usar para cada rubro que se esté analizando, la cantidad se determina en base a la información que brindan las empresas comerciales de los diferentes productos y también es sustancial tener una lista de materiales con sus respectivos costos por unidad, para fijar el valor final según las necesidades. Para este trabajo se recurrirá a los precios establecidos por la Revista de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON, 2018) y en otros casos por medio de proformas proporcionadas por las mismas fábricas.

5.4.3.4 Transporte

Aunque no es un componente representativo para los rubros que se van a analizar en este trabajo es importante mencionar que se el precio se fija de acuerdo al traslado, principalmente, de materiales pétreos.

5.4.3.5 Rendimiento

El rendimiento es un aspecto de mucha relevancia cuando se trata de calcular precios, no se determina de manera exacta debido a la circunstancia que se da cuando en una misma cuadrilla no presenta el mismo ritmo de trabajo diariamente, por ello tiene que ver mucho la experiencia del analista o del constructor de la obra (Patrel, 2017).

5.4.4 COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

El Análisis de Precios Unitarios (APU's) de la protección pasiva: morteros ignífugos, pinturas intumescentes y placas de yeso, y de la protección activa: sistema de rociadores contra incendios, se visualizan en la sección de ANEXOS.

Seguidamente, se presentan tablas resumen de los precios totales obtenidos mediante una evaluación económica utilizando el sistema de Análisis de Precios Unitarios (APU's) complementando con un Presupuesto Total para la planta tipo y para el área de parqueaderos.

En la TABLA 5.28 se expone los precios correspondientes de la planta tipo del edificio en estudio, la cual se refiere al entreseno de cualquiera de los niveles habitados que se puede hacer referencia a la FIGURA 4.1.

TABLA 5.28 Comparación económica de la protección pasiva y activa contra el fuego de la planta tipo

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (PLANTA TIPO)					
PROTECCIÓN PASIVA					PROTECCIÓN ACTIVA
Mortero Ignífugo	Pintura Intumescente	Placa de Yeso			Sistema de Rociadores y Alarma
		Tipo A	Tipo B	Tipo C	
\$12.148,47	\$8.217,14	\$3.869,25	\$6.062,14	\$3.524,50	\$8.134,20
TIPO A: Gypsum Resistente al Fuego (60 min) como cajado para las vigas metálicas					
TIPO B: Gypsum Resistente al Fuego (60 min) como cielo raso					
TIPO C: Gypsum No Resistente al Fuego tipo Estándar como cielo raso					

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En la planta tipo la mejor alternativa como protección pasiva en la cual puede ser tomada en cuenta, va dirigida hacia la placa de yeso Tipo A, pero por cuestiones arquitectónicas y/o estéticas no es viable. Por lo tanto, y como en todo edificio residencial cuenta con cielos rasos estándar debido a la funcionalidad que prestan, la mejor variante para proteger a las estructuras metálicas corresponde a la placa de yeso Tipo B que resiste al fuego, donde su costo será igual a la diferencia del costo total de la placa de yeso Tipo B menos la placa de yeso tipo C, resultando en un valor igual a \$2.537,64.

En cuanto a la TABLA 5.29 se muestran los precios finales de cada tipo de protección contra el fuego que pueden ser empleados en el área de parqueaderos.

TABLA 5.29 Comparación económica de la protección pasiva y activa contra el fuego en el área de parqueaderos

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (ÁREA DE PARQUEADEROS)					
PROTECCIÓN PASIVA					PROTECCIÓN ACTIVA
Mortero Ignífugo	Pintura Intumescente	Placa de Yeso			Sistema de Rociadores y Alarma
		Tipo A	Tipo B	Tipo C	
\$14.676,57	\$9.968,30	\$4.624,89	\$7.327,63	\$4.260,25	\$8.172,20
TIPO A: Gypsum Resistente al Fuego (60 min) como cajeadado para las vigas metálicas					
TIPO B: Gypsum Resistente al Fuego (60 min) como cielo raso					
TIPO C: Gypsum No Resistente al Fuego tipo Estándar como cielo raso					

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

En este caso la mejor opción corresponde a la protección activa utilizando el sistema de rociadores, ya sea por razones económicas y para brindar cumplimiento a las disposiciones de las normativas contra incendios. También es posible determinar como segunda opción a la protección pasiva correspondiente a la placa de yeso Tipo A.

Nota: En el precio final del sistema de rociadores para el entrepiso (Ver TABLA 5.28) y para los parqueaderos (Ver TABLA 5.29), se incluye el precio del sistema de alarma contra incendios. Pero no se incluye el valor de la cisterna contra incendios, de la bomba eléctrica y de gasolina (éste se usará en caso de que la luz eléctrica este fuera de servicio) y del tanque hidroneumático, ya que representan rubros que se toman en cuenta dentro del presupuesto referencial inicial de una obra civil y, además, constituye una exigencia del Cuerpo de Bomberos de Quito para edificios residenciales; sin embargo, a partir del ANEXO N° 10 se puede visualizar en detalle el análisis de precios unitarios y el costo final de los mismos.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La valoración económica de la protección pasiva para la planta tipo del edificio “Torino” que se presenta en la TABLA 5.28, se puede observar que, si bien el tipo de protección más factible en términos económicos corresponde a la placa de yeso Tipo C, ésta no brinda ninguna seguridad ante los efectos de fuego puesto que su resistencia mecánica se ve afectada apenas se inicia el incendio. Por lo tanto, la protección más viable en cuestiones económicas y en facilidad de adquirir el material corresponde a la placa de yeso Tipo B, ya que su función va a estar destinada a proteger todo el entrepiso, reduciendo el tiempo de ejecución de la mano de obra, brindando características estéticas en el entorno y, lo más importante, cumplir con el tiempo de resistencia al fuego de 60 [min] que permitirá evacuar a los habitantes del edificio antes de que el incendio provoque daños considerables a toda la estructura. Sin embargo, el Cuerpo de Bomberos de Quito obliga a la colocación del sistema de rociadores.
- El costo real de la protección contra incendio para la planta tipo será igual a la resta entre el costo calculado de la placa de yeso resistente al fuego y la placa de yeso estándar, es decir, igual a \$2.537,64 siendo más económico que el sistema de rociadores. Esta consideración se produce debido a que el gypsum estándar ya se lo incluye dentro de los rubros para la ejecución de una obra civil con el objetivo de brindar un acabado al cielo raso del entrepiso y como no tiene resistencia al fuego es preciso añadir aquel que sí contiene características de protección contra incendio propiamente dicho.
- En cuanto a la mejor opción para proteger el área de parqueaderos, según la TABLA 5.29, corresponde al sistema de rociadores y alarma, con un valor estimado de \$8.172,20, representando una elección que garantiza la seguridad contra incendios, pues será posible la consecución de los

requerimientos y exigencias que se mencionan en las normativas contra incendios del Distrito Metropolitano de Quito. Como segunda opción, en caso de no tener la garantía de abastecimiento de agua inmediata, la protección más adecuada sería la placa de yeso Tipo A con un valor estimado de \$4.624,89.

- Por medio de la modelación realizada para cada tipo de sección compuesta en la que forman parte las vigas en cuestión, se obtuvieron los siguientes resultados de cortante resistente a temperatura ambiente que se muestran en la TABLA 6.1. En ésta se puede evidenciar que la mayor capacidad a corte tiene la viga principal VT1 con un valor de 56.32 [T] y la menor capacidad presenta la viga V1 que tributa a la viga principal, con un valor igual a 9.81 [T]. La diferencia entre los resultados que exponen ambas vigas radica principalmente en su geometría (robustez) a pesar de que poseen las mismas características mecánicas.

TABLA 6.1 Resultados de cortante resistente a temperatura ambiente de las vigas metálicas

CORTANTE RESISTENTE A TEMPERATURA AMBIENTE (20 °C)	
Nomenclatura	Valor [T]
Viga VT4	35,65
Viga VT1	56,32
Viga V4	12,42
Viga V1	9,81

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

- En cuanto a los resultados del momento resistente a temperatura ambiente para cada viga, se observa en la TABLA 6.2 que la viga VT4 tiene una mayor capacidad a momento flector que la viga VT1, los valores correspondientes son de 32.05 [T · m] y 21.97 [T · m], respectivamente.
- El diseño estructural para obtener el cortante resistente de las vigas de acero en condiciones de incendio de acuerdo al software FEA mostrado en la sección 5.2, permite establecer de manera general que se producen cambios en su resistencia a corte entre los 400 [°C] y 500 [°C], los mismos que corresponden a los tiempos entre 2 y 3 [min] una vez avanzado el

incendio estándar. Estos tiempos no son ideales porque no habrá garantía de que las personas que habitan en el edificio puedan evacuar de manera rápida y segura, así como lo exige el Cuerpo de Bomberos de Quito.

- En el caso de la resistencia a la flexión, se pierde capacidad a partir de los 400 [°C] para las vigas VT4, VT1 y V4, siendo éstos más desfavorables en comparación con la resistencia a momento flector que presenta la viga V1, la cual decae desde los 500 [°C]. De igual manera, las temperaturas antes mencionadas corresponden a tiempos equivalentes de 2 y 3 [min], respectivamente, que no representan resultados óptimos debido al no cumplimiento del tiempo de resistencia al fuego (60 [min]) dispuesto por el Cuerpo de Bomberos de Quito.

TABLA 6.2 Resultados de momento flector resistente a temperatura ambiente de las vigas metálicas

MOMENTO RESISTENTE A TEMPERATURA AMBIENTE (20 °C)	
Nomenclatura	Valor [T·m]
Viga VT4	32,05
Viga VT1	21,97
Viga V4	7,56
Viga V1	3,84

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

- Según los criterios que se tomaron en cuenta en el análisis termo-estructural, la capacidad a corte inicial de la viga VT4 se redujo en un 19% cuando ha durado 6 [min] de incendio llegando a una temperatura de 620 [°C]. Pero cuando se efectúan 12 [min] de incendio, esta capacidad a corte se reduce en un porcentaje significativo siendo equivalente a una pérdida total del 90% con respecto a su capacidad original. De igual modo, la capacidad a corte de la viga VT1 pierde su integridad estructural en un 7% en el instante en el cual se cumplen 6 [min] de incendio estándar a una temperatura correspondiente de 620 [°C], y a los 12 [min] presenta una reducción del 90% de su capacidad inicial. Con estos resultados se puede concluir que la viga principal o de carga VT1 soporta un poco más los efectos de fuego cuando se cumplen 6 [min] de incendio, lo que no sucede con la

viga VT4. Estos resultados reflejan que los tiempos máximos que soportan las vigas principales no llegan a estar dentro de los tiempos estipulados en la normativa contra incendios del Distrito Metropolitano de Quito, por lo tanto, se puede decir que al no estar protegidas contra el fuego se vuelven elementos vulnerables afectando a la integridad de todo el edificio.

- En cuanto concierne al diseño estructural del momento resistente de las vigas principales VT4 y VT1, se puede concluir que el momento resistente de la viga VT4 a los 6 [min] de incendio estándar que coincide con una temperatura de 620 [°C] ha perdido un 20% respecto a su capacidad inicial y a los 10 [min] con una temperatura de 680 [°C] la viga sufrió una pérdida total del 85%. Ahora, en lo que se puede mencionar del momento resistente de la viga VT1 es que a los 8 [min] de exposición al fuego con una temperatura de 645 [°C], la disminución de su capacidad corresponde a un 64% y sobrepasado los 11 [min] la viga solamente le resta el 7% de su capacidad original.
- Los resultados obtenidos de cortante resistente para la viga secundaria V4, es que ésta soporta hasta una temperatura de 564 [°C] sin verse perjudicada en sus propiedades mecánicas, a partir de esta condición de temperatura se observa un decaimiento progresivo del cortante resistente ya que a los 7 [min] de incendio estándar la viga se encuentra trabajando en menos de la mitad de su capacidad original, específicamente, en un 43%; seguidamente, acontecidos 10 [min] de incendio estándar el miembro estructural solamente le resta el 8% de resistencia a corte. Con respecto a los resultados de cortante resistente por medio de la modelación numérica para la viga secundaria V1, se concluye que no existe variación de esta capacidad hasta una temperatura de 544 [°C] correspondientes a un tiempo de 4 [min], pero la viga ya pierde el 89% de su resistencia a cortante cuando se cumple el doble del tiempo antes mencionado, es decir, a los 8 [min] de haberse ocasionado el incendio.
- El diseño estructural para obtener el momento resistente a flexión de las vigas V4 y V1, resultó en una disminución a partir de un tiempo exacto de 4.6 [min] y 3.9 [min], respectivamente, tiempos que corresponden a las

temperaturas de 544 [°C] y 540 [°C], cada uno. Para un análisis de 9 [min] de incendio estándar la viga V1 ha perdido casi en su totalidad su capacidad resistente a momento dando un porcentaje igual a un 94%; por el contrario, la viga V4 presenta el mismo porcentaje de reducción pero cuando el incendio llega hasta un lapso de tiempo igual a los 11 [min].

- Por medio de la comparación de resultados realizada en la sección 5.2, se concluye que los valores calculados de cortante resistente para cada una de las vigas metálicas, el software FEA es mayor en un 19% respecto al Eurocódigo, 14% respecto a la Norma Brasileña y 18% respecto al AISC. En cuanto a los valores calculados de momento resistente de las mismas vigas, el software FEA es mayor en un 42% respecto al Eurocódigo y al AISC, y 12% respecto a la Norma Brasileña. Es decir, las normativas extranjeras son más conservadores que el software FEA.
- En caso de elementos de acero que se encuentran en contacto con el hormigón, las diferencias entre los resultados obtenidos por las diferentes normativas extranjeras y los obtenidos por métodos numéricos pueden ser significativas, ya que las disposiciones de los códigos contemplan factores de reducción que favorecen a la seguridad contra incendios de manera exagerada.
- El modelo numérico debe ser una representación lo más coherente a la realidad física. Sin embargo, no es posible tomar en consideración cada detalle que presenta esa realidad, por lo que es necesario realizar varias simplificaciones, tales como: el tamaño de las estructuras, las cargas aplicadas, las condiciones de contorno y los tipos de fuego, sin dejar de lado criterios esenciales que no comprometan la representación física y la precisión de los resultados.
- El tiempo de resistencia al fuego en la cual cada tipo de viga fue capaz de resistir no cumple con las disposiciones que se dictan en la Regla Técnica Metropolitana RTQ2 (2015). En esta norma se aclara que el tiempo que deben soportar los elementos estructurales en situación de incendio y que forman parte de un edificio residencial debe ser de 60 [min], lo cual no sucede ya que a través de las modelaciones se pudo constatar que el tiempo

en el que se pierde totalmente las capacidades resistentes de las vigas de acero, ya sea de corte o de momento flector, varían entre los 10 a 12 [min] como máximo.

- Sin embargo, los tiempos antes mencionados se encuentran en el rango establecido en la investigación realizada por Milke, Kodur & Marrion (2002), en donde se concretó que para vigas de acero sin protección sujetas a pruebas de ensayo de fuego estándar se produce una importante reducción de las propiedades mecánicas en un intervalo entre los 10 a 20 [min], dependiendo de la masa y la geometría del elemento estructural.
- En vista de que las vigas metálicas en estudio no cumplen con el tiempo de resistencia al fuego de 60 [min] que dispone la RTQ3/2015, es necesario proteger a las mismas empleando cualquier tipo de protección ya sea: *pasiva* o *activa*. En el presente trabajo se ha optado por considerar cuatro tipos de protección contra el fuego, que son: morteros ignífugos, pinturas intumescentes, placas de yeso y sistema de rociadores.

