

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS NORTE Y SUR DEL INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES. CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres:

Flores Flores, Sammy Alejandro

Salazar Roquett, Diana Sofía

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2015

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS NORTE Y SUR DEL INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES. CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS.

Tutor Académico: Prof. María Eugenia Korody

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los bachilleres:
Flores Flores, Sammy Alejandro
Salazar Roquett, Diana Sofía
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2015

Por la presente certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS NORTE Y SUR DEL INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES. CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS.”, desarrollado por *los* bachilleres *Sammy Alejandro Flores Flores* y *Diana Sofía Salazar Roquett* para optar al título de Ingeniero Civil, y lo encuentro apropiado tanto en su contenido, como en su formato y apariencia externa.

Considerando que cumple con los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, autorizo se proceda a la entrega de los ejemplares respectivos ante el Departamento de Ingeniería Estructural, para que sea sometido a evaluación por parte del jurado examinador que le sea designado.

En Caracas, a los 30 días del mes de septiembre del año 2015.

María Eugenia Korody

DEDICATORIA

*A mis padres Sammy P. Flores R.
y Lissette C. Flores R. que me
han brindado todo su apoyo en
cada paso que he dado en mi vida.*

Sammy Alejandro Flores Flores

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a mis padres Sammy Flores y Lissette Flores por ser las personas que siempre me guían y me apoyan ante cualquier actividad que realizo, y por ser mi ejemplo a seguir durante toda mi vida. Agradezco a mi hermana Daniela Flores que siempre ha estado conmigo, y al resto de mis hermanos y familiares con quien podré contar siempre.

Agradezco a la Universidad Central de Venezuela por permitirme cumplir mi sueño de estudiar Ingeniería Civil y darme las herramientas que utilizaré en mi futuro. Además de darme la posibilidad de conocer a todos esos compañeros con quien he compartido muchas buenas experiencias estos últimos años. Gracias a todas aquellas personas que de una forma u otra me han ayudado a cumplir mi meta de graduarme de Ingeniero Civil en la mejor universidad del país.

Quiero agradecer a mi compañera Diana Salazar, estuvimos juntos en muchas de las actividades durante la carrera, y juntos cumplimos con el reto de hacer nuestro Trabajo Especial de Grado.

Muchas gracias a nuestra tutora la profesora María Korody, que siempre estuvo disponible ante cualquier consulta y nos guió a cada momento para resolver los problemas que se nos presentaban. Agradezco a los profesores Norberto Fernández, BudimirSpacic y Duilio Marcial por los datos técnicos y recomendaciones realizadas para nuestra tesis. Gracias al profesor Cesar Peñuela y al técnico Robert Burgos por su ayuda y colaboración para la realización de los ensayos no destructivos. Finalmente gracias a la Licenciada Pia Rodríguez por ayudarnos a conseguir los planos que necesitábamos y hacérselos llegar rápidamente y con excelente calidad.

Sammy Alejandro Flores Flores

DEDICATORIA

*A mi hermosa Madre **Miriam**, por apoyarme y llenar de amor y felicidad mí paso por la vida.*

*A mi amado Padre **Carlos** por ser mi mayor ejemplo de voluntad, esfuerzo y amor incondicional.*

¡Los Amo Inmensamente!

¡Esto es para ustedes!

Diana Sofia Salazar Roquett

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por permitirme el milagro de la vida, por ser mí esperanza en los momentos difíciles, por guiar e iluminar mi camino día a día y mostrarme que con fe, constancia y dedicación se logran grandes metas.

A mis amados padres, Miriam y Carlos por ser los pilares de mi vida, siempre dándome su apoyo incondicional en cada meta que me he trazado. Por aconsejarme y guiarme a lo largo de mi vida, transmitiéndome su sabiduría y siendo dos seres humanos ejemplares.

Agradezco a la Ilustre Universidad Central de Venezuela por darme el privilegio de formarme con profesores de excelente preparación y grandes deseos de transmitir sus conocimientos. Por sus maravillosos espacios llenos de significado, donde los estudiantes pasamos la mayor parte de nuestra carrera.

A nuestra tutora, Profesora María Eugenia Korody, por creer en nosotros para desarrollar este importante proyecto, por guiarnos y aclarar nuestras dudas con la mejor disposición en todo momento. Es un verdadero ejemplo de ética, experiencia y amor por su trabajo, el cual siempre recordaré.

A mi gran compañero y amigo Sammy Flores por cada uno de tus consejos, tus preguntas inesperadas, por el ánimo que siempre tienes para trabajar y por creer que juntos podríamos alcanzar esta meta. Estoy orgullosa de todo lo que hemos logrado y no tengo la menor duda que sin ti nada hubiese sido igual ¡Gracias por tanto!

Doy gracias a la Licenciada Pía Rodriguez, Profesor Cesar Peñuela, técnico Robert Burgos, a los Profesor Norberto Fernandez, BudimirSpasic y Duilio Marcial por colaborar con sus conocimientos y recomendaciones en la realización de nuestro Trabajo Especial de Grado.

Diana Sofia Salazar Roquett

Flores F. Sammy A.
Salazar R. Diana S.

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS
EDIFICIOS NORTE Y SUR DEL INSTITUTO DE MATERIALES Y
MODELOS ESTRUCTURALES. CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS.**

Tutor Académico: Prof. María Eugenia Korody.

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil. 2015, 189pág.**

Palabras Clave: Ciudad Universitaria de Caracas, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, patrimonio cultural, análisis estructural, ensayos no destructivos, normativa.

Resumen: La Universidad Central de Venezuela tiene como Sede la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC), reconocida como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO. Fue construida entre los años 1940 y 1970 con normativas poco exigentes debido a los limitados conocimientos en cuanto a comportamiento estructural por parte de los Ingenieros y las instituciones relacionadas con el área de construcción civil. El Instituto de Materiales y Modelos Estructurales ha realizado ensayos y aportes a la Ingeniería Civil venezolana desde hace más de 50 años; conformada su sede por los edificios IMME Norte e IMME Sur. El IMME Norte, está formado por dos estructuras separadas por una junta de dilatación, las cuales inicialmente se conocían como Laboratorio Ensayo de Materiales y su respectiva Ampliación. Mientras que el IMME Sur se compone de dos estructuras, el edificio IMME Sur y la Nave de Ensayos Especiales. Sin embargo para los edificios que conforman el IMME existe incertidumbre en cuanto a la respuesta dinámica de sus estructuras ante sismos, por lo que el objetivo principal de esta investigación es “Analizar el comportamiento estructural de las edificaciones IMME Norte e IMME Sur del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Ciudad Universitaria de Caracas”.

La investigación es de tipo no experimental histórica y consistió en primera instancia en investigar información acerca de las instituciones relacionadas a la CUC y al IMME, para luego recopilar sus respectivos planos estructurales. El siguiente paso fue caracterizar las estructuras mediante inspección visual y ensayos no destructivos para poder contrastar ciertos parámetros reales con los diseñados y propuestos en los documentos técnicos. Finalmente se realizó el modelado de las estructuras mediante el programa de cálculo estructural ETABS y se cotejaron los resultados obtenidos con la normativa vigente en el país.

Se realizó la inspección visual de las 4 estructuras que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, determinando las características resaltantes de

cada una y haciendo un levantamiento de 126 daños en mampostería, columnas, vigas losas y muros. A partir de los planos suministrados por COPRED se describieron las características de los elementos estructurales y se ejecutaron ensayos no destructivos con el Ferroskan PS200 a una cantidad representativa de los mismos, cuyos resultados fueron comparados con la descripción del diseño original, obteniendo que existen muy pocas diferencias. El registro fotográfico obtenido durante el levantamiento de daños y la ejecución de los ensayos no destructivos se observa en el anexo digital “Registro fotográfico de daños y ejecución de ensayos no destructivos”.

El análisis estructural con el programa ETABS se realizó a partir de 3 modelos, cuyas consideraciones generales se obtuvieron de los planos estructurales y de las Normas COVENIN 1756-01, Fondonorma 1753-06 y COVENIN Mindur 2002-88. Para cada modelo se obtiene la masa del edificio, el valor de cortante basal de piso, derivas elásticas, análisis modal, diseño de acero longitudinal en vigas y factor demanda-capacidad de las columnas y muros. Comparando estos factores con los parámetros propuestos por las Normas venezolanas vigentes, se concluye que las estructuras no cumplen con las condiciones mínimas exigidas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 APORTES	7
2 MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 UNESCO	9
2.1.1 Patrimonio mundial cultural de la humanidad.....	9
2.1.2 Criterios para la declaración de patrimonio mundial.....	10
2.2 LA CUC COMO PATRIMONIO.....	11
2.2.1 Criterios propuestos para la inscripción de la CUC en la lista de patrimonio mundial.	11
2.3 COPRED CONSEJO DE PRESERVACIÓN Y DESARROLLO	12
2.4 SISMOS.....	12
2.4.1 Origen.....	13
2.4.2 Características.....	13
2.4.2.1 Hipocentro	13
2.4.2.2 Epicentro	13
2.4.2.3 Falla	13
2.4.3 Principales sistemas de fallas en Venezuela.....	14
2.4.4 Sismos más resaltantes de Venezuela.....	14
2.5 INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES (IMME).....	15
2.5.1 Reseña histórica.....	15
2.5.2 Características generales.....	16
2.5.3 Datos geológicos	17
2.6 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	17
2.6.1 Ensayos de radiografías	18
2.7 CARACTERIZACIÓN DE DAÑOS	19
2.7.1 Caída de recubrimiento.....	19
2.7.2 Agrietamiento	20
2.7.3 Desprendimiento de mosaicos	20

2.7.4 Humedad.....	20
2.7.5 Vegetación.....	21
2. 8 NORMATIVA.....	21
2.8.1 Norma COVENIN-MINDUR 2002-88. Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones.....	23
2. 9 PROGRAMA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL	23
3 MÉTODO.....	24
3. 1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	24
3. 2 RECOPIACIÓN DE PLANOS Y GESTIÓN DE PERMISOLOGÍA	25
3. 3 CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	25
3. 4 MODELADO DE LA ESTRUCTURA	26
3. 5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON LA NORMATIVA VIGENTE	27
4 RECONOCIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS	28
4. 1 CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	29
4.1.1 Estado actual de la estructura	33
4.1.2 Análisis del estado actual de la estructura.....	45
4. 2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL	47
4.2.1 Envigados.....	55
4.2.2 Columnas.....	65
4.2.3 Vigas.....	72
4.2.4 Muros.....	97
4.2.5 Losas.....	98
4. 3 ESTADO ACTUAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	99
4. 4 COMPARACIÓN ENTRE ELEMENTOS ENSAYADOS E INFORMACIÓN DE LOS PLANOS	105
4.4.1 Análisis de la comparación entre los elementos ensayados e información de los planos	108
5 MODELADO DE LA ESTRUCTURA	110
5. 1 CONSIDERACIONES DEL MODELADO	110
5.1.1 Normas.....	110
5.1.2 Características de los materiales.....	111
5.1.3 Método de análisis estructural	112
5.1.4 Sistema estructural.....	112
5.1.5 Cargas consideradas	113
5.1.5.1 Cargas Permanentes (PP+SCP).....	113
5.1.5.2 Empuje de Tierra (ET)	114

5.1.5.3	Cargas Variables (CV)	114
5.1.5.4	Cargas Accidentales (S)	114
5.1.6	Espectro de Diseño	114
5.1.6.1	Parámetros asociados a la ubicación de la estructura.....	114
5.1.6.2	Parámetros asociados a las características de la estructura ...	116
5.1.6.3	Incremento de A_0	119
5.1.6.4	Elaboración del espectro de diseño	120
5.1.7	Combinaciones de carga.....	122
5. 2	PROCEDIMIENTO DEL MODELADO	123
5.2.1	Estructura IMME Sur	123
5.2.2	Nave de Ensayos Especiales.....	129
5.2.3	Estructuras IMME Norte e IMME Norte - Ampliación	132
5. 3	RESULTADOS Y ANALISIS	137
5.3.1	Peso de la estructura	137
5.3.2	Cortante basal	138
5.3.3	Masa Participativa	141
5.3.4	Derivas.....	145
5.3.5	Factor de demanda-capacidad en columna.....	147
5.3.6	Diseño y comparación de acero de refuerzo en vigas	156
5.3.7	Diseño de vigas de soporte de grúa puente.....	176
5.3.8	Factor demanda-capacidad de muros	177
5. 4	VARIACIÓN DEL SISMO DE DISEÑO	178
	CONCLUSIONES.....	180
	RECOMENDACIONES.....	185
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1.	Sismos recientes en Venezuela.....	14
Tabla N°2.	Evolución de la Norma COVENIN 1756-01: Edificaciones Sismorresistentes.....	21
Tabla N°3.	Evolución de la Norma Fondonorma 1753-06: Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural.	22
Tabla N°4.	Índice de planos suministrados por COPRED.	28
Tabla N°5.	Escala de daños.	33
Tabla N°6.	Leyenda de abreviatura en código de daños.....	35
Tabla N°7.	Daños presentes en la estructura IMME Norte.	36
Tabla N°8.	Daños presentes en la estructura IMME Norte – Ampliación...	38
Tabla N°9.	Daños presentes en la estructura IMME Sur.	40
Tabla N°10.	Daños presentes en la estructura Nave de Ensayos Especiales.	43
Tabla N°11.	Tipos de columnas - IMME Sur.	48
Tabla N°12.	Tipos de columnas del IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.....	52
Tabla N°13.	Características generales de las columnas de la estructura IMME Sur.....	65
Tabla N°14.	Características generales de las columnas de la Nave de Ensayos Especiales.....	67
Tabla N°15.	Características generales de las columnas de la estructura IMME Norte.....	69
Tabla N°16.	Características generales de las columnas de la estructura IMME Norte -Ampliación.....	71
Tabla N°17.	Características generales de las vigas de la estructura IMME Sur.....	72
Tabla N°18.	Características generales de las vigas. Nave de Ensayos Especiales.....	78
Tabla N°19.	Características generales de las vigas de la estructura IMME Norte.....	85
Tabla N°20.	Características generales de vigas con acero longitudinal intermedio de la estructura IMME Norte.	92
Tabla N°21.	Características generales de las vigas de la estructura IMME Norte –Ampliación.....	93
Tabla N°22.	Características generales de vigas con acero longitudinal intermedio de la estructura IMME Norte -Ampliación.....	96

Tabla N°23. Información obtenida con el Ferroskan para columnas ensayadas.....	100
Tabla N°24. Información obtenida con el Ferroskan para vigas ensayadas.	101
Tabla N°25. Información obtenida con el Ferroskan para el muro ensayado.....	102
Tabla N°26. Comparación entre vigas y columnas ensayadas e información de los planos.....	105
Tabla N°27. Comparación entre el muro ensayado y la información de los planos.....	107
Tabla N°28. Parámetros para la elaboración del espectro de diseño	121
Tabla N°29. Niveles de los modelos de las estructuras IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales.....	123
Tabla N°30. Valores de carga variable para los usos existentes en la estructura IMME Sur.....	127
Tabla N°31. Valores de sobrecarga permanente para las zonas existentes en la estructura IMME Sur.....	128
Tabla N°32. Valores de carga variable para los usos existentes en las estructuras IMME Norte e IMME Norte - Ampliación.	136
Tabla N°33. Valores de sobrecarga permanente para las zonas existentes en las estructuras IMME Norte e IMME Norte - Ampliación	137
Tabla N°34. Masa y peso de los niveles de las estructuras.....	138
Tabla N°35. Cortante de piso por nivel para las estructuras.....	139
Tabla N°36. Corrección de la fuerza cortante basal para las estructuras.....	140
Tabla N°37. Modos de vibración de las estructuras.	141
Tabla N°38. Máximas derivas elásticas e inelásticas para las estructuras...	146
Tabla N°39. Factores de demanda-capacidad para las columnas de la estructura IMME Sur.....	147
Tabla N°40. Factores de demanda-capacidad para las columnas de la estructura Nave de Ensayos Especiales.....	150
Tabla N°41. Factores de demanda-capacidad para las columnas de la estructura IMME Norte.....	152
Tabla N°42. Factores de demanda-capacidad para las columnas de la estructura IMME Norte – Ampliación.....	154
Tabla N°43. Área de acero original y requerido para las vigas de la estructura IMME Sur.....	157
Tabla N°44. Área de acero original y requerido para las vigas de la estructura Nave de Ensayos Especiales.....	163

Tabla N°45. Área de acero original y requerido para las vigas de la estructura IMME Norte.....	170
Tabla N°46. Área de acero original y requerido para las vigas de la estructura IMME Norte – Ampliación.....	173
Tabla N°47. Diseño estático del área de acero para las vigas que soportan la grúa puente del IMME Norte.	176
Tabla N°48. Factor demanda-capacidad de muros de la estructura IMME Sur.....	177
Tabla N°49. Variación de factor demanda-capacidad de las columnas del IMME Norte en función de la aceleración horizontal (A_0).	179

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N°1. Principales sistemas de fallas de Venezuela.....	14
Imagen N°2. Ubicación del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la CUC.....	16
Imagen N°3. Ferrosan PS200	19
Imagen N°4. Corte del sótano de la Nave de Ensayos Especiales	32
Imagen N°5. Sección transversal Placa Banco Universal Ensayos.	33
Imagen N°6. Explicación del código en tabla de daños.....	35
Imagen N°7. Secciones transversales de las columnas del IMME Sur.....	48
Imagen N°8. Esquema y secciones transversales de columna tipo 7.....	49
Imagen N°9. Sección transversal de columna tipo 8.	50
Imagen N°10. Sección transversal de columna tipo 9.....	50
Imagen N°11. Esquema y secciones transversales de columna tipo 10.	51
Imagen N°12. Secciones de columnas IMME Norte e IMME Norte - Ampliación (I).....	53
Imagen N°13. Secciones de columnas IMME Norte e IMME Norte - Ampliación (II).....	54
Imagen N°14. Variación de la sección en las columnas tipo 27 y 28.....	55
Imagen N°15. Esquema de corte – IMME Sur.	56
Imagen N°16. Envigado – Nivel Planta talleres.	56
Imagen N°17. Envigado – Nivel Techo oficinas – Planta alta talleres.....	57
Imagen N°18. Envigado – Nivel Techo talleres.	58
Imagen N°19. Envigado – Nave de Ensayos Especiales.	59
Imagen N°20. Corte A-A y Corte B-B- Nave de Ensayos Especiales.....	60
Imagen N°21. Detalles del pórtico en el eje 12 – Nave de Ensayos Especiales.....	60
Imagen N°22. Detalle de vigas simplemente apoyadas.....	61
Imagen N°23. Envigado – IMME Norte – Ampliación. Nivel 1.....	62
Imagen N°24. Envigado – IMME Norte – Ampliación. Nivel Techo.....	62
Imagen N°25. Envigado – IMME Norte Nivel 1.....	63
Imagen N°26. Envigado – IMME Norte Nivel Techo.....	64
Imagen N°27. Esquema de secciones en vigas.	72
Imagen N°28. Sección transversal viga NE-V-1.	83
Imagen N°29. Sección transversal viga NE-V-8.	83
Imagen N°30. Sección transversal viga NE-V-9.	84
Imagen N°31. Sección transversal viga NE-V-10.	84

Imagen N°32.	Detalle de cartela en vigas del Nivel Techo – IMME Norte. ...	91
Imagen N°33.	Sección transversal de viga IN-VT-7.	91
Imagen N°34.	Sección transversal de la viga IN-VT-11.	96
Imagen N°35.	Muro IS-MS-1.	97
Imagen N°36.	Muro IS-MS-2.	97
Imagen N°37.	Detalle de losas con elementos prefabricados.	98
Imagen N°38.	Ensayo en columna D4 cara norte, nivel Techo. IMME Norte.	103
Imagen N°39.	Ensayo en viga 9 (D-D') en tramo, nivel Techo. IMME Norte-Ampliación.	103
Imagen N°40.	Ensayo en columna I19 cara norte, nivel Techo oficinas - Planta alta talleres. IMME Sur.	103
Imagen N°41.	Ensayo en viga I(19-20) apoyo, nivel Techo oficinas - Planta alta talleres. IMME Sur.	103
Imagen N°42.	Imagen de ensayo en columna D4, cara este, nivel Techo. IMME Norte.	104
Imagen N°43.	Imagen de ensayo en columna I18, cara este, nivel Planta talleres. IMME Sur.	104
Imagen N°44.	Valores de A_0	115
Imagen N°45.	Forma espectral y factor de corrección ϕ	116
Imagen N°46.	Valores de T^* , β y p	116
Imagen N°47.	Factor de importancia.	117
Imagen N°48.	Niveles de diseño ND.	117
Imagen N°49.	Orientación para la selección de los niveles de diseño presentes.	118
Imagen N°50.	Requisitos normativos de incidencia sismorresistente.	119
Imagen N°51.	Incrementos en el valor de A_0 según el nivel de diseño presente en obras existentes.	120
Imagen N°52.	Valores de T^+	120
Imagen N°53.	Espectro de diseño y espectro de respuesta.	121
Imagen N°54.	Sección transversal de nervio perteneciente a losa nervada de 20 cm de espesor.	125
Imagen N°55.	Sección transversal de nervio perteneciente a losa nervada de 25 cm de espesor.	125
Imagen N°56.	Sección transversal de nervio de losa prefabricada de 20 cm de espesor.	126
Imagen N°57.	Modelo del IMME Sur. Cara norte.	126

Imagen N°58. Modelo del IMME Sur. Cara sur.....	127
Imagen N°59. Sección transversal de elemento prefabricado de la losa de techo de la Nave de Ensayos Especiales.	130
Imagen N°60. Modelo de la Nave de Ensayos Especiales. Cara norte.....	130
Imagen N°61. Modelo de la Nave de Ensayos Especiales. Cara sur.....	131
Imagen N°62. Vista de los elementos prefabricados curvos de la losa de techo de la Nave de Ensayos Especiales.	131
Imagen N°63. Sección transversal de la viga carrilera de la grúa puente en la estructura IMME Norte.	134
Imagen N°64. Vista noroeste del IMME Norte y su Ampliación.....	135
Imagen N°65. Vista sureste del IMME Norte y su Ampliación.	135
Imagen N°66. Usos de los ambientes del nivel 1 en las estructuras IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.	135

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1. Distribución porcentual de daños en estructuras.	45
Gráfico N°2. Distribución porcentual de los elementos donde se apreciaron daños.....	45
Gráfico N°3. Distribución porcentual del tipo de daño observado.	46
Gráfico N°4. Distribución porcentual del nivel de daño observado.....	47
Gráfico N°5. Ensayos no destructivos en vigas y columnas. Resultados asociados al acero de refuerzo longitudinal.	108
Gráfico N°6. Ensayos no destructivos en vigas y columnas. Resultados asociados al acero de refuerzo transversal.	109
Gráfico N°7. Columnas que cumplen con la cuantía mínima en la estructura IMME Sur.....	150
Gráfico N°8. Columnas que cumplen con la cuantía mínima en las estructuras IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.	155
Gráfico N°9. Resultados de la comparación de las áreas de acero original y requerido, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Sur.	162
Gráfico N°10. Resultados de la comparación de las áreas de acero mínima y original, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Sur...	163
Gráfico N°11. Resultados de la comparación de las áreas de acero original y requerido, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura Nave de Ensayos Especiales.....	169
Gráfico N°12. Resultados de la comparación de las áreas de acero mínima y original, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura Nave de Ensayos Especiales.....	169
Gráfico N°13. Resultados de la comparación de las áreas de acero original y requerido, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Norte.....	175
Gráfico N°14. Resultados de la comparación de las áreas de acero original y requerido, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Norte - Ampliación.....	175
Gráfico N°15. Resultados de la comparación de las áreas de acero mínima y original, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Norte.	175
Gráfico N°16. Resultados de la comparación de las áreas de acero mínima y original, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Norte - Ampliación.....	175

INTRODUCCIÓN

Entre los años 1940 y 1970 se construyó la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC), diseñada para ser la sede de la Universidad Central de Venezuela. El 2 de diciembre del año 2000, la UNESCO la declara como Patrimonio Mundial Cultural de la Humanidad, ya que es considerada como una obra maestra de planificación urbanística, de arquitectura y de arte diseñada por el Arquitecto Carlos Raúl Villanueva. Uno de los requisitos para que la CUC fuera considerada como Patrimonio Mundial, fue la creación del Consejo de Preservación y Desarrollo (COPRED) en 11 de octubre del año 2000.

En los inicios de la construcción de la Ciudad Universitaria de Caracas, los ingenieros se basaban en una incipiente Norma venezolana y algunas Normas extranjeras poco exigentes. Es por esto que desde año 2001, COPRED en conjunto con el Departamento de Ingeniería Estructural han desarrollado la línea de investigación “Patología, restauración, reparación, adecuación y rehabilitación de obras de carácter patrimonial” donde se han hecho estudios para determinar posibles patologías y problemas estructurales, además de Trabajos Especiales de Grado con el fin de analizar el comportamiento estructural de las edificaciones que conforman el patrimonio.

El Instituto de Materiales y Modelos Estructurales fue creado en el año 1949 con el fin de realizar ensayos de materiales e investigaciones en la Facultad de Ingeniería. En el año 1955 se traslada a su actual sede, conocida como el IMME Sur dentro de la CUC y para el año 1960 inicia la construcción del actualmente denominado IMME Norte y la Nave de Ensayos Especiales. La finalidad principal del conjunto de edificaciones es servir como espacio para la realización de ensayos físicos a materiales con maquinarias ligeras y pesadas, por otra parte tiene ambientes dedicados a oficinas para la realización de investigaciones, aulas de clase, almacenes, biblioteca, laboratorios, entre otros.

El conjunto de edificios que conforman el IMME se consideran estructuras aporticadas de concreto armado. El IMME Norte está formado por dos estructuras, ambas son de 2 niveles y se encuentran separadas por una junta de dilatación, dando la impresión de que son un solo edificio. El IMME Sur está formado por 2 niveles y un sótano, donde destaca la existencia de muros de contención de tierras y la existencia de losas con elementos prefabricados. Finalmente, la Nave de Ensayos Especiales en una estructura de un solo nivel con una altura libre de 14,2 m y solo posee vigas en el perímetro de la estructura.

El presente Trabajo Especial de Grado está formado por 5 Capítulos, donde en el primero se presenta el planteamiento del problema a estudiar, los objetivos general y específicos, además de los distintos aportes que genera a los involucrados. Por otra parte, el segundo Capítulo está formado por el marco teórico de la investigación, donde se encuentran todos los conceptos necesarios para una buena comprensión de este Trabajo Especial de Grado.

El Capítulo III describe el método utilizado para cumplir los objetivos planteados, siguiendo una metodología de tipo no experimental histórica. Se describen 4 fases de la investigación; la primera está formada por la recopilación de información, planos y permisología, la segunda por la inspección visual con registro fotográfico y realización de ensayos no destructivos a las estructuras, además de caracterización de los elementos estructurales según el proyecto original. La tercera fase explica el procedimiento para realizar el modelado de las estructuras a través del programa de cálculo estructural ETABS y finalmente la cuarta fase consiste en la comparación entre los valores obtenidos del modelado y los parámetros establecidos en las Normas venezolanas.

En el Capítulo IV se presenta la descripción de las características generales de las estructuras, además del levantamiento y registro de los daños en mampostería, vigas, columnas y muros, con sus respectivos análisis. También se hace la descripción del diseño de los elementos estructurales según los planos originales y finalmente se

explica el procedimiento de la realización de los ensayos no destructivos con la comparación entre los elementos ensayados y la información de los planos.

El último Capítulo del presente Trabajo Especial de Grado, denominado “Modelado de la estructura” inicia con las consideraciones necesarias para la realización de los modelos en el programa de cálculo estructural ETABS basado en las Normas venezolanas vigentes. Posteriormente se explica a detalle los pasos para la realización de los 3 modelos necesarios para llevar a cabo el análisis estructural de las edificaciones del IMME. Se muestran los resultados y análisis del modelado, haciendo una comparación entre los parámetros obtenidos del programa de cálculo y ciertos valores límites que establecen las Normas venezolanas. Finalmente, se hace un análisis adicional fuera de los objetivos planteados en esta investigación, en donde se estudia la variación de los factores demanda-capacidad de la estructura IMME Norte en función del coeficiente de aceleración horizontal A_0 .

Por último se muestran las conclusiones y recomendaciones relacionadas a la presente investigación, junto a las referencias bibliográficas consultadas. Adicionalmente se presenta un anexo digital en donde se observa el registro fotográfico de los daños registrados y algunas fotografías del proceso de realización de los ensayos no destructivos.

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Ciudad Universitaria de Caracas (CUC) sede de la Universidad Central de Venezuela, construida en el período comprendido entre 1940 y 1970 en los terrenos de la Hacienda Ibarra, fue declarada por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad, en el año 2000, a partir de ciertos criterios propuestos para su inscripción.

El diseño estructural de la mayor parte de los edificios que conforman la CUC se fundamenta en criterios de los Ingenieros que participaron en la construcción y en algunas normas extranjeras vigentes para la época, y una incipiente norma venezolana, por lo que probablemente parte de estas estructuras no están ajustadas totalmente a parámetros mínimos exigidos por las normativas en uso actualmente.

Debido a la importancia de la CUC como Patrimonio Cultural de la Humanidad, surgió la necesidad de crear el Consejo de Preservación y Desarrollo (COPRED) que entre sus programas contempla la investigación en “Patología, restauración, reparación, adecuación y rehabilitación de obras de carácter patrimonial”, la cual en conjunto con el Departamento de Ingeniería Estructural, y que ha dado lugar a una serie de Trabajos Especiales de Grado tales como el análisis estructural de los Edificios Sede de las Escuelas de Ingeniería de Petróleo, Geología y Química, Sede de las Facultades de Humanidades y Educación, de Ciencias Jurídicas y Políticas, Sede del Laboratorio de Ciencias, entre otros edificios de la CUC.

El Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) ha realizado desde sus inicios ensayos, investigaciones y aportes a la Ingeniería Civil a lo largo del país, lo cual ha ayudado a fundamentar parte de las normas venezolanas e incluso, es reconocido como uno de los mejores laboratorios a nivel mundial. La sede de este Instituto está formada por dos edificaciones, IMME Norte e IMME Sur, con usos variados entre aulas educativas, oficinas, salas de reuniones, laboratorios y áreas

destinadas a realización de ensayos con maquinarias de gran tamaño y almacenamiento de materiales. En sus inicios las dos estructuras que conforman el edificio IMME Norte eran conocidas como Laboratorio Ensayo de Materiales Escuela de Ingeniería, mientras que solo el IMME Sur junto a la Nave de Ensayos Especiales se denominaban Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Sin embargo, estos edificios no escapan de la realidad que sufren la mayoría de las estructuras que conforman la sede de la Universidad Central de Venezuela, por lo que el objetivo general del presente Trabajo Especial de Grado es analizar el comportamiento estructural de los edificios del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Ciudad Universitaria de Caracas, para dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Cuál es el estado general de los edificios IMME Norte e IMME Sur? ¿Existen diferencias entre el estado actual de las edificaciones y el diseño original reflejado en los planos de estructuras? ¿Cómo simular la respuesta dinámica de la estructura? Y finalmente, ¿Se ajusta la estructura a los rangos fijados por la Norma Venezolana COVENIN 1756-01 Edificaciones Sismorresistentes y Fondonorma 1753-06: Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento estructural de las edificaciones IMME Norte e IMME Sur del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Ciudad Universitaria de Caracas.

1.2.2 Objetivos Específicos

1.2.2.1 Registrar el estado general de las edificaciones IMME Norte e IMME sur.

1.2.2.2. Contrastar el estado actual de los elementos estructurales con el diseño original mediante ensayos no destructivos.

1.2.2.3. Ejecutar el análisis de la estructura mediante el programa de cálculo estructural ETABS.

1.2.2.4. Contrastar los parámetros estructurales derivados del Modelo Estructural analizado con los rangos propuestos en las Norma Venezolana COVENIN 1756-01: Edificaciones Sismorresistentes y Fondonorma 1753-06: Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural.

1.3 APORTES

La CUC por ser Patrimonio Cultural de la Humanidad, declarada por la UNESCO en el año 2000, amerita la observación del estado actual de cada uno de sus edificios, para reconocer la presencia de daños no estructurales, posiblemente producidos por falta de mantenimiento y además realizar un análisis estructural para estimar su comportamiento ante eventos sísmicos y en caso de existir déficit notable en cuanto a resistencia o estabilidad, plantear acciones de refuerzo o adecuación de estructuras.