6.2 RECOMENDACIONES

- Incluir en las normativas de construcción un estudio de diseño estructural en condiciones de incendio que sirva como base para la adecuada protección de las estructuras metálicas, capaces de cumplir los requisitos mínimos de resistencia y, a la vez, verificando que el costo de estas protecciones no sea excesivo dentro del presupuesto general de la obra.
- Se realicen en el futuro estudios experimentales de varios perfiles de acero estandarizados con los distintos tipos de protección pasiva para determinar los espesores óptimos para diferentes tiempos de resistencia al fuego que suplan con las necesidades que se especifican en las normativas contra incendios.
- Como los criterios que se toman en cuenta en las modelaciones numéricas tratan de acercarse a la realidad física, sería conveniente comparar con ensayos experimentales para una mejor apreciación de los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abambres, M., & Rui Arruda, M. (2015). *Finite element analysis of steel structures - a review of usual guidelines*. Lisboa, Portugal: Universidad de Lisboa.
- ACERO MUNDO. (15 de Mayo de 2018). *Aislante Lana Mineral o Lana de Roca*. Obtenido de <https://aceromundo.com.mx/lana-mineral-lana-roca/>
- Adámez, J., & Lloret, M. (Diciembre de 2008). *Fundamentos del diseño de estructuras en situación de incendio*. España: SEGURITECNIA. Recuperado el Mayo de 2018, de http://www.incendiosyseguridad.com/objetos-0.0.0/ashes_doc_de_interes_2.pdf
- Albuquerque, G. (2012). *Dimensionamiento de vigas de concreto armado en situación de incendio*. (Tesis de Máster en Ingeniería). 245 p. Sao Paulo, Brasil: Universidad de Sao Paulo.
- Alonso, M. (2011). *Estudio de Protección Contra Incendios en Edificio "La Rioja"*. (Tesis de Máster). Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas.
- Álvarez, O., & Cházaro, C. (2014). *Construcción compuesta acero - concreto*. Ciudad de México: GERDAU CORSA.
- ANSI/AISC. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois, USA: AISC, Inc.
- ANSYS. (2013). *ANSYS Mechanical APDL Element Reference*. Canonsburg, PA, USA: ANSYS, Inc.
- Arcelormittal, Peiner Trager & Corus. (2008). *Steel buildings in Europe - Edificios de acero de varias plantas Parte 6: Ingeniería de fuego*. Obtenido de http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/MSB06_Ingenieria_de_fuego.pdf
- Aziz, E. M. (2015). *Reponse of fire exposed steel bridge girders*. (Tesis de Doctorado). Míchigan, EE. UU: Universidad Estatal de Míchigan.

- Barreto, W., & Jiménez, J. (2013). *Análisis del tren alternativo del motor que funciona a hidrógeno versus el motor a gasolina. (Tesis de Pregrado). Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga.*
- Barrosa, M. R. (2 de Agosto de 2004). *Principios fundamentales de transferencia de calor. Sao Paulo, Brasil: Universidad de Sao Paulo.*
- Bindhu, K. R. (2009). *Behavior of columns and exterior joints under seismic type loading. (Tesis de Doctorado). Chennai, India: Universidad Anna.*
- Cai, X., Pan, P., Zhu, J., & Gu, R. (2013). *The Analysis of the Aerodynamic Character and Structural Response of Large-Scale Wind Turbine Blades. Energies, 6, 3134-3148.*
- CAMICON. (2018). *Materiales y Equipos y Salarios. CONSTRUCCIÓN, 32-76.*
- Campoverde, D., Pesántez, L., & Anchundia, F. (2015). *Diseño de un Sistema Contra Incendio con Rociadores Automáticos y Cajetines de Mangueras para un Edificio de Oficinas. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.*
- Castillo, P., & Fuertes, E. (Noviembre de 2017). *Estudio comparativo en condiciones de incendio del sistema de entrepiso del edificio "Torino". (Tesis de Pregrado). Quito, Ecuador: EPN.*
- CEJ. (2014). *Protección Contra Incendios. Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales, 49-57.*
- Cichinelli, G. (2016). *Protección pasiva contra incendios en estructuras de acero. Situación en Brasil. Finestra. Obtenido de <http://www.construccionenacero.com/noticias/proteccion-pasiva-contra-incendios-en-estructuras-en-acero-situacion-en-brasil>*
- Clifton, G. C., & Feeney, M. J. (2004). *Fire Engineering Application to Multi-Story Steel Structures. Modern Steel Construction, 44(3), 59-66.*
- CODE CONSULTANTS, Inc. (2010). *Antifreeze Solutions in Home Fire Sprinkler Systems. Quincy, USA: The Fire Protection Research Foundation.*

- Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz. (2016). *Protección Estructural*. Cádiz.
- Cook, R., Malkus, D., Plesha, M., & Witt, R. (2002). *Concepts and Application of Finite Element Analysis*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Corporación Instituto Chileno del Acero. (2009). *Prospección y Difusión de Tecnologías y Normativas sobre Protección Contra el Fuego para Estructuras de Acero. (Informe Técnico)*. Chile: CORFO.
- Costa, C., & Silva, V. P. (2002). *Estructuras de concreto armado en situación de incendio*. Brasilia, DF, Brasil: Universidad de Brasilia.
- De Vehi Sarrazin, J. M. (2016). *Mallado de geometrías complejas mediante CFD. (Tesis de Pregrado)*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Domingos, F. (2015). *Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión e incendio (Sexta ed.)*. Porto Alegre, Brasil.
- Dowling, J. (2004). *Results and observations from a full-scale fire test*. Garston, England: BRE Cardington.
- Duthinh, D., & Khaskia, A. (2017). *Two-way Interface between Thermal Solid Elements and Structural Beam and Shell Elements (GetGo)*. Obtenido de ANSYS User's Conference: <https://www.ansys.com/-/media/ansys/corporate/resourcelibrary/conference-paper/2006-int-ansys-conf-353.pdf>
- EN 1991-1-2. (2002). *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*. Brussels, Belgium: CEN.
- EN 1992-1-2. (2004). *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural Fire Design*. Brussels, Belgium: CEN.
- EN 1993-1-1. (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. Brussels, Belgium: CEN.
- EN 1993-1-2. (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design*. Brussels, Belgium: CEN.

- EN 1994-1-2. (2005). *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-2: General rules, structural fire design*. Brussels, Belgium: CEN.
- FERROLAN. (2014). *Titan Intumescente - Proceso*. Obtenido de <http://ferrolan.es/proteccion-contra-el-fuego-de-estructuras-de-acero-pintura-intumescente-titan/titan-intumescente-proceso/>
- Fuentes, L. (2011). *El método de elementos finitos aplicado al cálculo de pequeñas estructuras. Pre y post procesado. (Tesis de Pregrado)*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- Fundora, L., & Peña, D. (2014). *Método gráfico alternativo para la verificación de momento flector de secciones compuestas de acero y hormigón en situación de incendio. (Tesis de Pregrado)*. Camagüey, Cuba: Universidad de Camagüey.
- Gallegos, M. (2017). *Desempeño sísmico de nudos en pórticos de acero a momento con columnas tubulares considerando efectos bidireccionales. (Tesis de Máster)*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Garayoa, J. (2017). *Prevención de Incendios*. Navarra: Bomberos de Navarra.
- Gavilanes, C. (2016). *Modelación del área de peligrosidad del riesgo de incendio para el almacenamiento de una instalación que se dedica a la producción de un biosombustible a base de aceite vegetal. Tesis de Maestría*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Ghojel, J. I., & Wong, M. B. (2005). *Heat transfer model for unprotected steel members in a standard compartment fire with participating medium*. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(6), 825-833.
- Guyadol, J. (2005). *Dimensionamiento frente al fuego*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- GYPLAC. (2014). *Manual Técnico Gyplac*. Cartagena, Colombia: Etex Group Company.

- Hadid, Z. (2008). *Protección Estructuras Metálicas*. Zaragoza, España: Placo Saint-Gobain.
- Hernández, H., Bonilla, J., & Rodríguez, G. (2014). *Estudio del comportamiento de vigas compuestas de hormigón y acero mediante simulación numérica*. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 29(1), 5-21.
- Hitado, P. (2015). *Teoría del Fuego: Manual de incendios*. Guadalajara: Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara.
- Ibarra, M. (2010). *La ecuación del calor de Fourier: Resolución mediante métodos de análisis en variable real y en variable compleja*. Oberá, Misiones, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2008). *Resistencia al Fuego: Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón*. Obtenido de https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/fuego/SEGURIDAD_FRENTE_FUEGO.pdf
- International Organization for Standardization. (1999). *Fire resistance tests- Elements of building construction. Part 1. Part 1: General requirements*. ISO 834-1. Ginebra, Suiza: ISO.
- INTROPOL. (2018). *Mortero Ignífugo Proyectado*. Obtenido de <http://www.intropol.es/es/mortero-ignifugo-proyectado>
- ITEA. (2006). *Protección: Incendio*. Obtenido de http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documentacion/itea/TOMO6.pdf
- Jiménez, A., & Maimón, F. (2017). *Cálculo de Resistencia al Fuego en Estructuras (EN)*. Presentación Construsoft, (pág. 42). Cataluña.
- Junta de Andalucía. (2016). *Guía Técnica de Seguridad Contra Incendios*. Andalucía, España: Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo.
- Kirchhof, L., Munaiar, J., & Malite, M. (2005). *Simulación numérica de vigas mixtas de acero-concreto a temperatura ambiente y en situación de incendio*. *Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural*, 2(2), 87-105.

- Kodur, V. K., & Fike, R. (2010). *Guidelines for Improving the Standard Fire Resistance Test Specifications*. *ASTM International*, 6(7), 111-134.
- Kulisek, V. (2016). *Finite element analysis of composite structures*. Obtenido de http://drone.fsid.cvut.cz/mcmfolder/FEA_composites_2016.pdf
- Kumar, T., & Reddy, L. S. (January de 2016). *Experimental Studies on Steel-Concrete Composite Beams in Bending*. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2(08), 28-35.
- Lambert, A. P. (2012). *Thermal-Mechanical Analysis of System-Level Electronic Packages for Space Applications*. Bozema, Montana, EE. UU: Universidad Estatal de Montana.
- Larrúa, Y. (2016). *Comportamiento termo-estructural y diseño de vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio*. (Tesis de Doctorado). Ciudad de La Habana, Cuba: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- Lerma, J., & Valadez, J. (2009). *Curso Práctico: Diseño de Sistemas de Piso Construcción Compuestos: Acero - Concreto (Resistencia, Deflexiones y Vibraciones)*. León, Guanajuato, México: Universidad de León.
- Liu, H., & Niu, L. (2015). *Finite Element Simulation Research on Medium Plate Multi-Pass Welding Temperature Field*. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 9, 786-790.
- Lloret, M. (2009). *Ingeniería de estructuras en situación de incendio*. *Prevención de Incendios*(42), 48-53.
- López de Heredia, O. d. (2004). *Diseño de Estructuras de Acero*. *Construcción Compuesta*. México, D.F.: Fundación ICA, A.C.
- Machado, E. (2014). *Programa para el diseño estructural de vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio*. Camagüey, Cuba: Universidad de Camagüey.
- Manjarrés, F. (2015). *Guía Didáctica - Ingeniería Asistida por Computadora*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

- Márquez, E. (2015). *Flexión en vigas [Clases Presenciales]*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Martín, J. (2015). *Estudio del campo de tensiones en un sistema mecánico. (Tesis de Pregrado)*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- Milke, J., Kodur, V., & Marrion, C. (2002). *A overview of fire protection. USA: Federal Emergency Management Agency.*
- Montava, I. (2017). *Estudio del comportamiento de estructuras de hormigón armado con perfiles metálicos completamente embebidos. (Tesis de Doctorado)*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Morqui, A., Reboredo, L., & Spalvier, A. (2013). *Secciones Compuestas. Uruguay: Instituto de Estructuras y Transporte.*
- Mugo, H. (2014). *Structural Analysis and Design of a Warehouse Building. (Tesis de Pregrado)*. 93. Hämeenlinna, Finlandia: Häme University of Applied Sciences (HAMK).
- Mulet, E. (2014). *Método gráfico alternativo para la verificación a cortante de secciones compuestas de acero y hormigón en situación de incendio. (Tesis de Pregrado)*. Camagüey, Cuba: Universidad de Camagüey.
- Muñoz, J. (20 de Julio de 2016). *Modelado y predicción de la respuesta de vigas mixtas acero-hormigón frente al fuego. (Tesis de Máster)*. Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Naser, M. Z. (2016). *Response of steel and composite beams subjected to combined shear and fire loading. (Tesis de Doctorado)*. Michigan, EE.UU: Universidad Estatal de Michigan.
- National Fire Protection Association NFPA 13. (1996). *Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores. Edición 1996* . Quincy, EE.UU: Instituto Argentino de Normalización.
- NBR 14432. (2000). *Requisitos de resistencia al fuego de los elementos constructivos. Río de Janeiro, Brasil: Asociación Brasileira de Normas Técnicas.*

- NEC-HS-CI. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción Contra Incendios (CI). Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.*
- NEC-SE-CG. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción Cargas (No Sísmicas). Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.*
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 802. (2016). NTE INEN 802: Extintores portátiles. Selección y distribución en edificaciones. Quito, Ecuador: INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización.*
- Nunes, J. M. (14 de Marzo de 2005). Un enfoque numérico y analítico para la determinación de la temperatura y del momento flector crítico en vigas de acero en situación de incendio. Tesis de Doctorado. 189. Brasilia, Brasil: Universidad de Brasilia.*
- Ortiz, C. (2006). Diseño de un modelo experimental de una viga de Acero Estructural AISI SAE 1020 sometidas a cargas estáticas y dinámicas en la zona elástica para validar un modelo computacional, utilizando el Software ANSYS 5.5. (Tesis de Pregrado). 109. Cartagena, Colombia: Universidad Tecnológica de Bolívar.*
- Palomo, M. (13 de Junio de 2017). Aislantes Térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos. (Trabajo de Pregrado). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.*
- Pannoni, F. D. (2017). Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego. Ciudad de México: GERDAU CORSA.*
- Patrel, J. A. (2017). Estudio comparativo de costos entre paneles especiales ligeros, muro seco tipo Gypsum, y mampostería tradicional de una edificación. (Tesis de Pregrado) . Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.*
- Pavez, A. (2011). Comportamiento del Hormigón ante incendio. Revista BIT, 79, 40-45.*

- Polo, A. (Septiembre de 2017). *Estudio elastoplástico de vigas sometidas a flexión. (Tesis de Pregrado)*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- PROMAT. (2017). *Pintura PROMAPAIN-SC4 para protección R30 a 90 de estructuras metálicas (vigas y pilares) incluyendo perfiles huecos R30*. Madrid, España: Etex Group Company.
- Pumar, M., & González, L. (2008). *Comportamiento estructural de edificaciones diferentes ante la presencia del fuego y sus fallas por ruina progresiva (caso World Trade Center, New York y Parque Central, Caracas)*. (Tesis de Pregrado). Caracas, Venezuela: Universidad Metropolitana.
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 1. (2015). *Prevención de incendios: Reglas técnicas básicas*. Quito, Ecuador: Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 2. (2015). *Prevención de incendios: Reglas técnicas de edificación*. Quito, Ecuador: Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 3. (2015). *Prevención de incendios: Reglas técnicas en función del riesgo derivado del destino u ocupación de la edificación, establecimiento o local o de la actividad que se realiza en ellos*. Quito, Ecuador: Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 7. (2014). *Prevención de incendios: Sistemas de extinción de incendios*. Quito, Ecuador: Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.
- Rifá, E. (Enero de 1978). *Protección de elementos estructurales contra el fuego*. ASELF, pág. 66.
- Rodríguez, H. (2017). *Comportamiento del Acero con la Temperatura*. Obtenido de Ingemecánica: <https://ingemecanica.com>
- Rojas, G. (2015). *Modelizado y Simulación de un motor bóxer en simpack con cuerpos rígidos y flexibles*. (Tesis de Pregrado). Leganés, España: Universidad Carlos III de Madrid.

- Romero, A., & Lopez, S. (2007). *Protección pasiva contra incendios: morteros proyectados y productos*. Queretaro, México. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2477/A7_safety.pdf
- Ros Martín, M. (2017). *Evaluación de la capacidad de rotación de uniones de acero semirígidas utilizando modelos micromecánicos de fractura y análisis por elementos finitos*. (Tesis de Pregrado). Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Roscardi, J. (2014). *Comportamiento de los materiales de construcción ante la incidencia del fuego*. Recuperado el Abril de 2018, de <http://files.roscardi-instalaciones.webnode.com/200000489-8ec718fbc6/Comportamiento%20de%20los%20materiales%20ante%20el%20fuego.pdf>
- Salamanca, G. (2014). *Sistemas de Protección Pasiva Contra Incendios*. Santiago de Chile, Chile: Sika S.A.
- Santelli, J., & Nunes, F. (2017). *Análisis de uniones atornilladas mediante FEA (ductos, varillas de bombeo)*. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, XXXV(39), 2333 - 2357.
- Selamet, S., & Garlock, M. (2010). *Guidelines for Modeling Three Dimensional Structural Connection Models using Finite Element Methods*. Estambul, Turquía: Universidad de Bogazici.
- Silva, V. P. (1997). *Estructuras de acero en situación de incendio*. (Tesis de Doctorado). Sao Paulo, Brasil: Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo.
- Terreros, A. (2014). *Estudio de la interacción flexor cortante en vigas híbridas de acero*. (Tesis de Máster). Cataluña, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- UNE-EN 12845. (2004). *Sistema fijos de lucha contra incendios. Sistema de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento*. Madrid, España: AENOR.

- Urruticoechea, A. T. (2014). Estudio del comportamiento transversal de secciones mixtas de hormigón y perfiles compuestos de GFRP (Polímero Reforzado de Fibra de Vidrio). (Tesis de Pregrado). Cataluña, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.*
- Van Schuerbeck, F. E. (2013). Modelación por elementos finitos de pintura intumescente aplicada sobre perfiles de acero expuestos a incendio. (Tesis de Pregrado). Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.*
- Vargas, D. (2010). Análisis de cables de sección transversal sin daño y con daño simétrico y asimétrico sujetos a cargas axisimétricas utilizando modelos tridimensionales de elementos finitos. (Tesis de Pregrado). Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.*
- Vega, L., & Burón, M. (2007). Seguridad frente al fuego de las estructuras de hormigón. Hormigón(899), 44-51.*
- Vicente Alonso, L. E. (2011). Estudio de la influencia de los parámetros de contacto de ANSYS en la resolución de problemas de interacción mecánica superficial. (Tesis de Pregrado). Sevilla, España: Universidad de Sevilla.*
- Virgili, X. (13 de Noviembre de 2007). Comportamiento de elementos estructurales de acero frente a incendio. Análisis de la Normativa. (Tesis de Pregrado). Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.*

ANEXOS

ANEXO N° 1:

DESCRIPCIÓN DEL MODELO VT1

1. CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS DEL MODELO

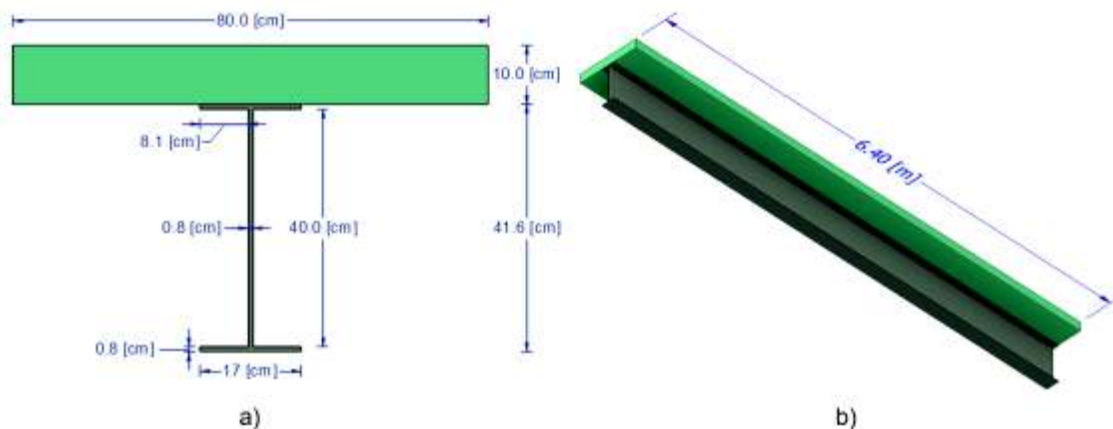
La viga compuesta VT1 es un elemento estructural que se encuentra empotrada en ambos extremos de la misma y contiene una viga principal metálica.

TABLA A.1 Propiedades geométricas de la sección compuesta VT1

Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidades
bf	Ancho del patín	17	[cm]
tf	Espesor del patín	0,8	[cm]
hw	Altura del alma	40	[cm]
tw	Espesor del alma	0,8	[cm]
h	Altura total de la viga	41,6	[cm]
b_{eff}	Ancho efectivo de la losa	80	[cm]
e	Espesor de la losa	10	[cm]
L	Longitud de la sección compuesta	6,40	[m]
A_s	Área de la sección de acero	59,2	[cm ²]
A_c	Área de la sección de hormigón	800	[cm ²]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA A.1 Dimensiones geométricas de la sección compuesta VT1 en el modelo CAD



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

La geometría de viga compuesta se puede observar de manera expresa en la TABLA A.1 y la disposición en el modelo CAD se aprecia en la FIGURA A.1.

2. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS

- **ELEMENTO FINITO PARA ANÁLISIS TÉRMICO**

Los tipos de elementos que el software FEA consideró para el análisis térmico de acuerdo a la biblioteca interna que contiene el módulo *Transient Thermal* corresponden a: SOLID90, SURF152 y SURF252. La explicación sobre la definición de estos elementos y sus respectivas funciones se pueden hacer referencia a lo expuesto en la sección 4.3.2.1 y la geometría a la que están sujetos incluyendo la localización de los nodos y el sistema de coordenadas de los elementos finitos en cuestión corresponden a la FIGURA 4.17, FIGURA 4.18 y FIGURA 4.19.

- **ELEMENTO FINITO PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

En lo que respecta a los elementos finitos que fueron adecuados para el análisis estructural según las consideraciones propias del software FEA en su módulo *Static Structural* tienen que ver con el SOLID186 y SURF154. Así como se realizó una descripción de las características para el Modelo VT4 en la sección 4.3.2.2 de estos elementos, entonces es válido para el Modelo VT1 y también se puede apreciar una explicación gráfica de los elementos finitos para el análisis estructural en la FIGURA 4.20 y en la FIGURA 4.21, respectivamente.

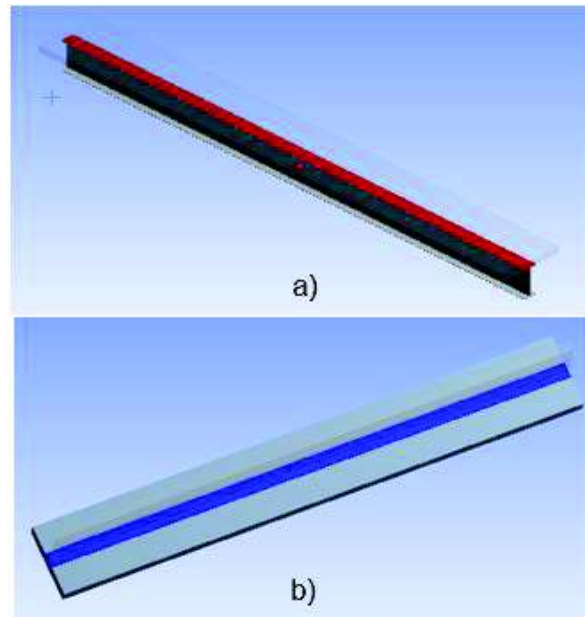
3. CONTACTOS

Se importa la geometría del modelo al espacio de trabajo del software FEA para que se establezcan las zonas que se encuentran en contacto de manera automática. Para este modelo se procedió a suponer que la superficie de contacto (*contact bodies*) sea del perfil de acero y la superficie objetivo (*target bodies*) corresponda a la losa de hormigón, esta configuración puede ser visualizada según se indica en la FIGURA A.2.

En cuanto al tipo de contacto entre la losa de hormigón y la viga metálica se mantuvo con la misma opción que se tomó en cuenta para el Modelo VT4, o sea, el tipo de contacto "*Frictionless*", el cual permite figurar la no existencia de fricción entre las superficies. La formulación para los contactos se determinó con la opción

Augmented Lagrange y para que no se actualice la rigidez durante el proceso de modelación se optó por realizar los siguientes pasos: *Advanced* → *Update Stiffness* → *Never*.

FIGURA A.2 Asignación del elemento contacto: a) Contact y b) Target



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Igualmente, el software internamente designa los elementos de contacto que mejor se ajustan para una correcta simulación del modelo que se está analizando, estos elementos de contacto se denominan como CONTA174 y TARGE170.

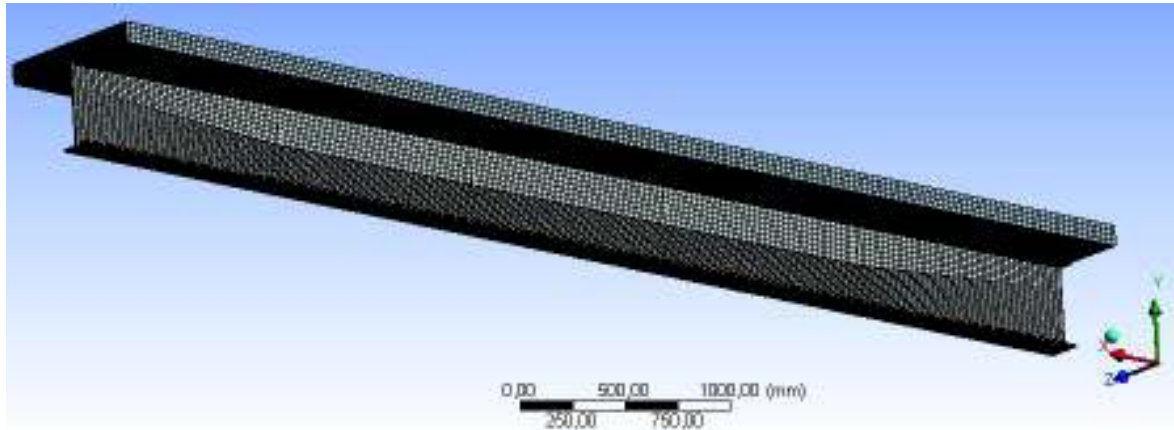
4. MALLADO

Los parámetros que permitieron un mallado apropiado para el presente modelo, una vez aplicado el mallado global que realiza por defecto el programa computacional, corresponden a: nivel de relevancia (*Relevance*) de 100, centro de relevancia (*Relevance Center*) de tipo *Fine* y el tamaño máximo de caras de los elementos (*Elemento Size*) igual a 30 [mm].

Por medio de los criterios antes mencionados se obtiene como resultado la FIGURA A.3 y la calidad del mallado, de acuerdo a la relación de aspecto *Jacobian Ratio*, dio igual a un promedio respectivo de 1.2792, valor que se considera aceptable.

Es necesario manifestar que este tipo de mallado servirá tanto para el módulo térmico como para el módulo estructural.

FIGURA A.3 Mallado del Modelo VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5. ANÁLISIS TÉRMICO

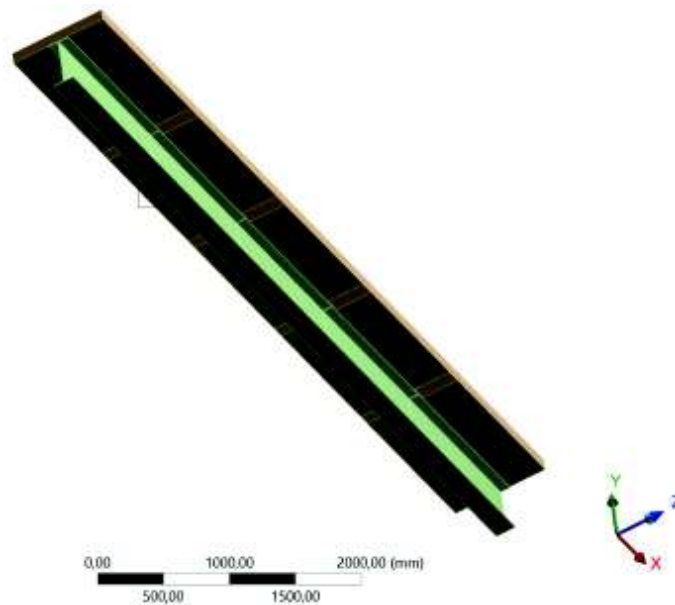
• CONDICIONES DE BORDE O DE CONTORNO

➤ Radiación

Las superficies de la sección compuesta que están sufriendo intercambio de calor por la radiación de las llamas se muestran en la FIGURA A.4. También es importante representar una emisividad equivalente en función de la temperatura de la superficie del material, misma que fue determinada en la FIGURA 4.25.

Este intercambio de calor entre las superficies en el software FEA se simula seleccionando *Correlation* → *Surface to Surface* y para expresar la variación de la emisividad en función de la temperatura se selecciona *Emissivity* → *Tabular (Temperature)*. Adicionalmente, se debe asignar la temperatura del ambiente en función del tiempo escogiendo *Ambient Temperature* → *Tabular (Time)*. Por la razón de que la radiación se ha definido mediante la temperatura media de los gases que interactúan con la viga denominada como “temperatura ambiente”, el tipo de recinto que intercambia calor por radiación es de tipo abierto, entonces se establece en la opción *Enclosure Type* → *Open*.

FIGURA A.4 Superficies sometidas a radiación en el Modelo VT1

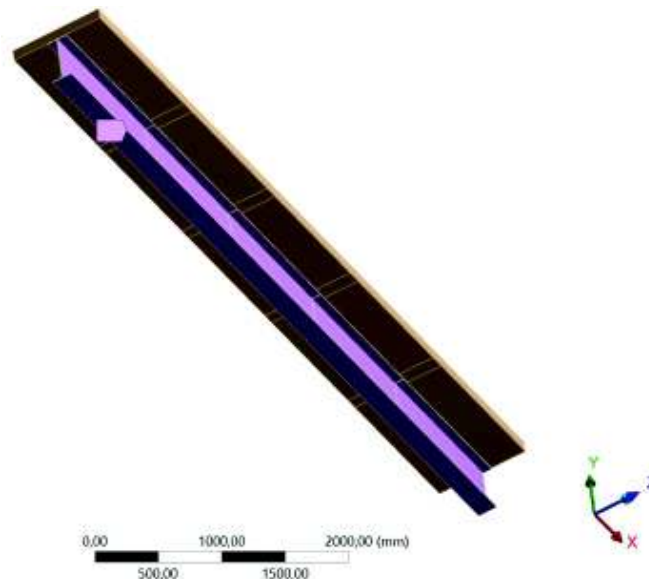


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

➤ **Convección Experimental**

Las superficies que están expuestas a convección experimental se muestran como sigue en la FIGURA A.5 y las consideraciones son las mismas expuestas en el Modelo VT4.

FIGURA A.5 Superficies expuestas a la convección experimental en el Modelo VT1

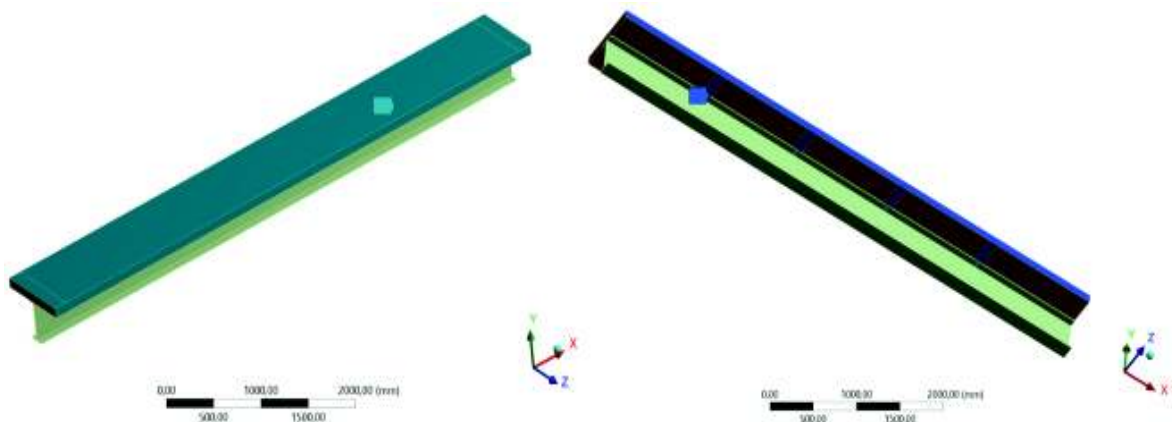


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

➤ Convección al Ambiente

Las superficies que intercambian calor con el ambiente durante la acción de fuego son: la superficie superior de la losa y las proyecciones de las viguetas en el alma de la viga principal.