Con la realización de este Trabajo Especial de Grado se busca conocer el estado estructural de las dos edificaciones que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la CUC.

Según la norma COVENIN 1756-01 “Edificaciones Sismorresistentes” los edificios IMME Norte e IMME Sur se clasifican como edificaciones tipo A, debido a su uso como un espacio educacional, además de su importante función como nave de ensayos estructurales y la presencia de equipos valiosos de elevado costo; por lo que su colapso ocasionaría pérdidas humanas y económicas considerables.

El producto del presente Trabajo Especial de Grado y el de otros proyectos similares que se han realizado o que pudieren ejecutarse beneficia a la Universidad Central de Venezuela, ya que permite tener un control de los edificios en función de las características estructurales, daños presentes y posibles respuestas ante eventos sísmicos, con el fin de reducir la vulnerabilidad y disminuir la incertidumbre acerca de la magnitud de los potenciales daños. Asimismo, la Facultad de Ingeniería podrá contar con un valioso material acerca del estado y análisis estructural de los edificios del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales que puede servir de antecedente o material de apoyo para un documento similar en pregrado y como punto de partida para estudios de mayor complejidad a nivel de postgrado o proyectos de adecuación llevados a cabo por el COPRED.

A nivel personal, la realización y culminación del trabajo de investigación permite consolidar la variedad de conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera y brinda la posibilidad de ingresar al campo laboral con un documento propio, elaborado bajo la tutoría de profesores de amplia experiencia y formación académica; además de servir como un elemento importante de identificación de la competencia de sus autores, que forman parte del conjunto de ingenieros venezolanos que actualmente están ejerciendo y ejercerán la profesión para desarrollo y beneficio del país.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

Para el correcto entendimiento e interpretación del presente Trabajo Especial de Grado, y con el fin de cumplir los objetivos planteados, es necesario conocer los siguientes elementos relacionados a la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC) como Patrimonio Cultural de la Humanidad, al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), además de a la Normas venezolanas y su evolución histórica, entre otros.

2.1 UNESCO

La UNESCO (por sus siglas en inglés “United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization”) obra por crear condiciones propicias para un diálogo entre las civilizaciones, las culturas y los pueblos fundado en el respeto de los valores comunes. Es por medio de este diálogo como el mundo podrá forjar concepciones de un desarrollo sostenible que suponga la observancia de los derechos humanos, el respeto mutuo y la reducción de la pobreza, objetivos que se encuentran en el centro mismo de la misión y las actividades de la UNESCO.

La misión de esta organización, consiste en contribuir a la consolidación de la paz, la erradicación de la pobreza, el desarrollo sostenible y el diálogo intercultural mediante la educación, las ciencias, la cultura, la comunicación y la información. (UNESCO. 2014)

2.1.1 Patrimonio mundial cultural de la humanidad

La declaración de bienes como Patrimonio Mundial es un reconocimiento que otorga la UNESCO a los sitios que poseen un valor universal excepcional. Por medio de esta distinción se califican estos bienes como universales, y su disfrute, protección y cuidado pasa a ser reconocido por todos los pueblos del mundo, independientemente del territorio en el que estén localizados. Con el fin de garantizar

su protección y conservación para las generaciones futuras.(*Gobierno de España. 2015*)

2.1.2 Criterios para la declaración de patrimonio mundial

Para ser declarado Patrimonio de la Humanidad: Los bienes culturales deben cumplir alguna de estas características:

I. Representar una obra maestra del genio creativo humano.

II. Ser la manifestación de un intercambio considerable de valores humanos durante un determinado período o en un área cultural específica, en el desarrollo de la arquitectura, las artes monumentales, la planificación urbana o el diseño paisajístico.

III. Ser y aportar un testimonio único o por lo menos excepcional, de una tradición cultural o de una civilización desaparecida o que sigue viva.

IV. Ser un ejemplo sobresaliente de un tipo de edificio o de conjunto arquitectónico o tecnológico, o de paisaje que ilustre una etapa significativa o etapas significativas de la historia de la humanidad.

V. Constituir un ejemplo sobresaliente de hábitat o establecimiento humano tradicional, representativo de una cultura o de culturas ahora vulnerables por el impacto de un cambio irreversible.

VI. Estar directa y perceptiblemente asociado con acontecimientos o tradiciones vivas, ideas o creencias de importancia, o con obras artísticas o literarias de significado universal excepcional.

Son también importantes: El criterio de autenticidad en lo que a diseño, materiales, mano de obra o marco se refiere. Como factor adicional, será también tenido en cuenta el estado de preservación del bien, que debe ser relevantemente evaluado, es decir, comparándolo con el estado de otros bienes semejantes del mismo período. (*Gobierno de España. 2015*)

2.2 LA CUC COMO PATRIMONIO

El 2 de diciembre de 2000 La Ciudad Universitaria de Caracas fue declarada por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad y como tal incorporada en la lista correspondiente de ese Organismo de la ONU. El señor Koïchiro Matsuura Director General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) justificó la decisión con las siguientes palabras:

“...la Ciudad Universitaria es una obra maestra de planificación urbanística, de arquitectura y de arte, así como un ejemplo destacado de realización coherente de los ideales artísticos, arquitectónicos y urbanísticos de principios del siglo veinte...”

“Diseñada por el insigne Arquitecto Carlos Raúl Villanueva, el recinto de la Ciudad Universitaria es un conjunto perfectamente articulado de edificaciones. Algunas de éstas son verdaderas obras maestras, como el Aula Magna, el Estadio Olímpico y la Plaza Cubierta del Rectorado.... Su riqueza artística también es notable, y en ella sobresalen los trabajos realizados por Alexander Calder en el Aula Magna.”(UCV Noticias. 2012)

2.2.1 Criterios propuestos para la inscripción de la CUC en la lista de patrimonio mundial

El 2 de diciembre del año 2000, la UNESCO inscribe oficialmente al conjunto de la Ciudad Universitaria de Caracas en el listado de Patrimonio Mundial de acuerdo a los siguientes criterios:

Criterio I: *Representar una obra de arte del genio creador humano*

La Ciudad Universitaria de Caracas es una obra maestra de planeamiento moderno, arquitectura y arte, creada por el arquitecto venezolano Carlos Raúl Villanueva y un grupo de distinguidos artistas vanguardistas.

Criterio IV: *Ser un ejemplo eminentemente de un tipo de construcción o de un conjunto arquitectónico, tecnológico o de paisaje que ilustre uno o más períodos significativos de la historia humana.*

La Ciudad Universitaria de Caracas es un ejemplo excelente de la realización coherente de los ideales urbanos, arquitectónicos, y artísticos del siglo XX. Constituye una interpretación ingeniosa de los conceptos y espacios de tradiciones coloniales y un ejemplo de solución de apertura y ventilación, apropiado para su entorno tropical. (*UCV Noticias. 2012*)

2.3 COPRED CONSEJO DE PRESERVACIÓN Y DESARROLLO

El 11 de Octubre del año 2000 se creó el Consejo de Preservación y Desarrollo (COPRED), principalmente debido a los reconocimientos nacionales de la Ciudad Universitaria de Caracas y por requerimiento de la UNESCO para la Declaratoria como Patrimonio Mundial. Esta organización tiene como principal objetivo preservar y desarrollar todo el patrimonio edificado, artístico y natural de la UCV, así como difundir sus valores y garantizar a las generaciones, presentes y futuras, el aprovechamiento y disfrute del patrimonio de la universidad.

La filosofía del COPRED se orienta a propiciar una visión compartida entre las autoridades universitarias, la comunidad y los gobiernos locales, donde exista una relación de compromiso para la preservación de la Ciudad Universitaria de Caracas. Para ello, El COPRED cuenta con 10 programas permanentes orientados hacia 3 áreas estratégicas de acción: Preservación y desarrollo; Promoción y apropiación social; y mantenimiento integral. (*Universidad Central de Venezuela. 2009*)

2.4 SISMOS

Se define sismo como sacudida o movimiento bruscos en el interior de la tierra que genera movimiento del terreno en la corteza terrestre, producto de la liberación repentina de energía que se transmite desde el interior a la superficie en forma de ondas sísmicas. (*Salgado, J. 2014*)

2.4.1 Origen

La capa más superficial de la Tierra es la litósfera, la cual es un material rígido que puede fracturarse cuando se ejerce presión sobre ella y forma las placas tectónicas, estas placas se encuentran flotando sobre la Astenósfera, la cual es una capa visco-elástica.

Los sismos se suelen producir en zonas donde la concentración de fuerzas generadas por los límites de las placas tectónicas da lugar a movimientos de reajuste en el interior los cuales se transmiten a la superficie de la Tierra. Es por esto que los sismos de origen tectónico están íntimamente asociados con la formación de fallas geológicas. Suelen producirse al final de un ciclo denominado ciclo sísmico, que es el período de tiempo durante el cual se acumula deformación en el interior de la Tierra que más tarde se liberará repentinamente. Una vez ocurrido el terremoto, la deformación comienza a acumularse nuevamente. (*Salgado, J. 2014*)

2.4.2 Características

2.4.2.1 Hipocentro

Es el punto en la profundidad de la Tierra desde donde se libera la energía en un sismo.

2.4.2.2 Epicentro

Punto de la superficie terrestre donde un terremoto ha alcanzado su mayor intensidad. Está situado sobre el hipocentro.

2.4.2.3 Falla

Discontinuidad de la corteza terrestre que ocurre de forma natural por la propagación de una fractura en una estructura de roca de la corteza por la aplicación de una energía cinética en dicho cuerpo, generalmente proveniente del calor generado en el núcleo de la Tierra. (*Salgado, J. 2014*)

2.4.3 Principales sistemas de fallas en Venezuela

En Venezuela existen varias fallas formando complejos sistemas, sobresaliendo en importancia las fallas que constituyen el contacto entre la placa de Sur América y la placa del Caribe. Las fallas de Boconó, San Sebastián, El Pilar y Oca - Ancón, conforman la zona de mayor actividad en la interacción de las placas en nuestro país convirtiéndose así en los rasgos geotectónicos más importantes. Ver Imagen N°1 Principales sistemas de fallas en Venezuela y Tabla N°1 Sismos recientes en Venezuela. (Salgado, J. 2014)

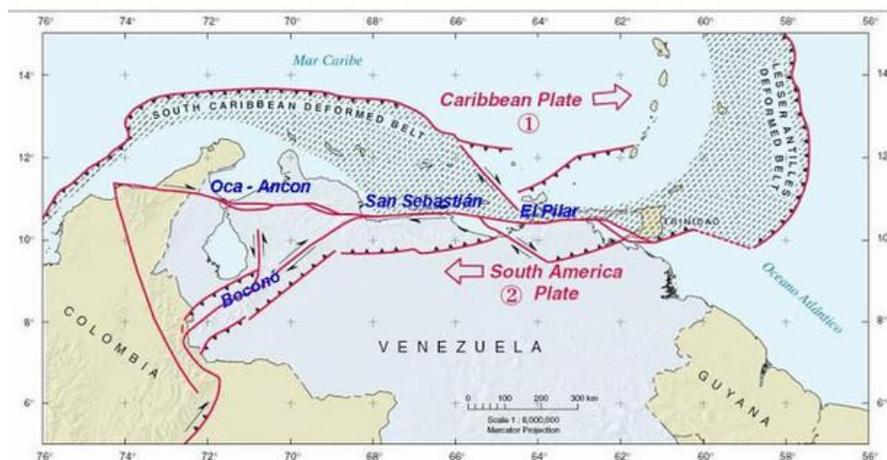


Imagen N°1. Principales sistemas de fallas de Venezuela.

Fuente: Fundación Venezolana de investigaciones Sismológica.

2.4.4 Sismos más resaltantes de Venezuela

Tabla N°1. Sismos recientes en Venezuela.

<i>Fecha</i>	<i>Lugar</i>	<i>Estado</i>
Agosto 1950	El Piñal	Táchira
Agosto 1950	El Tocuyo	Lara
Septiembre 1966	Churuguara	Falcón
Julio 1967	Caracas	Distrito Capital
Noviembre 1980	Costas de Aragua	Aragua
Julio 1997	Cariaco	Sucre

Fuente: Elaboración Propia

(Fundación Venezolana de investigaciones Sismológica. 2012)

2.5 INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES (IMME)

2.5.1 Reseña histórica

Al planificarse la construcción Facultad de Ingeniería, como parte importante de la Ciudad Universitaria de Caracas, se construyeron edificios para distintos usos como aulas de clases, oficinas y cubículos de profesores, sedes de cada una de las escuelas, laboratorios, auditorios, entre otros. Se planificó una edificación llamada Laboratorio Ensayo de Materiales Escuela de Ingeniería, hoy en día conocida como IMME Norte, y también el edificio sede del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales que actualmente forman el IMME Sur y la Nave de Ensayos Especiales

Las actividades del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales inician en 1949 como un servicio remunerado de ensayos de materiales como complemento a las actividades docentes y de investigación de la Facultad de Ingeniería. El Laboratorio fue entendido como una empresa científica que genera recursos propios para retroalimentar su crecimiento. En el año de 1955 se traslada el laboratorio a su sede definitiva en el actualmente denominado Edificio IMME Sur.

En 1960 inicia la construcción del edificio IMME Norte y del edificio Nave de Ensayos Especiales, el cual fue una de las últimas obras diseñadas por el Arquitecto Carlos Raúl Villanueva. Las décadas de los sesenta y de los setenta significaron una expansión continua y la inserción definitiva del Instituto en el ámbito nacional. En la década de los noventa se conjugaron diversos factores favorables que le han dado un vigoroso impulso al Instituto. El IMME es miembro fundador y sede de la Asociación Iberoamericana de Ingeniería Sísmica (AIBIS). Es sede de la Sociedad Venezolana de Métodos Numéricos. *(Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. 2012)*

2.5.2 Características generales

El Instituto de Materiales y Modelos Estructurales se encuentra ubicado en la Ciudad Universitaria de Caracas, tal como se observa en la Imagen N°2. Este instituto está conformado por 3 edificaciones actualmente conocidas como IMME Norte, IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales.



Imagen N°2. Ubicación del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la CUC.

Fuente: Google Earth (Julio 2015)

El edificio IMME Norte consta de dos pisos con usos variados, donde resalta en la planta baja los laboratorios de Suelos, Cemento Asfalto y Química, el espacio destinado a los equipos para realizar los ensayos, cubículos, el Departamento de Ingeniería Estructural, además de baños, sala de compresores y depósito. En el piso 1 cuenta con un laboratorio de suelos, el Centro de Investigaciones de Métodos Numéricos en Mecánica Estructural (CIMNEME), espacios con uso de oficina como

la Dirección, secretaría de administración, oficina de profesores, un departamento de archivos, la biblioteca Carlos Ramos, una Sala de Coloquios, baños y cuarto de limpieza.

El IMME Sur es un edificio de 2 plantas con sótano, donde la planta baja cuenta con 2 baños y un ambiente dedicado a oficinas donde se encuentra la División de Recursos y Control y otra parte destinada a taller mecánico. En la planta superior se encuentra la oficina de la División de Estudios Especiales y División de Estructuras, un aula de clase además de un depósito de materiales. En cuanto al uso actual del sótano, se pudo apreciar que se utiliza como sala de compresor y depósito.

La Nave de Ensayos Especiales es un edificio de un nivel con sótano, donde el uso principal de la planta baja es para realizar ensayos físicos con equipos de gran tamaño. Además cuenta con un área destinada a oficinas. El sótano de esta edificación es usado como depósito y su acceso está restringido.

(Fuente propia. 2015)

2.5.3 Datos geológicos

La Sede de la Universidad Central de Venezuela, según la tesis realizada en el año 2005 titulada “Estudio Geológico-Geotécnico y Evaluación de las Condiciones del Terreno que Constituye el Campus de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC)”, se encuentra ubicada al norte de Venezuela, específicamente en la zona Centro Sur del Valle de la Ciudad de Caracas a unos cientos de metros del Cordón Montañoso Sur, comprendida entre la intersección de dos ríos: El Valle (al Sur) y el Guaire (al Norte). El terreno ocupa una superficie de 2.025.300 m², lo que equivale a 202,53 hectáreas, de las cuales se encuentran construidas 164 hectáreas (1.640.000m²).
(Alonso Ruiz, M; Ugas Pace, D. 2011)

2.6 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Se denomina ensayo no destructivo a cualquier tipo de prueba que se le practique a un material y no altere de forma permanente sus propiedades químicas, físicas,

mecánicas o dimensionales. Este tipo de ensayo implica en el elemento un daño imperceptible o nulo. Los propósitos de esta investigación exigen la realización de ensayos no destructivos, dado el carácter patrimonial de los edificios de la CUC, específicamente de los Edificios Norte y Sur del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales.

Los distintos métodos que implican los ensayos no destructivos tienen su fundamento en la aplicación de fenómenos físicos, como por ejemplo: ondas electromagnéticas, acústicas, emisión de partículas subatómicas, elásticas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

Los ensayos no destructivos suelen ser más económicas que los destructivos, sin embargo, ofrecen menor información. En ocasiones los ensayos no destructivos únicamente buscan verificar la homogeneidad y continuidad del material utilizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de ensayos destructivos. *(Porrero, J. 2012)*

2.6.1 Ensayos de radiografías

Permite determinar información interna de la estructura en cuanto al número y ubicación de las barras de acero de refuerzo. Para la implementar este tipo de ensayos se requiere utilizar equipos delicados y costosos por lo que solo lo puede realizar personal técnico capacitado. La penetración de rayos gamma en el concreto está limitada hasta cierto espesor, y los resultados pueden variar en función de la profundidad y estado de corrosión del acero de refuerzo.

(Porrero, J. 2012)

Para los ensayos a realizar en el presente Trabajo Especial de Grado se utilizará el Ferroskan PS200, el cual es una herramienta que está diseñada para localizar el acero de refuerzo en concreto, medir la separación entre barras y estimar el recubrimiento. El equipo se puede observar en la Imagen N°3



Imagen N°3. Ferroskan PS200

Fuente: www.hilti.es

2.7 CARACTERIZACIÓN DE DAÑOS

El primer paso en la evaluación de una estructura de concreto es la inspección visual, en la que se cuenta con material gráfico como planos, con los que se pueda hacer una comparación entre la estructura planificada y la construida. No obstante tiene la limitación de que solo permite evaluar las superficies visibles, por ello es importante complementarla con algunos otros ensayos no-destructivos. Su efectividad depende, en alto grado, de la experiencia y conocimiento del investigador. (Porrero, J. 2012)

Durante la inspección visual se contemplaran una serie de daños a nivel superficial que son generados por problemas internos en el concreto armado, como lo son:

2.7.1 Caída de recubrimiento

Este generalmente se origina por defectos en el encofrado o por el desprendimiento del concreto que se encuentra en la superficie de los elementos, que puede ser causado por razones diversas, relacionadas con la mezcla de concreto o el acero.

Una de las medidas más eficientes y duraderas de tipo preventivo contra la corrosión, es asegurar que el concreto tenga la estanqueidad necesaria y un espesor de

recubrimiento adecuado que sirva de protección a las armaduras. Al respecto, la Sección 7.2.4 de la Norma COVENIN 1753 establece los recubrimientos mínimos para miembros de concreto vaciados en sitio. (*Porrero, J. 2012*)

2.7.2 Agrietamiento

Las grietas del concreto se producen siempre por esfuerzos de tracción. Las tensiones de compresión, de torsión o de corte, que resultan excesivas, se alivian mediante la aparición de grietas de tracción paralelas a las trayectorias principales de compresión, que son perpendiculares a las de tracción.

La observación y análisis de la forma y posición de las grietas en los elementos estructurales, casi siempre permiten establecer el tipo de sollicitación que las origina, lo cual es primordial para definir las causas de las grietas. En el estudio de las grietas hay que observar cuidadosamente los siguientes aspectos: el ancho en la superficie, la profundidad y el movimiento. (*Porrero, J. 2012*)

La diferencia entre una grieta y una fisura, se basa principalmente en que la primera es una abertura que atraviesa el elemento estructural en todo su espesor, mientras que las fisuras son aberturas superficiales. (*Alonso Ruiz, M; Ugas Pace, D. 2011*)

2.7.3 Desprendimiento de mosaicos

Es la caída del material y/o fisuras en el mosaico que pueden estar relacionadas en algunos casos con agrietamientos en la tabiquería o por retracción por cambios de temperatura. (*Alonso Ruiz, M; Ugas Pace, D. 2011*)

2.7.4 Humedad

Es la presencia de agua en el elemento y se identifica cuando ocurre un cambio de color sobre la superficie del mismo, existen diferentes tipos de humedad según su causa: por filtración, condensación, capilaridad y accidental. (*Alonso Ruiz, M; Ugas Pace, D. 2011*)

2.7.5 Vegetación

Presencia de plantas en los elementos, generados principalmente por la acumulación de agua o porcentaje de humedad muy alto. (Alonso Ruiz, M; Ugas Pace, D. 2011)

2.8 NORMATIVA

Históricamente, la normativa referente el cálculo estructural de edificaciones en Venezuela ha experimentado importantes cambios, evolucionando progresivamente para ajustarse a las nuevas exigencias que iban surgiendo como resultado de la experiencia profesional y de estudios realizados consecuentemente. Estos cambios se orientaron, primordialmente, a la consideración de los esfuerzos a los que serían sometidas las estructuras durante un evento sísmico. (Alonso Ruiz, M; Ugas Pace, D. 2011)

Durante la etapa de proyecto y construcción de la CUC, la norma vigente en Venezuela era la “Norma para el Cálculo de Edificios 1947” esta era la única norma que regulaba el diseño y cálculo estructural de edificaciones de concreto armado. Posteriormente se realizaron las modificaciones reflejadas en la Tabla N°2.

Tabla N°2. Evolución de la Norma COVENIN 1756-01: Edificaciones Sismorresistentes.

Año	Nombre	Comentario
1947	“Norma para el Cálculo de Edificios 1947”	Norma vigente en Venezuela durante la etapa de proyecto y construcción de los Edificios Norte y Sur del I.M.M.E.
1955	Artículo “Acción de los movimientos sísmico.”	Se agrega este artículo y mapa de zonificación sísmica de Venezuela a “Norma para el Cálculo de Edificios 1947”
1967	“Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas.”	Se genera este documento de carácter provisional a consecuencia del terremoto de Caracas.
1980	“Norma Venezolana de Edificaciones Antisísmicas COVENIN 1756-80.”	Documento definitivo que sustituye a “Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas.”

1998	“Norma COVENIN 1756-98: Edificaciones Sismorresistentes.”	A consecuencia del sismo de Cariaco, culmina la revisión realizada por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).
2001	“Norma COVENIN 1756-01: Edificaciones Sismorresistentes.”	Última revisión de la Norma.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del año 1981, de forma paralela a la evolución de la Norma Venezolana de Edificaciones Antisísmicas COVENIN 1756-80, se publica la “Norma Venezolana para el Análisis y Diseño del Concreto Armado COVENIN 1753-81”, la cual se fundamentó en el Código ACI 318 del año 1977. Posteriormente ha venido evolucionando como se muestra en la Tabla N°3.

Tabla N°3. Evolución de la Norma Fondonorma 1753-06: Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural.

Año	Nombre	Comentario
1947	“Normas M.O.P 1947.”	Norma vigente en Venezuela durante la etapa de proyecto y construcción de los Edificios Norte y Sur del I.M.M.E.
1981	“Norma Venezolana para el Análisis y Diseño del Concreto Armado COVENIN 1753-81.”	-
1987	“Norma COVENIN 1753-87: Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño.”	-
2006	“Norma Fondonorma 1753-06: Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural.”	Propuesta para la actualización de la norma “Norma COVENIN 1753-87: Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño.”

Fuente: Elaboración propia.

2.8.1 Norma COVENIN-MINDUR 2002-88. Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones.

Establece los criterios y requisitos mínimos de las acciones a considerar en el proyecto, fabricación, montaje y construcción de las edificaciones que se ejecuten en el territorio nacional. Estas Normas se aplicarán tanto a las edificaciones nuevas como a la modificación, ampliación, refuerzo, reparación y demolición de las edificaciones existentes. Las obras temporales o provisionales también deberán cumplir con estas disposiciones.

Se entiende por "acciones mínimas" los fenómenos que producen cambios en el estado de tensiones y deformaciones en los elementos de una edificación, como las cargas, los asentamientos, los efectos de temperatura y reología, etc.(*Norma Venezolana COVENIN-MINDUR. 2002*)

2.9 PROGRAMA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

Hoy en día es indispensable el uso de programas de cálculo estructural para obtener las solicitaciones de diseño y las características de la estructura en estudio, de manera rápida y directa, optimizando el tiempo de diseño.

Un programa de análisis y diseño de sistemas de edificaciones que brinda al Ingeniero una herramienta confiable, sofisticada y fácil de usar es ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of BuildingSystems), el cual posee una interfaz gráfica con procedimientos de modelaje, análisis y diseño, aplicable tanto a estructuras simples como a grandes y complejos modelos de edificios, incluyendo un amplio rango de comportamientos no lineales, haciéndolo una herramienta útil para ingenieros estructurales en la industria de la construcción.

Este programa de cálculo estructural utiliza métodos numéricos, procedimientos y códigos internacionales de diseño, que funcionan juntos desde una base de datos comprensiva. Las convenciones de entrada y de salida usadas corresponden a la terminología común de edificaciones. (*Hernández, E. Sin fecha*)

CAPÍTULO III.

MÉTODO

Para lograr cumplir los objetivos planteados en este proyecto resultó necesario seguir una metodología de tipo no experimental histórico, ya que el propósito de este Trabajo Especial de Grado es investigar si las características de una estructura construida antes del año 1967, cumplen con las normas venezolanas vigentes; adicionalmente, los autores no poseen grado de control alguno sobre el problema.

En el mismo orden de ideas, la recolección de datos de interés se hizo a través de la recopilación de información técnica contenida en planos, planillas de resultados, registros fotográficos, entre otros. A continuación se presentan las fases del método seguido para dar respuesta a las preguntas de la investigación:

FASE 1: Esta fase contó con la recopilación de información, planos y gestión de permisos necesaria para la realización de los ensayos no destructivos, de esta manera cumplir con el primer objetivo específico “Registrar el estado general de las edificaciones IMME Norte e IMME Sur”.

3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se investigó acerca de la UNESCO en cuanto a las características de los bienes considerados como patrimonio mundial cultural de la humanidad, y los criterios para su declaración como tal. Además de la explicación de las características de selección que llevaron a la CUC a ser declarada patrimonio mundial de la humanidad. La exploración acerca de COPRED, organismo cuyo objetivo es preservar y desarrollar el patrimonio edificado de la UCV, además de garantizar el aprovechamiento y disfrute para las generaciones presentes y futuras.

Se realizó la búsqueda de información referente a las edificaciones en estudio, IMME Norte, IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales, tomando en cuenta sus características generales, breve reseña histórica y caracterización de daños;

adicionalmente, se investigó respecto a la evolución de las normativas involucradas en el diseño y ejecución de los edificios antes nombrados, desde la etapa de proyecto y construcción hasta la actualidad. La información obtenida se representó en el marco teórico de la investigación en forma de textos, imágenes, fotografías y algunas tablas.

3.2 RECOPIACIÓN DE PLANOS Y GESTIÓN DE PERMISOLOGÍA

Utilizando documentos técnicos pertenecientes a la CUC, facilitados por COPRED, específicamente planos estructurales de los edificios IMME Norte, IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales, se obtuvo información técnica necesaria para comparaciones y análisis. Luego la gestión de permisos ante COPRED y Dirección del IMME para realizar ensayos no destructivos sobre la estructura.

FASE 2: a través de la inspección visual, registro fotográfico y ensayos no destructivos a las edificaciones en estudio se obtuvo el estado actual de los elementos estructurales, y mediante los planos suministrados por COPRED se logró registrar las características de los elementos estructurales según el proyecto original y así cumplir el segundo objetivo específico “Contrastar el estado actual de los elementos estructurales con el diseño original mediante ensayos no destructivos”.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se realizó la inspección visual y registro fotográfico de los edificios que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales en cuanto a sus características generales y daños presentes. La información obtenida se representó mediante tablas y fotografías debidamente analizadas.

Se ejecutaron ensayos no destructivos a ciertos elementos estructurales, contando con el apoyo de personal capacitado del IMME, con el fin de determinar con precisión las características del acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal. Aunado a esto, se realizó el estudio del diseño original a través de los planos estructurales.

Se estableció la comparación entre las cantidades de acero existente en ciertos elementos estructurales y lo propuesto en los diseños originales, los resultados fueron expresados en tablas y gráficas donde se observaron las diferencias entre la colocación de los aceros de refuerzo en los distintos elementos estructurales.

FASE 3: con el fin de cumplir el tercer objetivo específico: “Ejecutar el análisis de la estructura mediante el programa de cálculo estructural ETABS”, se realizó el modelado de la estructura.

3.4 MODELADO DE LA ESTRUCTURA

A través del programa de cálculo estructural ETABS se realizó el modelado de la estructura, cumpliendo con los parámetros establecidos en la Norma COVENIN 1756-01: “Edificaciones Sismorresistentes” en cuanto a características sísmicas. Los datos de entrada para la ejecución del modelo se obtuvieron de los planos estructurales y las cargas variables de la edificación se estimaron a partir de la Norma COVENIN-MINDUR 2002-88.

En cuanto a los datos de salida, se conoce que el programa ETABS se rige por la Norma Americana ACI 318; en consecuencia, algunos valores fueron adecuadamente interpretados para compararlos con las normas venezolanas. Se representó la información en tablas debidamente analizadas.

FASE 4: Una vez obtenidos los resultados del programa de cálculo estructural se procedió a comparar con los parámetros y rangos establecidos por las normas venezolanas, con la finalidad de cumplir el cuarto objetivo específico de esta investigación “Contrastar los parámetros estructurales derivados del Modelo Estructural analizado con los rangos propuestos en las Norma Venezolana COVENIN 1756-01: “Edificaciones Sismorresistentes” y Fondonorma 1753-06: “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural.”

3.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON LA NORMATIVA VIGENTE

Se llevó a cabo la comparación de la información suministrada por el programa de cálculo con los valores presentes en la estructura, mediante tablas y gráficos que expresan los resultados obtenidos del modelado. Para las edificaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales se determinó el valor de la masa y peso total y luego se procedió a analizar si cumplen con los parámetros de cortante basal, derivas de piso, número de modos de vibración para cumplir con la masa participativa, acero mínimo, factor demanda-capacidad en columnas y muros y diseño del acero en las vigas, tal como lo establecen las Normas COVENIN 1756-01: “Edificaciones Sismorresistentes” y Fondonorma 1753-06: “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”.

CAPÍTULO IV.
RECONOCIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

A lo largo de la descripción del procedimiento, serán mencionados varios códigos de planos utilizados para la obtención de información, cuyos contenidos están descritos en la Tabla N°4.

Tabla N°4. Índice de planos suministrados por COPRED.