FIGURA A.6 Superficies expuestas a la convección ambiental en el Modelo VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

• CRITERIOS PARA LA RESOLUCIÓN DEL MÓDULO TÉRMICO

Los principales parámetros que tomaron en cuenta para la modelación térmica son:

- ◆ El valor de la temperatura inicial es igual a 20 [°C] en *Initial Temperature* → *Initial Temperature Value*.
- ◆ Se define para la simulación del Modelo VT1 un tiempo de 13 pasos (*steps*) en los cuales se especifican las condiciones de contorno mencionadas anteriormente. Además, se considera un tiempo de finalización para cada paso de 3600 [s] y en la sección *Auto Time Stepping* se deja con la opción *Program Controlled*, es decir, el programa controlará los tiempos: inicial, mínimo y máximo.
- ◆ Finalmente, para que el programa considere efectos de inercia térmica en el Modelo VT1, se activa la opción de integración temporal: *Analysis Settings* → *Time Integration: On*.

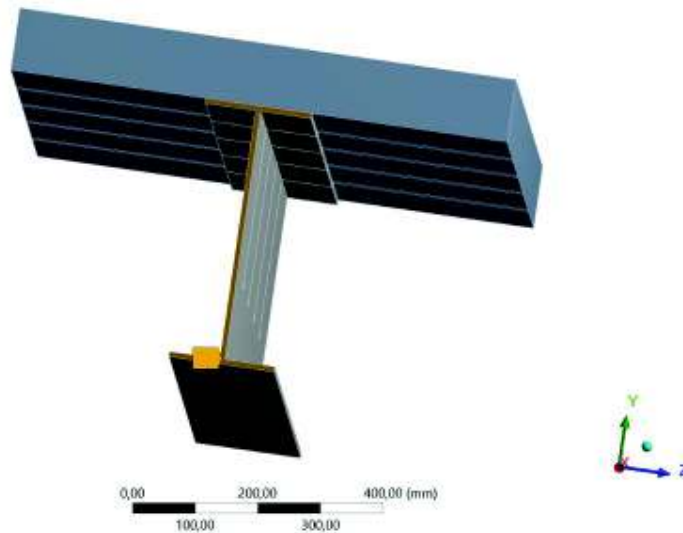
6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

• CONDICIONES DE BORDE O DE CONTORNO

➤ Restricciones

La viga de sección compuesta VT1 se encuentra empotrada en sus dos extremos, por ello, para modelar el empotramiento se debe seleccionar la opción *Fixed Support* o soporte fijo en ambas caras de la viga (izquierda y derecha).

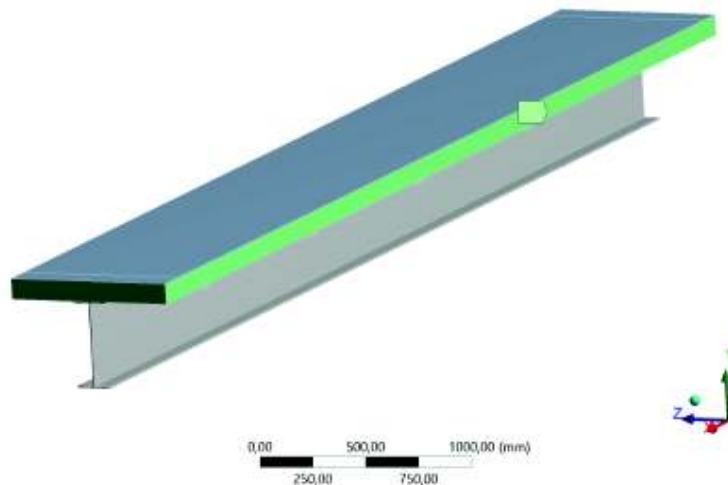
FIGURA A.7 Restricción de los desplazamientos en las caras de la viga metálica VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

De la misma forma para poder representar la continuidad de la losa por todas sus caras laterales y longitudinales, se fijaron sus bordes mediante la opción *Fixed Support*.

FIGURA A.8 Soportes fijos en las caras laterales y a lo largo de la losa de hormigón



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

➤ Determinación de Cargas

La determinación de la fuerza debido al peso propio de las paredes para el Modelo VT1 se encuentra resumida en la TABLA A.2, en la cual se evidencia ciertas características propias del material de la pared como el peso específico de la mampostería cuyo valor fue obtenido de la Tabla 8 de la NEC-SE-CG Cargas No Sísmicas (2015).

TABLA A.2 Cálculo de la fuerza debido al peso propio de las paredes para el Modelo VT1

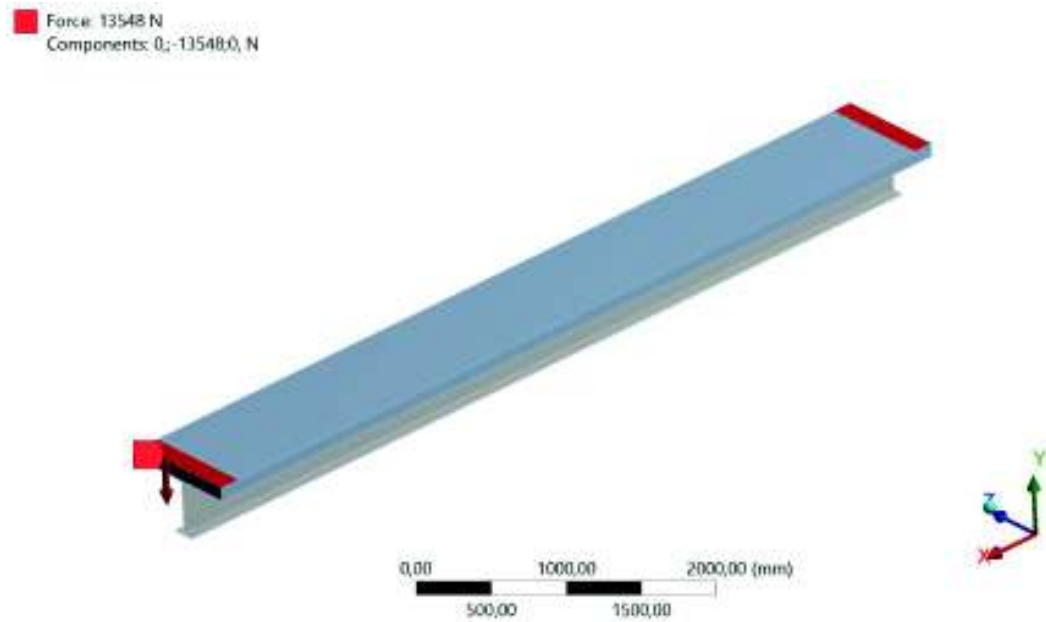
CARGA MUERTA PAREDES - MODELO VT1			
Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidades
H	Altura	3,00	[m]
b_{pared}	Ancho	0,80	[m]
e_{pared}	Espesor	0,15	[m]
V_{pared}	Volumen	0,36	[m ³]
$\gamma_{ladrillo}$	Peso específico de la mampostería	1920	[kg/m ³]
$N^{\circ}_{paredes}$	Número de paredes	2	-
$F_{paredes}$	Fuerza por peso propio	1382,4	[kg]
		13547,52	[N]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

La carga muerta debido al peso de las paredes que están actuando sobre la viga compuesta se debe simular asignando una fuerza en el sentido negativo del eje global “y”, por medio del siguiente procedimiento: *Loads* → *Force* → *Define by* → *Y Component* con un valor de -13547.52 N, así como se expone en la FIGURA A.9.

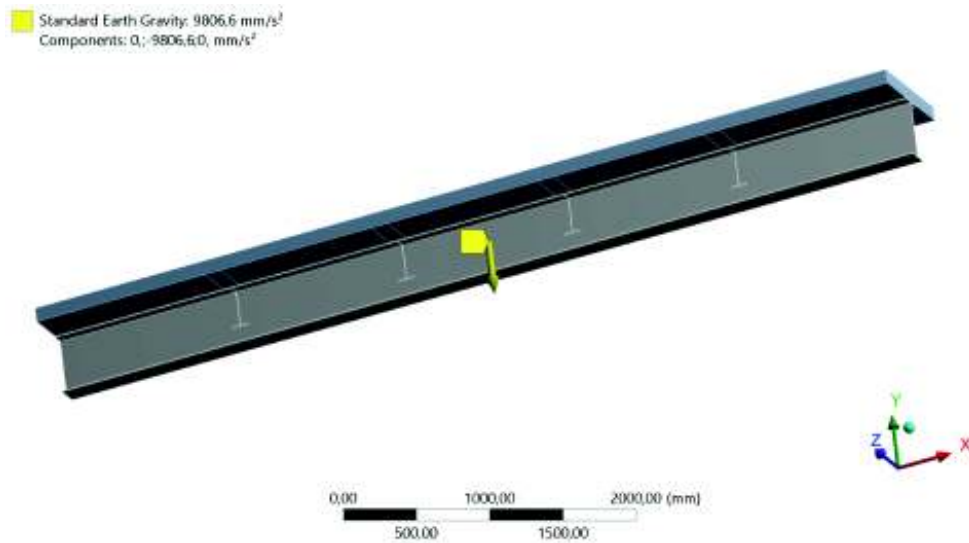
Por último, para representar la acción del peso propio de los miembros estructurales por medio de la gravedad durante el incendio, se selecciona primero los sólidos en la sección *Geometry* → *All bodies*, luego se selecciona *Standard Earth Gravity* desde el menú *Inertial* y se elige el sentido negativo del eje “y” global, como se muestra en la FIGURA A.10. Por defecto el programa asigna el valor de la gravedad como 9806,6 [mm/s²].

FIGURA A.9 Aplicación de la carga debido al peso propio de las paredes en el Modelo VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA A.10 Asignación de la gravedad de todos los cuerpos en el Modelo VT1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

- **CRITERIOS PARA LA RESOLUCIÓN DEL MÓDULO ESTRUCTURAL**

Para el análisis de la degradación del corte y momento flector en función del tiempo de la viga compuesta VT1, es necesario formular ciertas configuraciones para que el programa pueda resolver de manera adecuada el problema estructural:

- ♦ El número de pasos para la modelación es igual a 5 (*steps*) con un tiempo de finalización para cada paso correspondiente a 700 [s], donde deberán aplicarse y correlacionarse todas las condiciones de contorno descritas anteriormente.
- ♦ Para el cálculo no lineal, el método de resolución que utiliza el software FEA es iterativo, es decir, que para aproximarse a la solución se parte de la solución obtenida en el paso anterior. El método que se utiliza en la modelación es el método de Newton-Raphson el mismo que será controlado por el propio programa, la gran ventaja de utilizar este procedimiento se debe a que proporciona una velocidad de convergencia cuadrática.
- ♦ Por último, se importa la carga de temperatura mediante: *Imported Load* → *Imported Body Temperature*, ingresando 2 pasos que son: el tiempo al 1 [s] y el tiempo final (*End Time*) igual a 700 [s].

ANEXO N° 2:

DESCRIPCIÓN DEL MODELO V1

1. CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS DEL MODELO

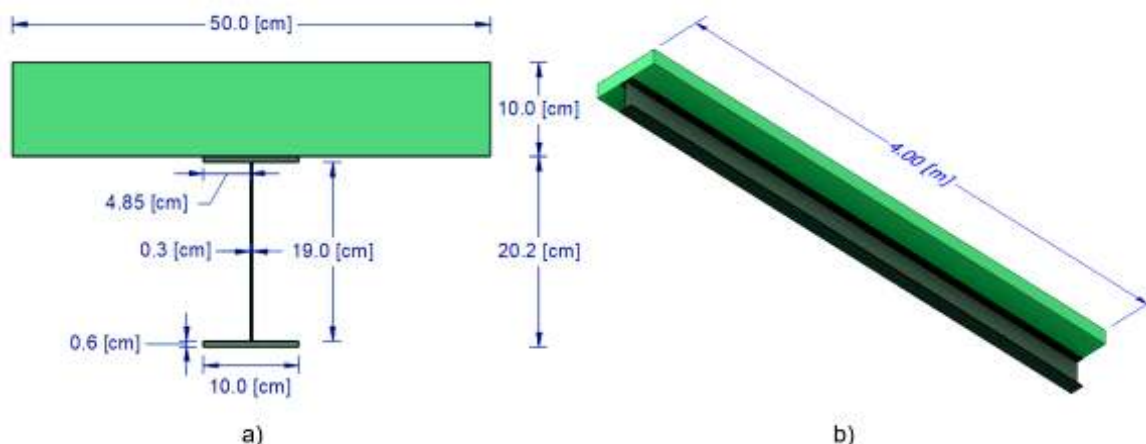
Por medio de la TABLA A.3 se puede evidenciar en detalle las características geométricas de la sección compuesta V1 y el modelo CAD tridimensional correspondiente se determina según la FIGURA A.11.

TABLA A.3 Propiedades geométricas de la sección compuesta V1

Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidades
bf	Ancho del patín	10	[cm]
tf	Espesor del patín	0,6	[cm]
hw	Altura del alma	19	[cm]
tw	Espesor del alma	0,3	[cm]
h	Altura total de la viga	20,2	[cm]
b_{eff}	Ancho efectivo de la losa	50	[cm]
e	Espesor de la losa	10	[cm]
L	Longitud de la sección compuesta	4,0	[m]
A_s	Área de la sección de acero	17,7	[cm ²]
A_c	Área de la sección de hormigón	500	[cm ²]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA A.11 Dimensiones geométricas de la sección compuesta V1 en el modelo CAD



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

2. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS

• ELEMENTO FINITO PARA ANÁLISIS TÉRMICO

El software FEA a través del análisis termal transitorio en el módulo *Transient Thermal* designó aquellos elementos finitos que se identifican como: SOLID90, SURF152 y SURF252. La descripción respectiva sobre cada uno de estos elementos está orientada acorde a lo planteado en la sección 4.4.2.1.

• ELEMENTO FINITO PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El software FEA en su módulo *Static Structural* consideró como elementos finitos aquellos que se representan como SOLID186 y SURF154, para poder resolver el problema estructural una vez analizado la cuestión termal. En la sección 4.4.2.2 de igual manera se expresan las diferentes características, funciones y geometrías que son intrínsecos de cada uno de los elementos antes mencionados.

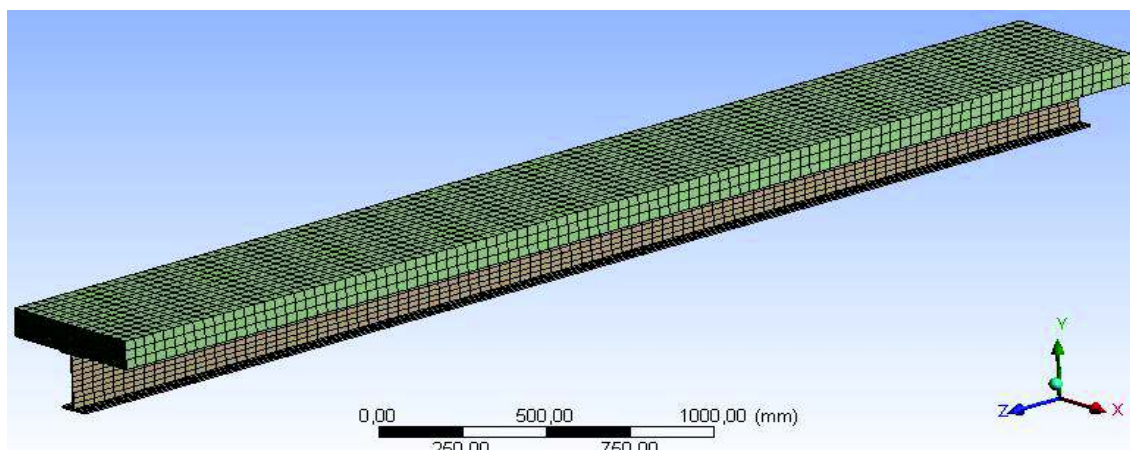
3. CONTACTOS

El tipo de contacto más adecuado para la simulación del Modelo V1 recae sobre la opción “*bonded*”, por la razón referente a la unión que existen entre la losa de hormigón y la viga metálica por medio de los conectores. Otros parámetros que son de interés en este apartado se trata sobre el tipo de comportamiento del contacto y la formulación del contacto, los cuales fueron establecidos como: simétrico (*Symmetric*) y *Augmented Lagrange*, respectivamente. Para esta última consideración se debe limitar la actualización de la rigidez (*Update Stiffness*) ya que conllevaría a un alto costo de procesamiento computacional.

4. MALLADO

Para este modelo se procedió a aplicar un mallado global automatizado por el mismo programa, luego se modifica este mallado cambiando el nivel de relevancia (*Relevance*) a un valor de 100 y el centro de relevancia (*Relevance Center*) como *Fine*. No fue necesario establecer el tamaño de las caras de los elementos finitos (*Element Size*) debido a que la calidad de la malla, que se verifica a través de la relación de aspecto *Jacobian Ratio*, resultó con un promedio de 1.0813 que tiene aproximación al valor ideal de 1 para que cada elemento finito sea lo más rectangular y uniforme posible.

FIGURA A.12 Mallado del Modelo V1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

5. ANÁLISIS TÉRMICO

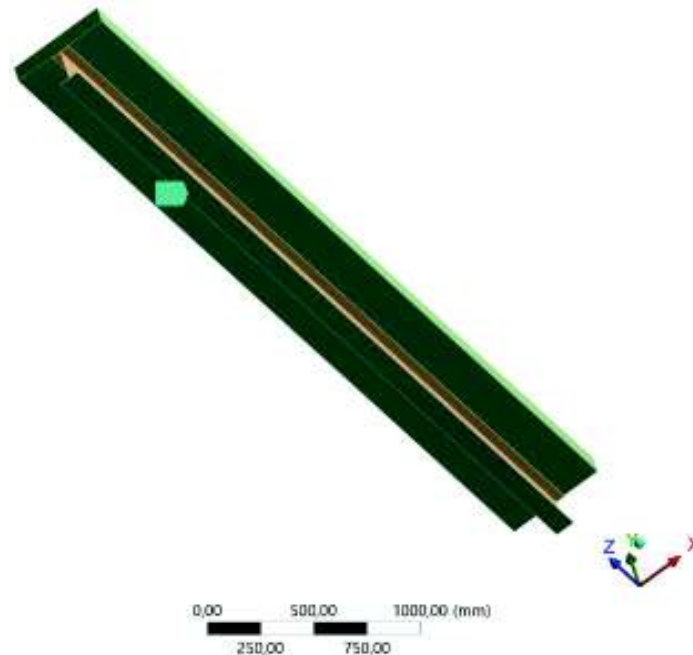
- **CONDICIONES DE BORDE O DE CONTORNO**

- **Radiación**

Entre los principales aspectos que deben tomarse en cuenta para modelar la radiación está dirigido a la emisividad equivalente, en consecuencia, para el correcto funcionamiento de esta propiedad se debe seguir el siguiente procedimiento dentro del módulo térmico transitorio: en la opción *Correlation* se elige la categoría *Surface to Surface*, luego en las opciones *Emissivity* y *Ambient Temperature* se escogen las categorías *Tabular (Temperature)* y *Tabular (Time)*, respectivamente. Por último, como se está modelando los gases del fuego estándar que rodean a la viga mixta, en la opción *Enclosure Type* se opta por *Open*.

Las zonas del sistema de entrepiso que están expuestas a las llamas producto del fuego y, por consiguiente, donde se genera el principal proceso de intercambio de calor hacia las superficies de los elementos combustibles se muestran en la FIGURA A.13.

FIGURA A.13 Superficies sometidas a la radiación en el Modelo V1

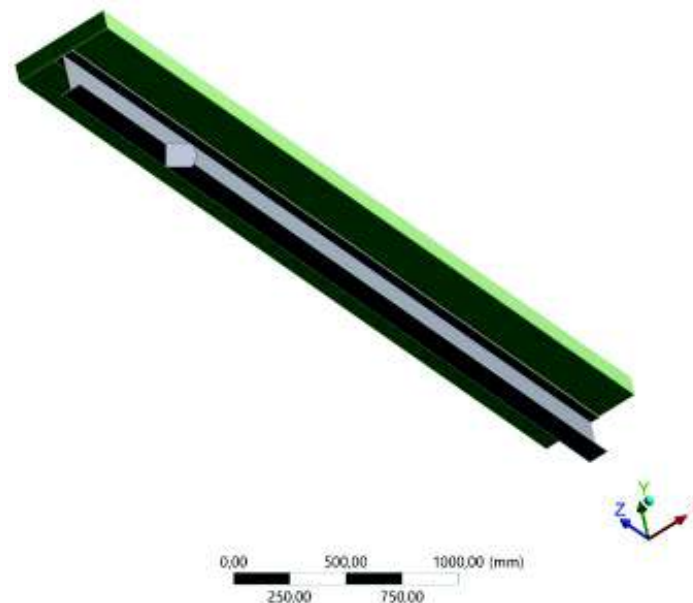


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

➤ **Convección Experimental**

En esta condición las superficies que sufren afectación por la convección debido a los gases del fuego estándar son las que se presentan en la FIGURA A.14.

FIGURA A.14 Superficies expuestas a la convección experimental en el Modelo V1



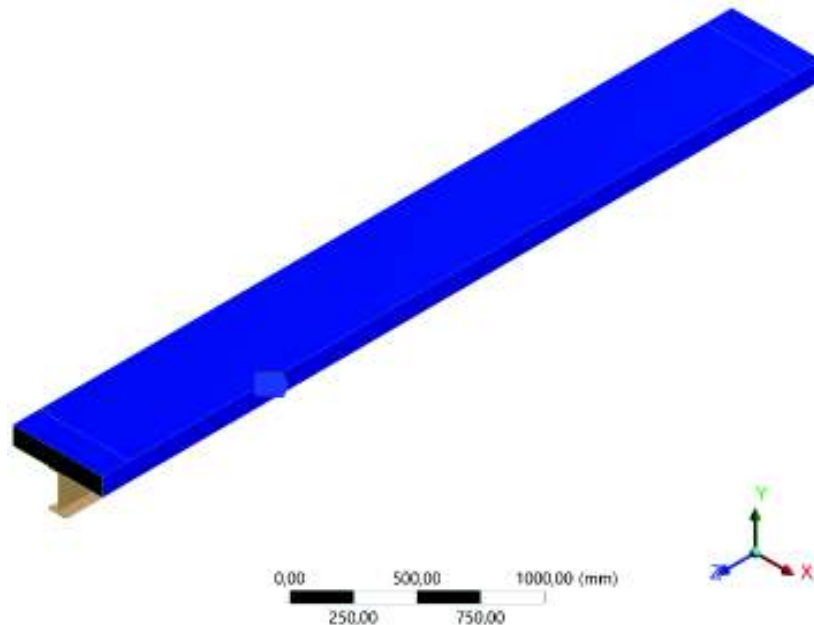
ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

El valor del coeficiente de convección debido a incendios de tipo estándar se supuso igual $25 [W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$, según el EN 1991-1-2 (2002).

➤ Convección al Ambiente

Las superficies de la viga compuesta V1 que se encuentran transfiriendo calor con el ambiente en el momento del incendio, corresponden a la cara superior de la losa como las caras en dirección longitudinal de la misma. Conforme lo especifica el Eurocódigo 1 (EN 1991-1-2, 2002) el coeficiente de convección para este caso y, como se está tomando en consideración la radiación, debe ser igual a $9 [W/(m^2 \cdot ^\circ K)]$.

FIGURA A.15 Superficies expuestas a la convección ambiental en el Modelo V1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

• CRITERIOS DE RESOLUCIÓN PARA EL MÓDULO TÉRMICO

A continuación, se describen los principales parámetros que se tomaron en cuenta para que el análisis térmico sea resuelto:

- ♦ Se establece el valor de temperatura inicial igual a $20 [^\circ C]$ en *Initial Temperature* → *Initial Temperature Value*.
- ♦ La simulación térmica se realiza para un tiempo total de $3600 [s]$, dividiéndolo en un número de 13 pasos (empezando desde 1, 300, 600 hasta $3600 [s]$), se admite que la opción *Auto Time Stepping* sea

controlado por el propio programa donde se especifica que el tiempo inicial de cada paso sea de 3 [s], el tiempo mínimo igual a 0.3 [s] y el tiempo máximo de cada paso sea de 30 [s].

- ◆ Finalmente, para que el programa advierta que se está modelando para una situación transitoria se debe activar la opción *Time Integration* → *On* desde *Analysis Settings*. Los demás parámetros que integra este tipo de análisis es controlado por el software FEA.

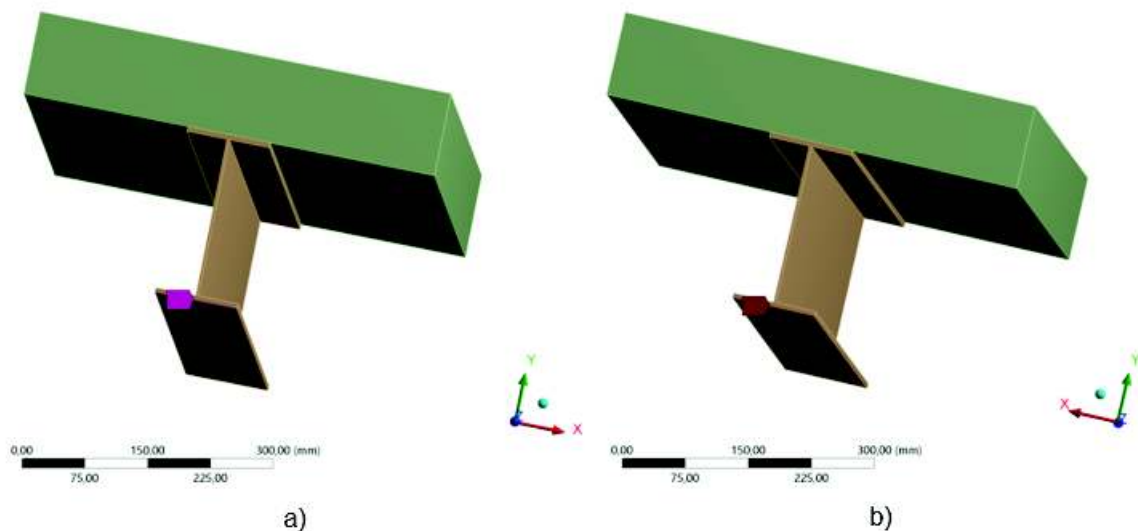
6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

• CONDICIONES DE BORDE O DE CONTORNO

➤ Restricciones

La viga metálica que forma parte del sistema en entrepiso del Modelo V1 corresponde a una viga simplemente apoyada que no puede trasladarse en las direcciones “x”, “y” y “z”, por tal razón se modela una restricción de tipo *Fixed Support* en el eje del patín inferior de ambos extremos de la viga, así como se puede observar en la FIGURA A. 16.

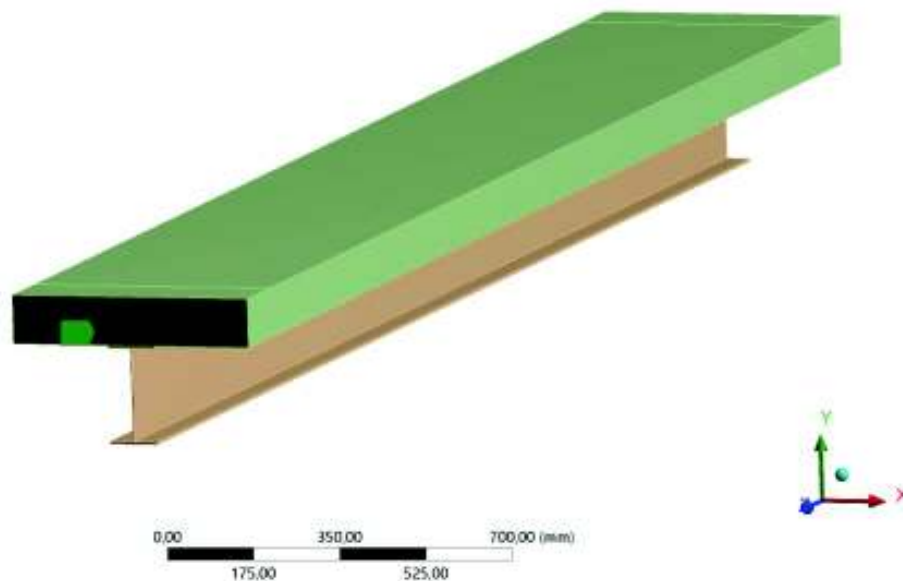
FIGURA A.16 Apoyo simple a) izquierdo y b) derecho de la viga metálica V1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

También se procedió a colocar restricciones en las caras laterales de la losa dado que este elemento se supone que se encuentra empotrada en sus dos extremos, así como se muestra en la FIGURA A.17.

FIGURA A.17 Restricciones en las caras laterales de los extremos de la losa



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

➤ **Determinación de Cargas**

El respectivo cálculo de la fuerza producida por el peso de las paredes que actúa sobre la viga compuesta V1 se ejemplifica en la TABLA A.4 y en la FIGURA A.18 se muestra la representación tridimensional del modelo computacional. Al igual que en el Modelo VT1, las paredes están compuestas por mampostería de ladrillo cerámico prensado, con un valor de densidad igual a $19.2 [kN/m^3]$ (NEC-SE-CG, 2015).

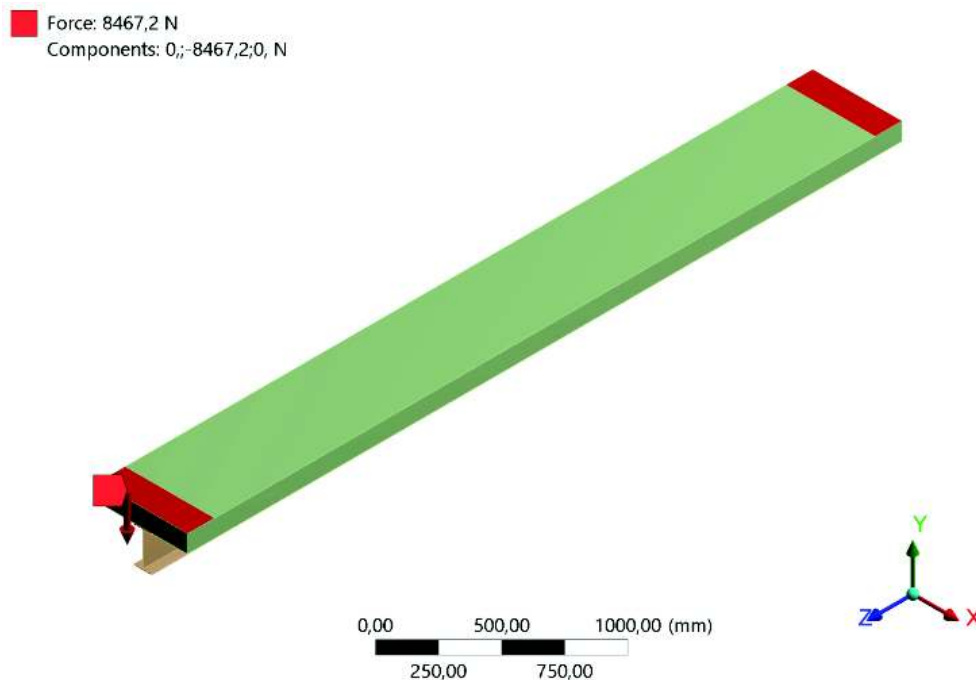
Los pasos a seguir para ingresar la fuerza de las paredes se enuncian así: *Loads* → *Force* → *Define by* → *Components* → *Y Component: -8467.20 N*, sin antes haber seleccionado las superficies generadas sobre la losa para poder simplificar el peso de las paredes en esas zonas.