Código	Contenido
60-A-1	Planta baja IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales - Facultad de Ingeniería
60-E-1	Ejes de fundaciones IMME Sur - Facultad de Ingeniería
60-E-2	Fundaciones y columnas IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales - Facultad de Ingeniería
60-E-3	Sótano – Plantas y cortes - Nave de Ensayos Especiales - Facultad de Ingeniería
60-E-4	Sótano – Plantas, cortes y detalles - Nave de Ensayos Especiales - Facultad de Ingeniería
60-E-5	Sótano – Plantas, cortes y detalles - Nave de Ensayos Especiales - Facultad de Ingeniería
60-E-6	Placa de ensayo – Cortes y detalles - Nave de Ensayos Especiales - Facultad de Ingeniería
60-E-7	Envigado y detalles estructurales - Nave de Ensayos Especiales - Facultad de Ingeniería
60-E-8	Detalles estructurales - Nave de Ensayos Especiales - Facultad de Ingeniería
60-E-9	Envigado y detalles estructurales – Nivel sótano – IMME Sur - Facultad de Ingeniería
60-E-10	Envigado y detalles estructurales – Nivel planta talleres – IMME Sur - Facultad de Ingeniería
60-E-11	Envigado y detalles estructurales – Nivel techo oficina - planta alta talleres – IMME Sur - Facultad de Ingeniería
60-E-12	Detalles estructurales – Nivel techo oficina - planta alta talleres – IMME Sur - Facultad de Ingeniería
60-E-13	Envigado y detalles estructurales – Nivel techo talleres – IMME Sur - Facultad de Ingeniería
60-E-14	Detalles estructurales – Nivel techo talleres – IMME Sur - Facultad de Ingeniería
60-E-15	Detalles estructurales – Volado sobre acceso lateral – Nave de Ensayos

	Especiales - Facultad de Ingeniería
24-E-60	Planta y detalle de fundaciones – Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24-E-62	Envigado de 1° y 2° piso – Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24-E-63	Vigas y columnas de 1° y 2° piso – Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24-E-64	Vigas del 1° piso – Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24-E-65	Vigas del 1° piso – Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24-E-66	Vigas del 2° piso – Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24a-A-1	Plantas y cortes – Ampliación Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24a-E-2	Planta de envigados y losas – Ampliación Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24a-E-3	Losas y vigas – Ampliación Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24a-E-4	Vigas – Ampliación Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.
24a-E-5	Pórticos tipo – Ampliación Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Se realizó la inspección visual acompañado de un registro fotográfico de las estructuras en estudio, IMME Norte, IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales; obteniendo las características generales de los mismos (materiales de construcción, tipo de sistema estructural, número de niveles, presencia de discontinuidades, usos, entre otros) además de los daños presentes en los elementos estructurales y mampostería. Utilizando los planos suministrados por COPRED se conoció la ubicación de los elementos estructurales según los ejes en donde se encuentran, permitiendo la nomenclatura de los mismos.

El edificio Norte del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, está formado por 2 estructuras que se denominan IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.

La estructura IMME Norte, que según planos originales es denominado Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Escuela de Ingeniería, está constituido por un sistema aperturado de concreto armado de aproximadamente 1000 m² de área de ubicación. Este edificio está conformado por dos niveles con altura de entrepiso de 4 m; posee solo una escalera. Los envigados están formados por vigas en ambas direcciones, la mayor parte de estas se encuentran en un rango de luces entre 5 m y 7,8 m, mientras que otras tienen luces de aproximadamente 12 m. En el envigado del nivel 1 existe una notable apertura de losa que ocupa alrededor del 50% del área total de la planta, lo cual representa una discontinuidad horizontal. Existen 2 vigas carrileras que sirven de soporte a una grúa móvil, las cuales se encuentran colgadas de las vigas del techo de la estructura.

La estructura IMME Norte – Ampliación se encuentra adyacente a la estructura anterior separada por una junta de dilatación, dando la impresión de que ambas edificaciones forman un solo espacio, por lo que también está conformada por 2 niveles con altura de entrepiso de 4 m y posee una escalera adicional. Esta estructura de concreto armado posee un área de ubicación de 390 m², presenta vigas en ambas direcciones con luces entre 5 m y 7,8 m. La mayor parte de las vigas se encuentran empotradas a las columnas en un extremo, mientras que en el otro están simplemente apoyadas a las columnas de la estructura IMME Norte, por lo que no se genera el efecto de pórtico y no se puede asegurar que se distribuyan eficazmente las fuerzas sísmicas entre los diversos miembros verticales. Algunas de las columnas que conforman el nivel techo tienen como característica resaltante que su sección transversal varía a lo largo de su longitud.

Las losas de ambos edificios son nervadas armadas en una dirección de 20 cm de espesor. Estos son de usos múltiples, según los planos originales de arquitectura, existe un área a doble altura destinada a ensayos físicos con maquinarias y equipos

pesados, además de laboratorios, depósitos, cubículos de profesores, oficinas, talleres, aulas y archivos. Cabe destacar que hoy en día algunos de estos usos han variado.

Según los planos originales, el edificio Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, actualmente conocido como IMME Sur, cuenta con un sótano de 3 m de altura de entrepiso y 2 niveles adicionales de 3,20 m cada uno, posee una sola escalera para acceder a los diferentes niveles. Este edificio está formado por una estructura aporticada de concreto armado y posee losas macizas, nervadas y prefabricadas del mismo material, además de muros de contención en el sótano. Las vigas de esta estructura no están distribuidas en ambas direcciones; poseen un rango variable de luces entre 1,7 m y 8 m. Existe una fosa para el montacargas que da un acceso adicional al sótano de la estructura. Cabe destacar que el área del sótano es de aproximadamente 190 m², mientras que planta baja y el nivel 1 son de 390 m² aproximadamente. Al igual que la edificación anterior, posee múltiples usos, entre los que destacan talleres, oficinas, aulas de clase y depósitos.

El edificio Ampliación Sur del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, actualmente conocido como Nave de Ensayos Especiales, es una estructura que se encuentra a un lado del edificio IMME Sur y existe un acceso entre ellos. Superficialmente es un edificio de un nivel con la particularidad de poseer 11 m de altura libre en la mayor parte de su área, además posee un ambiente dedicado a oficinas de 3,20 m de altura libre, comunicado con el edificio IMME Sur. Ocupa un área aproximada de 1150 m² y adicionalmente posee un sótano de aproximadamente 300 m² de área y 5,2 m de altura de entrepiso. Es una estructura aporticada de concreto armado, sin embargo, solo posee vigas perimetrales que se encuentran a diferentes alturas con un rango variable de luces entre 4 m y 11,8 m. La losa de techo está formada por elementos prefabricados curvos de concreto, apoyados sobre 2 vigas principales separadas a 18,8 m. Sobre la entrada principal de la edificación existe una losa en voladizo de concreto armado que se encuentra empotrada a una viga y en el otro extremo sostenida por anclajes que trabajan a tracción. Posee un par de vigas-rieles apoyadas en vigas de concreto armado, sobre las cuales se desplaza una grúa

móvil. Esta edificación se utiliza para realizar ensayos físicos con maquinarias y equipos pesados.

La planta baja de esta edificación se encuentra formada por una losa de piso común y una losa pretensada, denominada Banco Universal de Ensayos que coincide con la ubicación del sótano. La placa Banco Universal de Ensayos se encuentra separada 40 cm en todo su perímetro de la losa de planta baja, debido a que está diseñada para realizar gran variedad de ensayos dinámicos sin que las vibraciones se transmitan al resto de la estructura.

El sótano tiene 5,2 m de altura de entrepiso, donde 30 cm corresponden a la losa del piso del sótano, 2,7 m de altura libre, otros 30 cm de la losa del techo del sótano y la losa pretensada del Banco Universal de Ensayos que tiene un espesor de 1,9 m tal como se observa en la Imagen N°4. Esta losa se encuentra apoyada sobre varios muros distribuidos en ambas direcciones en el sótano. La losa del Banco Universal de Ensayos posee agujeros, denominados retículas, distribuidos de manera regular sobre la superficie, utilizados para anclar las estructuras a ensayar a los elementos estructurales del sótano. La sección transversal de esta losa pretensada se presenta en la Imagen N°5.

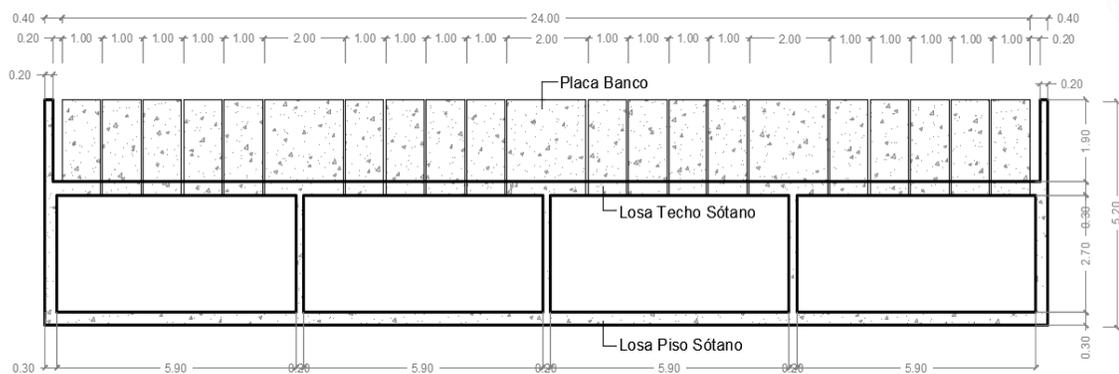


Imagen N°4. Corte del sótano de la Nave de Ensayos Especiales

Fuente: Elaboración propia.

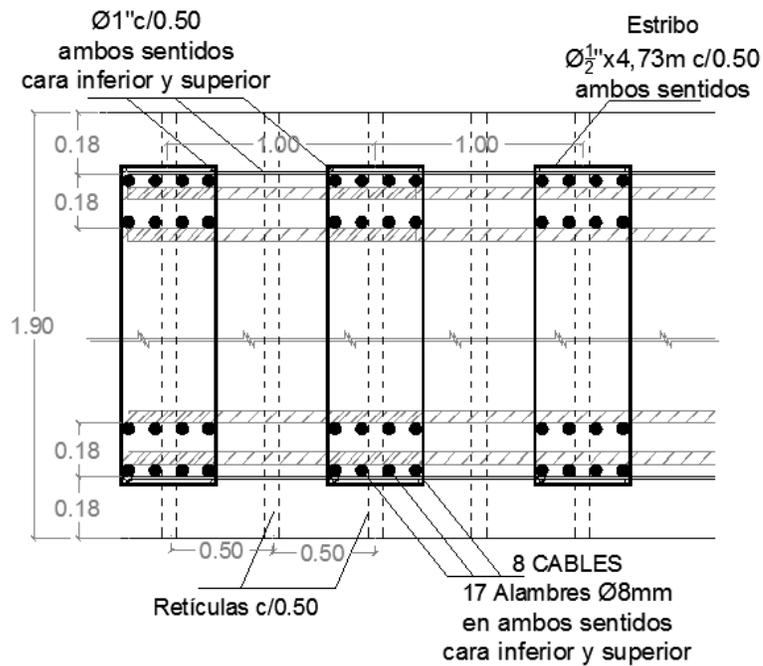


Imagen N°5. Sección transversal Placa Banco Universal Ensayos.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Estado actual de la estructura

Al realizar la inspección visual de las estructuras, se observaron algunos daños en elementos, ya sean vigas, columnas, losas, muros o mampostería. Para clasificar y registrar el grado de daño existente, se presenta en la Tabla N°5, donde 1 es el menor daño y 5 el mayor grado de daño.

Tabla N°5. Escala de daños.

Tipo de daño	Escala de daños				
	1	2	3	4	5
Humedad	< 10% del elemento	10% - 25% del elemento	25% - 50% del elemento	50% - 75% del elemento	> 75% del elemento
Caída de recubrimiento	< 5cmde longitud. No se observa	5cm-25cmde longitud. No se observa acero de	>25cm de longitud. No se observa acero de	<10cmde longitud. Se observa acero de refuerzo	>10cmde longitud. Se observa acero de refuerzo

	acero de refuerzo	refuerzo	refuerzo		
Agrietamiento (en mampostería)	< 10% del elemento	10% - 25% del elemento	25% - 50% del elemento	50% - 75% del elemento	> 75% del elemento
Agrietamiento (en vigas, columnas, losas y muros)	< 5cmde longitud. < 1mmde ancho	5cm- 25cmde longitud. < 1mmde ancho	5cm- 25cmde longitud. 1mm – 2mmde ancho	>25cmde longitud. 1mm – 2mmde ancho	>25cmde longitud. >2mmde ancho
Desprendimiento de mosaicos	< 10% de mosaicos afectados	10% - 25% de mosaicos afectados	25% - 50% de mosaicos afectados	50% - 75% de mosaicos afectados	> 75% de mosaicos afectados
Vegetación	1 – 3 plantas	3 – 5 plantas	5 – 10 plantas	10 – 15 plantas	> 15 plantas
Aberturas	< 2cmx2cm de área	2cmx2cm – 10cmx10cm de área	10cmx10cm – 15cmx15cm de área	15cmx15cm – 20cmx20cm de área	> 20cmx20cm de área
Corrosión de perfiles de acero	< 5cmde longitud	5cm-10cm de longitud	10cm-25cm de longitud	25cm-50cm de longitud	>50cm de longitud

Fuente: Elaboración propia.

Entre los días 23 de junio y 6 de julio de 2015 se realizó el recorrido, inspección y registro fotográfico de las estructuras IMME Norte, IMME Norte – Ampliación, IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales, con el fin de hallar daños existentes en los elementos estructurales y mampostería. Durante este recorrido no se tuvo acceso a la totalidad de los espacios, tales como el sótano de la Nave de Ensayos Especiales debido a la ausencia del personal en el momento de las inspecciones, la habitación de depósito del IMME Sur y algunos ambientes del IMME Norte, sin embargo se pudo realizar la inspección visual de más del 90% de los espacios de las edificaciones del IMME. Esto ocasiona que probablemente no se levantaron completamente los daños existentes, no obstante se considera que la información recabada es representativa. La información se clasificó según la estructura y se muestra en las Tablas N°7, N°8, N°9 y N°10. Por otro lado el registro fotográfico detallado se encuentra en el anexo digital “Registro fotográfico de daños y ejecución de ensayos no destructivos”.

Para el correcto entendimiento de las tablas de daño es necesario conocer la nomenclatura y abreviaciones utilizadas, tal como se explica en la Imagen N°6 y en la Tabla N°6:

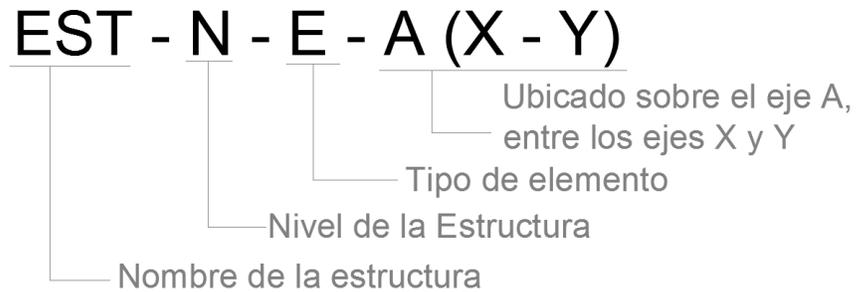


Imagen N°6. Explicación del código en tabla de daños.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°6. Leyenda de abreviatura en código de daños.

Abreviatura	Significado
IN	IMME Norte
IN.A	IMME Norte – Ampliación
IS	IMME Sur
NEE	Nave de Ensayos Especiales
1	Nivel 1
T	Nivel Techo
PT	Nivel planta talleres
TO-PAT	Nivel techo oficinas – Planta alta talleres
TT	Nivel techo talleres
M	Mampostería
V	Viga
C	Columna
L	Losa
Mu	Muro

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°7. Daños presentes en la estructura IMME Norte.

Código	Nivel	Ubicación	Elemento	Daño	Nivel de Daño	Observaciones
IN-1-M-B(2-3)	1	B (2-3)	Mampostería	Agrietamiento	2	Grietas diagonales. Posiblemente causadas por asentamiento diferencial
IN-1-M-C(2-3)	1	C (2-3)	Mampostería	Agrietamiento	2	Cara sur
					2	Cara norte
				Humedad	1	Presencia en la parte inferior de la cara norte
IN-T-L-(1-11)(A-D)	T	(1-11)(A-D)	Losa (inferior)	Humedad	4	Presencia de focos de humedad dispersos en gran parte de la losa
IN-1-M-(3-4)(C-D)	1	(3-4)(C-D)	Mampostería	Agrietamiento	2	Grieta en diagonal en la parte superior de la mampostería
IN-T-V-10(A-B)	T	10(A-B)	Viga	Humedad	3	Humedad en la cara este e inferior del apoyo derecho de la viga
IN-T-C-A10	T	A10	Columna	Humedad	1	Presencia de humedad en el tope de la columna
IN-T-M-A(2-3)	T	A(2-3)	Mampostería	Agrietamiento	2	Grietas diagonales en mampostería de fachada externa
IN-T-C-A3	T	A3	Columna	Agrietamiento	2	Pequeñas fisuras en la cara sur del elemento
IN-1-C-A8	1	A8	Columna	Caída de recubrimiento	2	Se presenta en la base de la columna
				Humedad	2	

IN-1-C-A10	1	A10	Columna	Caída de recubrimiento	2	Se presenta en la base de la columna
				Humedad	2	
IN-1-M-11(A-D)	1	11(A-D)	Mampostería	Agrietamiento	5	Presencia de grietas en casi toda la fachada este
				Desprendimiento de mosaico	1	-
IN-1-M-1(A-C)	1	1(A-C)	Mampostería	Agrietamiento	3	-
IN-1-L-11(C-D)	1	11(C-D)	Losa (inferior)	Humedad	2	Posiblemente causado por tubería de drenaje de agua de lluvia en mal estado
IN-1/T-M-1(C-D)	1	1(C-D)	Mampostería	Desprendimiento de mosaico	4	Presencia en ambos niveles alrededor de las ventanas y por eliminación de aire acondicionado
	T					
IN-1-M-3(C-D)	1	3(C-D)	Mampostería	Humedad	2	Presencia en la parte inferior del elemento
IN-1-M-1(C-D)	1	1(C-D)	Mampostería	Agrietamiento	2	Ubicado en el depósito bajo la escalera
				Humedad	2	
IN-1-C-B7	1	B7	Columna	Humedad	4	Causado por drenaje de aire acondicionado
IN-T-M-(A-B)4	T	(A-B)4	Mampostería	Agrietamiento	2	-
IN-T-M-(A-B)3	T	(A-B)3	Mampostería	Agrietamiento	2	-
IN-T-M-(A-B)(3-4)	T	(A-B)(3-4)	Mampostería	Agrietamiento	2	-

IN-1-L-(B-C)(1-3)	1	(B-C)(1-3)	Losa (superior)	Desprendimiento de mosaico	2	Se observan reparaciones
IN-PB-L-(B-C)(10-11)	PB	(B-C)(10-11)	Losa (superior)	Desprendimiento de mosaico	1	Se observan reparaciones
IN-1-M-1(A-B)	1	1(A-B)	Mampostería	Humedad	2	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°8. Daños presentes en la estructura IMME Norte – Ampliación.

Código	Nivel	Ubicación	Elemento	Daño	Nivel de Daño	Observaciones
IN.A-T-M-(C-D)(2-3)	T	(C-D)(2-3)	Mampostería	Agrietamiento	2	Grieta diagonal, posiblemente causada por asentamiento de una fundación
IN.A-T-M-(2-3)(C-D)	T	(2-3)(C-D)	Mampostería	Agrietamiento	3	-
IN.A-T-V-6 (D-D')	T	6 (D-D')	Viga	Agrietamiento	2	-
IN.A-T-L-(1-11)(D-D')	T	(1-11)(D-D')	Losa (inferior)	Humedad	4	Se observa humedad en varios lugares de la cara inferior de la losa de techo
IN.A-T-M-(4-5)(D-D')	T	(4-5)(D-D')	Mampostería	Agrietamiento	3	Grieta vertical con testigo para medir variación del tamaño en el tiempo

IN.A-1-L-(7-8)(D-D')	1	(7-8)(D-D')	Losa (superior)	Agrietamiento	3	Losa del descanso de la escalera
IN.A-1-M-(7-8)(D-D')	1	(7-8)(D-D')	Mampostería	Agrietamiento	4	-
IN.A-T-V-11 (D-D')	T	11(D-D')	Viga	Agrietamiento	5	Grieta profunda y de longitud considerable en el apoyo de la viga.
IN.A-1-M-11 (D-D')	1	11(D-D')	Mampostería	Agrietamiento	4	-
IN.A-1-V-11 (D-D')	1	11(D-D')	Viga	Vegetación	2	-
IN.A-T-M-11 (D-D')	T	11(D-D')	Mampostería	Agrietamiento	3	-
				Desprendimiento de mosaico	1	-
IN.A-1-M-D' (4-5)	1	D' (4-5)	Mampostería	Agrietamiento	2	-
IN.A-T-V-1(D-D')	T	1(D-D')	Viga	Agrietamiento	4	-
IN.A-1-M-1(D-D')	1	1(D-D')	Mampostería	Agrietamiento	3	-
IN.A-T-V-D'(1-11)	T	D'(1-11)	Viga	Humedad	3	-
				Vegetación	1	
IN.A-T-M-D'(1-2)	T	D'(1-2)	Mampostería	Desprendimiento de mosaico	3	Originado por eliminación de aire acondicionado
IN.A-1-V-1(D-D')	1	1(D-D')	Viga	Vegetación	2	-
IN.A-1-M-3(D-D')	1	3(D-D')	Mampostería	Humedad	1	-
IN.A-1-M-D(4-5)	1	D(4-5)	Mampostería	Agrietamiento	1	-
				Desprendimiento de mosaico	2	Posiblemente causada por reparación de instalación sanitaria

IN.A-1-V-2(D-D')	1	2(D-D')	Viga	Agrietamiento	3	Grieta en el apoyo
IN.A-1-L-(1-2)(D-D')	1	(1-2)(D-D')	Losa (Inferior)	Agrietamiento	3	-
IN.A-1-M-D'(1-2)	1	D'(1-2)	Mampostería	Desprendimiento de mosaico	1	-
IN.A-1-M-D'(3-4)	1	D'(3-4)	Mampostería	Agrietamiento	1	-
IN.A-1-M-D(4-5)	1	D(4-5)	Mampostería	Humedad	2	-
IN.A-T-M-(D-D')(3-4)	T	(D-D')(3-4)	Mampostería	Agrietamiento	3	Grieta vertical con testigo para medir variación del tamaño en el tiempo
IN.A-1-M-7(D-D')	1	7(D-D')	Mampostería	Agrietamiento	2	-
IN.A-1-M-D(5-6)	1	D(5-6)	Mampostería	Agrietamiento	4	2 grietas verticales de magnitud considerable y otras más pequeñas en todo el elemento.
IN.A-1-L-(D-D')(5-6)	1	(D-D')(5-6)	Losa (inferior)	Agrietamiento	2	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°9. Daños presentes en la estructura IMME Sur.

Código	Nivel	Ubicación	Elemento	Daño	Nivel de Daño	Observaciones
IS-TO.PAT-M-24(I-G)	TO.PAT	24(I-G)	Mampostería	Agrietamiento	3	-
	TT	G(18-24)	Mampostería	Desprendimiento de mosaico	4	Originado por eliminación de aire acondicionado

IS-TT-M-G(18-19)	TT	G(18-19)	Mampostería	Agrietamiento	4	-
IS-TO.PAT-M-G(18-19)	TO.PAT	G(18-19)	Mampostería	Agrietamiento	2	-
IS-TO.PAT-M-G(19-20)	TO.PAT	G(19-20)	Mampostería	Agrietamiento	4	Grieta de gran longitud y profundidad originada posiblemente por las raíces del árbol cercano
IS-TT-C-G18	TT	G18	Columna	Caída de recubrimiento	1	-
IS-TO.PAT-V-G(18-19)	TO.PAT	G(18-19)	Viga	Agrietamiento	1	-
IS-TO.PAT-M-16(G-I)	TO.PAT	16(G-I)	Mampostería	Agrietamiento	3	-
				Desprendimiento de mosaico	2	Causado por una reparación en la mampostería
IS-TO.PAT-L-(13-16)(B-D)	TO.PAT	(13-16)(B-D)	Losa (inferior)	Humedad	4	Varios focos de humedad en la losa. Presencia de goteras cuando llueve
IS-PT-L-(13-16)(B-D)	PT	(13-16)(B-D)	Losa (superior)	Agrietamiento	4	-
IS-TO.PAT-M-D(13-15)	TO.PAT	D(13-15)	Mampostería	Agrietamiento	3	-
IS-TO.PAT-M-G(20-21)	TO.PAT	G(20-21)	Mampostería	Humedad	5	Causada por cercanía a pieza sanitaria (batea)
IS-TO.PAT-C-G20	TO.PAT	G20	Columna	Caída de recubrimiento	5	-
IS-TO.PAT-L-(19-20)(G-I)	TO.PAT	(19-20)(G-I)	Losa (inferior)	Caída de recubrimiento	1	Caída de recubrimiento en losa prefabricada
IS-TO.PAT-C-I20	TO.PAT	I20	Columna	Agrietamiento	2	-
IS-PT-L-(18-20)(G-K)	PT	(18-20)(G-K)	Losa (superior)	Agrietamiento	3	-

IS-TO.PAT-V-I(18-19)	TO.PAT	I(18-19)	Viga	Caída de recubrimiento	1	-
IS-TO.PAT-M-18(G-I)	TO.PAT	18(G-I)	Mampostería	Humedad	3	-
IS-TO.PAT-V-18(G-I)	TO.PAT	18(G-I)	Viga	Humedad	2	-
IS-PT-Mu-15(G-H)	PT	15(G-H)	Muro	Humedad	2	-
IS-PT-C-K18	PT	K18	Columna	Humedad	3	-
IS-PT-L-(D-F')(13-16)	PT	(D-F')(13-16)	Losa (superior)	Caída de recubrimiento	1	Caída del mármol de los escalones de la escalera
IS-TT-M-13(D-F')	TT	13(D-F')	Mampostería	Agrietamiento	1	-
IS-TT-M-D(13-16)	TT	D(13-16)	Mampostería	Humedad	3	-
IS-TT-L-(D-F')(13-16)	TT	(D-F')(13-16)	Losa (inferior)	Humedad	2	Posiblemente causado por filtraciones de agua de lluvia
IS-TT-M-18(I-G)	TT	18(I-G)	Mampostería	Agrietamiento	2	-
IS-TO.PAT-L-H(16-18)	TO.PAT	H(16-18)	Losa (superior)	Desprendimiento de mosaico	1	-
IS-TT-M-K(16-18)	TT	K(16-18)	Mampostería	Humedad	3	-
IS-TO.PAT-L-18(K-I)	TO.PAT	18(K-I)	Losa (superior)	Agrietamiento	3	-
IS-TT-M-I(18-19)	TT	I(18-19)	Mampostería	Agrietamiento	1	-
IS-TT-M-I(19-22)	TT	I(19-22)	Mampostería	Desprendimiento de mosaico	3	Originado por eliminación de aire acondicionado
IS-TT-M-I(22-23)	TT	I(22-23)	Mampostería	Abertura	1	-
IS-TO.PAT-V-F(16-18)	TO.PAT	F(16-18)	Viga	Caída de recubrimiento	5	-
				Agrietamiento	2	-

IS-TO.PAT-V-F(14-16)	TO.PAT	F(14-16)	Viga	Agrietamiento	1	-
IS-TO.PAT-C-K22	TO.PAT	K22	Columna	Humedad	3	-
IS-TO.PAT-V-K(18-19)	TO.PAT	K(18-19)	Viga	Caída de recubrimiento	1	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°10. Daños presentes en la estructura Nave de Ensayos Especiales.

Código	Ubicación	Elemento	Daño	Nivel de Daño	Observaciones
NEE-M-0(A-Aa)	0(A-Aa)	Mampostería	Agrietamiento	2	Grieta vertical posiblemente causada por compresión de la viga sobre la mampostería
NEE-M-0(A-B)	0(A-B)	Mampostería	Abertura	4	-
NEE-C-B0	B0	Columna	Caída de recubrimiento	4	-
			Agrietamiento	1	-
NEE-V-B(0-1)	B(0-1)	Viga	Caída de recubrimiento	2	-
NEE-C-B1	B1	Columna	Agrietamiento	1	-
NEE-M-B(5-9)	B(5-9)	Mampostería	Humedad	4	Fuerte focos de humedad causada por el agua de lluvia que entra por las ventanas
NEE-V-B(5-9)	B(5-9)	Viga	Humedad	3	-
NEE-M-12(A'-B)	12(A'-B)	Mampostería	Agrietamiento	3	-
NEE-V-12(A'-B)	12(A'-B)	Viga	Vegetación	1	-

NEE-L-Vol12(A-A')	Volado 12(A-A')	Losa (inferior)	Caída de recubrimiento	5	Se observa el acero de refuerzo en gran parte de la losa
			Corrosión de perfiles de acero	4	-
			Humedad	5	-
NEE-V-12(A-A')	12(A-A')	Viga	Humedad	5	-
NEE-M-12(A-B)	12(A-B)	Mampostería	Agrietamiento	2	-
NEE-M-A(9-12)	A(9-12)	Mampostería	Agrietamiento	2	-
NEE-C-Ab0	Ab0	Columna	Caída de recubrimiento	3	-
NEE-C-Ac0	Ac0	Columna	Caída de recubrimiento	3	Se observa en la base y a media altura del elemento
NEE-M-F(5-9)	F(5-9)	Mampostería	Agrietamiento	2	-
NEE-V-5(B-F)	5(B-F)	Viga	Agrietamiento	4	Grietas en ambos apoyos y en el tramo central de la viga
NEE-M-5(B-F)	5(B-F)	Mampostería	Agrietamiento	3	-
NEE-L-(D-F)(12-13)	(D-F)(12-13)	Losa (inferior)	Humedad	2	Posiblemente causado por filtraciones de agua de lluvia
NEE-M-D(12-13)	D(12-13)	Mampostería	Humedad	3	-
NEE-M-D(10-13)	D(10-13)	Mampostería	Agrietamiento	3	-
NEE-L-(10-13)(B-D)	(10-13)(B-D)	Losa (superior)	Agrietamiento	4	-

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Análisis del estado actual de la estructura.

Una vez realizada la inspección visual de los edificios que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales con el fin de registrar los daños existentes y clasificarlos en función de la escala de daños que se observa en la Tabla N°5, fue posible construir los gráficos que se presentan a continuación. Es importante destacar que no se puede asegurar haber registrado la totalidad de los daños existentes, debido a que no se tuvo acceso a todos los ambientes y algunos daños son difíciles de apreciar ya que pueden estar ocultos por cielos rasos, maquinarias o falta de iluminación. Sin embargo se considera que la información suministrada es representativa.

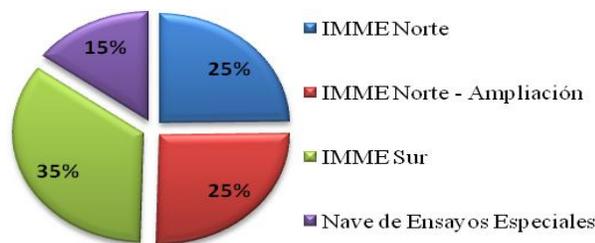


Gráfico N°1. Distribución porcentual de daños en estructuras.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico N°1 se observa que de los 126 daños registrados, el 35% pertenecen al IMME Sur, mientras que el IMME Norte e IMME Norte – Ampliación poseen 25% cada uno. Finalmente, el 15% de los daños restantes fueron observados en la Nave de Ensayos Especiales.

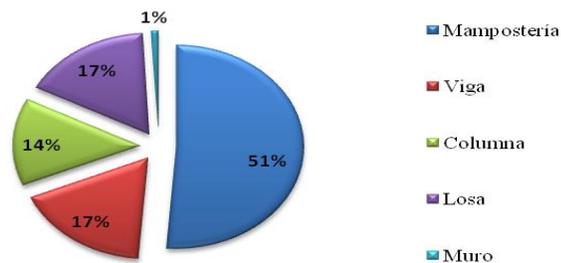


Gráfico N°2. Distribución porcentual de los elementos donde se apreciaron daños.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al Gráfico N°2 se tiene que la mayor parte de los daños apreciados se ubican en mampostería, por lo cual no podría llegar a representar una amenaza para la estabilidad global de la estructura. En cuanto al 49% de los daños restantes, se distribuyen entre vigas, columnas, losas y muros que si son elementos estructurales.

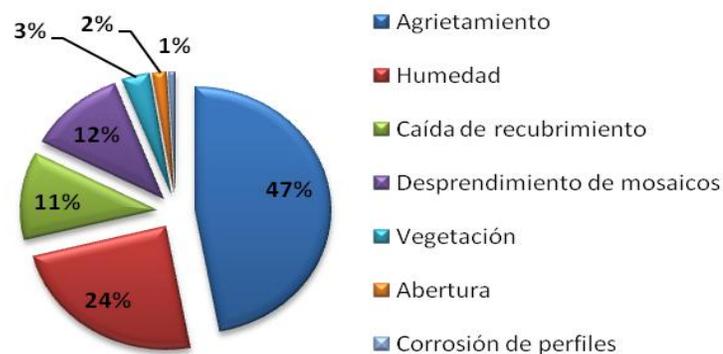


Gráfico N°3. Distribución porcentual del tipo de daño observado.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en el Gráfico N°3 que el 47% de los daños registrados fueron por agrietamiento, observados principalmente en mampostería, aunque algunas vigas, columnas y losas también lo presentaron. En cuanto a los daños por humedad, poseen un 24% del total y se pudieron observar en todos los tipos de elementos. El daño asociado a desprendimiento de mosaicos solo se observó en mampostería y algunos fueron causados por la eliminación de equipos de aire acondicionado de ventana. La caída de recubrimiento se apreció principalmente en vigas y columnas y generalmente no llegaba a apreciarse el acero de refuerzo. Finalmente los daños menos observados fueron vegetación, abertura y corrosión de perfiles.

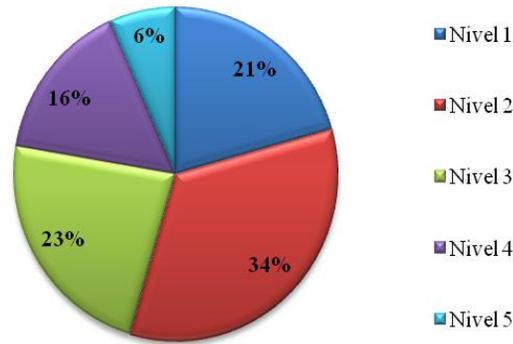


Gráfico N°4. Distribución porcentual del nivel de daño observado.

Fuente: Elaboración propia.

Por último en el Gráfico N°4 se observa que el grueso del total, un 55% está formado por daños nivel 1 y 2, lo que significa que no hay gran cantidad de daños con un grado de afectación significativo. Muestra de esto es que solo un 6% del total de los daños apreciados fueron clasificados como nivel 5.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL

Se procedió a dibujar los esquemas de los envigados de las edificaciones IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales, para lo cual se hizo el dibujo de los ejes que conforman ambas edificaciones, utilizando los planos 60-E-1 y 60-E-2 obteniendo un total de 26 ejes en una dirección y 13 ejes en la otra, cabe destacar que no todos los ejes tiene la misma dirección ya que algunos tienen una inclinación de 6° con respecto a otros.

Del plano 60-E-2 se extrajeron los datos para realizar la Tabla N°11 utilizada para la realización de los esquemas de envigado, además la sección transversal de cada columna se observa en la Imagen N°7.

Tabla N°11. Tipos de columnas - IMME Sur.

Ubicación	Tipo de Columna		
	Planta talleres	Techo oficinas – Planta alta talleres	Techo talleres
C-11	-	1	-
D-13, F-14, H-16, J-16'	1	1	1
E-15	2	1	1
F-5, F-6, F-7, F-8, F-9, F-10	-	2	-
G-17, G-20, K-20	2	2	2
G-18, G-19	4	2	2
G-21, G-22, G-23, G-24, K-21, K-22, K-23, K-24	-	2	2
I-18, I-19	5	2	1
I-20	2	2	1
I-21, I-22, I-23	-	2	1
I-24	-	1	1
K-18, K-19	3	2	2
G-18', G'-18', G'-18	6	-	-

Fuente: Elaboración propia.

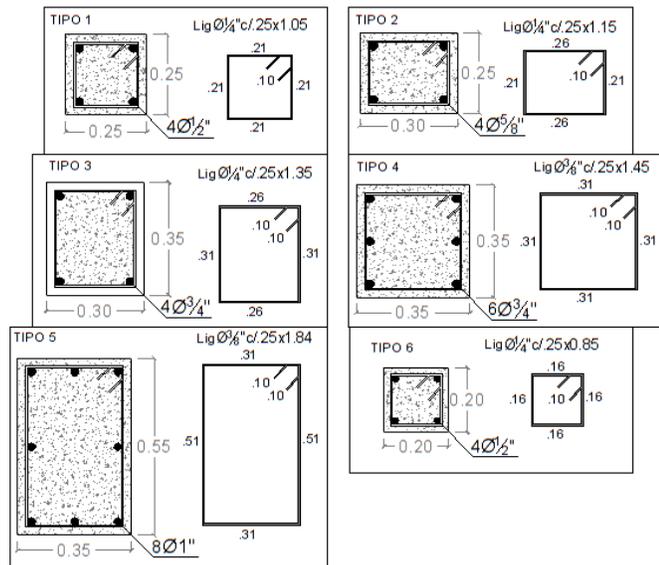


Imagen N°7. Secciones transversales de las columnas del IMME Sur.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los planos 60-E-8 y 60-E-9 se realizaron los esquemas de los detalles de las columnas de la Nave de Ensayos Especiales, denominadas tipo 7, 8, 9 y 10 los cuales se presentan a continuación en la Imagen N°8, N°9, N°10 y N°11. Es importante aclarar que las columnas tipo 7 y tipo 10 son de sección variable.

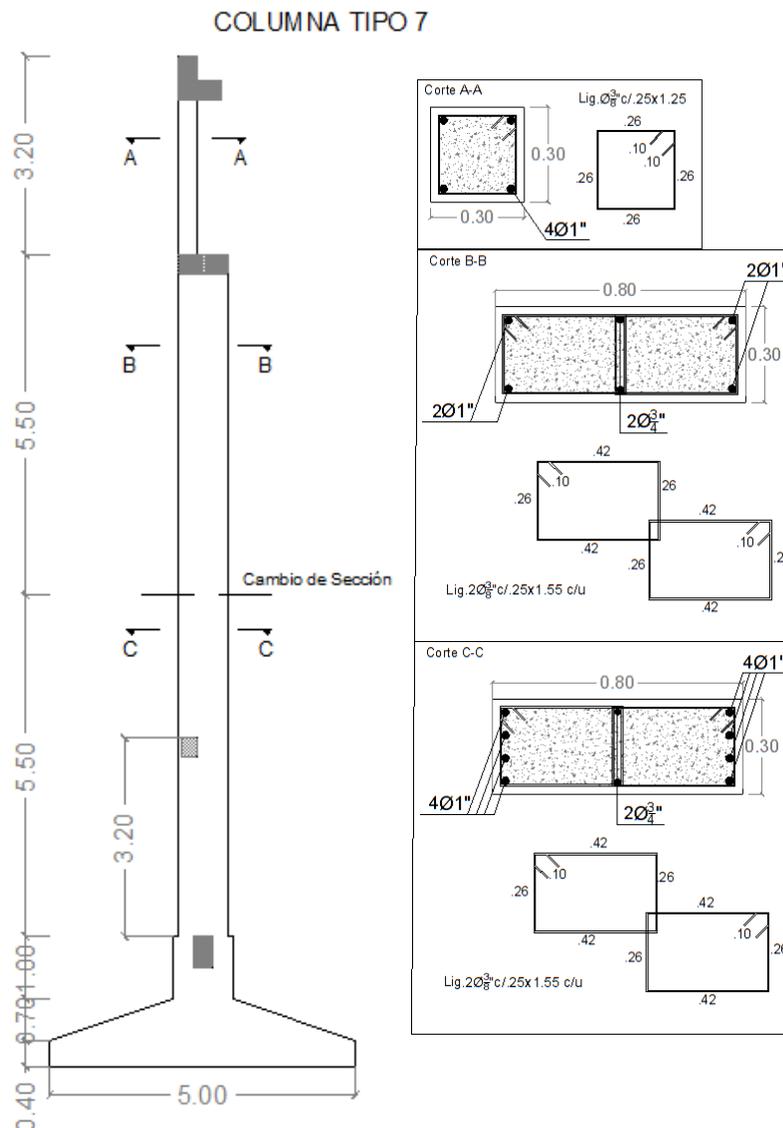


Imagen N°8. Esquema y secciones transversales de columna tipo 7.

Fuente: Elaboración propia.

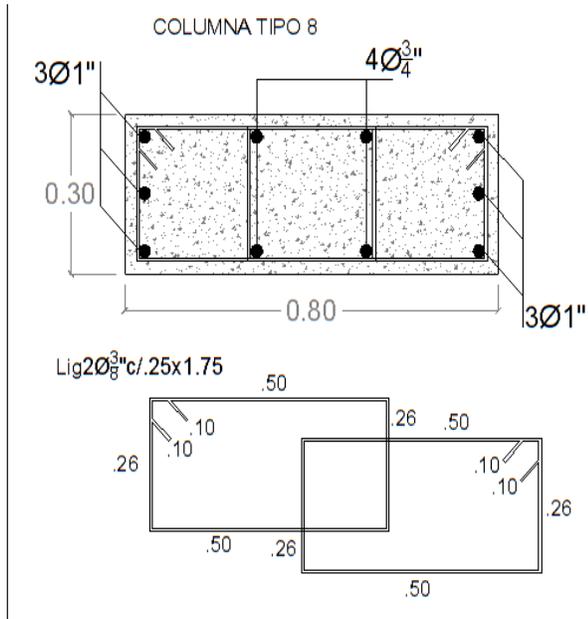


Imagen N°9. Sección transversal de columna tipo 8.

Fuente: Elaboración propia.

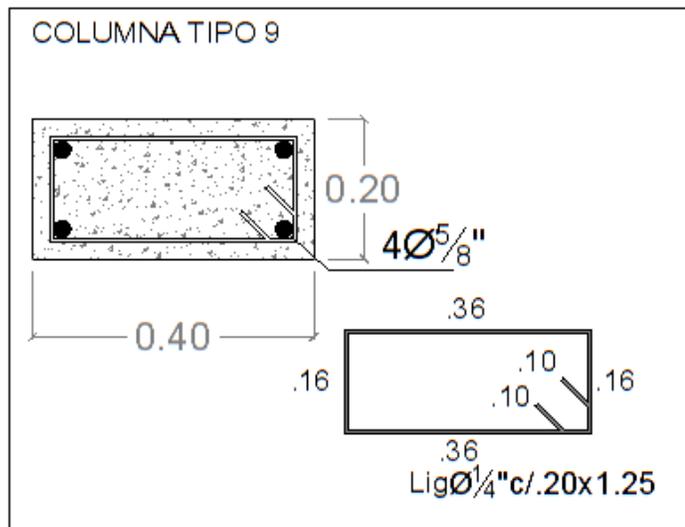


Imagen N°10. Sección transversal de columna tipo 9.

Fuente: Elaboración propia.

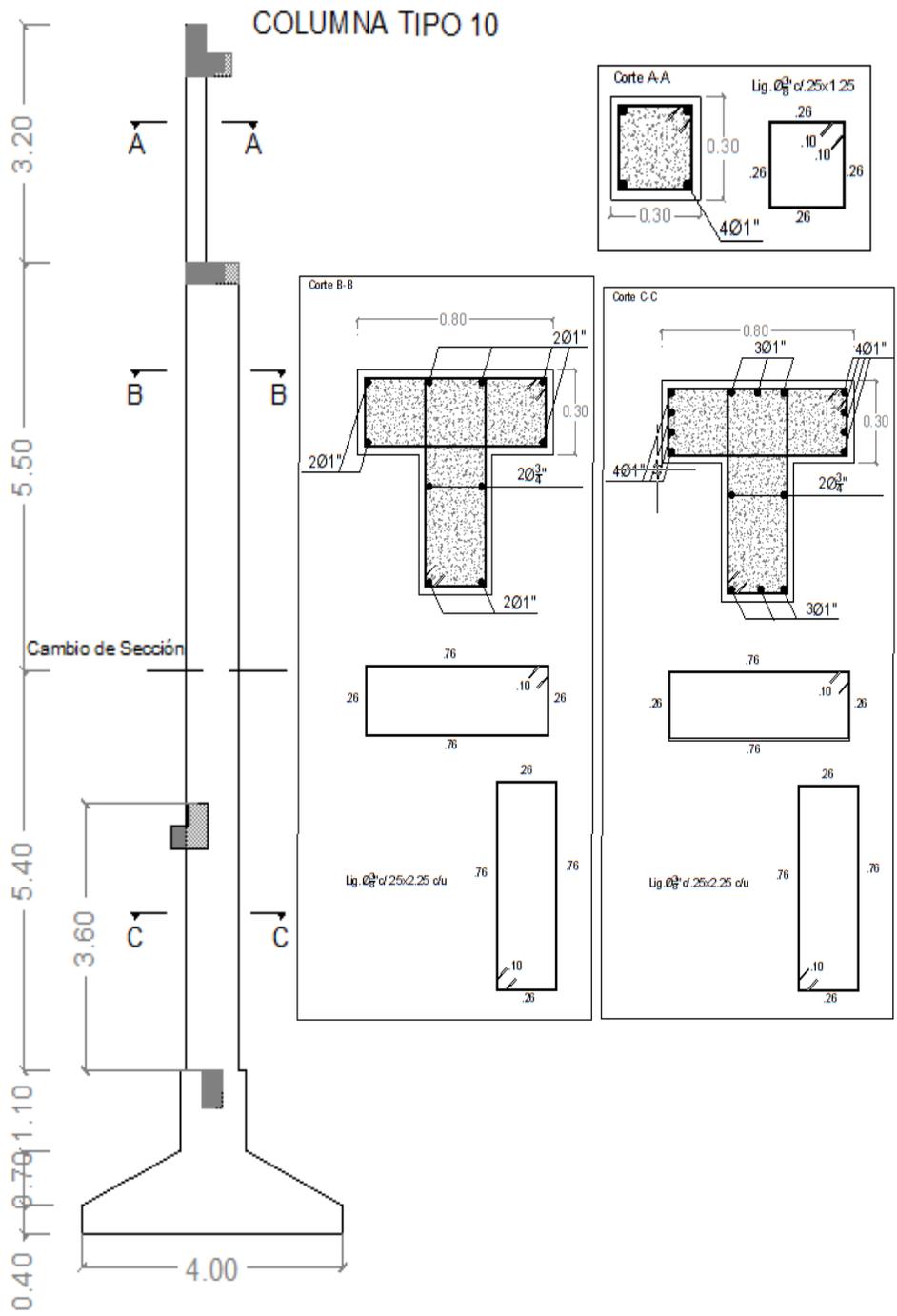


Imagen N°11. Esquema y secciones transversales de columna tipo 10.

Fuente: Elaboración propia.

El edificio IMME Norte está formado por dos estructuras separadas por una junta de dilatación. En los planos originales se observa que la estructura de mayor tamaño es llamada Laboratorio Ensayo de Materiales – Escuela de Ingeniería y la segunda se denomina Laboratorio Ensayo de Materiales Ampliación – Escuela de Ingeniería.

Para dibujar los esquemas de envigados que conforman estas edificaciones se procedió a obtener la información de los ejes a partir de los planos 24-E-60 y 24a-A-1, resultando un total 5 ejes en una dirección y 11 en la dirección perpendicular.

A partir de los planos 24-E-63 y 24a-E-5 se conoce que existen 18 tipos de columnas en las dos estructuras que conforman el edificio norte del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, cuya ubicación se muestra en la Tabla N°12 y sus secciones transversales se observan en la Imagen N°12 y N°13.

Tabla N°12. Tipos de columnas del IMME Norte e IMME Norte - Ampliación

Ubicación	Tipo de Columnas	
	Nivel 1	Nivel Techo
A-1, A-11, D-1, D-2, D-3	11	11
A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7, A-8, A-9, A-10, D-11	12	12
B-1	18	13
B-2, B-3	18	14
B-4, B-5, B-6, B-7, B-8, B-9	23	15
B-10	24	16
B-11	17	17
B ² -1	22	-
C-1	18	18
C-2, C-3	18	19
D-4, D-5, D-6, D-7, D-8, D-9	20	20
D-10	21	21
D ² -1, D ² -11	25	27
D ² -2, D ² -3, D ² -4, D ² -5, D ² -6, D ² -7, D ² -8, D ² -9, D ² -10	26	28

Fuente: Elaboración propia.

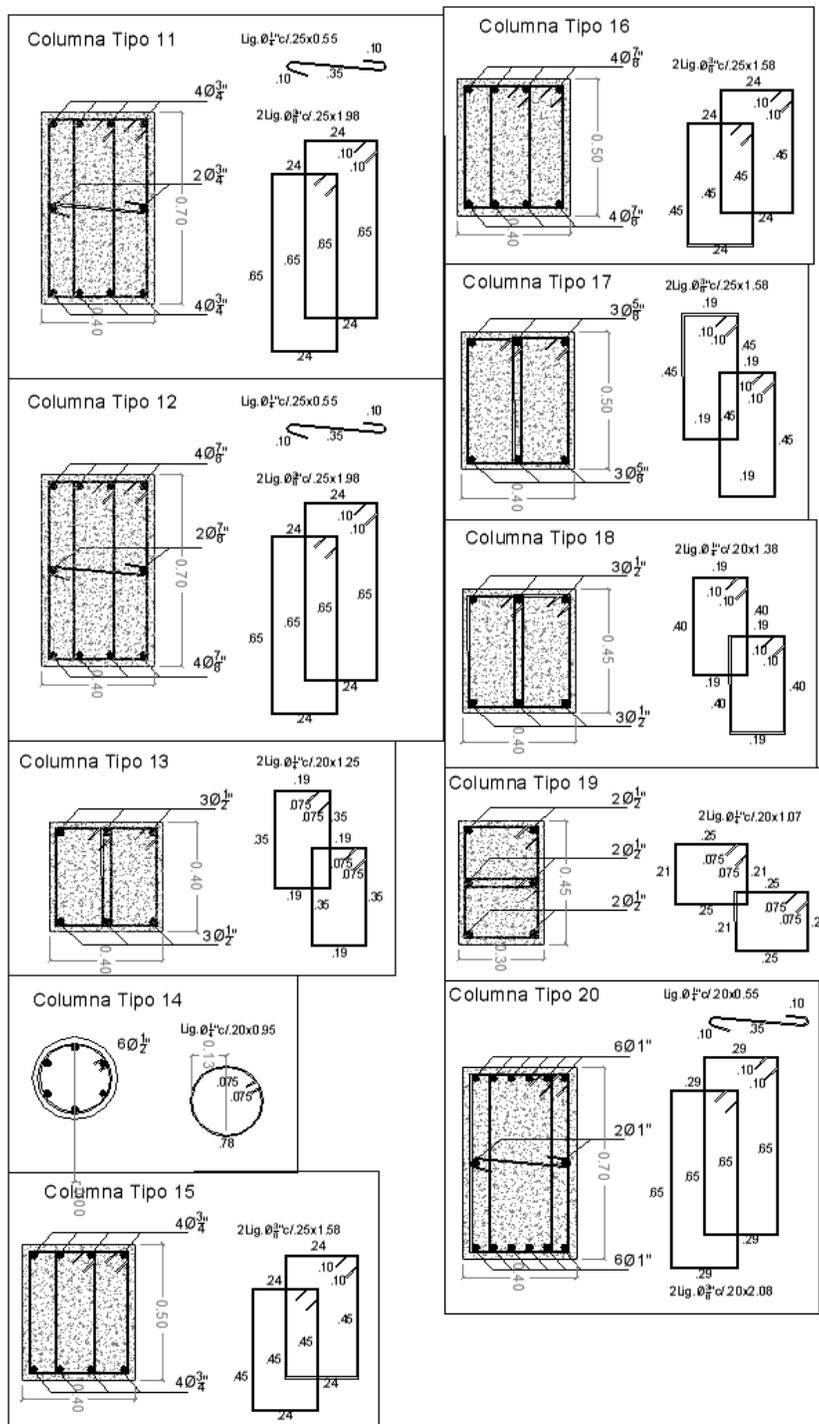


Imagen N°12. Secciones de columnas IMME Norte e IMME Norte - Ampliación (I).

Fuente: Elaboración propia.

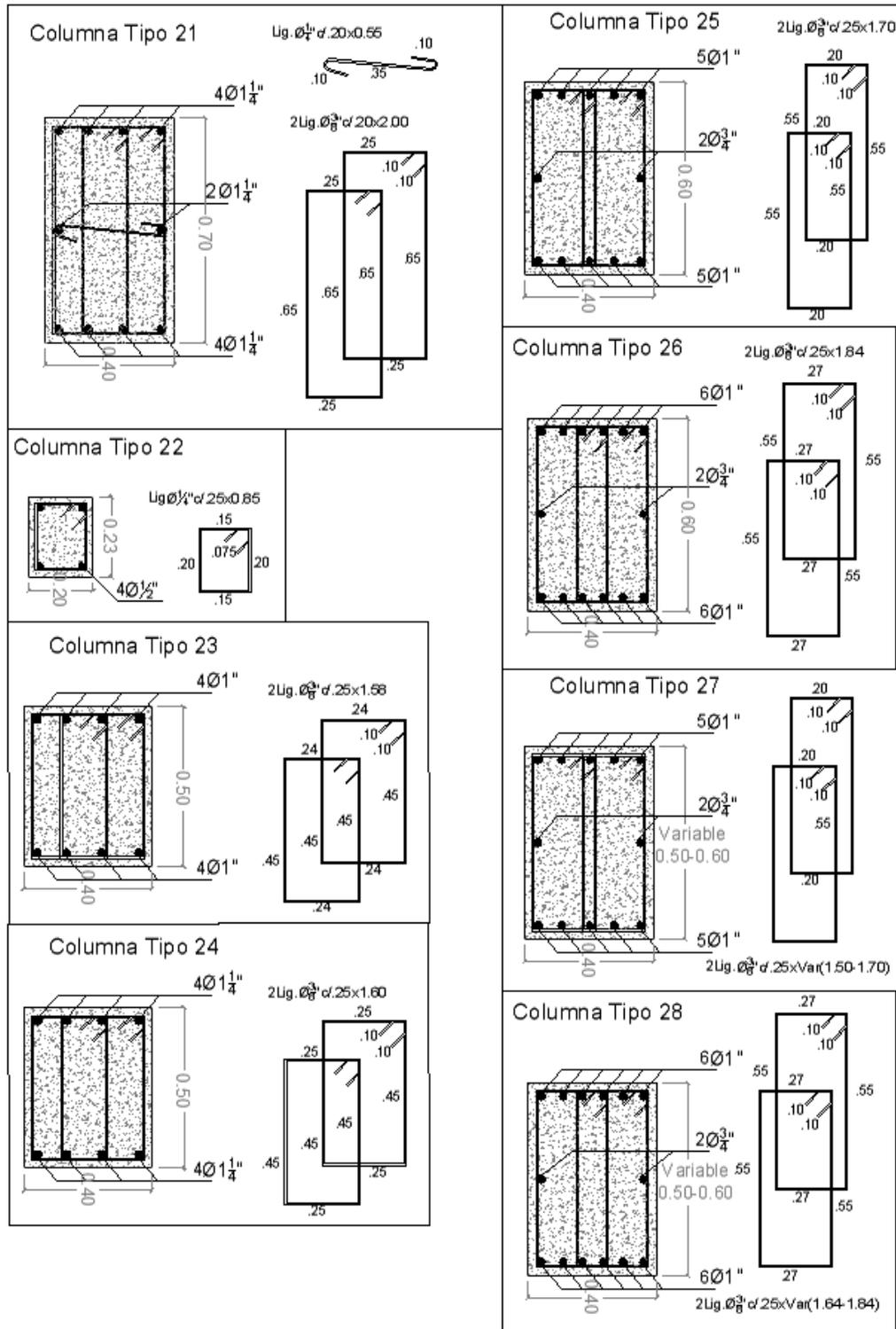


Imagen N°13. Secciones de columnas IMME Norte e IMME Norte - Ampliación (II).

Fuente: Elaboración propia.

Las columnas tipo 27 y 28 son de sección variable y dicha variación se puede apreciar en la Imagen N°14.

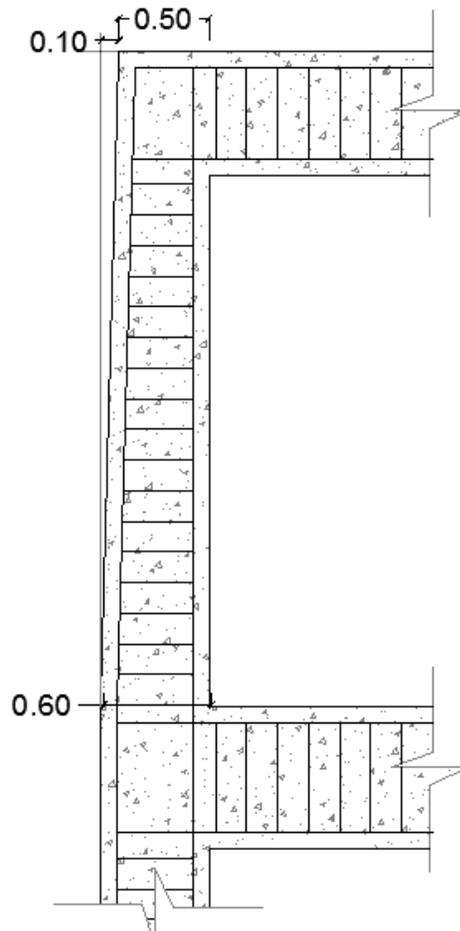


Imagen N°14. Variación de la sección en las columnas tipo 27 y 28.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Envigados

El edificio IMME Sur está formado por 3 niveles: sótano, planta baja y piso 1. Existe la particularidad de que los niveles no son de las mismas dimensiones, por lo que se obtendrán 3 esquemas de envigados de diferentes áreas, los cuales se pueden observar con detalle la Imagen N°15.

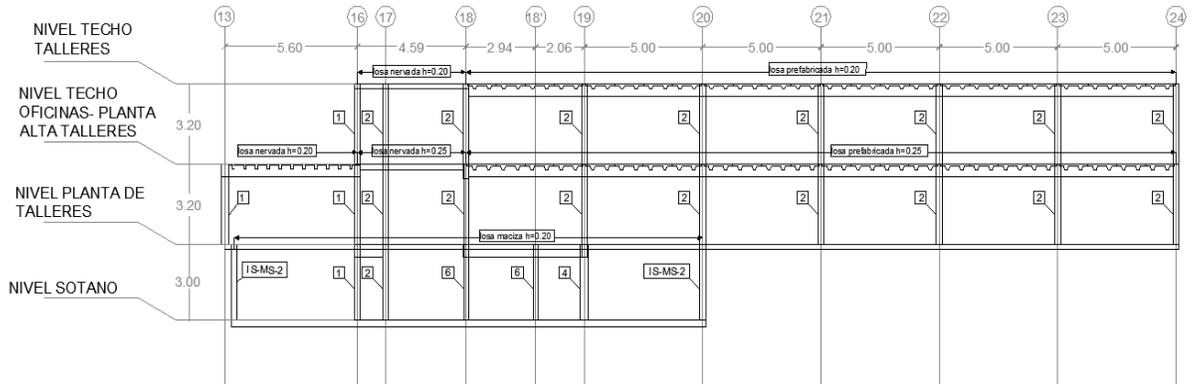


Imagen N°15. Esquema de corte – IMME Sur.

Fuente: Elaboración propia.

IMME Sur – Planta talleres: Fue elaborado a partir del plano 60-E-10. Se puede observar que está formado por 6 tipos de columnas, 5 tipos de vigas, 2 tipos de muros y todas las losas de este nivel son macizas de 20 cm de espesor. Es el esquema de envigado más pequeño debido a que el sótano de la edificación no abarca la extensión total de la planta tal como se aprecia en la Imagen N°16.

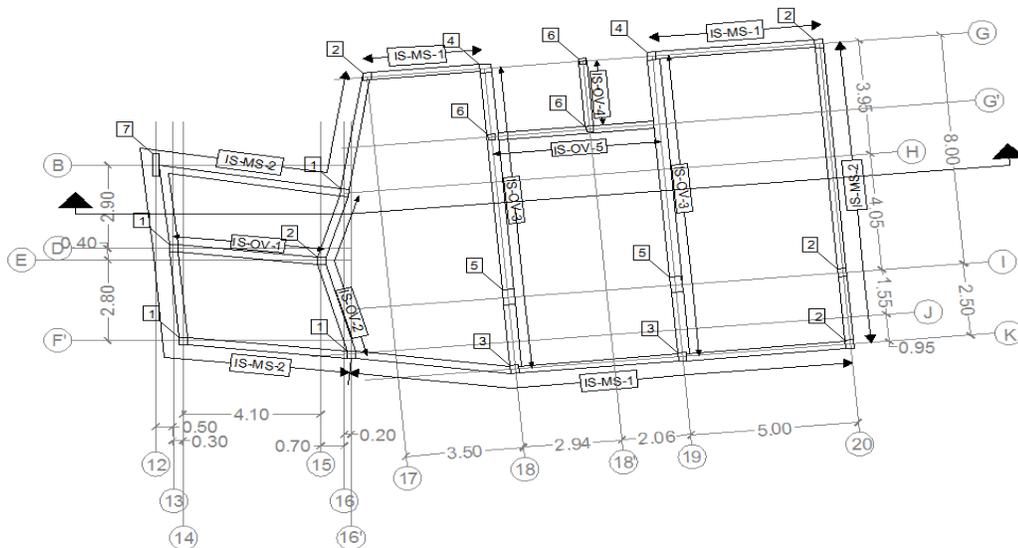


Imagen N°16. Envigado – Nivel Planta talleres.

Fuente: Elaboración propia.

IMME Sur - Techo oficinas – Planta alta talleres: Fue elaborado a partir de los planos 60-E-11 y 60-E-12. Está formado por 2 tipos de columnas y 8 tipos de vigas. En cuanto a las losas son nervadas de 20 cm y 25 cm de espesor y prefabricadas de 25 cm. El esquema de envigado se observa en la Imagen N° 17.

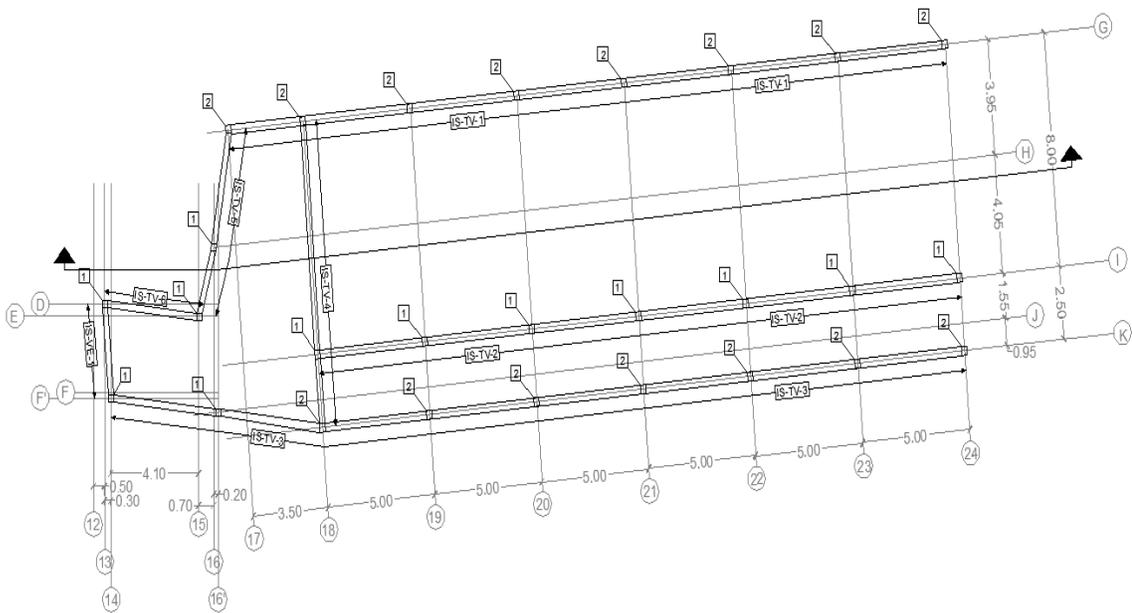


Imagen N°17. Envigado – Nivel Techo oficinas – Planta alta talleres.

Fuente: Elaboración propia.

IMME Sur - Techo talleres: Fue realizado basándose en los planos 60-E-13 y 60-E-14. Posee 2 tipos de columnas, 6 tipos de vigas y las losas son de 20 cm de espesor, en algunas regiones son nervadas y en otras son prefabricadas, cuyo detalle se puede observar en la Imagen N° 18. Corresponde al nivel techo de las oficinas del piso 1 de la edificación.