TABLA A.4 Cálculo de la fuerza debido al peso propio de las paredes en el Modelo V1

CARGA MUERTA PAREDES - MODELO V1			
Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidades
H	Altura	3,00	[m]
b_{pared}	Ancho	0,50	[m]
e_{pared}	Espesor	0,15	[m]
V_{pared}	Volumen	0,23	[m ³]
$\gamma_{ladrillo}$	Peso específico de la mampostería	1920	[kg/m ³]
$N^{\circ}_{paredes}$	Número de paredes	2	-
$F_{paredes}$	Fuerza por peso propio	864,0	[kg]
		8467,20	[N]

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

FIGURA A.18 Aplicación de la carga debido al peso propio de las paredes en el Modelo V1

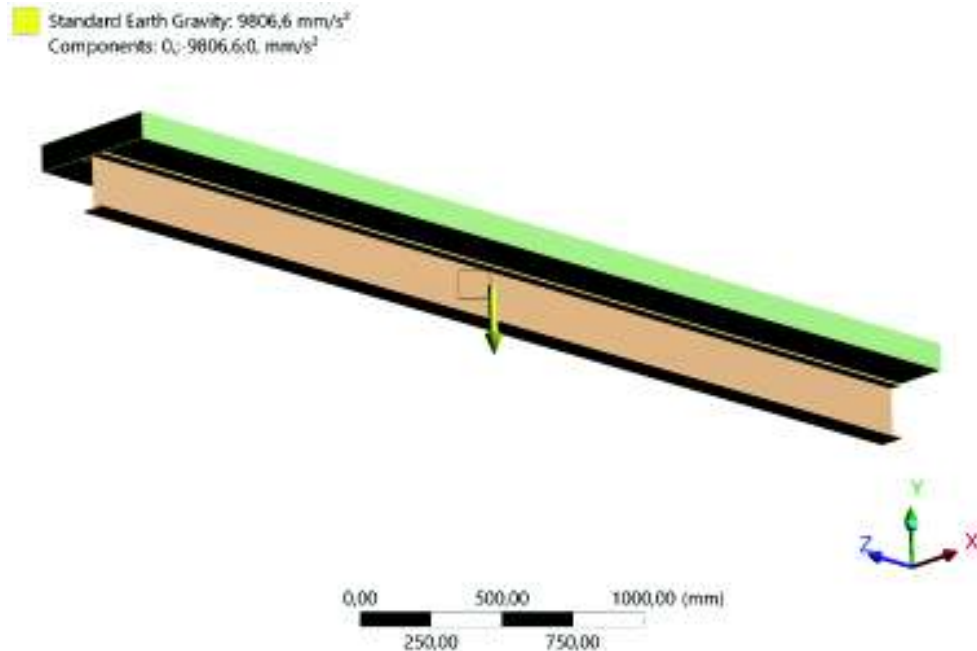


ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

Para activar el peso propio de los elementos que están componiendo la modelación se debe escoger la opción: *Inertial* → *Standard Earth Gravity*, luego se selecciona en *Geometry* → *All bodies* y se debe precisar la dirección de la gravedad en la

dirección “y” negativa. Asimismo, en la FIGURA A.19 se representa la asignación de la gravedad y el peso propio de los sólidos.

FIGURA A.19 Aplicación de la carga debido al peso propio de las paredes en el Modelo V1



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

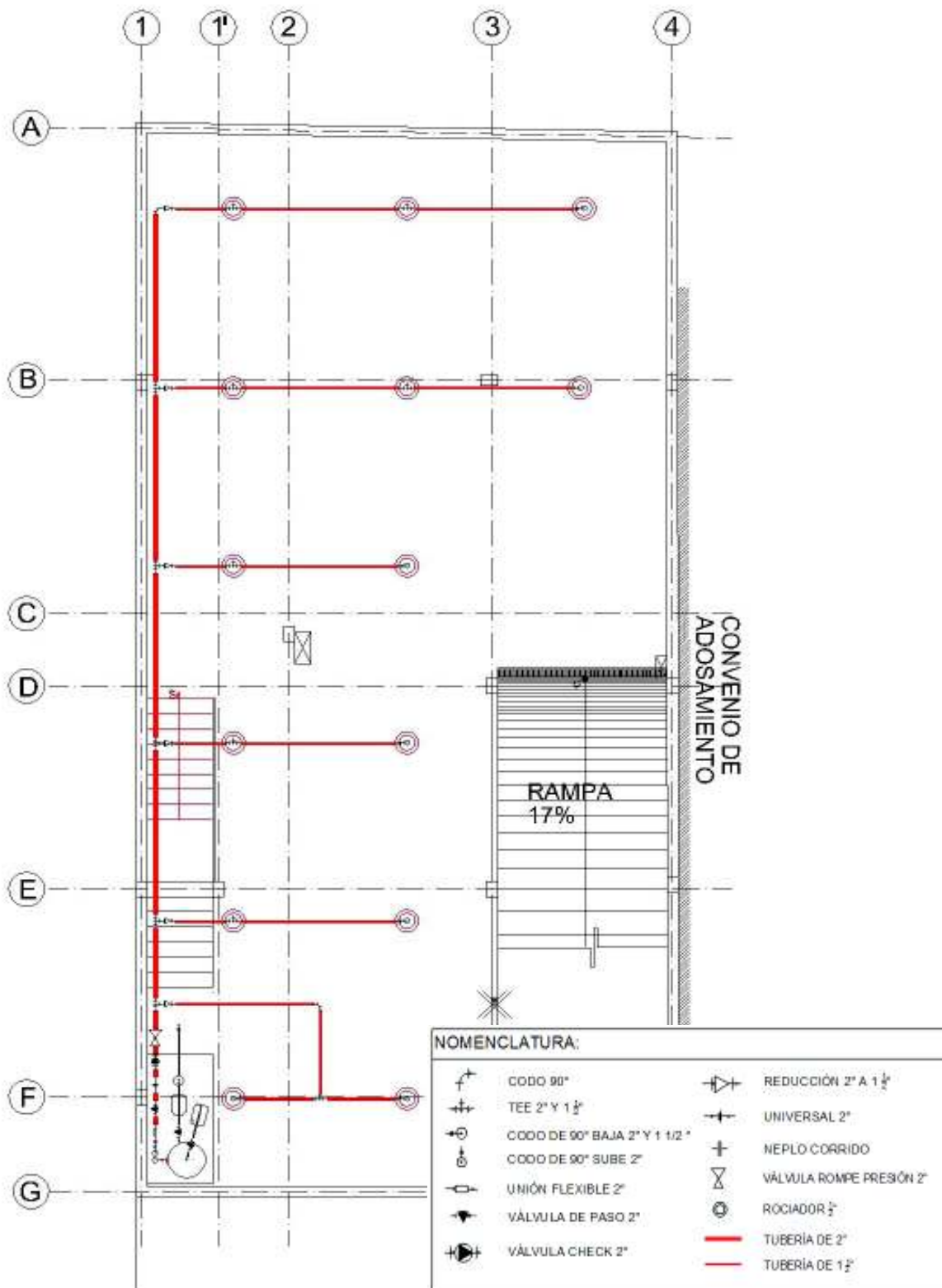
- **CRITERIOS PARA LA RESOLUCIÓN DEL MÓDULO ESTRUCTURAL**

En este apartado, se describen los principales parámetros que se tomaron en cuenta para que el análisis estructural pueda ser solucionado:

- ♦ El tiempo de la simulación estática estructural se define, desde *Analysis Settings*, para un tiempo total de 550 [s], dividiéndolo en un número de pasos igual a 7 (10, 100, 190, 280, 370, 460 y 550). Se establece que las opciones *Auto Time Stepping*, *Solver Type* y *Newton Raphson Option* sean controlados por el propio programa al igual que otros parámetros que vienen por defecto en el módulo *Static Structural*.
- ♦ Como último paso, se importa la carga de temperatura (*Imported Load* → *Imported Body Temperature*) que resultó del análisis termal, precisando 2 pasos que son: el tiempo al 1 [s] y el tiempo final (*End Time*) equivalente al que se propuso en la parte estructural que es de 550 [s].

ANEXO N° 3:

**UBICACIÓN DEL SISTEMA DE ROCIADORES EN EL ÁREA DE DISEÑO DE
LOS PARQUEADEROS DEL EDIFICIO “TORINO”**



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 4:

TABLA DE ESPESORES PARA MORTEROS IGNÍFUGOS

Factores de forma [m ⁻¹]	Espesor de Perfiles tipo I [mm]						
	R15	R30	R45	R60	R90	R120	R180
60	10	10	10	12	17	23	33
65	10	10	10	13	18	23	34
70	10	10	11	13	19	24	35
75	10	10	11	14	19	24	35
80	10	10	11	14	19	25	36
85	10	10	11	14	20	25	36
90	10	10	12	15	20	26	37
95	10	10	12	15	20	26	37
100	10	10	12	15	21	26	38
110	10	10	13	16	21	27	39
120	10	10	13	16	22	28	39
130	10	11	13	16	22	28	40
140	10	11	13	16	22	28	40
150	10	11	14	17	23	29	41
160	10	11	14	17	23	29	41
170	10	11	14	17	23	29	41
180	10	11	14	17	23	30	42
190	10	11	14	17	24	30	42
200	10	11	15	18	24	30	42
210	10	12	15	18	24	30	43
220	10	12	15	18	24	30	43
230	10	12	15	18	24	30	43
240	10	12	15	18	24	31	43
250	10	12	15	18	24	31	43
260	10	12	15	18	25	31	43
270	10	12	15	18	25	31	44
280	10	12	15	18	25	31	44
290	10	12	15	18	25	31	44
300	10	12	15	19	25	31	44
310	10	12	15	19	25	31	44
320	10	12	15	19	25	31	44
330	10	12	16	19	25	31	44
340	10	12	16	19	25	32	44

FUENTE: (Hadid, 2008)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 5:

TABLA DE ESPESORES DE PINTURAS INTUMESCENTES

Factores de forma [m ⁻¹]	Espesor de Perfiles tipo I [micras]				
	R15	R30	R45	R60	R90
67	188	188	188	412	1155
70	188	188	188	457	1197
75	188	188	188	516	1252
80	188	188	200	566	1299
85	188	188	245	611	1341
90	188	188	286	650	1377
95	188	188	322	684	1410
100	188	188	354	715	1439
105	188	188	383	743	1465
110	188	188	409	769	1489
115	188	188	432	792	1511
120	188	188	454	813	1530
125	188	188	474	832	1548
130	188	188	492	850	1565
135	188	188	509	866	1580
140	188	188	525	881	1595
145	188	188	539	895	1608
150	188	197	553	909	1620
155	188	210	565	921	1632
160	188	222	577	932	1642
165	188	234	588	943	1652
170	188	244	599	953	1662
175	188	254	609	963	1671
180	188	264	618	972	1679
185	188	273	626	980	1687
190	188	281	635	988	1695
195	188	290	643	996	1702
200	188	297	650	1003	1708
205	188	304	657	1010	1715
210	188	311	664	1016	1721
215	188	318	670	1022	1727
220	188	324	676	1028	1732
225	188	330	682	1034	1737

FUENTE: (PROMAT, 2017)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 5: CONTINUACIÓN

Factores de forma [m ⁻¹]	Espesor de Perfiles tipo I [micras]				
	R15	R30	R45	R60	R90
230	188	336	688	1039	1743
235	188	341	693	1044	1747
240	188	347	698	1049	1752
245	188	352	703	1054	1756
250	188	356	707	1059	1761
255	188	361	712	1063	1765
260	188	365	716	1067	1769
265	188	370	720	1071	1772
270	188	374	724	1075	1776
275	188	378	728	1079	1780
280	188	382	732	1082	1783
285	188	385	735	1086	1786
290	188	389	739	1089	1789
295	188	392	742	1092	1792
300	188	396	745	1095	1795
305	188	399	749	1098	1798
310	188	402	752	1101	1801
315	188	405	754	1104	1803
320	188	408	757	1107	1806
325	188	411	760	1109	1808
330	188	413	763	1112	1811
335	188	416	765	1115	1813
340	188	418	768	1117	1815
345	188	421	770	1119	1818

FUENTE: (PROMAT, 2017)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 6:

TABLA DE ESPESORES DE PLACAS DE YESO

Factores de forma [m ⁻¹]	Espesor de Perfiles tipo I [mm]					
	R15	R30	R60	R90	R120	R180
46	25	25	25	25	27,5	50
50	25	25	25	25	27,5	50
60	25	25	25	25	37,5	-
70	25	25	25	25	37,5	-
80	25	25	25	27,5	37,5	-
90	25	25	25	27,5	40	-
100	25	25	25	30	40	-
110	25	25	25	30	50	-
120	25	25	25	30	50	-
130	25	25	25	37,5	50	-
140	25	25	25	37,5	50	-
150	25	25	25	37,5	50	-
160	25	25	25	37,5	50	-
170	25	25	25	37,5	50	-
180	25	25	25	37,5	50	-
190	25	25	25	37,5	50	-
200	25	25	25	37,5	50	-
210	25	25	25	37,5	50	-
220	25	25	25	37,5	50	-
230	25	25	25	37,5	50	-
240	25	25	25	37,5	50	-
250	25	25	25	37,5	50	-
260	25	25	25	37,5	50	-
270	25	25	25	37,5	50	-
280	25	25	25	37,5	50	-
290	25	25	25	37,5	50	-
300	25	25	25	37,5	50	-
310	25	25	25	37,5	50	-
320	25	25	25	37,5	50	-
330	25	25	25	37,5	-	-
340	25	25	25	37,5	-	-
342	25	25	25	37,5	-	-

FUENTE: (Hadid, 2008)

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 7:
APU's DE MORTEROS IGNÍFUGOS

ANEXO N° 7.1:

APU MORTEROS IGNÍFUGOS PARA VIGA VT4

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Mortero: Sikacrete-213F, Viga metálica VT4 Necesidad: 1.45 m²/m y 1.7 cm de grosorDETALLE: Rendimiento Sikacrete-213F = 7.5 kg/m² y 10 mm de grosor; Agua = 1 lt/1 kg de Sikacrete 213F

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,200	0,53
Rociadores de mortero AIRLESS con Pistola	1	2,64	2,64	1,200	3,17
Andamios	4	2,65	10,60	1,200	12,72
SUBTOTAL M:					16,42
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,200	5,27
Pintor Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,200	5,33
SUBTOTAL N:					10,60
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Pintura anticorrosiva	lt	0,290	4,50	1,31	
Thinner	lt	0,073	2,00	0,15	
Agua	lt	18,488	0,01	0,18	
Mortero Sikacrete 213 (sacos de 12.5 Kg)	Kg	18,488	5,44	100,57	
SUBTOTAL O:					100,57
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					127,59
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					25,52
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					153,10
VALOR OFERTADO					153,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 7.2:

APU MORTEROS IGNÍFUGOS PARA VIGA VT1

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Mortero: Sikacrete-213F, Viga metálica VT1 Necesidad: 1.33 m²/m y 1.8 cm de grosorDETALLE: Rendimiento Sikacrete-213F = 7.5 kg/m² y 10 mm de grosor; Agua = 1 lt/1 kg de Sikacrete 213F