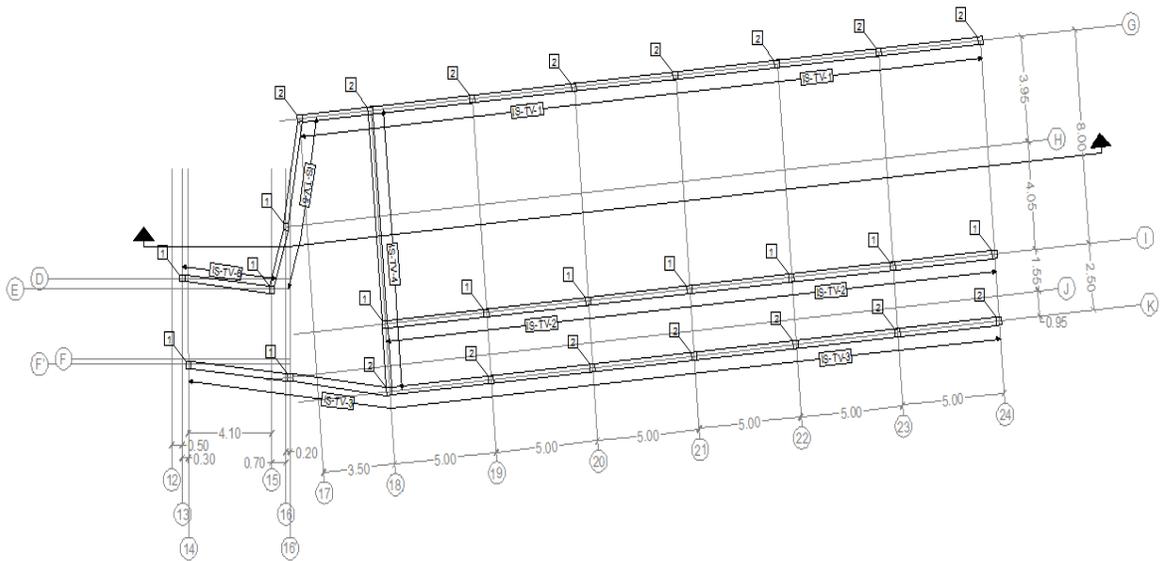


Imagen N°18. Envigado – Nivel Techo talleres.

Fuente: Elaboración propia.

Nave de Ensayos Especiales: Se realizó a partir del plano 60-E-7, cuya planta está conformada por 4 tipos de columnas y 12 tipos de vigas. En cuanto a la losa de techo está formada por elementos prefabricados. El esquema de envigado de la Nave de Ensayos Especiales se puede apreciar en la Imagen N°19 mientras que la ubicación precisa de las vigas se puede observar la Imagen N°20 y N°21.

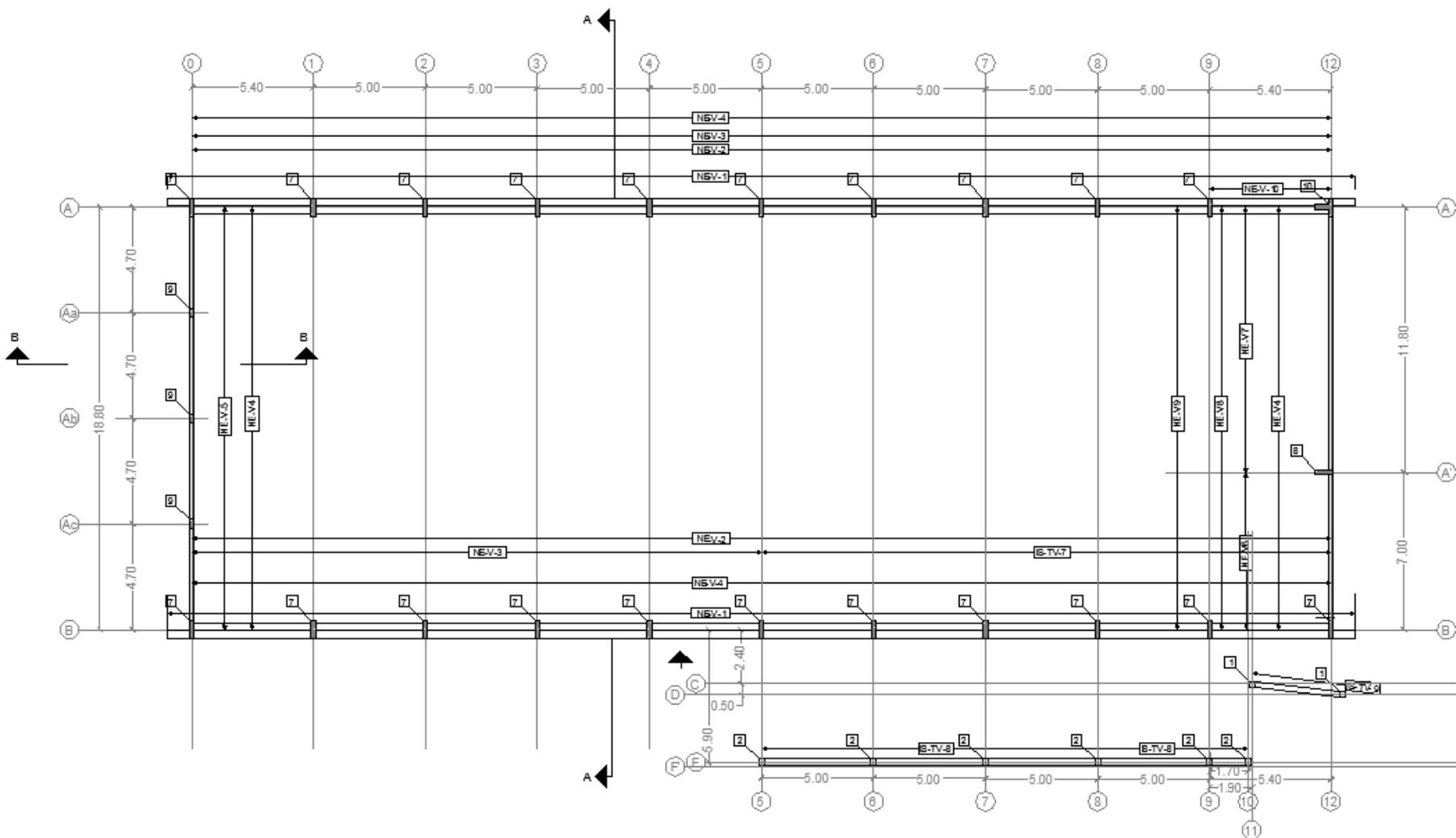


Imagen N°19. Envigado – Nave de Ensayos Especiales.

Fuente: Elaboración propia.

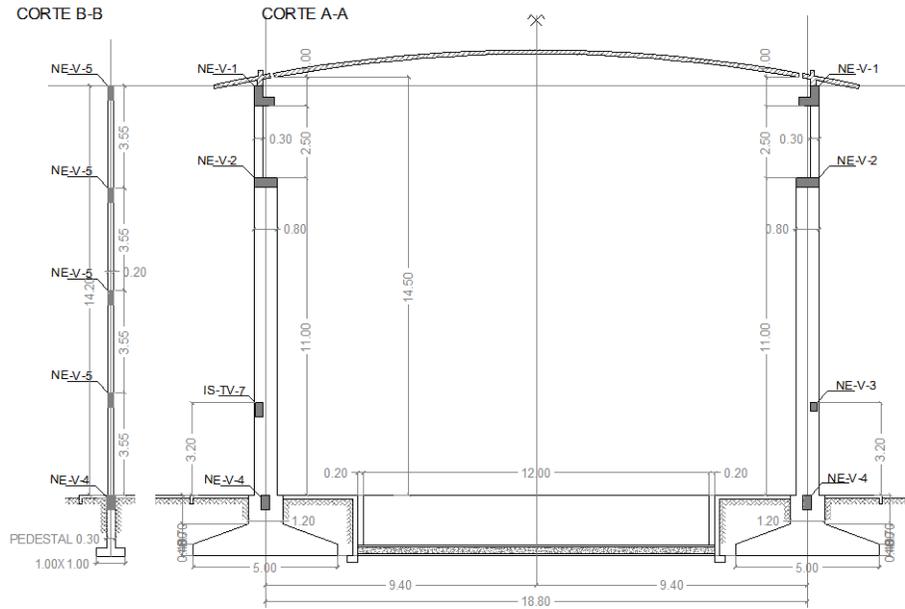


Imagen N°20. Corte A-A y Corte B-B- Nave de Ensayos Especiales.

Fuente: Elaboración propia.

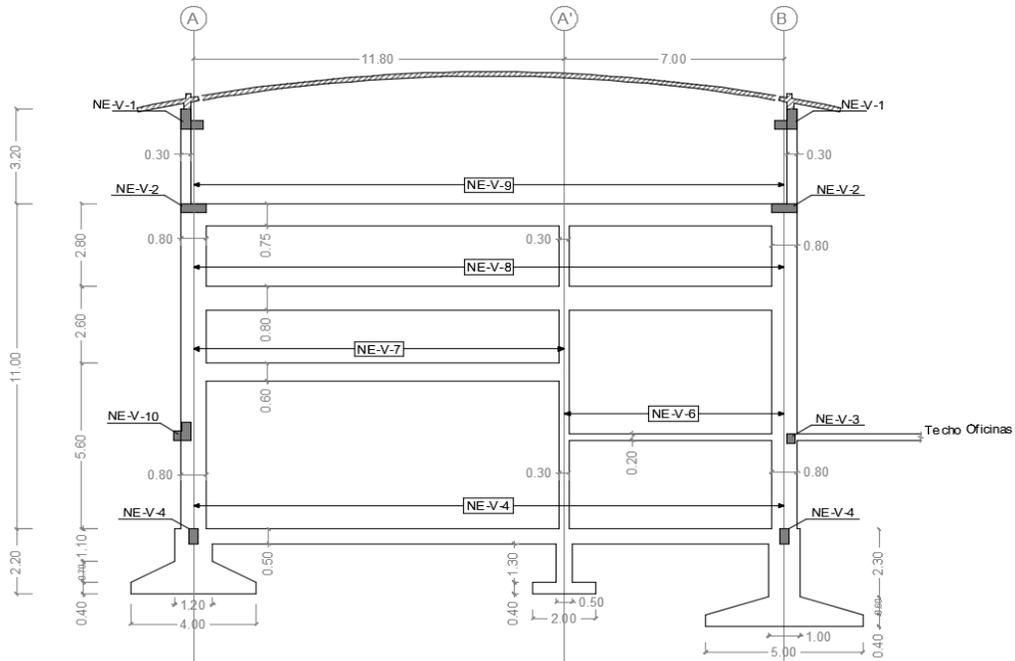


Imagen N°21. Detalles del pórtico en el eje 12 – Nave de Ensayos Especiales.

Fuente: Elaboración propia.

El edificio IMME Norte y su ampliación están formados por 2 niveles: planta baja y piso 1. Por lo que se obtienen 4 esquemas de envigados, 2 para IMME Norte y 2 para la ampliación del IMME Norte, tal como se muestra a continuación:

Edificio IMME Norte - Ampliación: Para cada nivel de este edificio los envigados están formados por 3 tipos de columnas y 5 tipos de vigas, de las cuales, 2 se encuentran ubicadas en la dirección de mayor longitud (ejes D y D'), mientras los otros 3 tipos de vigas están distribuidas en la dirección más corta entre los ejes 1 y 11. Es importante destacar que estas vigas de menor longitud, en uno de sus extremos se encuentran empotradas a la columna y en el otro se encuentran simplemente apoyada a una columna que forma parte del IMME Norte, tal como se muestra en la Imagen N°22. Los esquemas de envigado de esta estructura se muestran en la Imagen N°23 y N°24.

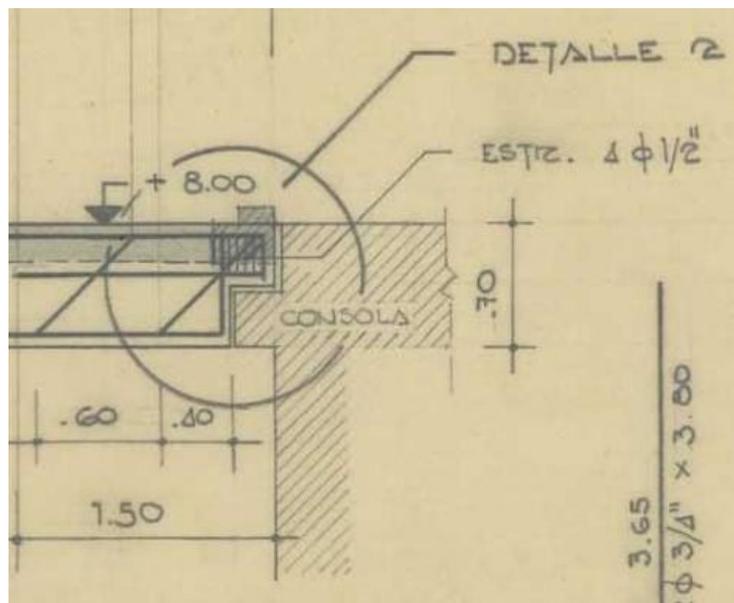


Imagen N°22. Detalle de vigas simplemente apoyadas.

Fuente: Plano 24a-E-5 suministrado por COPRED.

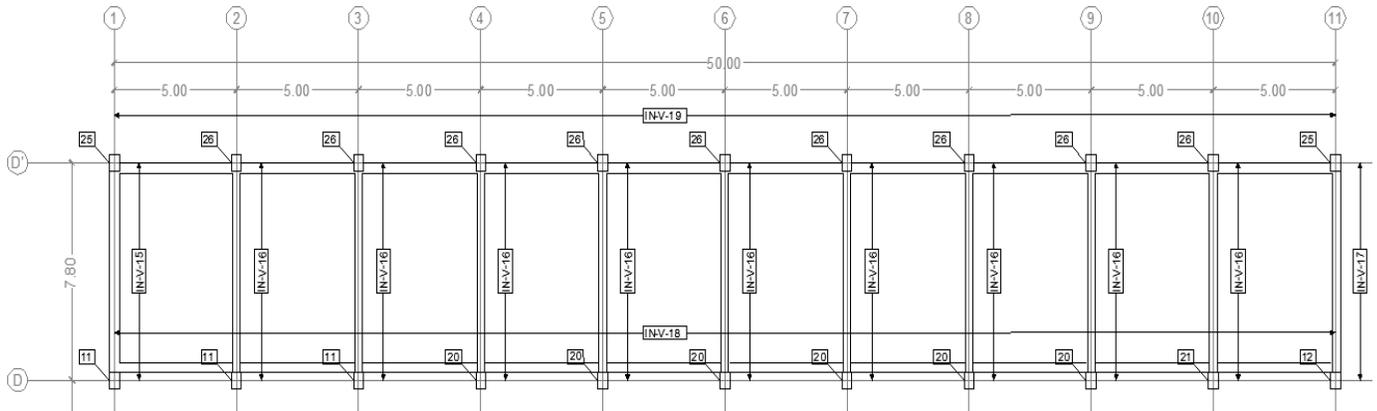


Imagen N°23. Envigado – IMME Norte – Ampliación. Nivel 1.

Fuente: Elaboración propia.

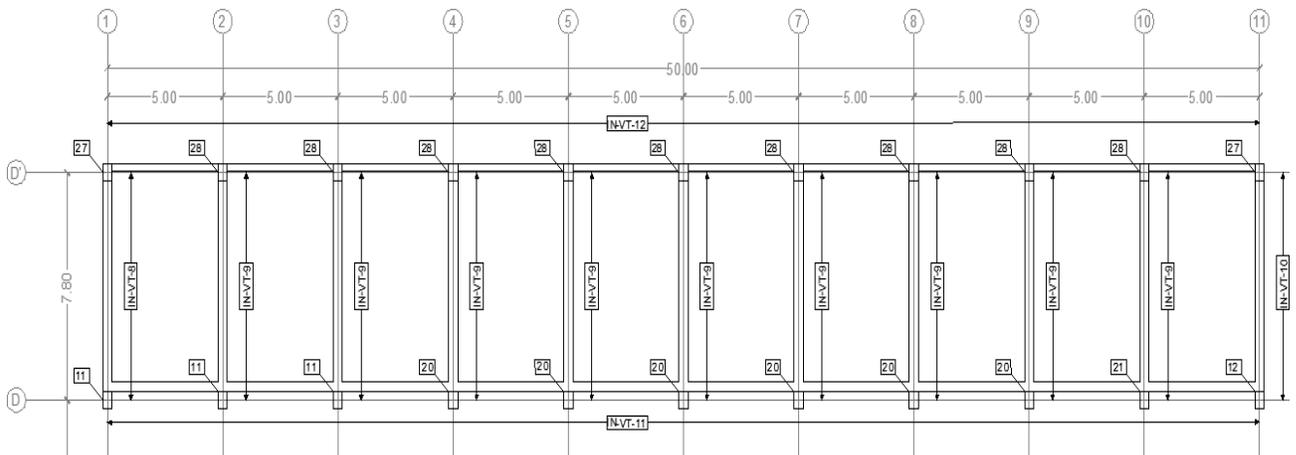


Imagen N°24. Envigado – IMME Norte – Ampliación. Nivel Techo.

Fuente: Elaboración propia

. Edificio IMME Norte: El envigado del nivel está formado por 9 tipos de columnas y 14 tipos de vigas. En la Imagen N°25 se observa que no hay vigas en toda la extensión del envigado, esto se debe a que existe una abertura significativa en la losa. Por otra parte, el envigado de nivel techo está formado por 11 tipos de columnas y 7 tipos de vigas tal como se muestra en la Imagen N°26.

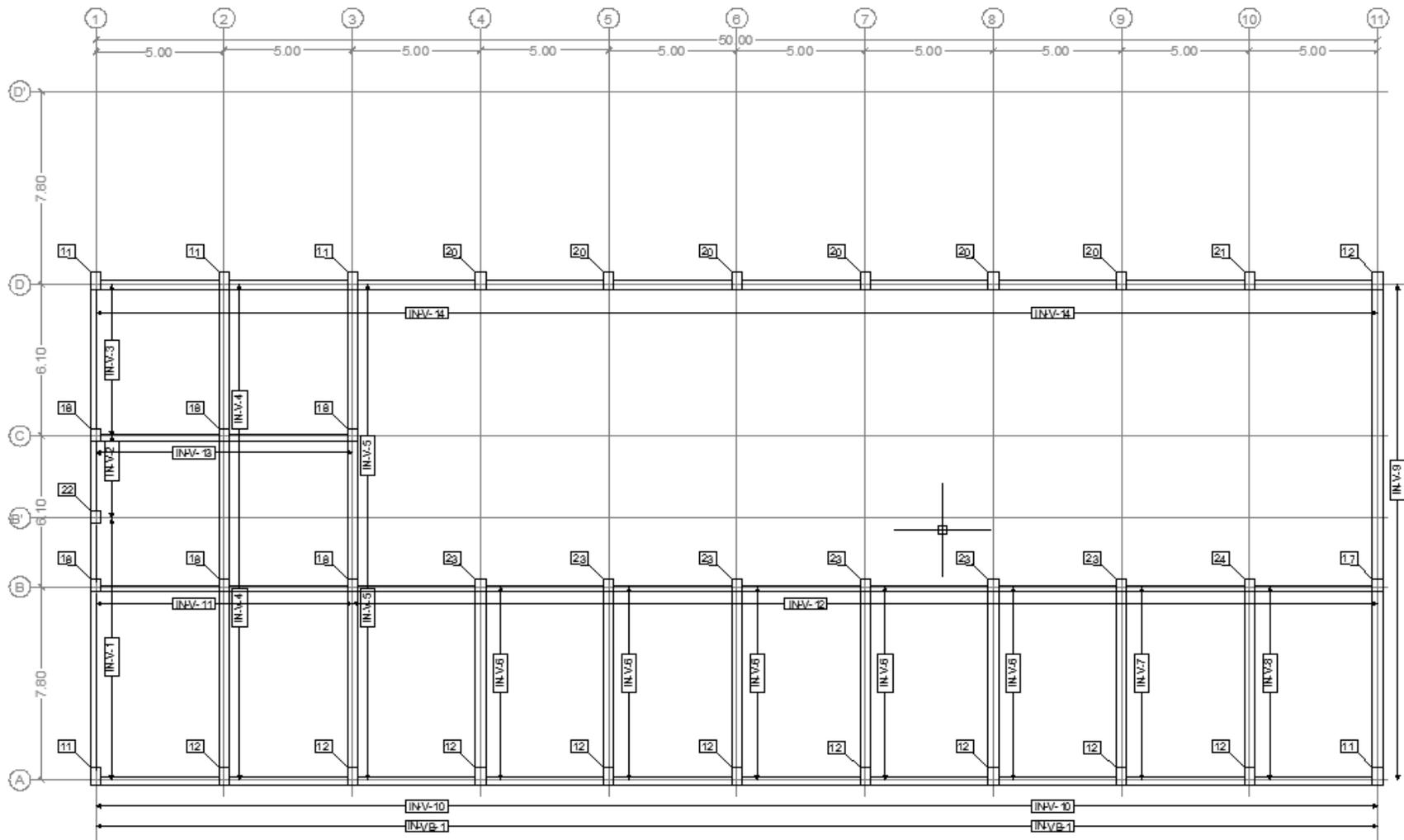


Imagen N°25. Envigado – IMME Norte Nivel 1.

Fuente: Elaboración propia.

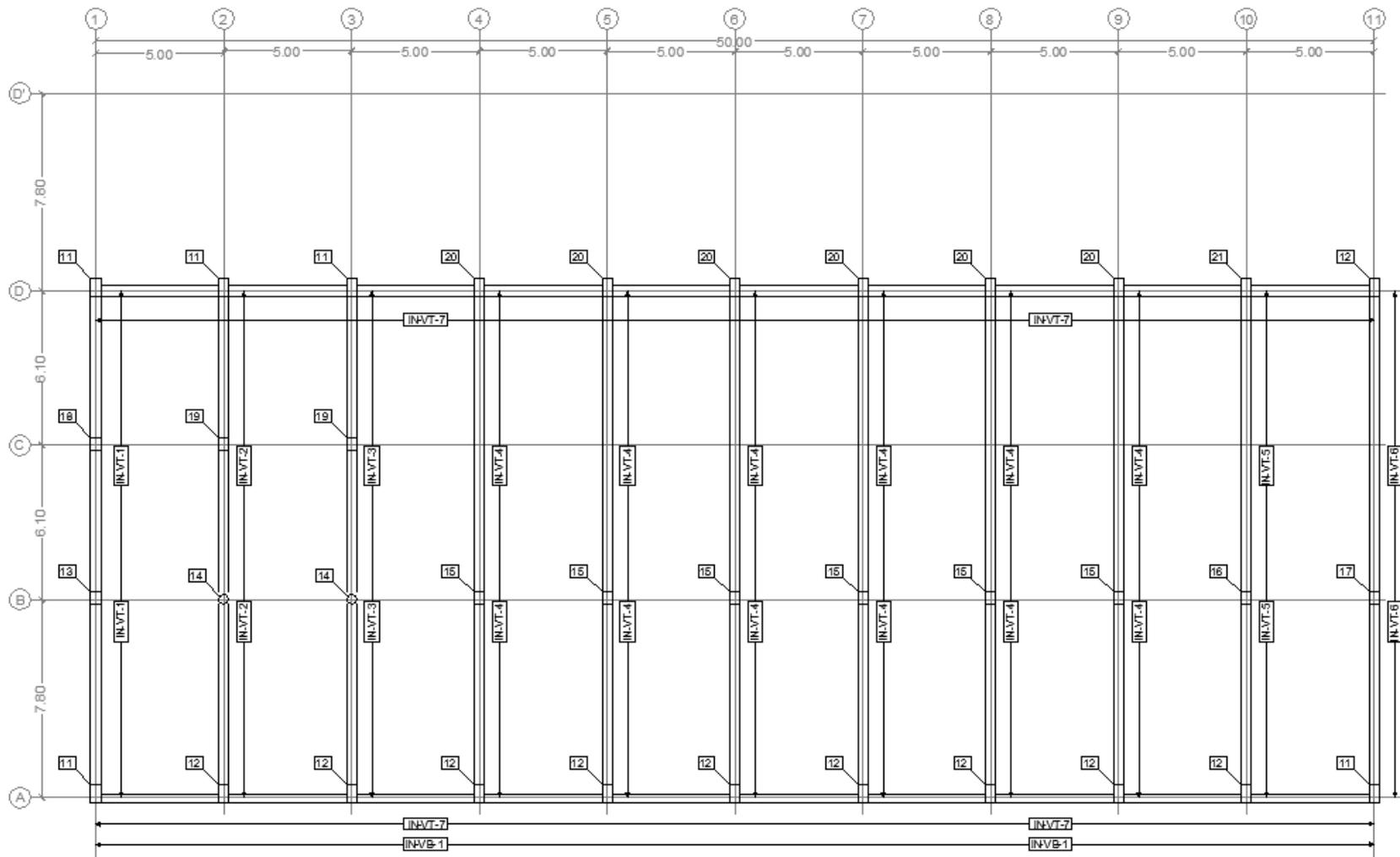


Imagen N°26. Envigado – IMME Norte Nivel Techo.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Columnas

A partir de los datos presentes en cada uno de los esquemas realizados anteriormente, se procedió a realizar tablas de información de columnas correspondientes a cada envigado. Las características generales de las estructuras en estudio se pueden observar desde la Tabla N°13 hasta la Tabla N°16.

Tabla N°13. Características generales de las columnas de la estructura IMME Sur.

Columna	Tipo	Sección (cmxcm)	Armadura Longitudinal	Ligadura (m)	Área Columna (cm ²)	As (cm ²)	ρ (%)
Nivel Planta talleres							
D-13	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
E-15	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
F'-14	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
G-17	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-18	4	35x35	6Ø3/4 "	Ø3/8" c/,25 x 1,45	1225	17,10	1,40%
G-18'	6	20x20	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 0,85	400	5,07	1,27%
G-19	4	35x35	6Ø3/4 "	Ø3/8" c/,25 x 1,45	1225	17,10	1,40%
G-20	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G'-18	6	20x20	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 0,85	400	5,07	1,27%
G'-18'	6	20x20	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 0,85	400	5,07	1,27%
H-16	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
I-18	5	35x55	8Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,84	1925	40,54	2,11%
I-19	5	35x55	8Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,84	1925	40,54	2,11%
I-20	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-18	3	30x35	4Ø3/4 "	Ø1/4" c/,25 x 1,35	1050	11,40	1,09%
K-19	3	30x35	4Ø3/4 "	Ø1/4" c/,25 x 1,35	1050	11,40	1,09%
K-20	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
Techo Oficinas - Planta alta talleres							
B-12	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
C-11	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
D-13	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
E-15	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
F'-14	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
G-17	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-18	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%

G-19	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-20	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-21	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-22	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-23	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-24	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
H-16	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
I-18	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
I-19	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
I-20	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
I-21	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
I-22	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
I-23	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
I-24	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
J-16'	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
K-18	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-19	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-20	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-21	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-22	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-23	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-24	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
Nivel Techo Talleres							
D-13	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
E-15	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
F'-14	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
G-17	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-18	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-19	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-20	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-21	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-22	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-23	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
G-24	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
H-16	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
I-18	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
I-19	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
I-20	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%

I-21	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
I-22	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
I-23	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
I-24	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
J-16'	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
K-18	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-19	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-20	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-21	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-22	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-23	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
K-24	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°14. Características generales de las columnas de la Nave de Ensayos Especiales.

Columna	Tipo	Sección (cmxcm)	Armadura Longitudinal	Ligadura (m)	Área Columna (cm ²)	As (cm ²)	ρ (%)
A - 0	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 1	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 2	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 3	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 4	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 5	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 6	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%

	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 7	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 8	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 9	7 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	7 - b	80x30	4Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	25,97	1,08%
	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
A - 12	10 - a	30x30	4Ø1"	Ø3/8" c/,25 x 1,25	900	20,27	2,25%
	10 - b	Ver	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 2,25 c/u	3900	46,24	1,19%
	10 - c	Imagen N°11	14Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 2,25 c/u	3900	76,64	1,97%
A'-12	8	80x30	6Ø1" + 4Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,75 c/u	2400	41,80	1,74%
Aa- 0	9	40x20	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,20 x 1,25	800	9,90	1,24%
Ab- 0	9	40x20	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,20 x 1,25	800	9,90	1,24%
Ac - 0	9	40x20	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,20 x 1,25	800	9,90	1,24%
B-5	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
B-6	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
B-7	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
B-8	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
B-9	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
B-12	7 - c	80x30	8Ø1" + 2Ø3/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,55 c/u	2400	46,24	1,93%
C-11	1	25x25	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 1,05	625	5,07	0,81%
F-5	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
F-6	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
F-7	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
F-8	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
F-9	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%
F-10	2	30x25	4Ø5/8 "	Ø1/4" c/,25 x 1,15	750	9,90	1,32%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°15. Características generales de las columnas de la estructura IMME Norte.

Columna	Tipo	Sección (cmxcm)	Armadura Longitudinal	Ligadura (m)	Área Columna (cm ²)	As (cm ²)	ρ (%)
<i>Nivel 1</i>							
A-1	11	40x70	10Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	28,5	1,02%
A-2	12	40X70	10Ø7/8 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	38,8	1,39%
A-3							
A-4							
A-5							
A-6							
A-7							
A-8							
A-9							
A-10							
A-11	11	40x70	10Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	28,5	1,02%
B-1	18	40X45	6Ø1/2 "	2Ø1/4" c/,20 x 1,38 c/u	1800	7,62	0,42%
B-2							
B-3							
B-4	23	40X50	8Ø1 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,58 c/u	2000	40,56	2,03%
B-5							
B-6							
B-7							
B-8							
B-9							
B-10	24	40X50	8Ø1 1/4"	2Ø3/8" c/,25 x 1,60 c/u	2000	65,36	3,27%
B-11	17	40X50	6Ø5/8 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,58 c/u	2000	11,88	0,59%
B'-1	22	20X23	4Ø1/2 "	Ø1/4" c/,25 x 0,85	460	5,08	1,10%
C-1	18	40X45	6Ø1/2 "	2Ø1/4" c/,20 x 1,38 c/u	1800	7,62	0,42%
C-2							
C-3							
D-1	11	40x70	10Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	28,5	1,02%
D-2							
D-3							
D-4	20	40X70	14Ø1 "	2Ø3/8" c/,20 x 2,08 c/u + Ø1/4" c/,20 x 0,55	2800	70,98	2,54%
D-5							

D-6							
D-7							
D-8							
D-9							
D-10	21	40X70	10Ø1 1/4"	2Ø3/8" c/,20 x 2,00 c/u + Ø1/4" c/,20 x 0,55	2800	81,7	2,92%
D-11	12	40X70	10Ø7/8 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	38,8	1,39%
Nivel Techo							
A-1	11	40x70	10Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	28,5	1,02%
A-2	12	40X70	10Ø7/8 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	38,8	1,39%
A-3							
A-4							
A-5							
A-6							
A-7							
A-8							
A-9							
A-10							
A-11	11	40x70	10Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	28,5	1,02%
B-1	13	40x40	6Ø1/2 "	2Ø1/4" c/,20 x 1,25 c/u	1600	7,62	0,48%
B-2	14	Diámetro 30	6Ø1/2 "	Ø1/4" c/,20 x 0,95	706,9	7,62	1,08%
B-3							
B-4	15	40x50	8Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,58 c/u	2000	22,8	1,14%
B-5							
B-6							
B-7							
B-8							
B-9							
B-10	16	40X50	8Ø7/8"	2Ø3/8" c/,25 x 1,58 c/u	2000	30,8	1,54%
B-11	17	40X50	6Ø5/8 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,58 c/u	2000	11,88	0,59%
C-1	18	40X45	6Ø1/2 "	2Ø1/4" c/,20 x 1,38 c/u	1800	7,62	0,42%
C-2	19	30X45	6Ø1/2 "	2Ø1/4" c/,20 x 1,07 c/u	1350	7,62	0,56%
C-3							
D-1	11	40x70	10Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	28,5	1,02%
D-2							

D-3							
D-4	20	40X70	14Ø1 "	2Ø3/8" c/,20 x 2,08 c/u + Ø1/4" c/,20 x 0,55	2800	70,98	2,54%
D-5							
D-6							
D-7							
D-8							
D-9							
D-10	21	40X70	10Ø1 1/4"	2Ø3/8" c/,20 x 2,00 c/u + Ø1/4" c/,20 x 0,55	2800	81,7	2,92%
D-11	12	40X70	10Ø7/8 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,98 c/u + Ø1/4" c/,25 x 0,55	2800	38,8	1,39%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°16. Características generales de las columnas de la estructura IMME Norte - Ampliación.

Columna	Tipo	Sección (cmxcm)	Armadura Longitudinal	Ligadura (m)	Área Columna (cm ²)	As (cm ²)	ρ (%)
Nivel I							
D'-1	25	40x60	10Ø1 "+2Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,70 c/u	2400	56,4	2,35%
D'-2	26	40x60	12Ø1 "+2Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,84 c/u	2400	66,54	2,77%
D'-3							
D'-4							
D'-5							
D'-6							
D'-7							
D'-8	25	40x60	10Ø1 "+2Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,70 c/u	2400	56,4	2,35%
D'-9							
D'-10							
D'-11	25	40x60	10Ø1 "+2Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,70 c/u	2400	56,4	2,35%
Nivel Techo							
D'-1	27	40x60*	10Ø1 "+2Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,70 c/u	2400	56,4	2,35%
D'-2	28	40x60*	12Ø1 "+2Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,84 c/u	2400	66,54	2,77%
D'-3							
D'-4							

D'-5							
D'-6							
D'-7							
D'-8							
D'-9							
D'-10							
D'-11	27	40x60*	10Ø1 " + 2Ø3/4 "	2Ø3/8" c/,25 x 1,70 c/u	2400	56,4	2,35%

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Vigas

Desde la Tabla N°17 hasta la Tabla N°22 se describirá para cada envigado, la armadura tanto superior como inferior, para distintas secciones en cada uno de los tramos que conforman las vigas, tal como se observa en la Imagen N°27.

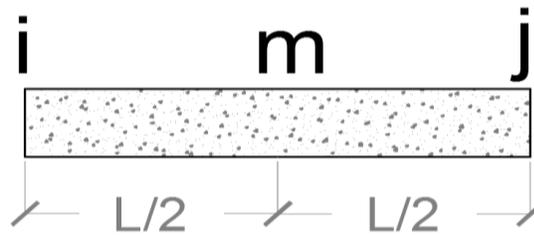


Imagen N°27. Esquema de secciones en vigas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°17. Características generales de las vigas de la estructura IMME Sur.

Viga	Tramo	Sección	Acero Longitudinal Superior		Acero Longitudinal Inferior	
			Armadura	As (cm ²)	Armadura	As (cm ²)
<i>Nivel Planta talleres</i>						
IS-OV-1 (25x50) (60 E-10)	13-15	i	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø1/2"	2,54	4Ø3/4"	11,40
		j	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø3/4"	5,70
IS-OV-2 (25x50)	H-E	i	2Ø7/8" + 2Ø1/2"	10,3	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø1/2"	2,54	2Ø7/8" + 2Ø3/4"	13,46

(60 E-10)	E-J	j	2Ø7/8"+ 2Ø3/4"	13,46	2Ø3/4"	5,70
		i	2Ø7/8"+ 2Ø3/4"	13,46	3Ø1/2"	3,81
		m	2Ø3/4"	5,70	3Ø1/2"	3,81
		j	2Ø3/4"	5,70	3Ø1/2"	3,81
IS-OV-3 (35x90) (60 E-10)	K-I	i	6Ø1"	30,42	4Ø5/8"	7,92
		m	6Ø1"	30,42	4Ø5/8"	7,92
		j	12Ø1"	60,84	4Ø5/8"	7,92
	I-G	i	12Ø1"	60,84	5Ø1"	25,35
		m	2Ø5/8"	3,96	11Ø1"	55,77
		j	6Ø1"	30,42	5Ø1"	25,35
IS-OV-4 (25x50) (60 E-10)	G-G'	i	2Ø1/2"	2,54	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,54	2Ø5/8"	3,96
		j	2Ø1/2"	2,54	2Ø5/8"	3,96
IS-OV-5 (25x50) (60 E-10)	18-19	i	2Ø7/8"+ 2Ø1/2"	10,3	2Ø1"	10,14
		m	2Ø1/2"	2,54	2Ø1"+ 2Ø7/8"	17,9
		j	2Ø7/8"+ 2Ø1/2"	10,3	2Ø1"	10,14
Techo Oficinas - Planta alta talleres						
IS-TV-7 (25x50) (60 E-7)	12-16	i	3Ø3/4" + 2Ø5/8"+1Ø1/2"	13,78	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø5/8"+ 2Ø1/2"	6,49	5Ø3/4"	14,25
		j	3Ø3/4" + 2Ø1/2"	11,09	2Ø3/4"	5,70
IS-TV-9 (25x40) (60 E-12)	13-15	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø1/2"	5,07	3Ø1/2"	3,80
		j	3Ø1/2"	3,80	2Ø1/2"	2,53
IS-V-1 (25x50) (60 E-12)	18-19	i	2Ø1"+2Ø3/4"	15,84	2Ø1"	10,14
		m	2Ø7/8"+ 2Ø3/4"	13,46	4Ø1"	20,28
		j	3Ø1"+ 2Ø7/8"+2Ø3/4"	28,67	2Ø1"	10,14
	19-20	i	3Ø1"+ 2Ø7/8"+2Ø3/4"	28,67	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø7/8"+ 2Ø3/4"	13,46	4Ø3/4"	11,40
		j	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
	20-21	i	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
		m	4Ø3/4"	11,40	4Ø3/4"	11,40
		j	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
	21-22	i	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
		m	4Ø3/4"	11,40	4Ø3/4"	11,40
		j	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70

	22-23	i	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø7/8"+2Ø3/4"	13,46	4Ø3/4"	11,40
		j	3Ø1"+ 2Ø7/8"+2Ø3/4"	28,67	2Ø3/4"	5,70
	23-24	i	3Ø1"+ 2Ø7/8"+2Ø3/4"	28,67	2Ø1"	10,14
		m	2Ø7/8"+2Ø3/4"	13,46	4Ø1"	20,28
		j	2Ø1"+2Ø3/4"	15,84	2Ø1"	10,14
IS-V-2 (25x60) (60 E-12)	18-19	i	2Ø1"+2Ø3/4"	15,84	2Ø7/8"	7,76
		m	4Ø3/4"	11,40	2Ø1"+2Ø7/8"	17,9
		j	3Ø1"+4Ø3/4"	26,61	2Ø7/8"	7,76
	19-20	i	3Ø1"+4Ø3/4"	26,61	2Ø3/4"	5,70
		m	4Ø3/4"	11,40	4Ø3/4"	11,40
		j	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
	20-21	i	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
		m	4Ø3/4"	11,40	4Ø3/4"	11,40
		j	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
	21-22	i	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
		m	4Ø3/4"	11,40	4Ø3/4"	11,40
		j	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
	22-23	i	6Ø3/4"	17,10	2Ø3/4"	5,70
		m	4Ø3/4"	11,40	4Ø3/4"	11,40
		j	3Ø1"+4Ø3/4"	26,61	2Ø3/4"	5,70
	23-24	i	3Ø1"+4Ø3/4"	26,61	2Ø7/8"	7,76
		m	4Ø3/4"	11,40	2Ø1"+2Ø7/8"	17,9
		j	2Ø1"+2Ø3/4"	15,84	2Ø7/8"	7,76
IS-V-3 (25x50) (60 E-12)	18-19	i	3Ø3/4"	8,55	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø7/8"+2Ø3/4"	13,46	3Ø3/4"	8,55
		j	2Ø7/8"+ 1Ø3/4"+1Ø5/8"	12,59	2Ø3/4"	5,70
	19-20	i	2Ø7/8"+ 1Ø3/4"+1Ø5/8"	12,59	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø7/8"+2Ø3/4"	13,46	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4"+2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	20-21	i	2Ø3/4"+2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4"+2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	21-22	i	2Ø3/4"+2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96

		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		i	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	22-23	m	2Ø7/8" + 2Ø3/4"	13,46	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø7/8" + 1Ø3/4" + 1Ø5/8"	12,59	2Ø5/8"	3,96
	23-24	i	2Ø7/8" + 1Ø3/4" + 1Ø5/8"	12,59	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø7/8" + 2Ø3/4"	13,46	3Ø3/4"	8,55
		j	3Ø3/4"	8,55	2Ø3/4"	5,70
	IS-V-4 (25x60) (60 E-12)	K-I	i	3Ø1"	15,21	2Ø5/8"
m			3Ø1"	15,21	2Ø5/8"	3,96
j			6Ø1"	30,42	2Ø5/8"	3,96
I-G		i	6Ø1"	30,42	2Ø1"	10,14
		m	3Ø1" + 2Ø5/8"	19,17	5Ø1"	25,35
		j	3Ø1" + 2Ø5/8"	19,17	2Ø1"	10,14
IS-V-5 (25x40) (60 E-12)	J-E	i	2Ø3/4 + 2Ø1/2"	8,24	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø3/4 + 2Ø1/2"	8,24	4Ø3/4"	11,40
		j	4Ø3/4"	11,40	2Ø3/4"	5,70
	E-H	i	4Ø3/4"	11,40	3Ø1/2"	3,80
		m	2Ø7/8" + 2Ø3/4"	13,46	3Ø1/2"	3,80
		j	2Ø7/8" + 1Ø3/4"	10,61	3Ø1/2"	3,80
	H-G	i	2Ø7/8" + 1Ø3/4"	10,61	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø7/8" + 2Ø1/2"	10,30	3Ø3/4"	8,55
		j	1Ø3/4" + 2Ø1/2"	5,39	2Ø3/4"	5,70
IS-VE-1 (25x40) (60 E-12)	D-F	i	2Ø3/4 + 2Ø1/2"	8,24	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø1/2"	2,53	4Ø3/4"	11,40
		j	2Ø3/4 + 2Ø1/2"	8,24	2Ø3/4"	5,70
IS-VE-2 (25x40) (60 E-12)	14-16	i	1Ø5/8" + 2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø5/8"	5,94
		j	1Ø5/8" + 2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96
Nivel Techo talleres						
IS-TV-1 (25x50) (60 E-13)	17-18*	i	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	1Ø5/8" + 4Ø1/2"	7,05	2Ø1/2"	2,53
	18-19	i	1Ø5/8" + 2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø5/8" + 2Ø1/2"	6,49	3Ø5/8"	5,94
		j	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96

	19-20	i	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø5/8"	5,94	
		j	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
	20-21	i	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø5/8"	5,94	
		j	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
	21-22	i	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø5/8"	5,94	
		j	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
	22-23	i	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø3/4 + 2Ø5/8"	9,66	3Ø5/8"	5,94	
		j	3Ø3/4 + 1Ø5/8"	10,53	2Ø5/8"	3,96	
	23-24	i	3Ø3/4 + 1Ø5/8"	10,53	2Ø3/4"	5,70	
		m	2Ø3/4 + 2Ø1/2"	8,24	3Ø3/4"	8,55	
		j	1Ø3/4 + 2Ø1/2"	5,39	2Ø3/4"	5,70	
	IS-TV-2 (25x50) (60 E-14)	18-19	i	1Ø3/4 + 2Ø1/2"	5,39	2Ø3/4"	5,70
			m	2Ø3/4 + 2Ø1/2"	8,24	3Ø3/4"	8,55
			j	3Ø3/4 + 1Ø5/8"	10,53	2Ø3/4"	5,70
19-20		i	3Ø3/4 + 1Ø5/8"	10,53	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø3/4 + 2Ø5/8"	9,66	3Ø5/8"	5,94	
		j	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
20-21		i	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø5/8"	5,94	
		j	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
21-22		i	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø5/8"	5,94	
		j	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
22-23		i	4Ø5/8"	7,92	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø3/4 + 2Ø5/8"	9,66	3Ø5/8"	5,94	
		j	3Ø3/4 + 1Ø5/8"	10,53	2Ø5/8"	3,96	
23-24		i	3Ø3/4 + 1Ø5/8"	10,53	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø3/4 + 2Ø1/2"	8,24	3Ø5/8"	5,94	
		j	1Ø3/4 + 2Ø1/2"	5,39	2Ø5/8"	3,96	
IS-TV-3 (25x50) (60 E-14)	14-16	i	1Ø5/8" + 2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø5/8"	5,94	
		j	1Ø5/8" + 2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96	
	16-18	i	1Ø5/8" + 4Ø1/2"	7,05	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53	

	18-19	j	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53
		i	3Ø1/2"	3,80	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø1/2"	5,07	2Ø5/8"+1Ø1/2"	5,23
	19-20	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø5/8"	3,96
		i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø1/2"	5,07	3Ø1/2"	3,80
	20-21	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø1/2"	5,07	3Ø1/2"	3,80
	21-22	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø1/2"	5,07	3Ø1/2"	3,80
	22-23	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø1/2"	5,07	3Ø1/2"	3,80
23-24	j	1Ø5/8"+3Ø1/2"	5,78	2Ø1/2"	2,53	
	i	1Ø5/8"+3Ø1/2"	5,78	2Ø5/8"	3,96	
	m	4Ø1/2"	5,07	3Ø5/8"	5,94	
IS-TV-4 (25x50) (60 E-14)	K-I	j	1Ø5/8"+2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96
		i	2Ø7/8"+1Ø1/2"	9,03	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø7/8"	7,76	3Ø1/2"	3,80
	I-G	j	4Ø7/8"+1Ø1/2"	16,79	2Ø1/2"	2,53
		i	4Ø7/8"+1Ø1/2"	16,79	2Ø7/8"	7,76
		m	2Ø1/2"	2,53	4Ø7/8"	15,52
IS-TV-5 (25x50) (60 E-14)	J-E	j	2Ø7/8"+2Ø1/2"	10,3	2Ø7/8"	7,76
		i	3Ø1/2"	3,80	3Ø1/2"	3,80
		m	3Ø1/2"	3,80	3Ø1/2"	3,80
	E-H	j	3Ø1/2"	3,80	3Ø1/2"	3,80
		i	3Ø1/2"	3,80	3Ø1/2"	3,80
		m	6Ø1/2"	7,60	3Ø1/2"	3,80
	H-G	j	3Ø1/2"	3,80	3Ø1/2"	3,80
		i	3Ø1/2"	3,80	3Ø1/2"	3,80
		m	3Ø1/2"	3,80	3Ø1/2"	3,80
IS-TV-6 (25x50) (60 E-14)	13-15	j	3Ø1/2"	3,80	3Ø1/2"	3,80
		i	1Ø5/8"+2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø5/8"	5,94
		j	1Ø5/8"+2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°18. Características generales de las vigas. Nave de Ensayos Especiales.

Viga	Tramo	Sección	Acero Longitudinal Superior		Acero Longitudinal Inferior	
			Armadura	As (cm ²)	Armadura	As (cm ²)
NE-V-1 (Ver Imagen N°28) (60 E-7)	Volado-0	i	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø5/8"	3,96
		j	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø5/8"	3,96
	0-1	i	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66
		j	4Ø3/4" + 1Ø5/8"	13,38	2Ø5/8"	3,96
	1-2	i	4Ø3/4" + 1Ø5/8"	13,38	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	2-3	i	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	3-4	i	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	4-5	i	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	5-6	i	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	6-7	i	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	7-8	i	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
	8-9	i	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø3/4"	11,40	3Ø5/8"	5,94
		j	4Ø3/4" + 1Ø5/8"	13,38	2Ø5/8"	3,96
9-12	i	4Ø3/4" + 1Ø5/8"	13,38	2Ø5/8"	3,96	
	m	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø3/4" + 2Ø5/8"	9,66	
	j	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø5/8"	3,96	
12-Volado	i	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø5/8"	3,96	
	m	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø5/8"	3,96	

		j	2Ø3/4" + 2Ø1/2"	8,24	2Ø5/8"	3,96
NE-V-2 (80x30) (60 E-7)	0-1	i	3Ø1/2"	3,80	5Ø5/8"	9,90
		m	6Ø1/2"	7,60	5Ø5/8"	9,90
		j	3Ø3/4" + 3Ø1/2"	12,36	5Ø5/8"	9,90
	1-2	i	3Ø3/4" + 3Ø1/2"	12,36	5Ø1/2"	6,34
		m	6Ø1/2"	7,60	5Ø1/2"	6,34
		j	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
	2-3	i	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
		m	6Ø1/2"	7,60	5Ø1/2"	6,34
		j	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
	3-4	i	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
		m	6Ø1/2"	7,60	5Ø1/2"	6,34
		j	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
	4-5	i	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
		m	6Ø1/2"	7,60	5Ø1/2"	6,34
		j	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
	5-6	i	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
		m	6Ø1/2"	7,60	5Ø1/2"	6,34
		j	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
	6-7	i	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
		m	6Ø1/2"	7,60	5Ø1/2"	6,34
		j	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34
7-8	i	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34	
	m	6Ø1/2"	7,60	5Ø1/2"	6,34	
	j	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34	
8-9	i	2Ø3/4" + 3Ø1/2"	9,51	5Ø1/2"	6,34	
	m	6Ø1/2"	7,60	5Ø1/2"	6,34	
	j	3Ø3/4" + 3Ø1/2"	12,36	5Ø1/2"	6,34	
9-12	i	3Ø3/4" + 3Ø1/2"	12,36	5Ø5/8"	9,90	
	m	6Ø1/2"	7,60	5Ø5/8"	9,90	
	j	3Ø1/2"	3,80	5Ø5/8"	9,90	
NE-V-3* (25x30) (60 E-7)	0-1	i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
		j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
	1-2	i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
		j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
2-3	i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	

		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
	3-4	i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
	4-5	j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
	5-6	j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
	6-7	j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
	7-8	j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
	8-9	j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
	9-12	j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96	
	NE-V-4* (30x50) (60 E-7)	0-1	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
			m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
			j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		1-2	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
			m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
j			3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
2-3		i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
3-4		i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
4-5		i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	

	5-6	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
	6-7	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
	7-8	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
	8-9	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
9-12	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
	m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
	j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94	
NE-V-5* (20x50) (60 E-7)	A-B	i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
		j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
NE-V-4 (30x50) (60 E-8)	A-B	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
NE-V-4 (30x50) (60 E-8)	A-B	i	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		m	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		j	3Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
NE-V-6 (25x30) (60 E-8)	A'-B	i	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
		j	2Ø5/8"	3,96	2Ø5/8"	3,96
NE-V-7 (30x60) (60 E-8)	A-A'	i	4Ø1"	20,28	2Ø1"	10,14
		m	2Ø1/2"	2,54	4Ø1"	20,28
		j	2Ø1"+2Ø1/2"	12,68	2Ø1"	10,14
NE-V-8 (Ver Imagen N°29) (60 E-8)	A-A'	i	4Ø1"	20,28	2Ø1"	10,14
		m	2Ø5/8"	3,96	4Ø1"	20,28
		j	4Ø1"	20,28	2Ø1"	10,14
	A'-B	i	4Ø1"	20,28	3Ø5/8"	5,94
		m	2Ø5/8"	3,96	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø5/8"	3,96	3Ø5/8"	5,94
NE-V-9 (Ver	A-A'	i	2Ø1"+ 2Ø7/8"	17,9	2Ø7/8"	7,76
		m	4Ø1"	20,28	4Ø7/8"	15,52

Imagen N°30) (60 E-8)	A'-B	j	2Ø1"+ 2Ø7/8"	17,9	2Ø7/8"	7,76
		i	2Ø1"+ 2Ø7/8"	17,9	3Ø5/8"	5,94
		m	2Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø5/8"	5,94	3Ø5/8"	5,94
NE-V-10 (Ver Imagen N°31) (60 E-7)	9-12	i	Acero de refuerzo distribuido de forma irregular, Ver Imagen N°31.			
		m				
		j				
IS-TV-7 (25x50) (60 E-7)	5-6	i	3Ø5/8"	5,94	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø5/8"	5,94
		j	3Ø5/8"+ 1Ø1/2"	7,21	2Ø5/8"	3,96
	6-9	i	3Ø5/8"+ 1Ø1/2"	7,21	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø5/8"+ 2Ø1/2"	6,49	3Ø1/2"	3,80
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
	9-12	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø5/8"+ 2Ø1/2"	6,49	3Ø1/2"	3,80
		j	3Ø3/4" + 2Ø5/8"+1Ø1/2"	13,78	2Ø1/2"	2,53
IS-TV-8 (25x50) (60 E-12)	5-6	i	3Ø5/8"	5,94	2Ø5/8"	3,96
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø5/8"	5,94
		j	3Ø5/8"+ 1Ø1/2"	7,21	2Ø5/8"	3,96
	6-7	i	3Ø5/8"+ 1Ø1/2"	7,21	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø1/2"	3,80
		j	2Ø5/8"+ 2Ø1/2"	6,49	2Ø1/2"	2,53
	7-8	i	2Ø5/8"+ 2Ø1/2"	6,49	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø1/2"	3,80
		j	2Ø5/8"+ 2Ø1/2"	6,49	2Ø1/2"	2,53
	8-9	i	2Ø5/8"+ 2Ø1/2"	6,49	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø5/8"	7,92	3Ø1/2"	3,80
		j	2Ø5/8"+ 1Ø1/2"	5,23	2Ø1/2"	2,53
	9-10	i	2Ø5/8"+ 1Ø1/2"	5,23	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø5/8"+ 1Ø1/2"	5,23	2Ø1/2"	2,53
		j	2Ø5/8"	3,96	2Ø1/2"	2,53
IS-TV-9 (25x40) (60 E-12)	11-13	i	3Ø1/2"	3,80	2Ø1/2"	2,53
		m	4Ø1/2"	5,07	3Ø1/2"	3,80
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53

Fuente: Elaboración propia.

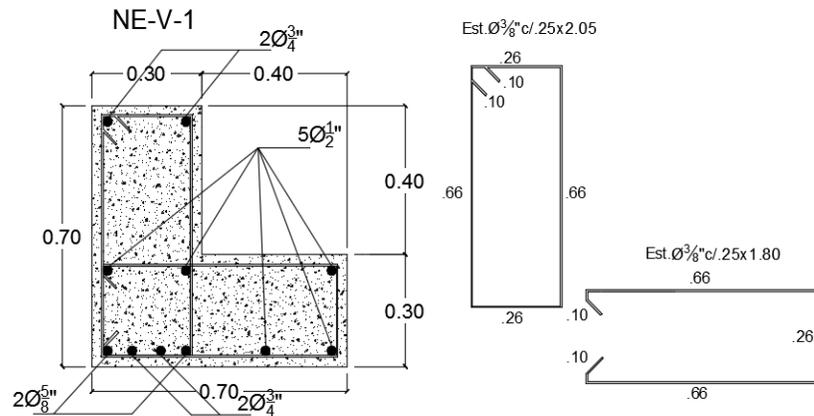


Imagen N°28. Sección transversal viga NE-V-1.

Fuente: Elaboración propia.

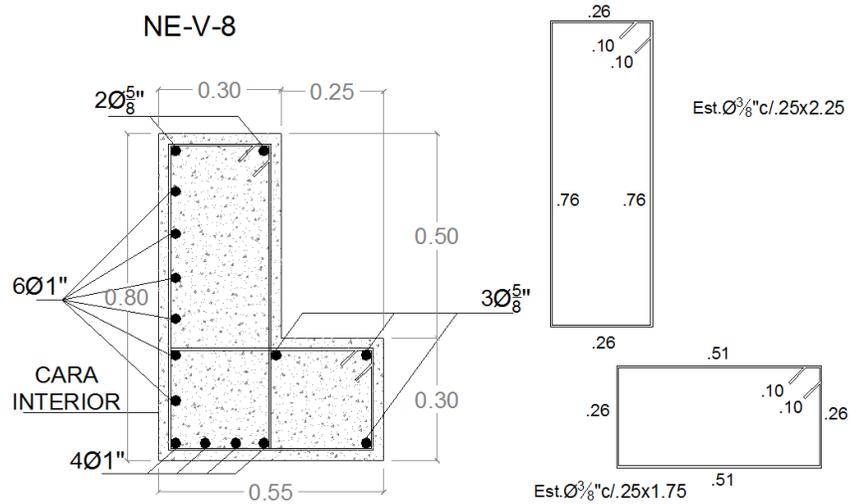


Imagen N°29. Sección transversal viga NE-V-8.

Fuente: Elaboración propia.

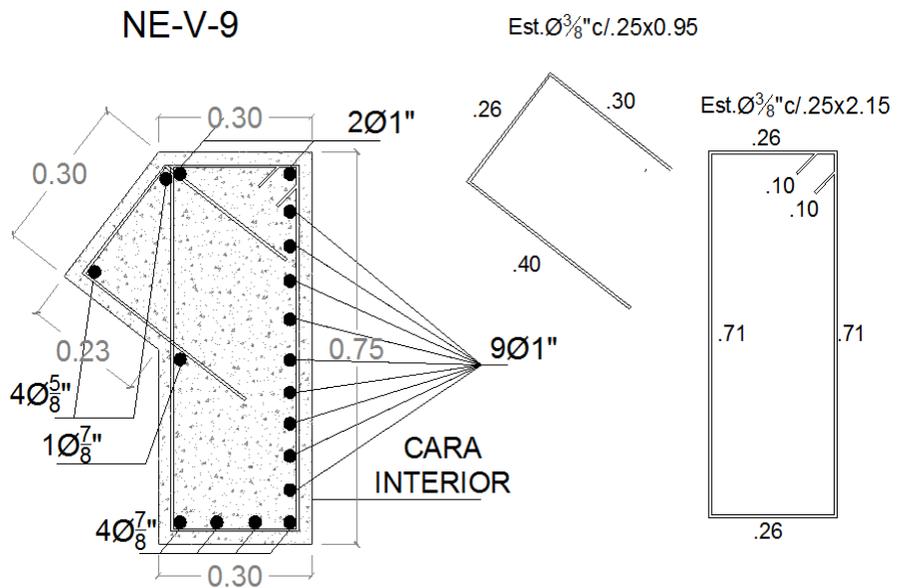


Imagen N°30. Sección transversal viga NE-V-9.

Fuente: Elaboración propia.

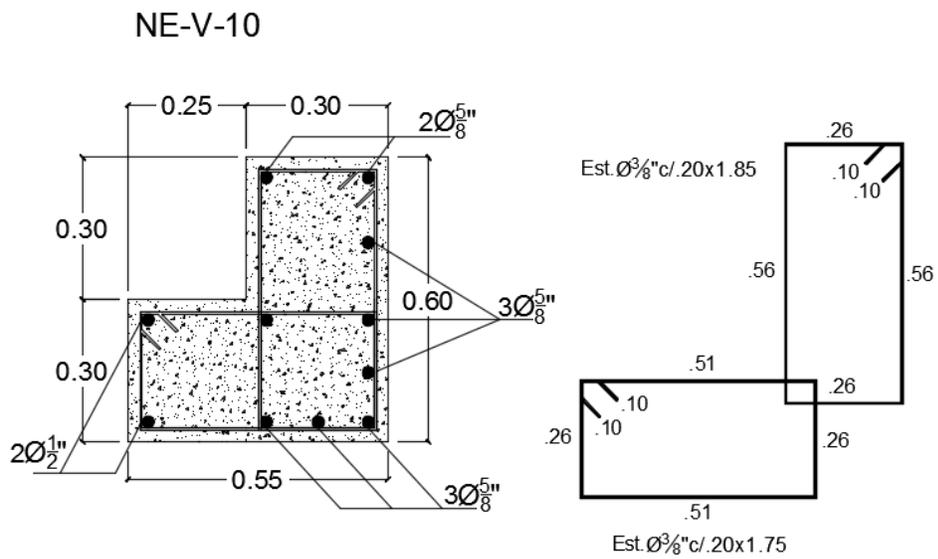


Imagen N°31. Sección transversal viga NE-V-10.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°19. Características generales de las vigas de la estructura IMME Norte.

Viga	Tramo	Sección	Acero Longitudinal Superior		Acero Longitudinal Inferior	
			Armadura	As (cm ²)	Armadura	As (cm ²)
<i>Nivel 1</i>						
IN-V-4 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	3Ø1 1/4"+3Ø1"+2Ø5/8"	43,68	2Ø1 1/4"+ 1 Ø1"	21,41
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø1 1/4"+ 4 Ø1"	36,62
		j	3Ø1 1/4"+4Ø1"+4Ø5/8"	52,71	2Ø1 1/4"+ 1 Ø1"	21,41
	B-C	i	3Ø1 1/4"+4Ø1"+4Ø5/8"	52,71	2Ø7/8"	7,76
		m	2Ø5/8"	3,96	1Ø1"+ 2Ø7/8"	12,83
		j	3Ø1 1/4"+3Ø1"+4Ø5/8"	47,64	2Ø7/8"	7,76
	C-D	i	3Ø1 1/4"+3Ø1"+4Ø5/8"	47,64	2Ø7/8"	7,76
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø1"+ 2Ø7/8"	17,9
		j	4Ø1"+ 2Ø5/8"	24,24	2Ø7/8"	7,76
IN-V-5 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	3Ø1 1/4"+2Ø1"+2Ø5/8"	38,61	3Ø1 1/4"	24,51
		m	2Ø5/8"	3,96	3Ø1 1/4"+ 2Ø1"	34,65
		j	3Ø1 1/4"+3Ø1"+1Ø3/4"+4Ø5/8"	50,49	3Ø1 1/4"	24,51
	B-C	i	3Ø1 1/4"+3Ø1"+1Ø3/4"+4Ø5/8"	50,49	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø5/8"	3,96	3Ø3/4"	8,55
		j	2Ø3/4"+5Ø5/8"	15,60	2Ø3/4"	5,70
	C-D	i	2Ø3/4"+5Ø5/8"	15,60	2Ø1"	10,14
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø1"+1Ø3/4"	12,99
		j	1Ø1"+1Ø3/4"+2Ø5/8"	11,88	2Ø1"	10,14
IN-V-6 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	4Ø1"+ 3Ø7/8"+2Ø5/8"	35,88	4Ø1 1/4"	32,68
		m	2Ø5/8"	3,96	4Ø1 1/4"+ 3Ø7/8"	44,32
		j	2Ø1"+ 3Ø7/8"+2Ø5/8"	25,74	4Ø1 1/4"	32,68
IN-V-7 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	7Ø1"+2Ø5/8"	39,45	4Ø1 1/4"	32,68
		m	2Ø5/8"	3,96	4Ø1 1/4"+ 3Ø1"	47,89
		j	5Ø1"+2Ø5/8"	29,31	4Ø1 1/4"	32,68
IN-V-8 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	3Ø1 1/4"+3Ø1"+2Ø5/8"	43,68	3Ø1 1/4"+ 2Ø1"	34,65
		m	2Ø5/8"	3,96	3Ø1 1/4"+ 5Ø1"	49,86
		j	3Ø1"+ 3Ø7/8"+2Ø5/8"	30,81	3Ø1 1/4"+ 2Ø1"	34,65
IN-V-10 (20x40) (24 E-65)	1-2	i	1Ø5/8"+ 2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø5/8"	5,94
		j	2Ø5/8"+ 5Ø1/2"	10,30	2Ø5/8"	3,96
	2-3	i	2Ø5/8"+ 5Ø1/2"	10,30	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80

	3-4	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
	4-5	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
	5-6	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
	6-7	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
	7-8	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
	8-9	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
	9-10	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
	10-11	j	2Ø5/8"+ 5Ø1/2"	10,30	2Ø1/2"	2,53	
		i	2Ø5/8"+ 5Ø1/2"	10,30	2Ø5/8"	3,96	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø5/8"	5,94	
	IN-V-11 (20x40) (24 E-65)	1-2	j	1Ø5/8"+ 2Ø1/2"	4,51	2Ø5/8"	3,96
			i	3Ø1/2"	3,80	2Ø1/2"	2,53
			m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80
	2-3	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
IN-V-12 (20x40) (24 E-65)	3-4	j	3Ø1/2"	3,80	2Ø1/2"	2,53	
		i	3Ø1/2"	3,80	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80	
	4-5	j	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53	
		i	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53	
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53	
	5-6	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53			

		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
	6-7	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
	7-8	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
	8-9	j	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53
		i	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80
	9-10	j	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53
		i	6Ø1/2"	7,60	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80
	10-11	j	7Ø1/2"	8,87	2Ø1/2"	2,53
		i	7Ø1/2"	8,87	2Ø5/8"	3,96
m		2Ø1/2"	2,53	2Ø5/8"+ 1Ø1/2"	5,23	
IN-V-13 (20x40) (24 E-65)	1-2	j	3Ø1/2"	3,80	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø5/8"+ 1Ø1/2"	5,23
		j	1Ø7/8"+1Ø3/4"+5Ø1/2"	13,08	2Ø5/8"	3,96
	2-3	i	1Ø7/8"+1Ø3/4"+5Ø1/2"	13,08	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,53	1Ø3/4"+2Ø5/8"	6,81
		j	1Ø3/4"+2Ø1/2"	5,39	2Ø5/8"	3,96
IN-V-14 (20x40) (24 E-65)	1-2	i	3Ø1/2"	3,80	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø5/8"+ 1Ø1/2"	5,23
		j	7Ø1/2"	8,87	2Ø5/8"	3,96
	2-3	i	7Ø1/2"	8,87	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø1/2"	3,80
		j	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53
	3-4	i	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
	4-5	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
	5-6	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53