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,100	0,49
Rociadores de mortero AIRLESS con Pistola	1	2,64	2,64	1,100	2,90
Andamios	4	2,65	10,60	1,100	11,66
SUBTOTAL M:					15,05
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,100	4,83
Pintor Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,100	4,88
SUBTOTAL N:					9,71
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Pintura anticorrosiva	lt	0,266	4,50	1,20	
Thinner	lt	0,067	2,00	0,13	
Agua	lt	17,955	0,01	0,18	
Mortero Sikacrete 213 (sacos de 12.5 Kg)	Kg	17,955	5,44	97,68	
SUBTOTAL O:					97,68
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					122,44
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					24,49
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					146,93
VALOR OFERTADO					147,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 7.3:

APU MORTEROS IGNÍFUGOS PARA VIGA V4

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Mortero: Sikacrete-213F, Viga metálica V4 Necesidad: 0.86 m²/m y 1.9 cm de grosorDETALLE: Rendimiento Sikacrete-213F = 7.5 kg/m² y 10 mm de grosor; Agua = 1 lt/1 kg de Sikacrete 213F

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,710	0,31
Rociadores de mortero AIRLESS con Pistola	1	2,64	2,64	0,710	1,87
Andamios	4	2,65	10,60	0,710	7,53
SUBTOTAL M:					9,71
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,710	3,12
Pintor Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,710	3,15
SUBTOTAL N:					6,27
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Pintura anticorrosiva	lt	0,172	4,50	0,77	
Thinner	lt	0,043	2,00	0,09	
Agua	lt	12,255	0,01	0,12	
Mortero Sikacrete 213 (sacos de 12.5 Kg)	Kg	12,255	5,44	66,67	
SUBTOTAL O:					66,67
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					82,65
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					16,53
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					99,18
VALOR OFERTADO					99,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 7.4:

APU MORTEROS IGNÍFUGOS PARA VIGA V1

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Mortero: Sikacrete-213F, Viga metálica V1 Necesidad: 0.70 m²/m y 1.9 cm de grosorDETALLE: Rendimiento Sikacrete-213F = 7.5 kg/m² y 10 mm de grosor; Agua = 1 lt/1 kg de Sikacrete 213F

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,580	0,26
Rociadores de mortero AIRLESS con Pistola	1	2,64	2,64	0,580	1,53
Andamios	4	2,65	10,60	0,580	6,15
SUBTOTAL M:					7,94
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,580	2,55
Pintor Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,580	2,58
SUBTOTAL N:					5,12
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Pintura anticorrosiva	lt	0,140	4,50	0,63	
Thinner	lt	0,035	2,00	0,07	
Agua	lt	9,975	0,01	0,10	
Mortero Sikacrete 213 (sacos de 12.5Kg)	Kg	9,975	5,44	54,26	
SUBTOTAL O:					54,26
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					67,32
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					13,46
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					80,78
VALOR OFERTADO					81,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 8:
APU's DE PINTURAS INTUMESCENTES

ANEXO N° 8.1:

APU PINTURAS INTUMESCENTES PARA VIGA VT4

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Pintura Intumescentes Viga metálica VT4, 980 µ de grosor

DETALLE: Rendimiento: 1 litro de pintura/m² y 750 µ de grosor - Superficie a pintar por c/m = 1.45 m²

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,400	0,18
Rociadores de pintura AIRLESS con Pistola	1	2,64	2,64	0,400	1,06
Andamios	4	2,65	10,60	0,400	4,24
SUBTOTAL M:					5,47
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,400	1,76
Pintor Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,400	1,78
SUBTOTAL N:					3,53
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Pintura anticorrosiva	lt	0,290	4,50	1,31	
Pintura intumescente	lt	1,895	39,21	74,29	
Thinner	lt	0,073	2,00	0,15	
SUBTOTAL O:					75,74
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					84,74
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					16,95
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					101,69
VALOR OFERTADO					102,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 8.2:

APU PINTURAS INTUMESCENTES PARA VIGA VT1

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Pintura Intumescentes Viga metálica VT1, 1034 μ de grosorDETALLE: Rendimiento: 1 litro de pintura/m² y 750 μ de grosor - Superficie a pintar por c/m = 1.33 m²

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,370	0,16
Rociadores de pintura AIRLESS con Pistola	1	2,64	2,64	0,370	0,98
Andamios	4	2,65	10,60	0,370	3,92
SUBTOTAL M:					5,06
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,370	1,62
Pintor Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,370	1,64
SUBTOTAL N:					3,27
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Pintura anticorrosiva	lt	0,266	4,50	1,20	
Pintura intumescente	lt	1,834	39,21	71,90	
Thinner	lt	0,067	2,00	0,13	
SUBTOTAL O:					73,23
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					81,56
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					16,31
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					97,87
VALOR OFERTADO					98,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 8.3:

APU PINTURAS INTUMESCENTES PARA VIGA V4

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Pintura Intumescentes Viga metálica V4, 1112 µ de grosor

DETALLE: Rendimiento: 1 litro de pintura/m² y 750 µ de grosor - Superficie a pintar por c/m = 0.86 m²

EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,240	0,11	
Rociadores de pintura AIRLESS con Pistola	1	2,64	2,64	0,240	0,63	
Andamios	4	2,65	10,60	0,240	2,54	
SUBTOTAL M:					3,28	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,240	1,05	
Pintor Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,240	1,07	
SUBTOTAL N:					2,12	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Pintura anticorrosiva	lt	0,172	4,50	0,77		
Pintura intumescente	lt	1,275	39,21	50,00		
Thinner	lt	0,043	2,00	0,09		
SUBTOTAL O:					50,86	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
SUBTOTAL P:						
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					56,26	
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					11,25	
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					67,51	
VALOR OFERTADO					68,00	

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 8.4:**APU PINTURAS INTUMESCENTES PARA VIGA V1****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD: ml

RUBRO: Pintura Intumescentes Viga metálica V1, 1119 µ de grosor

DETALLE: Rendimiento: 1 litro de pintura/m² y 750 µ de grosor - Superficie a pintar por c/m = 0.70 m²

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,193	0,09
Rociadores de pintura AIRLESS con Pistola	1	2,64	2,64	0,193	0,51
Andamios	4	2,65	10,60	0,193	2,05
SUBTOTAL M:					2,64
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,193	0,85
Pintor Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,193	0,86
SUBTOTAL N:					1,70
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Pintura anticorrosiva	lt	0,140	4,50	0,63	
Pintura intumescente	lt	1,044	39,21	40,95	
Thinner	lt	0,035	2,00	0,07	
SUBTOTAL O:					41,65
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					46,00
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					9,20
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					55,19
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					VALOR OFERTADO
					55,00

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 9:
APU's DE PLACAS DE YESO

ANEXO N° 9.1:

APU PLACA DE YESO PARA VIGA VT4

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: GYP-RF RESISTENTE AL FUEGO 60 min, Viga metálica VT4 Necesidad: 1.08 m²/m y 12.7 mm grosorDETALLE: Los metros cuadrados que cubre el sistema por viga es de 1.08 m²

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,440	0,64
Andamios	2	2,65	5,30	1,440	7,63
SUBTOTAL M:					8,27
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,440	6,32
Instalador de revestimiento en general Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,440	6,39
SUBTOTAL N:					12,72
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
PAL-TRACK 40x32x244 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,40	0,96	0,38	
PAL-STUD 40x32x2440 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,86	1,20	1,04	
GYP-RF 1.22X2.44 1/2"	U	0,74	13,15	9,73	
Tornillo BH 6X1"	U	24,84	0,01	0,25	
Tornillo LH 8050 1/2"	U	6,84	0,02	0,14	
Cinta de Juntas de papel de 250 pies	U	0,05	2,55	0,13	
Masilla Base Junta Pro Volcan 25 Kg (Polvo)	U	0,03	12,15	0,39	
Lana de Roca Volcan 120X0.50 4 cm	U	1,80	2,65	4,77	
Empaste Interior Disma 20 Kg	U	0,05	8,40	0,45	
Pintugyp Blanco Caneca	U	0,01	45,50	0,50	
SUBTOTAL O:					17,78
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					38,76
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					7,75
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					46,51
VALOR OFERTADO					47,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 9.2:

APU PLACA DE YESO PARA VIGA VT1

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: GYP-RF RESISTENTE AL FUEGO 60 min, Viga metálica VT1 Necesidad: 1.13 m²/m y 12.7 mm grosorDETALLE: Los metros cuadrados que cubre el sistema por viga es de 1.13 m²

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,510	0,67
Andamios	2	2,65	5,30	1,510	8,00
SUBTOTAL M:					8,67
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,510	6,63
Instalador de revestimiento en general Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,510	6,70
SUBTOTAL N:					13,33
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
PAL-TRACK 40x32x244 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,42	0,96	0,40	
PAL-STUD 40x32x2440 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,90	1,20	1,08	
GYP-RF 1.22X2.44 1/2"	U	0,77	13,15	10,13	
Tornillo BH 6X1"	U	26,00	0,01	0,26	
Tornillo LH 8050 1/2"	U	7,15	0,02	0,14	
Cinta de Juntas de papel de 250 pies	U	0,05	2,55	0,14	
Masilla Base Junta Pro Volcan 25 Kg (Polvo)	U	0,03	12,15	0,39	
Lana de Roca Volcan 120X0.50 4 cm	U	1,88	2,65	4,98	
Empaste Interior Disma 20 Kg	U	0,06	8,40	0,47	
Pintugyp Blanco Caneca	U	0,01	45,50	0,50	
SUBTOTAL O:					18,49
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					40,49
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					8,10
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					48,59
VALOR OFERTADO					49,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 9.3:

APU PLACA DE YESO PARA VIGA V4

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: GYP-RF RESISTENTE AL FUEGO 60 min, Viga metálica V4 Necesidad: 0.76 m²/m y 12.7 mm grosorDETALLE: Los metros cuadrados que cubre el sistema por viga es de 0.76 m²

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,020	0,32
Andamios	2	2,65	5,30	1,020	5,41
SUBTOTAL M:					5,73
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,730	3,20
Instalador de revestimiento en general Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,730	3,24
SUBTOTAL N:					6,45
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
PAL-TRACK 40x32x244 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,28	0,96	0,27	
PAL-STUD 40x32x2440 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,61	1,20	0,73	
GYP-RF 1.22X2.44 1/2"	U	0,52	13,15	6,84	
Tornillo BH 6X1"	U	17,49	0,01	0,17	
Tornillo LH 8050 1/2"	U	4,81	0,02	0,10	
Cinta de Juntas de papel de 250 pies	U	0,03	2,55	0,08	
Masilla Base Junta Pro Volcan 25 Kg (Polvo)	U	0,02	12,15	0,24	
Lana de Roca Volcan 120X0.50 4 cm	U	1,26	2,65	3,34	
Empaste Interior Disma 20 Kg	U	0,04	8,40	0,32	
Pintugyp Blanco Caneca	U	0,01	45,50	0,50	
SUBTOTAL O:					12,59
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					24,76
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					4,95
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					29,71
VALOR OFERTADO					30,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 9.4:

APU PLACA DE YESO PARA VIGA V1

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: GYP-RF RESISTENTE AL FUEGO, Viga metálica V1 Necesidad: 0.63 m²/m y 12.7 mm grosorDETALLE: Los metros cuadrados que cubre el sistema por viga es de 0.63 m²

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,840	0,37
Andamios	2	2,65	5,30	0,840	4,45
SUBTOTAL M:					4,82
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,840	3,69
Instalador de revestimiento en general Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,840	3,73
SUBTOTAL N:					7,42
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
PAL-TRACK 40x32x244 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,23	0,96	0,22	
PAL-STUD 40x32x2440 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,50	1,20	0,60	
GYP-RF 1.22X2.44 1/2"	U	0,43	13,15	5,65	
Tornillo BH 6X1"	U	14,50	0,01	0,15	
Tornillo LH 8050 1/2"	U	3,99	0,02	0,08	
Cinta de Juntas de papel de 250 pies	U	0,03	2,55	0,06	
Masilla Base Junta Pro Volcan 25 Kg (Polvo)	U	0,02	12,15	0,19	
Lana de Roca Volcan 120X0.50 4 cm	U	1,04	2,65	2,76	
Empaste Interior Disma 20 Kg	U	0,03	8,40	0,26	
Pintugyp Blanco Caneca	U	0,01	45,50	0,50	
SUBTOTAL O:					10,48
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					22,72
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					4,54
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					27,26
VALOR OFERTADO					27,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 9.5:

APU PLACA DE YESO CIELO RASO GYPSUM-RF

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: m²

RUBRO: CIELO RASO GYPSUM-RF GYPLAC RESISTENTE AL FUEGO 60 MINUTOS

DETALLE: La plancha es de 1/2" de grosor con el sistema resistente al fuego

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,330	0,59
Andamios	2	2,65	5,30	1,330	7,05
SUBTOTAL M:					7,64
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,330	5,84
Instalador de revestimiento en general Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,330	5,91
SUBTOTAL N:					11,74
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
PAL-TRACK 40x32x244 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,37	0,96	0,36	
PAL-STUD 40x32x2440 (1 5/8) 0.45 mm	U	0,80	1,20	0,96	
GYP-RF 1.22X2.44 1/2"	U	0,69	13,15	9,07	
Tornillo BH 6X1"	U	23,00	0,01	0,23	
Tornillo LH 8050 1/2"	U	6,33	0,02	0,13	
Cinta de Juntas de papel de 250 pies	U	0,05	2,55	0,13	
Masilla Base Junta Pro Volcan 25 Kg (Polvo)	U	0,03	12,15	0,39	
Lana de Roca Volcan 120X0.50 4 cm	U	1,66	2,65	4,40	
Empaste Interior Disma 20 Kg	U	0,05	8,40	0,42	
Pintugyp Blanco Caneca	U	0,01	45,50	0,46	
SUBTOTAL O:					16,54
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					35,92
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					7,18
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					43,10
VALOR OFERTADO					43,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 9.6:**APU PLACA DE YESO CIELO RASO GYPSUM-RE****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**UNIDAD: m²

RUBRO: CIELO RASO GYPSUM-RE (STANDARD)

DETALLE: La plancha es de 1/2" de grosor - Una sola plancha

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,050	0,46
Andamios	2	2,65	5,30	1,050	5,57
SUBTOTAL M:					6,03
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,050	4,61
Instalador de revestimiento en general Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,050	4,66
SUBTOTAL N:					9,27
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
CKL Ángulo 0.45X3.05	U	0,43	0,54	0,23	
CKL Furring 3666 0.45 mm	U	0,54	1,66	0,90	
CKL Canal de Carga 40X12X3.6X0.7	U	0,25	1,42	0,36	
GYP-RE GYPSUM 1.22X2.44 1/2"	U	0,35	7,50	2,63	
Tornillo BH 6X1"	U	13,80	0,01	0,14	
Clavo Impacto 1" / Fulminante Verde C/100	U	0,01	9,00	0,09	
Clavo de acero negro 3/4"	U	1,00	0,01	0,01	
Tornillo LH 8050 1/2"	U	4,60	0,02	0,09	
Cinta de Juntas de papel de 250 pies	U	0,02	2,55	0,05	
Masilla Base Junta Pro Volcan 25 Kg (Polvo)	U	0,01	12,15	0,15	
Empaste Interior Disma 20 Kg	U	0,05	8,40	0,42	
Pintugyp Blanco Caneca	U	0,01	45,50	0,46	
SUBTOTAL O:					5,51
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					20,81
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					4,16
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					24,97
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					VALOR OFERTADO
					25,00

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10:

**APU's SISTEMA DE ROCIADORES Y DE ALARMA CONTRA INCENDIOS,
BOMBAS DE AGUA Y CISTERNA**

ANEXO N° 10.1:**APU ROCIADOR****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD: U

RUBRO: Rociadores (SPRINKLERS)

DETALLE: Diámetro del rociador 1/2"