IN-VB-1 (20x40) (24 E-63)	6-7	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
	7-8	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
	8-9	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
	9-10	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	1Ø5/8"+ 5Ø1/2"	8,32	2Ø1/2"	2,53
	10-11	i	1Ø5/8"+ 5Ø1/2"	8,32	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	1Ø5/8"+ 2Ø1/2"	4,51
		j	1Ø5/8"+ 2Ø1/2"	4,51	2Ø1/2"	2,53
	1-2	i	3Ø1/2"	3,80	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø5/8"	3,96
		j	5Ø1/2"	6,34	2Ø5/8"	3,96
	2-3	i	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
3-4	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
	m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53	
	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
4-5	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
	m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53	
	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
5-6	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
	m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53	
	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
6-7	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
	m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53	
	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
7-8	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
	m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53	
	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
8-9	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53	
	m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53	

		j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
	9-10	i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		j	5Ø1/2"	6,34	2Ø1/2"	2,53
	10-11	i	5Ø1/2"	6,34	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø5/8"	3,96
		j	3Ø1/2"	3,80	2Ø5/8"	3,96
Nivel Techo						
IN-VT-1 (40x40) (24 E-66)	A-B	i	3Ø1"+4Ø3/4"+2Ø1/2"	29,15	3Ø7/8"	11,64
		m	2Ø1/2"	2,53	3Ø7/8"+4Ø3/4"	23,04
		j	2Ø1"+6Ø3/4"+4Ø1/2"	32,32	3Ø7/8"	11,64
	B-C	i	2Ø1"+6Ø3/4"+4Ø1/2"	32,32	3Ø7/8"+2Ø1/2"	14,17
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø3/4"+2Ø1/2"	8,24
		j	1Ø1"+4Ø3/4"+4Ø1/2"	21,55	2Ø1/2"	2,53
	C-D	i	1Ø1"+4Ø3/4"+4Ø1/2"	21,55	3Ø3/4"	8,55
		m	2Ø1/2"	2,53	5Ø3/4"	14,25
		j	2Ø1"+2Ø3/4"+2Ø1/2"	18,38	3Ø3/4"	8,55
IN-VT-2 (30x70) (24 E-66)	A-B	i	5Ø1"+2Ø5/8"	29,31	3Ø1"	15,21
		m	2Ø5/8"	3,96	5Ø1"	25,35
		j	6Ø1"+4Ø5/8"	38,34	3Ø1"	15,21
	B-C	i	6Ø1"+4Ø5/8"	38,34	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø5/8"	3,96	1Ø1"+2Ø3/4"	10,77
		j	2Ø1"+ 2Ø7/8"+4Ø5/8"	25,82	2Ø3/4"	5,70
	C-D	i	2Ø1"+ 2Ø7/8"+4Ø5/8"	25,82	2Ø1"	10,14
		m	2Ø5/8"	3,96	3Ø1"	15,21
		j	3Ø1"+2Ø5/8"	19,17	2Ø1"	10,14
IN-VT-3 (30x70) (24 E-66)	A-B	i	4Ø1"+2Ø5/8"	24,24	3Ø1"	15,21
		m	2Ø5/8"	3,96	5Ø1"	25,35
		j	3Ø1"+ 3Ø7/8"+4Ø5/8"	34,77	3Ø1"	15,21
	B-C	i	3Ø1"+ 3Ø7/8"+4Ø5/8"	34,77	2Ø5/8"	3,96
		m	2Ø5/8"	3,96	1Ø1"+2Ø5/8"	9,03
		j	3Ø1"+4Ø5/8"	23,13	2Ø5/8"	3,96
	C-D	i	3Ø1"+4Ø5/8"	23,13	2Ø1"	10,14
		m	2Ø5/8"	3,96	3Ø1"	15,21
		j	1Ø1"+ 2Ø7/8"+2Ø5/8"	16,79	2Ø1"	10,14
IN-VT-4 (Ver Imagen)	A-B	i	4Ø1"+2Ø5/8"	24,24	2Ø7/8"	7,76
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø1"+ 2Ø7/8"	17,9
		j	4Ø1 1/4"+6Ø1"+2Ø5/8"	67,06	2Ø1 1/4"+ 2Ø7/8"	24,1

N°32) (24 E-66)	B-D	i	$4\emptyset 1 \frac{1}{4}''+6\emptyset 1''+2\emptyset 5/8''$	67,06	$5\emptyset 1 \frac{1}{4}''$	40,85
		m	$2\emptyset 5/8''$	3,96	$5\emptyset 1 \frac{1}{4}''+4\emptyset 1''$	61,13
		j	$6\emptyset 1''+2\emptyset 5/8''$	34,38	$5\emptyset 1 \frac{1}{4}''+2\emptyset 1''$	50,99
IN-VT-5 (Ver Imagen N°32) (24 E-66)	A-B	i	$5\emptyset 1''+2\emptyset 5/8''$	29,31	$2\emptyset 1''$	10,14
		m	$2\emptyset 5/8''$	3,96	$4\emptyset 1''$	20,28
		j	$4\emptyset 1 \frac{1}{4}''+7\emptyset 1''+2\emptyset 5/8''$	72,13	$2\emptyset 1 \frac{1}{4}''+2\emptyset 1''$	26,48
	B-D	i	$4\emptyset 1 \frac{1}{4}''+7\emptyset 1''+2\emptyset 5/8''$	72,13	$6\emptyset 1 \frac{1}{4}''$	49,02
		m	$2\emptyset 5/8''$	3,96	$6\emptyset 1 \frac{1}{4}''+4\emptyset 1''$	69,3
		j	$7\emptyset 1''+2\emptyset 5/8''$	39,45	$6\emptyset 1 \frac{1}{4}''$	49,02
IN-VT-6 (Ver Imagen N°32) (24 E-66)	A-B	i	$1\emptyset 1''+ 2\emptyset 7/8''+2\emptyset 5/8''$	16,79	$2\emptyset 5/8''$	3,96
		m	$2\emptyset 5/8''$	3,96	$1\emptyset 1''+2\emptyset 5/8''$	9,03
		j	$5\emptyset 1''+ 2\emptyset 7/8''+2\emptyset 5/8''$	37,07	$2\emptyset 1 \frac{1}{4}''+2\emptyset 5/8''$	20,3
	B-D	i	$5\emptyset 1''+ 2\emptyset 7/8''+2\emptyset 5/8''$	37,07	$3\emptyset 1 \frac{1}{4}''$	24,51
		m	$2\emptyset 5/8''$	3,96	$3\emptyset 1 \frac{1}{4}''+2\emptyset 1''$	34,65
		j	$4\emptyset 1''+2\emptyset 5/8''$	24,24	$3\emptyset 1 \frac{1}{4}''$	24,51
IN-VT-7 (Ver Imagen N°33) (24 E-63)	1-2	i	$1\emptyset 5/8''+ 2\emptyset 1/2''$	4,51	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		m	$2\emptyset 1/2''$	2,53	$1\emptyset 5/8''+ 2\emptyset 1/2''$	4,51
		j	$1\emptyset 5/8''+ 5\emptyset 1/2''$	8,32	$2\emptyset 1/2''$	2,53
	2-3	i	$1\emptyset 5/8''+ 5\emptyset 1/2''$	8,32	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		m	$2\emptyset 1/2''$	2,53	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		j	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
	3-4	i	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		m	$2\emptyset 1/2''$	2,53	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		j	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
	4-5	i	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		m	$2\emptyset 1/2''$	2,53	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		j	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
	5-6	i	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		m	$2\emptyset 1/2''$	2,53	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		j	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
	6-7	i	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		m	$2\emptyset 1/2''$	2,53	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		j	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
	7-8	i	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		m	$2\emptyset 1/2''$	2,53	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		j	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
	8-9	i	$4\emptyset 1/2''$	5,07	$2\emptyset 1/2''$	2,53
		m	$2\emptyset 1/2''$	2,53	$2\emptyset 1/2''$	2,53

	9-10	j	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		i	4Ø1/2"	5,07	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
	10-11	j	1Ø5/8"+ 5Ø1/2"	8,32	2Ø1/2"	2,53
		i	1Ø5/8"+ 5Ø1/2"	8,32	2Ø1/2"	2,53
		m	2Ø1/2"	2,53	1Ø5/8"+ 2Ø1/2"	4,51
		j	1Ø5/8"+ 2Ø1/2"	4,51	2Ø1/2"	2,53

Fuente: Elaboración propia.

*Estas vigas son acarteladas, por lo que su sección transversal es variable. Posiblemente se usó esta solución para soportar los momentos que se generan en el apoyo. Se puede observar el cambio de sección en la Imagen N°32.

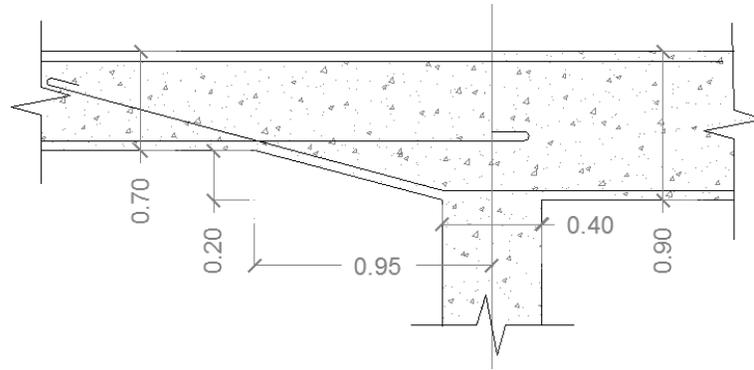


Imagen N°32. Detalle de cartela en vigas del Nivel Techo – IMME Norte.

Fuente: Elaboración propia.

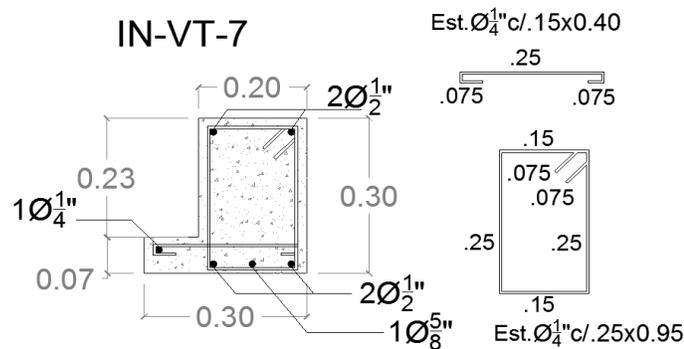


Imagen N°33. Sección transversal de viga IN-VT-7.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°20. Características generales de vigas con acero longitudinal intermedio de la estructura IMME Norte.

Viga	Tramo	Sección	Acero Longitudinal Superior		Acero Longitudinal Intermedio		Acero Longitudinal Inferior	
			Armadura	As (cm ²)	Armadura	As (cm ²)	Armadura	As (cm ²)
<i>Nivel 1</i>								
IN-V-1 (20x120) (24 E-64)	A-B	i	3Ø7/8"+2Ø5/8"	15,6	2Ø1/2"	2,53	2Ø1"	10,14
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø1/2"	2,53	2Ø1"+2Ø7/8"	17,9
		j	3Ø1"+2Ø7/8"+2Ø5/8"	26,93	2Ø1/2"	2,53	2Ø1"	10,14
	B-B'	i	3Ø1"+2Ø7/8"+2Ø5/8"	26,93	2Ø1/2"	2,53	2Ø1/2"	2,53
		m	3Ø1"+2Ø5/8"	19,17	2Ø1/2"	2,53	1Ø7/8"+2Ø1/2"	6,414
		j	3Ø1"+2Ø5/8"	19,17	2Ø1/2"	2,53	3Ø3/4"+2Ø1/2"	11,09
IN-V-2 (20x99) (24 E-64)	B'-C	i	3Ø3/4"	8,55	2Ø1/2"	2,53	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø3/4"	5,70	2Ø1/2"	2,53	3Ø3/4"	8,55
		j	3Ø3/4"	8,55	2Ø1/2"	2,53	2Ø3/4"	5,70
IN-V-3 (20x120) (24 E-64)	C-D	i	2Ø7/8"+2Ø5/8"	11,72	2Ø1/2"	2,53	2Ø1"+3Ø3/4"	18,69
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø1/2"	2,53	2Ø1"+2Ø7/8"	17,9
		j	2Ø7/8"+2Ø5/8"	11,72	2Ø1/2"	2,53	2Ø1"	10,14
IN-V-9 (40x80) (24 E-64)	A-B	i	3Ø1"+2Ø5/8"	19,17	2Ø1/2"	2,53	2Ø3/4"	5,70
		m	2Ø5/8"	3,96	2Ø1/2"	2,53	1Ø1"+2Ø3/4"	10,77
		j	4Ø1 1/4"+1Ø1"+4Ø5/8"	45,67	2Ø1/2"	2,53	2Ø3/4"	5,70
	B-D	i	4Ø1 1/4"+1Ø1"+4Ø5/8"	45,67	4Ø7/8"	15,52	2Ø1 1/4"	16,34
		m	2Ø5/8"	3,96	4Ø7/8"	15,52	3Ø1 1/4"	24,51
		j	1Ø1 1/4"+4Ø1"+2Ø5/8"	36,37	4Ø7/8"	15,52	2Ø1 1/4"	16,34

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°21. Características generales de las vigas de la estructura IMME Norte - Ampliación.

Viga	Tramo	Sección	Acero Longitudinal Superior		Acero Longitudinal Inferior	
			Armadura	As (cm ²)	Armadura	As (cm ²)
<i>Nivel I</i>						
IN-V-18 (45x20) (24a E-4)	1-2	i	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79	4Ø5/8"	7,92
		m	3Ø5/8"	5,94	1Ø3/4"+4Ø5/8"	10,77
		j	4Ø3/4"+3Ø5/8"	17,34	4Ø5/8"	7,92
	2-3	i	4Ø3/4"+3Ø5/8"	17,34	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
	3-4	i	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
	4-5	i	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
	5-6	i	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
	6-7	i	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
	7-8	i	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
	8-9	i	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
	9-10	i	3Ø3/4"+3Ø5/8"	14,49	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	4Ø3/4"+3Ø5/8"	17,34	3Ø5/8"	5,94
	10-11	i	4Ø3/4"+3Ø5/8"	17,34	4Ø5/8"	7,92
		m	3Ø5/8"	5,94	1Ø3/4"+4Ø5/8"	10,77
		j	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79	4Ø5/8"	7,92
IN-V-19 (38x20)	1-2	i	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79	4Ø5/8"	7,92
		m	3Ø5/8"	5,94	1Ø3/4"+4Ø5/8"	10,77

(24a E-3)		j	4Ø3/4"+3Ø5/8"	17,34	4Ø5/8"	7,92
	2-3	i	4Ø3/4"+3Ø5/8"	17,34	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
	3-4	i	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
	4-5	i	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
	5-6	i	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
	6-7	i	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
	7-8	i	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
	8-9	i	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
	9-10	i	2Ø3/4"+4Ø5/8"	13,62	3Ø5/8"	5,94
		m	6Ø5/8"	11,88	1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79
		j	4Ø3/4"+3Ø5/8"	17,34	3Ø5/8"	5,94
	10-11	i	4Ø3/4"+3Ø5/8"	17,34	4Ø5/8"	7,92
		m	3Ø5/8"	5,94	1Ø3/4"+4Ø5/8"	10,77
j		1Ø3/4"+3Ø5/8"	8,79	4Ø5/8"	7,92	
Nivel Techo						
IN-VT-8 (40x40) (24a E-5)	D-D'	i	5Ø1 ¼"	40,85	7Ø1 ¼"	57,19
		m	3Ø1 ¼"	24,51	5Ø1 ¼"	40,85
		j	5Ø1 ¼"	40,85	3Ø1 ¼"	24,51
IN-VT-9 (40x70) (24a E-5)	D-D'	i	4Ø1 ¼"	32,68	4Ø1 ¼"	32,68
		m	2Ø1 ¼"	16,34	5Ø1 ¼"	40,85
		j	4Ø1 ¼"	32,68	3Ø1 ¼"	24,51
IN-VT-10 (40x70) (24a E-5)	D-D'	i	4Ø1"	20,28	4Ø1"	20,28
		m	2Ø1"	10,14	5Ø1"	25,35
		j	4Ø1"	20,28	3Ø1"	15,21

IN-VT-12 (20x40) (24a E-4)	1-2	i	2Ø5/8''+ 1Ø1/2''	5,23	2Ø5/8''	3,96
		m	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''+ 1Ø1/2''	5,23
		j	2Ø5/8''+ 1Ø1/2''	5,23	2Ø5/8''	3,96
	2-3	i	2Ø5/8''+ 1Ø1/2''	5,23	2Ø5/8''	3,96
		m	4Ø5/8''	7,92	2Ø5/8''	3,96
		j	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
	3-4	i	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
		m	4Ø5/8''	7,92	2Ø5/8''	3,96
		j	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
	4-5	i	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
		m	4Ø5/8''	7,92	2Ø5/8''	3,96
		j	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
	5-6	i	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
		m	4Ø5/8''	7,92	2Ø5/8''	3,96
		j	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
	6-7	i	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
		m	4Ø5/8''	7,92	2Ø5/8''	3,96
		j	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
	7-8	i	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
		m	4Ø5/8''	7,92	2Ø5/8''	3,96
		j	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
	8-9	i	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
		m	4Ø5/8''	7,92	2Ø5/8''	3,96
		j	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
	9-10	i	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''	3,96
		m	4Ø5/8''	7,92	2Ø5/8''	3,96
		j	2Ø5/8''+ 1Ø1/2''	5,23	2Ø5/8''	3,96
	10-11	i	2Ø5/8''+ 1Ø1/2''	5,23	2Ø5/8''	3,96
		m	2Ø5/8''	3,96	2Ø5/8''+ 1Ø1/2''	5,23
		j	2Ø5/8''+ 1Ø1/2''	5,23	2Ø5/8''	3,96

Fuente: Elaboración propia.

La viga IN-VT-11 que se encuentra sobre el eje D (1-11) no se incluyó en la Tabla N°21 debido a que no es de sección rectangular y el armado es constante en toda su extensión, tal como se muestra en la Imagen N°34.

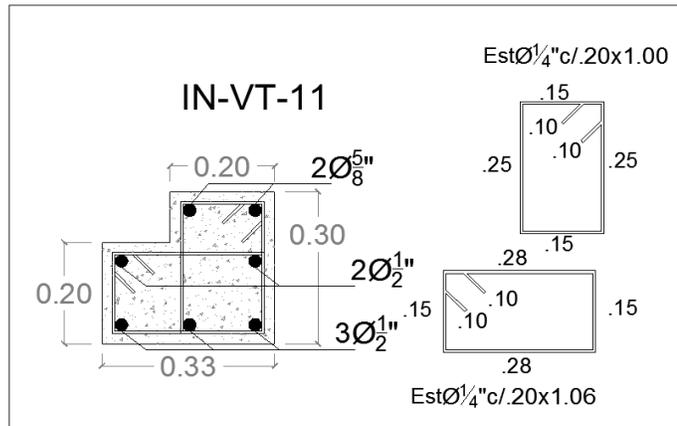


Imagen N°34. Sección transversal de la viga IN-VT-11.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°22. Características generales de vigas con acero longitudinal intermedio de la estructura IMME Norte -Ampliación.

Viga	Tramo	Sección	Acero Longitudinal Superior		Acero Longitudinal Intermedio		Acero Longitudinal Inferior	
			Armadura	As (cm ²)	Armadura	As (cm ²)	Armadura	As (cm ²)
<i>Nivel I</i>								
IN-V-15 (20x80) (24a E-5)	D-D'	i	1Ø1 1/4" + 5Ø1"	33,52	2Ø5/8"	3,96	4Ø1"	20,28
		m	2Ø1"	10,14	2Ø5/8"	3,96	6Ø1"	30,42
		j	4Ø1"	20,28	2Ø5/8"	3,96	4Ø1"	20,28
IN-V-16 (35x80) (24a E-5)	D-D'	i	7Ø1 1/4"	57,19	2Ø5/8"	3,96	4Ø1 1/4"	32,68
		m	3Ø1 1/4"	24,51	2Ø5/8"	3,96	7Ø1 1/4"	57,19
		j	5Ø1 1/4"	40,85	2Ø5/8"	3,96	5Ø1 1/4"	40,85
IN-V-17 (35x80) (24a E-5)	D-D'	i	4Ø1 1/4"	32,68	2Ø5/8"	3,96	3Ø1 1/4"	24,51
		m	3Ø1 1/4"	24,51	2Ø5/8"	3,96	4Ø1 1/4"	32,68
		j	4Ø1 1/4"	32,68	2Ø5/8"	3,96	3Ø1 1/4"	24,51

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Muros

La estructura IMME Sur posee dos muros de contención restringidos como elementos estructurales, que se pueden observar en la Imagen N°16. El detallado de los muros se obtuvo a partir del plano 60-E-10 y se muestran en la Imagen N°35 y N°36.

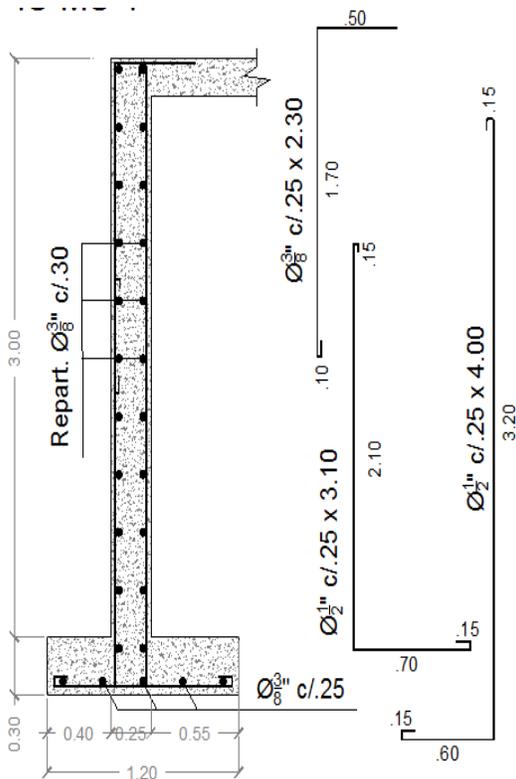


Imagen N°35. Muro IS-MS-1.

Fuente: Elaboración propia.

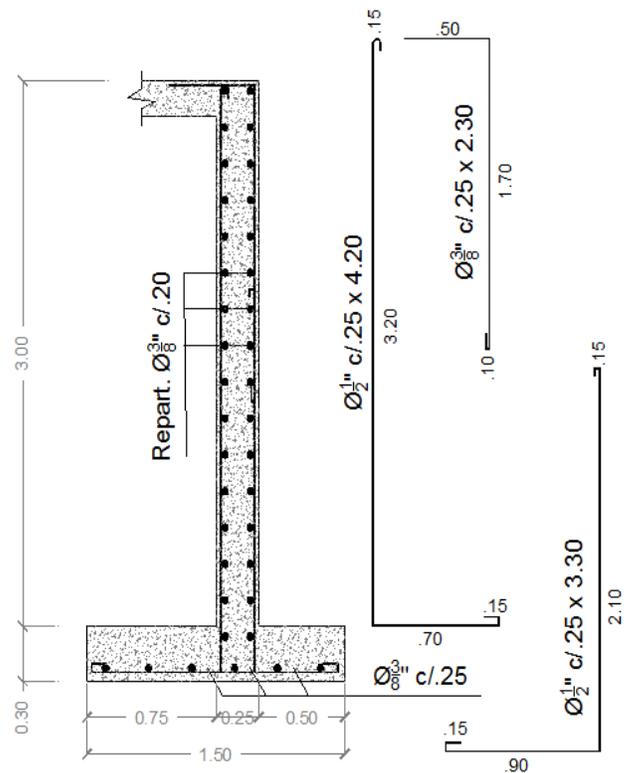


Imagen N°36. Muro IS-MS-2.

Fuente: Elaboración propia.

El edificio de la Nave de Ensayos Especiales posee varios tipos de muros con alturas desde 2,70 m y 6,10 m. Los muros de 2,70 m de altura y espesor entre 20 y 30 cm sirven de soporte a la losa de techo del sótano y la losa del Banco Universal de Ensayos. Mientras que los muros de 6,10 m de altura se encuentran ubicados en el perímetro del sótano y su función es soportar los empujes de tierra. Cabe destacar que

los muros antes mencionados no forman parte de los elementos estructurales resistente a sismo, ya que como se ha explicado, la estructura que conforma el Banco Universal de Ensayos está diseñada para soportar cargas dinámicas provenientes de ensayos físicos, sin afectar el resto de los elementos, por lo que el detallado de estos muros no se tomará en cuenta para esta investigación.

4.2.5 Losas

El edificio IMME Sur está formado por 3 niveles: sótano, planta baja y piso 1. Cada uno con áreas en planta distintas, por lo que existen 3 esquemas de envigados, tal y como se observó en la sección 4.2.1 Envigados.

Las losas que conforman el nivel IMME Sur – Planta talleres, son losas macizas de 20 cm de espesor. Debido a la configuración de la planta las losas tienen de 1 a 3 vanos con luces variables entre 2,1m y 5m. En cuanto al nivel IMME Sur – Techo oficinas - Planta alta talleres, está formado en su mayoría por losas prefabricadas de 20cm de espesor ya que son losas de entrepiso, cuya sección transversal se observa en la Imagen N°37. En otras partes del nivel existen losas nervadas con luces variables entre 2,4m a 5,9m y todas son de un vano. Finalmente existe una losa maciza en voladizo en la entrada de la edificación, con espesor variable de 10cm a 15cm y luz máxima de 2,7m.

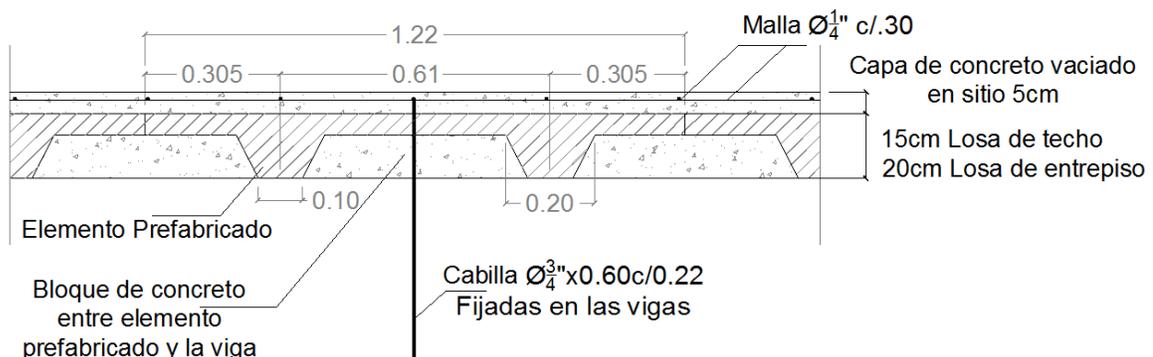


Imagen N°37. Detalle de lasas con elementos prefabricados.

Fuente: Elaboración propia.

El envigado del nivel IMME Sur – Techo talleres se encuentra formado por 2 tipos de losas, principalmente existen losas prefabricadas de 15cm de espesor, con sección transversal observada anteriormente en la Imagen N°37, el resto del nivel está conformado por losas prefabricadas de 20 cm de espesor con un vano y luces variables entre 3,20m y 5,50m.

El edificio Ampliación Sur del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, actualmente conocido como Nave de Ensayos Especiales, está conformado en su superestructura por un nivel cuya losa de techo del espacio dedicado a ensayos físicos está formada por elementos prefabricados de sección curva con un vano y una luz de 18,8m. El detalle de la sección transversal de estos elementos prefabricados no se pudo conseguir en los planos estructurales sino en los planos arquitectónicos. La losa de techo del ambiente dedicado a oficinas es una losa prefabricada de 20 cm de espesor, tal como se observa en la Imagen N°37.

El conjunto de estructuras Laboratorio Ensayo de Materiales y Laboratorio Ensayo de Materiales Ampliación de la Escuela de Ingeniería, actualmente denominado IMME Norte, está formado en sus 2 niveles por losas nervadas de 20 cm de espesor y luces de 5 m.

4.3 ESTADO ACTUAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para conocer las características reales de los elementos estructurales que conforman las edificaciones en estudio, se realizan ensayos no destructivos, para este caso se aplicó ensayo de radiografía utilizando el Ferroskan PS200, que permite detectar de manera aproximada el número de barras, la distancia entre ellas y su recubrimiento. Para hacer una inspección representativa se seleccionaron ciertos elementos estructurales en función de su accesibilidad, sus caras libres y el tipo de elemento. Entre las 4 estructuras existen 28 tipos de columnas, 60 tipos de vigas y 5 muros, para este estudio se realizó el ensayo a 7 columnas, 7 vigas y 1 muro, obteniendo los resultados reflejados en la Tabla N°23, N°24 y N°25.

Entre los días 1 y 3 de julio de 2015 se realizaron los ensayos no destructivos sobre los elementos seleccionados, con la ayuda del personal técnico del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Robert Burgos.

Tabla N°23. Información obtenida con el Ferroskan para columnas ensayadas.

Estructura	Ejes	Nivel	Tipo	Cara	Dim. (cm)	Acero Longitudinal	Ligadura
IMME Norte	D-4	Techo	20	Norte	40	5 barras. Recubrimiento: 7cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 6 cm
				Este	70	3 barras. Recubrimiento: 7cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 6 cm
IMME Norte	B-6	Techo	15	Norte	40	4 barras. Recubrimiento: 8cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 6 cm
				Este	50	2 barras. Recubrimiento: 7cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 6 cm
IMME Norte - Ampliación	D'-11	1	25	Norte	40	4 barras. Recubrimiento: 5cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 3 cm
				Este	60	3 barras. Recubrimiento: 5cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 3 cm
IMME Sur	I-18	PT	5	Norte	35	3 barras. Recubrimiento: 5,4 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 4,5 cm
				Este	55	3 barras. Recubrimiento: 5,4 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 4,5 cm
IMME Sur	I-19	TO-PAT	2	Norte	30	2 barras. Recubrimiento: 5 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 4 cm
				Este	25	2 barras. Recubrimiento: 5 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 4 cm
IMME Sur	E-15	TT	1	Norte	25	2 barras. Recubrimiento: 3,7 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 3,5 cm
				Este	25	2 barras. Recubrimiento: 3,7 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 3,5 cm
Nave de Ensayos Especiales	B-5	-	7c	Norte	30	4 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 30 cm. Recubrimiento: 2 cm

				Este	80	3 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 30 cm. Recubrimiento: 2 cm
--	--	--	--	------	----	-------------------------------------	------------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°24. Información obtenida con el Ferroskan para vigas ensayadas.

Estructura	Ejes	Nivel	Tipo	Ubicación	Dim. (cmxcm)	Acero Longitudinal	Estribo
IMME Norte - Ampliación	9 (D-D')	Techo	IN- VT-9	Tramo	40x70	4 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 3,5 cm
				Apoyo		4 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 3,5 cm
IMME Norte	2 (B-C)	1	IN-V-4	Tramo	35x80	4 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 15 cm. Recubrimiento: 3 cm
				Apoyo		4 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 15 cm. Recubrimiento: 3 cm
IMME Norte	2 (B-C)	Techo	IN- VT-2	Tramo	30x70	3 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 15 cm. Recubrimiento: 3 cm
				Apoyo		3 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 15 cm. Recubrimiento: 3 cm
IMME Norte	10(A-B)	1	IN-V-7	Tramo	35x80	4 barras. Recubrimiento: 5 cm	Cada 15 cm. Recubrimiento: 3 cm
				Apoyo		4 barras. Recubrimiento: 5 cm	Cada 15 cm. Recubrimiento: 3 cm
IMME Sur	I(22-23)	TO- PAT	IS-V-2	Tramo	25x60	2 barras. Recubrimiento: 3 cm	Cada 20 cm. Recubrimiento: 2 cm
				Apoyo		2 barras. Recubrimiento: 3 cm	Cada 20 cm. Recubrimiento: 2 cm
IMME Sur	18(G-I)	PT	IS-OV- 3	Tramo	35x90	4 barras. * Recubrimiento: 4 cm	Cada 20 cm. Recubrimiento: 2 cm
				Apoyo		4 barras. * Recubrimiento: 4 cm	Cada 20 cm. Recubrimiento: 2 cm

IMME Sur	18(I-K)	TT	IS-TV-4	Tramo	25x60	3 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 25 cm. Recubrimiento: 3 cm
				Apoyo		3 barras. Recubrimiento: 4 cm	Cada 12 cm. Recubrimiento: 3 cm

Fuente: Elaboración propia.