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,800	0,54
Andamios	2	2,65	5,30	0,800	4,24
SUBTOTAL M:					4,78
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,800	3,51
Plomero Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,800	3,55
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	0,800	3,68
SUBTOTAL N:					10,74
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Permatex 2A 1 1/2 onzas	1.5 onzas	0,100	1,530	0,15	
Cinta 1 teflón 12 mmX10m C/carrete PLASTIGAMA	U	0,100	0,420	0,04	
Rociador (SPLINKER) cromado 1/2"	U	1,000	15,750	15,75	
SUBTOTAL O:					15,95
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					31,47
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					6,29
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					37,76
VALOR OFERTADO					38,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.2:

APU TUBERÍA PRINCIPAL 2"

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Tubería negra ASTM A53 o ASTM 135 2"

DETALLE: Tubería cédula 40

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,400	0,36
Andamios (módulo)	2	2,65	5,30	0,400	2,12
Maquinaria ranuradora y/o roscadora	1	1,50	1,50	0,400	0,60
SUBTOTAL M:					3,08
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Ayudante Estr. Oc. D2	2	4,39	8,78	0,400	3,51
Plomero Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,400	1,78
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	0,400	1,84
SUBTOTAL N:					7,13
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Tubería cédula 40 de 2"	m	1,020	22,31	22,76	
Valvula, GG Check de 2"	U	0,057	260,48	14,85	
Válvula de paso de 2"	U	0,057	15,00	0,86	
Valvula de presión 2"	U	0,057	176,00	10,03	
Unión roscada de 2"	U	0,057	4,56	0,26	
Neplo corridode 2"	U	0,057	3,50	0,20	
Codo 90° ranurado 2"	U	0,170	6,86	1,17	
Universal 2"	U	0,057	6,86	0,39	
Tee ranurada 2"	U	0,344	6,86	2,36	
Reducción roscada de 2" a 1 1/2"	U	0,344	6,25	2,15	
SUBTOTAL O:					55,02
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					65,22
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					13,04
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					78,27
VALOR OFERTADO					78,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.3:

APU TUBERÍA SECUNDARIA 1 1/2"

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: ml

RUBRO: Tubería negra ASTM A53 o ASTM 135 1 1/2"

DETALLE: Tubería cédula 40

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,350	0,31
Andamios (módulo)	2	2,65	5,30	0,350	1,86
Maquinaria ranuradora y/o roscadora	1	1,50	1,50	0,350	0,53
SUBTOTAL M:					2,69
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Ayudante Estr. Oc. D2	2	4,39	8,78	0,350	3,07
Plomero Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,350	1,55
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	0,350	1,61
SUBTOTAL N:					6,24
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Tubería cédula 40 de 1 1/2"	m	1,020	13,72	13,99	
Codo 90° ranurado 1 1/2"	U	0,250	4,57	1,14	
Tee ranurada 1 1/2"	U	0,250	5,50	1,38	
SUBTOTAL O:					16,51
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					25,44
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					5,09
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					30,53
VALOR OFERTADO					31,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.4:

APU PANEL DE CONTROL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: U

RUBRO: Panel de control

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,900	1,28
SUBTOTAL M:					1,28
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,900	8,34
Electricista Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,900	8,44
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	1,900	8,74
SUBTOTAL N:					25,52
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Panel de control	U	1,000	862,50	862,50	
Módulo de expansión	U	1,000	402,50	402,50	
Cable para todo el sistema 2x18 AWG anti flama, trenzado	m	300,000	1,50	450,00	
SUBTOTAL O:					1.715,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					1.741,79
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					348,36
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2.090,15
VALOR OFERTADO					2.090,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.5:

APU DETECTOR DE HUMO CON BASE

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: U

RUBRO: Detector de humo con base

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,900	1,28
SUBTOTAL M:					1,28
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,900	8,34
Electricista Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,900	8,44
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	1,900	8,74
SUBTOTAL N:					25,52
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Sensor de humo	U	1,000	69,00	69,00	
Base de sensor de humo	U	1,000	13,80	13,80	
SUBTOTAL O:					82,80
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					109,59
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					21,92
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					131,51
VALOR OFERTADO					132,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.6:

APU ESTACIÓN MANUAL DE INCENDIOS

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: U

RUBRO: Estación manual de incendios

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,900	1,28
SUBTOTAL M:					1,28
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,900	8,34
Electricista Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,900	8,44
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	1,900	8,74
SUBTOTAL N:					25,52
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Estación manual de incendios FMM-7045	U	1,000	81,65	81,65	
SUBTOTAL O:					81,65
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					108,44
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					21,69
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					130,13
VALOR OFERTADO					130,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.7:

APU TECLADO DIRECCIONABLE

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: U

RUBRO: Teclado direccional

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,900	1,28
SUBTOTAL M:					1,28
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,900	8,34
Electricista Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,900	8,44
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	1,900	8,74
SUBTOTAL N:					25,52
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Teclado direccional D7033	U	1,000	172,50	172,50	
SUBTOTAL O:					172,50
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					199,29
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					39,86
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					239,15
VALOR OFERTADO					239,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.8:

APU SIRENA ESTROBOSCÓPICA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: U

RUBRO: Sirena estroboscópica

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,900	1,28
SUBTOTAL M:					1,28
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,900	8,34
Electricista Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,900	8,44
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	1,900	8,74
SUBTOTAL N:					25,52
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Sirena estroboscópica	U	1,000	17,25	17,25	
SUBTOTAL O:					17,25
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					44,04
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					8,81
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					52,85
VALOR OFERTADO					53,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.9:

APU BOMBAS DE AGUA Y TANQUE HIDRONEUMÁTICO

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: U

RUBRO: Bomba de agua centrífuga 2 HP 2x2 500 l/min eléctrica
 DETALLE: Adicional presupuestamos una bomba de gasolina de emergencia

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,000	0,67
SUBTOTAL M:					0,67
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	1,000	4,39
Plomero Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	1,000	4,44
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	1,000	4,60
SUBTOTAL N:					13,43
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Bomba de agua centrífuga 2 HP 2x2 l/min eléctrica	U	1,000	278,90	278,90	
Bomba de agua elevadora de alta presión 2x2 16 HP a gasolina	U	1,000	788,25	788,25	
Tanque de presión hidroneumático de 80gl	U	1,000	652,80	652,80	
Unión PVC roscable 2"	U	3,000	1,80	5,40	
Unión PVC roscable 1 1/2"	U	3,000	1,20	3,60	
Universal PVC 2"	U	1,000	3,60	3,60	
Universal PVC 1 1/2"	U	2,000	3,20	6,40	
Codo PVC roscable 90° d=2"	U	1,000	1,70	1,70	
Codo PVC roscable 90° d=1 1/2"	U	3,000	1,40	4,20	
Neplo PVC roscable d=2" x 10cm	U	1,000	1,60	1,60	
Neplo PVC roscable d=2" x 15cm	U	1,000	1,80	1,80	
Neplo PVC roscable d=1 1/2" x 10cm	U	3,000	1,40	4,20	
Neplo PVC roscable d=1 1/2" x 20cm	U	1,000	1,70	1,70	
Neplo PVC roscable d=1 1/2"	U	4,000	1,80	7,20	
Valvula kitz tipo bola 1 1/2"	U	1,000	18,60	18,60	
Valvula de pie d=1 1/2" (check)	U	1,000	22,40	22,40	
Teflón pequeño	U	4,000	0,80	3,20	
Tee PVC roscable 1 1/2"	U	1,000	1,45	1,45	
Tapón macho 1 1/2"	U	1,000	0,60	0,60	
SUBTOTAL O:					1.807,60
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					1.821,70
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					364,34
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2.186,04
VALOR OFERTADO					2.186,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.10:**APU CISTERNA – EXCAVACIÓN DE CIMIENTOS****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**UNIDAD: m³

RUBRO: Excavación manual de cimientos

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,800	0,53
SUBTOTAL M:					0,53
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	2	4,39	8,78	0,800	7,02
Albañil Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,800	3,55
SUBTOTAL N:					10,58
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
					0,00
					0,00
					0,00
SUBTOTAL O:					0,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					11,10
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					2,22
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					13,33
VALOR OFERTADO					13,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.11:

APU CISTERNA – ACERO DE REFUERZO

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: Kg

RUBRO: Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm²

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,030	0,02
SUBTOTAL M:					0,02
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,030	0,13
Fierrero Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,030	0,13
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	0,030	0,14
SUBTOTAL N:					0,40
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm ²	Kg	1,050	1,45	1,52	
Alambre galvanizado N° 18	Kg	0,050	2,23	0,11	
SUBTOTAL O:					1,63
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					2,06
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					0,41
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2,47
VALOR OFERTADO					2,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.12:

APU CISTERNA – HORMIGÓN SIMPLE

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: m³RUBRO: Hormigón Simple f'c = 210 kg/cm² en Cisterna

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	1,330	2,06
SUBTOTAL M:					2,06
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	4	4,39	17,56	1,330	23,35
Albañil Estr. Oc. D2	2	4,44	8,88	1,330	11,81
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	1,330	6,12
SUBTOTAL N:					41,28
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Cemento portland	Kg	360,500	0,15	54,08	
Ripio	m ³	0,714	13,75	9,82	
Arena	m ³	0,462	13,75	6,35	
Agua	m ³	0,221	0,95	0,21	
Tabla, madera de encofrado 0.3 x 2.40 m	U	9,000	3,00	27,00	
Cuartón 5x5x2.40	U	6,000	2,10	12,60	
Clavos 2", 2 1/2", 3"	Kg	1,000	2,15	2,15	
Alambre galvanizado N° 18	Kg	0,500	2,50	1,25	
SUBTOTAL O:					113,45
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					156,80
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					31,36
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					188,16
VALOR OFERTADO					188,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.13:

APU CISTERNA – ENLUCIDO VERTICAL INTERIOR

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: m²

RUBRO: Enlucido vertical interior

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,400	0,27
SUBTOTAL M:					0,27
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,400	1,76
Albañil Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,400	1,78
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	0,400	1,84
SUBTOTAL N:					5,37
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Cemento portland	Kg	11,000	0,15	1,65	
Arena	m ³	0,026	13,75	0,36	
Agua	m ³	0,010	0,95	0,01	
Impermeabilizante Sika 1	Kg	0,330	1,20	0,40	
SUBTOTAL O:					2,41
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					8,05
INDIRECTOS Y UTILIDADES				20%	1,61
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					9,66
VALOR OFERTADO					10,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.14:

APU CISTERNA – MASILLADO DE PISO

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: m²

RUBRO: Masillado de piso

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,400	0,27
SUBTOTAL M:					0,27
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,400	1,76
Albañil Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,400	1,78
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	0,400	1,84
SUBTOTAL N:					5,37
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Cemento portland	Kg	10,000	0,15	1,50	
Arena	m ³	0,026	13,75	0,36	
Agua	m ³	0,010	0,95	0,01	
Impermeabilizante Sika 1	Kg	0,330	1,20	0,40	
SUBTOTAL O:					2,26
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					7,90
INDIRECTOS Y UTILIDADES				20%	1,58
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					9,48
VALOR OFERTADO					9,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.15:

APU CISTERNA – CERCO METÁLICO

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: U

RUBRO: Cerco metálico

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,200	0,13
Soldadora a gasolina	1	2,50	2,50	0,200	0,50
SUBTOTAL M:					0,63
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,200	0,88
Fierro Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,200	0,89
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	0,200	0,92
SUBTOTAL N:					2,69
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Angulo de 2" x3mm x6m	U	0,400	5,59	2,24	
Electrodos 6011	Kg	0,050	3,40	0,17	
SUBTOTAL O:					2,41
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					5,73
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					1,15
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					6,87
VALOR OFERTADO					7,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.16:

APU CISTERNA – RESPIRADERO DE TUBERÍA 2”

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDAD: U

RUBRO: Respiradero de tubería PVC 2" L = 2 m

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M. O.	1	1,00	1,00	0,200	0,13
SUBTOTAL M:					0,13
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón Estr. Oc. E2	1	4,39	4,39	0,200	0,88
Plomero Estr. Oc. D2	1	4,44	4,44	0,200	0,89
Maestro de obra Estr. Oc. C1	1	4,60	4,60	0,200	0,92
SUBTOTAL N:					2,69
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Tubería desagüe PVC 2"	m	2,000	2,50	5,00	
Codo desagüe PVC 2" x 90°	U	2,000	1,30	2,60	
Pegamento	litros	0,005	15,20	0,08	
SUBTOTAL O:					7,68
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					10,50
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%					2,10
OTROS COSTOS INDIRECTOS %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					12,60
VALOR OFERTADO					13,00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

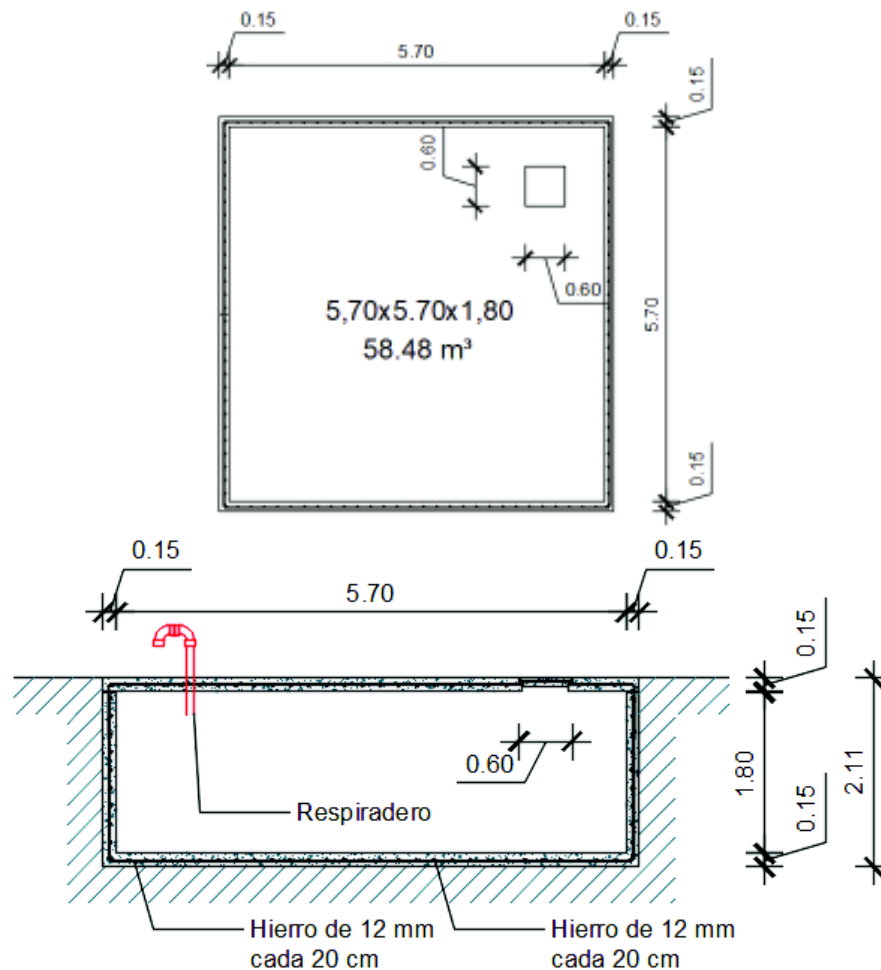
ANEXO N° 10.17:

PRESUPUESTO DE LA CISTERNA CON BOMBAS Y TANQUE HIDRONEUMÁTICO					
N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO U.	PRECIO T.
1	Excavación	m ³	75,60	13,00	982,80
2	Hierro	Kg	859,60	2,00	1.719,20
3	Hormigón 210 kg/cm ²	m ³	17,12	188,00	3.218,56
4	Enlucido	m ²	41,04	10,00	410,40
5	Masillado	m ²	32,49	9,00	292,41
6	Cerco metálico boca de visita	U	1,00	7,00	7,00
7	Respiradero de tubería 2"	U	1,00	13,00	13,00
7	Bombas de agua y tanque hidroneumático	U	1,00	2.186,00	2.186,00
TOTAL					8.829,37

ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen

ANEXO N° 10.18:

PLANTA Y CORTE DE CISTERNA



ELABORACIÓN: Carrera & Irigoyen