* Esta viga de 35x90cm debido a su considerable altura, se detectó con el Ferroskan una barra de refuerzo longitudinal a media altura en cada cara.

Tabla N°25. Información obtenida con el Ferroskan para el muro ensayado.

Estructura	Ejes	Nivel	Tipo	Espesor (cm)	Acero longitudinal horizontal	Acero longitudinal vertical
IMME Sur	K (18-19)	Planta talleres	IS-MS-1	25	Barras c/15 cm. Recubrimiento: 4 cm	Barras c/25 cm. Recubrimiento: 5,5 cm

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se observará la Imagen N°38, N°39, N°40 y N°41 las cuales contienen fotografías de la realización de los ensayos no destructivos sobre ciertos elementos estructurales. Adicionalmente, en la Imagen N°42 y N°43 se observa la representación de los aceros de refuerzo que arroja el equipo FERROSCAN PS200. Estas fotografías y las demás tomadas durante el proceso de ejecución de los ensayos no destructivos se encuentran en el anexo digital “Registro fotográfico de daños y ejecución de ensayos no destructivos”.



*Imagen N°38. Ensayo en columna D4
cara norte, nivel Techo. IMME Norte.*

Fuente: Propia.



*Imagen N°39. Ensayo en viga 9 (D-D') en
tramo, nivel Techo. IMME Norte-*

Ampliación.

Fuente: Propia.



*Imagen N°40. Ensayo en columna I19
cara norte, nivel Techo oficinas -
Planta alta talleres. IMME Sur.*

Fuente: Propia.



*Imagen N°41. Ensayo en viga I(19-20)
apoyo, nivel Techo oficinas - Planta alta
talleres. IMME Sur.*

Fuente: Propia.

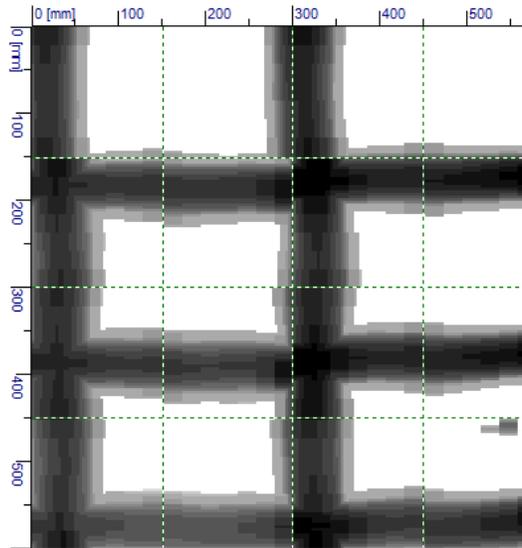


Imagen N°42. Imagen de ensayo en columna D4, cara este, nivel Techo.

IMME Norte.

Fuente: Ferrosan PS200.

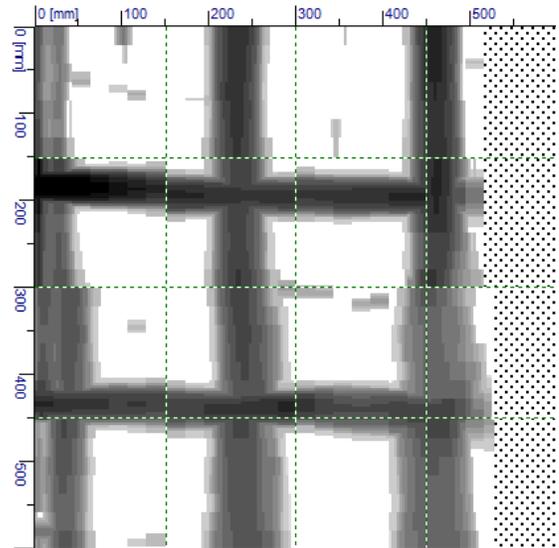


Imagen N°43. Imagen de ensayo en columna I18, cara este, nivel Planta talleres.

IMME Sur.

Fuente: Ferrosan PS200.

4.4 COMPARACIÓN ENTRE ELEMENTOS ENSAYADOS E INFORMACIÓN DE LOS PLANOS

En la Tabla N°26 y N°27 se muestra la comparación entre las características del acero de refuerzo longitudinal y transversal obtenidas mediante los ensayos no destructivos con Ferroskan PS200 y las características reflejadas en los planos estructurales suministrados los COPRED.

Tabla N°26. Comparación entre vigas y columnas ensayadas e información de los planos.

Estructura	Elemento	Ubicación	Dim. (cm)	Acero Longitudinal	Condición	Acero Transversal	Condición
IMME Norte	Columna D4, nivel Techo	Norte	40	5 barras	No cumple. 6 barras según plano	Cada 25 cm	No cumple. Cada 20 cm según plano
		Este	70	3 barras	Cumple	Cada 25 cm	No cumple. Cada 20 cm según plano
IMME Norte	Columna B6, nivel Techo	Norte	40	4 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
		Este	50	2 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
IMME Norte - Ampliación	Columna D'11 nivel 1	Norte	40	4 barras	No cumple. 5 barras según plano	Cada 25 cm	Cumple
		Este	60	3 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
IMME Sur	Columna I18 nivel Planta talleres	Norte	35	3 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
		Este	55	3 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
IMME Sur	Columna I19 nivel Techo oficinas-Planta alta talleres	Norte	30	2 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
		Este	25	2 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple

IMME Sur	Columna E15 nivel techo talleres	Norte	25	2 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
		Este	25	2 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
Nave de Ensayos Especiales	Columnas B5	Norte	30	4 barras	Cumple	Cada 30 cm	No cumple. Cada 25 cm según plano
		Este	80	3 barras	Cumple	Cada 30 cm	No cumple. Cada 25 cm según plano
IMME Norte - Ampliación	Viga 6 (D-D') nivel techo	Tramo	40x70	4 barras	No cumple. 5 barras según plano	Cada 25 cm	Cumple
		Apoyo		4 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
IMME Norte	Viga 2 (B-C) nivel 1	Tramo	35x80	4 barras	No cumple. 3 barras según plano	Cada 15 cm	No cumple. Cada 20 cm según plano
		Apoyo		4 barras	No cumple. 2 barras según plano	Cada 15 cm	No cumple. Cada 20 cm según plano
IMME Norte	Viga 2 (B-C) nivel techo	Tramo	30x70	3 barras	Cumple	Cada 15 cm	No cumple. Cada 25 cm según plano
		Apoyo		3 barras	No cumple. 2 barras según plano	Cada 15 cm	No cumple. Cada 25 cm según plano
IMME Norte	Viga 10 (A-B) nivel 1	Tramo	35x80	4 barras	No cumple. 7 barras según plano	Cada 15 cm	No cumple. Cada 25 cm según plano
		Apoyo		4 barras	Cumple	Cada 15 cm	No cumple. Cada 25 cm según plano
IMME Sur	Viga I(22-23) nivel Techo	Tramo	25x60	2 barras	No cumple. 4 barras según plano	Cada 20 cm	Cumple

	oficinas - Planta alta talleres	Apoyo		2 barras	Cumple	Cada 20 cm	Cumple
IMME Sur	Viga 18(G-I) nivel Planta talleres	Tramo	35x90	4 barras *	No cumple. 11 barras según plano	Cada 20 cm	Cumple
		Apoyo		4 barras *	No cumple. 5 barras según plano	Cada 20 cm	Cumple
IMME Sur	Viga 18(K-I) nivel Techo talleres	Tramo	25x60	3 barras	Cumple	Cada 25 cm	Cumple
		Apoyo		3 barras	No cumple. 2 barras según plano	Cada 12 cm	No cumple. Cada 25 cm según plano

Fuente: Elaboración propia.

* El armado longitudinal inferior de esta viga es en dos capas, es por eso que el Ferroskan detecta 4 barras, y los planos estructurales indican que la viga posee mayor número de barras de acero de refuerzo.

Tabla N°27. Comparación entre el muro ensayado y la información de los planos.

Estructura	Ejes	Acero Longitudinal horizontal	Condición	Acero Longitudinal vertical	Condición
IMME Sur	Muro K(18-19) nivel Planta talleres	Barras c/15 cm	No Cumple. Cada 30 cm según plano	Barras c/25 cm	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 Análisis de la comparación entre los elementos ensayados e información de los planos

Se realizaron los ensayos no destructivos de radiografía a elementos de concreto armado utilizando la herramienta Ferroskan PS200 a un total de 7 columnas, 7 vigas y un muro. A cada columna se le realizó 2 ensayos, uno en la cara norte y otro en la cara este; de manera similar, a cada viga se le realizó 2 ensayos, ambos en la cara inferior, el primero en el apoyo y el otro en el tramo. Se tomó en cuenta la cantidad de barras de acero de refuerzo longitudinal y la separación entre acero de refuerzo transversal. El Ferroskan PS200 arrojó valores de recubrimiento tanto para acero longitudinal como transversal, sin embargo este valor no se usó en ninguna comparación.

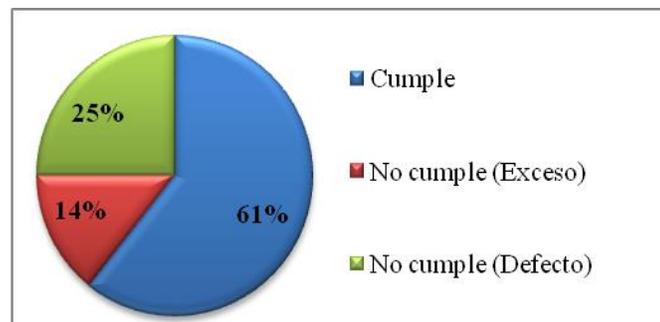


Gráfico N°5. Ensayos no destructivos en vigas y columnas. Resultados asociados al acero de refuerzo longitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico N°5 se puede observar que para los 28 ensayos realizados en vigas y columnas se obtuvo que el 61% de los elementos ensayados coinciden con el armado longitudinal expresado en los planos suministrados por COPRED. Sin embargo se aprecia que el 39% de los ensayos no cumplen. Un 14% de los escaneos realizados presentan exceso de armado longitudinal, posiblemente causado por presencia de solapes o tuberías de servicio en la zona de aplicación del Ferroskan PS200. Por otra parte, el 25% de los ensayos restantes no cumplen por defecto, ya que se apreciaron menos barras de acero de refuerzo que las indicadas en los planos estructurales; las posibles causas de esta condición son corrosión excesiva en el acero o mucho recubrimiento entre la cara

del elemento y la superficie de la barra que impide que el Ferroskan la detecte. En elementos de grandes dimensiones como la viga 18(G-I) del IMME Sur en el nivel planta talleres, se observa que no cumple por defecto, porque el refuerzo del elemento está armado en doble capa.

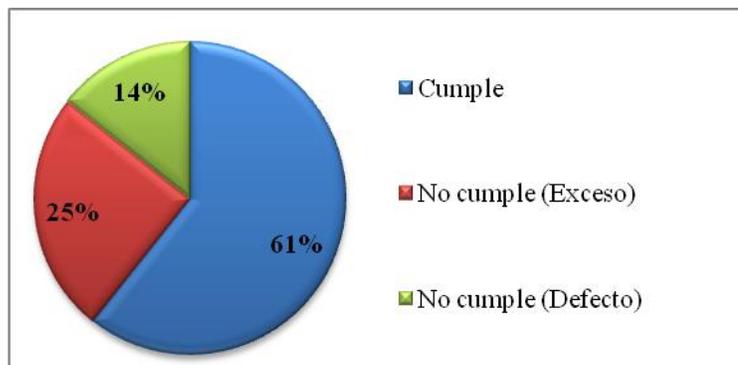


Gráfico N°6. Ensayos no destructivos en vigas y columnas. Resultados asociados al acero de refuerzo transversal.

Fuente: Elaboración propia.

De manera similar, en el Gráfico N°6 se observa que el 61% de los ensayos realizados sobre vigas y columnas cumplen en cuanto a la separación de las barras de refuerzo transversal. El 25% no cumplen por exceso, debido a que la separación apreciada por el instrumento de escaneo resultó menor a la indicada en los planos estructurales. Análogamente, el 14% de los ensayos no cumplen por defecto, ya que se apreció mayor separación de la reflejada en los documentos facilitados por COPRED.

A uno de los muros ubicados en el sótano del IMME Sur se le realizó un ensayo con el fin de determinar la separación entre el acero de refuerzo longitudinal horizontal y vertical. El escaneo asociado al acero longitudinal vertical resultó igual a los valores suministrados en los planos, es decir, 25 cm. Sin embargo, el ensayo al acero longitudinal horizontal arrojó una separación entre barras de acero de 15 cm y no los 30 cm que se reflejan en los planos.

CAPÍTULO V.

MODELADO DE LA ESTRUCTURA

5.1 CONSIDERACIONES DEL MODELADO

El análisis estructural de los edificios que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales se realizó mediante 3 modelos independientes: IMME Sur, Nave de Ensayos Especiales e IMME Norte con su ampliación

Los resultados del modelado de las estructuras se clasificaron por elemento estructural. Para las columnas se definió cada sección con la cantidad de acero de refuerzo longitudinal especificada en los planos estructurales y se chequeó para las combinaciones de cargas máximas. Mientras que para las vigas se buscó obtener el área de acero de refuerzo longitudinal requerida para compararla con los planos originales. Otros parámetros de interés fueron los factores de resistencia de las columnas, cortante basal, modos de vibración, periodo de oscilación de la estructura, desplazamientos y derivas, entre otros. El modelado se realizó mediante un análisis dinámico espacial, utilizando el programa de cálculo estructural ETABS versión 9.5.0.

5.1.1 Normas

Para llevar a cabo el modelado de la estructura, se fundamentó en los lineamientos y criterios establecidos en las siguientes normas vigentes:

- Norma Fondonorma 1753-06: “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”.
- Norma COVENIN-MINDUR 2002-88: “Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones”.
- Norma COVENIN 1756-01: “Edificaciones Sismorresistentes” y su comentario.

5.1.2 Características de los materiales

Para los elementos estructurales de concreto armado, se obtuvo la resistencia del concreto y las barras de acero de refuerzo utilizadas a partir de los planos estructurales. Para la estructura que conforma el IMME Norte e IMME Norte – Ampliación, se obtuvieron 2 calidades de materiales diferentes. Para las fundaciones, la resistencia a compresión del concreto a los 28 días ($f'c$) es 180 kg/cm^2 , mientras que la tensión admisible (f_s) de las barras de acero es de 1200 kg/cm^2 y según la Teoría Clásica, la tensión cedente (f_y) es el doble de la tensión admisible, resultando un $f_y=2400 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo estos valores no son relevantes, ya que las fundaciones no son parte del modelo estudiado en esta investigación. Por otra parte, las características de los elementos estructurales del resto de estas edificaciones contemplan un $f'c$ de 280 kg/cm^2 y un esfuerzo cedente de 2800 kg/cm^2 .

En cuanto a las características de los materiales del IMME Sur y de la Nave de Ensayos Especiales, la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días es de 250 kg/cm^2 y el esfuerzo cedente de las barras de acero de refuerzo es de 4000 kg/cm^2 . También se obtuvo información acerca de los materiales que componen el Banco Universal de Ensayos, $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ y $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$; estos valores no serán tomados en cuenta en el modelado por ser una estructura independiente de la Nave de Ensayos Especiales.

En el IMME Norte existe una grúa puente de 5 T de capacidad de carga, mientras que en la Nave de Ensayos Especiales existen 2 grúas puente 10 T cada una. Estos sistemas de grúa se desplazan sobre perfiles de acero estructural, los cuales según los planos son IA.S18"x54,7#. Estas vigas "doble T standard americano" son de acero estructural ASTM-A36, cuyo esfuerzo cedente (F_y) es de 2530 kg/cm^2 y su esfuerzo último (F_u) es 4080 kg/cm^2 . Por otra parte, este material tiene un módulo de elasticidad de 2100000 kg/cm^2 y su peso por volumen es de $7836,6 \text{ kg/m}^3$.

Las vigas de la grúa puente del IMME Norte se encuentran vinculadas a ciertas vigas del techo mediante elementos que trabajan a tracción. Estos elementos son tensores que se considerarán de acero corriente (ASTM-A36) y su sección transversal

circular. Las vigas de la grúa puente de la Nave de Ensayos Especiales se encuentran apoyadas sobre vigas de concreto armado en toda su longitud.

5.1.3 Método de análisis estructural

La Norma COVENIN 1756-01: “Edificaciones Sismorresistentes” en su capítulo 9, en el artículo 9.1 establece que las edificaciones deben ser analizadas tomando en consideración los efectos torsionales y traslacionales utilizando uno de los siguientes métodos: Análisis Estático Equivalente, Análisis Dinámico Plano, Análisis Dinámico Espacial o Análisis Dinámico Espacial con Diafragma Flexible.

El análisis de las estructuras en estudio se realizará utilizando el método de Análisis Dinámico Espacial con Diafragma Flexible, debido a que las edificaciones poseen irregularidades en planta identificadas como b.4 en la Sección 6.5.2 de esta Norma. En esta sección se define que una de las condiciones que implican que un diafragma se considere flexible es que las plantas presenten un total de aberturas internas que rebasen el 20% del área bruta de la planta, tal como ocurre en el nivel 1 del IMME Norte.

La existencia de losas prefabricadas en el IMME Sur y en la Nave de Ensayos Especiales, las cuales se encuentran simplemente apoyadas sobre vigas, se considera como otra razón para usar Análisis Dinámico Espacial con Diafragma Flexible.

Cabe destacar que para que el programa ETABS considere un diafragma flexible no se le debe asignar diafragma a la losa, sin embargo esto impide el programa calcule la masa del edificio ya que no existe concentración de masas en el centro de masa de cada nivel. Solo para estimar la masa de la estructura, se definieron diafragmas rígidos en todos los niveles.

5.1.4 Sistema estructural

En el Capítulo 6 de la Norma 1756-01, en el artículo 6.3 se define la clasificación de los sistemas estructurales resistentes a sismos. Las estructuras en estudio se consideraron como Tipo I, ya que están conformadas por pórticos donde sus vigas y

columnas son capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas, además los ejes de las columnas se mantienen continuos en toda la edificación. En el sótano de la estructura IMME Sur existen muros con la finalidad de resistir los empujes de tierra, por lo que no actúan en el sistema resistente a sismos.

Este sistema estructural formado por vigas y columnas implica la generación de nodos, a los cuales se les debe asignar en el programa ETABS un factor de rigidez que debe estar comprendido en el intervalo entre 0 y 1; donde el primero es un nodo completamente flexible y el valor mayor simula el empotramiento perfecto de las vigas en las columnas. Para los casos en estudios se tomará un factor de 0,5 debido a la antigüedad de las estructuras y al bajo nivel de exigencia en cuanto a ductilidad.

5.1.5 Cargas consideradas

Las cargas que actúan sobre las estructuras se estimaron a partir de los lineamientos y consideraciones establecidos en la Norma COVENIN-MINDUR 2002-88:“Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones”.

5.1.5.1 Cargas Permanentes (PP+SCP)

Se considera como carga permanente a aquellas acciones que actúan constantemente sobre la edificación y cuya magnitud puede considerarse invariable en el tiempo. Las cargas originadas debido al peso propio de elementos estructurales, sean columnas, vigas, losas y muros se consideran en el modelado como Peso Propio (PP), que son calculados por el programa ETABS en función del peso específico de los materiales y elementos constructivos. Según la tabla 4.1 de la Norma COVENIN-MINDUR 2002-88 en la Sección 5 el peso unitario probable del concreto armado de agregados ordinarios es de 2500 kg/m^3 .

El valor de la Sobre Carga Permanente (SCP), se incluye en el programa en función de tabiquerías, paredes, frisos, acabados, instalaciones fijas, entre otros.

5.1.5.2 Empuje de Tierra (ET)

Se considera el efecto del Empuje de Tierra sobre los muros perimetrales para el sótano del IMME Sur. Estas cargas se calculan en función del peso unitario del suelo y el coeficiente de empuje activo (k_a), considerados como 2000 kg/m³ y 0,33 respectivamente según sugerencias de profesores especialistas en el tema.

5.1.5.3 Cargas Variables (CV)

Las cargas que no se mantienen constantes en el tiempo son consideradas Cargas Variables (CV) y se estiman en función del uso de cada espacio dentro de la edificación o por otras acciones variables como maquinarias, impacto, vehículos, grúas móviles, entre otros.

Para las edificaciones estudiadas se tendrán dos tipos de Cargas Variables, las que estiman en función del uso de la edificación, tal como se muestra tabla 5.1 “Mínimas cargas distribuidas variables sobre entrepisos Kg/m²”, y las cargas variables producto del uso de grúas móviles dentro de los edificios IMME Norte y Nave de Ensayos Especiales.

5.1.5.4 Cargas Accidentales (S)

Se consideraran como Cargas Accidentales (S) el efecto de los movimientos del terreno originado por sismos, y se desprecia la acción del viento. La acción debida al sismo se consideró según lo establecido en el Capítulo 7 de la Norma COVENIN 1756-01.

5.1.6 Espectro de Diseño

5.1.6.1 Parámetros asociados a la ubicación de la estructura

La Ciudad Universitaria de Caracas se encuentra en una zona sísmica 5 correspondiente a un peligro sísmico elevado, cuyo valor de Coeficiente de Aceleración Horizontal (A_0) se determina a partir de la Imagen N°44, resultando $A_0=0,30$. Este valor de A_0 será incrementado más adelante, tal como establece el

comentario la Norma COVENIN 1756-01 en función del nivel de diseño establecido por la Norma y el que está presente en la estructura.

TABLA 4.1
VALORES DE A_0

ZONAS SÍSMICAS	PELIGRO SÍSMICO	A_0
7	Elevado	0.40
6		0.35
5		0.30
4	Intermedio	0.25
3		0.20
2	Bajo	0.15
1		0.10
0		--

Imagen N°44. Valores de A_0 .

Fuente: Norma COVENIN 1756-01. Tabla 4.1.

Según la tabla 5.1 de la Norma COVENIN 1756-01 que se puede observar en la Imagen N°45, se determina la forma espectral del diseño sísmico y el factor de corrección ϕ , que dependen de la zona sísmica y las características del suelo. No se conocen las características del suelo donde se construyeron las edificaciones que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Sin embargo, según Martha Alonso y Daniel Ugas en su Trabajo Especial de Grado, la Ciudad Universitaria de Caracas posee una forma espectral S2 y un factor de corrección $\phi=0,90$.

TABLA 5.1 FORMA ESPECTRAL Y FACTOR DE CORRECCIÓN ϕ

Material	V _{sp} (m/s)	H (m)	Zonas Sísmicas 1 a 4		Zonas Sísmicas 5 a 7	
			Forma Espectral	ϕ	Forma Espectral	ϕ
Roca sana/fracturada	>500	-	S1	0.85	S1	1.00
Roca blanda o meteorizada y suelos muy duros o muy densos	>400	<30	S1	0.85	S1	1.00
		30-50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.70	S2	0.90
Suelos duros o densos	250-400	<15	S1	0.80	S1	1.00
		15-50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.75	S2	0.90
Suelos firmes/medio densos	170-250	≤50	S3	0.70	S2	0.95
		>50	S3 ^(a)	0.70	S3	0.75
Suelos blandos/sueltos	<170	≤15	S3	0.70	S2	0.90
		>15	S3 ^(a)	0.70	S3	0.80
Suelos blandos o sueltos ^(b) intercalados con suelos más rígidos	-	H ₁	S3 ^(c)	0.65	S2	0.70

a) Si $A_0 \leq 0.15$ úsese S4

b) El espesor de los estratos blandos o sueltos ($V_s < 170$ m/s) debe ser mayor que $0.1 H$.

c) Si $H_1 \geq 0.25 H$ y $A_0 \leq 0.20$ úsese S4.

Imagen N°45. Forma espectral y factor de corrección ϕ .

Fuente: Norma COVENIN 1756-01. Tabla 5.1.

Para determinar los valores de: máximo periodo en el intervalo donde los espectro normalizados tienen un valor constante (T^*), factor de magnificación promedio (β) y exponente que define la rama descendente del espectro (p), se utiliza la tabla 7.1 de la Norma COVENIN 1756-01, mostrada en la Imagen N°46 basada en la forma espectral.

TABLA 7.1

VALORES DE T^* , β y p

FORMA ESPECTRAL	T^* (seg)	β	p
S1	0.4	2.4	1.0
S2	0.7	2.6	1.0
S3	1.0	2.8	1.0
S4	1.3	3.0	0.8

Imagen N°46. Valores de T^ , β y p .*

Fuente: Norma COVENIN 1756-01. Tabla 7.1.

5.1.6.2 Parámetros asociados a las características de la estructura

Las edificaciones que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales se encuentran clasificadas en el grupo A, debido a su uso como un

espacio educacional, además de su importante función como nave de ensayos estructurales y la presencia de equipos valiosos de elevado costo; por lo que su colapso ocasionaría pérdidas humanas y económicas considerables.

Según la tabla 6.1 de la Norma 1756-01, tal como se observa en la Imagen N° 47, el factor de importancia (α) depende directamente al grupo al cual pertenece la estructura.

TABLA 6.1
FACTOR DE IMPORTANCIA

GRUPO	α
A	1.30
B1	1.15
B2	1.00

Imagen N°47. Factor de importancia.

Fuente: Norma COVENIN 1756-01. Tabla 6.1.

Por otra parte, según la tabla 6.2 de la Norma COVENIN 1756-01, reflejada en la Imagen N°48, la estructura debe ser diseñada con un nivel de diseño 3 (ND3), por estar ubicada en una zona sísmica 5 y por pertenecer al grupo A.

TABLA 6.2
NIVELES DE DISEÑO ND

GRUPO	ZONA SÍSMICA		
	1 y 2	3 y 4	5,6 y 7
A; B1	ND2 ND3	ND3	ND3
B2	ND1 (*) ND2 ND3	ND2 (*) ND3	ND3 ND2 (**)

Imagen N°48. Niveles de diseño ND.

Fuente: Norma COVENIN 1756-01. Tabla 6.2.

Sin embargo, por ser edificaciones ya construidas, para estimar el nivel de diseño se debe utilizar la Tabla C-12.1 del comentario de la Norma COVENIN 1756-01, tal como se observa en la Imagen N°49. Al ser estructuras aporricadas de concreto armado, proyectadas antes del año 1967, se consideraran con un nivel de diseño 1

(ND1).Lo que implica que el tipo de vigas y columnas que serán diseñadas dentro de los modelos serán “swayordinary”, lo cual corresponde a un elemento estructural con un nivel de diseño ND1.

TABLA C-12.1
ORIENTACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE LOS NIVELES DE DISEÑO PRESENTES

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE A SISMOS	NIVELES DE DISEÑO PRESENTES EN OBRAS CONSTRUIDAS EN ZONAS SÍSMICAS, EN EL LAPSO SEÑALADO			
	hasta 1955	1955-1967	1967-1982	>1982
Estructuras aporricadas de concreto armado de más de 3 a 4 pisos	ND1	ND1	ND2	ND3
Estructuras de mampostería confinada con miembros de concreto armado	ND1	ND1	(1)	(1)

Imagen N°49. Orientación para la selección de los niveles de diseño presentes.

Fuente: Comentario de la Norma COVENIN 1756-01. Tabla C-12.1.

En cuanto al factor de reducción de respuesta (R), según la Norma COVENIN 1756-01 se utilizará un valor de $R=1$ ya que las estructuras no satisfacen todos los requisitos normativos de incidencia sismorresistente para estructuras de concreto armado explicados en la Tabla 12.1 de la norma antes mencionada, la cual se muestra en la Imagen N°50.

TABLA 12.1

REQUISITOS NORMATIVOS DE INCIDENCIA SISMORRESISTENTE

ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO	
a)	Las longitudes de desarrollo para anclaje y empalme de las barras con resaltes de refuerzo. Para barras lisas se duplicarán las longitudes exigidas en la Norma COVENIN-MINDUR 1753.
b)	Las cuantías mínimas y máximas de refuerzo, para corte, flexión y flexocompresión.
c)	Los diámetros mínimos y separaciones máximas de la armadura transversal para: resistir corte, arriostrar barras comprimidas y confinar el concreto.
d)	Las limitaciones de los ensayos a tracción y de doblado en frío para las barras o mallas de refuerzo, establecido en las Normas COVENIN o COVENIN-MINDUR.
ESTRUCTURAS DE ACERO	
a)	Las máximas relaciones ancho/espesor de las alas o almas de los perfiles.
b)	Las máximas relaciones de esbeltez en miembros comprimidos.
c)	Las limitaciones de espesor y longitudes de soldaduras y las de espaciamientos de pernos, remaches y soldaduras.
d)	Los rigidizadores de las columnas en las conexiones a momento.
e)	Los arriostramientos laterales de las vigas y cerchas.

Imagen N°50. Requisitos normativos de incidencia sismorresistente.

Fuente: Norma COVENIN 1756-01. Tabla 12.1.

En el caso particular del IMME Norte – Ampliación, existen vigas que están empotradas a las columnas en un extremo y simplemente apoyadas en las columnas del extremo común con el IMME Norte, ocasionando que no se produzca el efecto de pórticos en esta estructura. Es por ello que el IMME Norte – Ampliación se considera como una estructura híbrida entre Tipo I (aporticada) y Tipo IV (no distribuye eficazmente las fuerzas sísmicas a los elementos verticales); sin embargo, al tomar un factor de reducción de respuesta $R=1$, se considera una estructura con poca ductilidad y cubre el efecto de que la estructura no sea Tipo I, ya que se comportará como pórtico.

5.1.6.3 Incremento de A_0

El valor del coeficiente de aceleración horizontal A_0 debe incrementarse en un porcentaje, tal como explica la Tabla C-12.2 del comentario de la Norma COVENIN 1756-01, observada en la Imagen N°51, en función del nivel de diseño requerido por la norma y el nivel de diseño presente, los cuales son ND3 y ND1 respectivamente,

por lo tanto el valor de $A_0=0,30$ se incrementará en un 40%, por lo tanto el valor a utilizar en la elaboración del espectro de diseño será $A_0=0,42$.

TABLA C-12.2
INCREMENTOS EN EL VALOR DE A_0 SEGÚN EL NIVEL DE DISEÑO PRESENTE EN OBRAS EXISTENTES.

NIVEL DE DISEÑO REQUERIDO EN ESTA NORMA	NIVEL DE DISEÑO PRESENTE			R=I
	ND3	ND2	ND1	
ND3	0	20%	40%	60%
ND2	0	0	20%	40%
ND1	0	0	0	20%

Imagen N°51. Incrementos en el valor de A_0 según el nivel de diseño presente en obras existentes.

Fuente: Comentario de la Norma COVENIN 1756-01. Tabla C-12.2.

Finalmente se obtiene el valor del periodo característico de variación de respuesta dúctil (T^+), usando la tabla 7.2 de la Norma COVENIN 1756-01, mostrada en la Imagen N°52, en función del factor de reducción de respuesta (R), resultando $T^+ = 0$ s.

TABLA 7.2
VALORES DE T^+ ⁽¹⁾

CASO	T^+ (seg)
$R < 5$	$0.1 (R-1)$
$R \geq 5$	0.4

⁽¹⁾ $T_0 \leq T^+$

Imagen N°52. Valores de T^+ .

Fuente: Norma COVENIN 1756-01. Tabla 7.2.

5.1.6.4 Elaboración del espectro de diseño

El espectro de diseño mostrado en la Imagen N°53 se elaboró a partir de los lineamientos presentes en el Capítulo 7 de la Norma COVENIN 1756-01, Sección 7.2

utilizando los valores obtenidos anteriormente, los cuales se presentan a continuación en la Tabla N°28.

Tabla N°28. Parámetros para la elaboración del espectro de diseño

Parámetro	Valor
Coefficiente de aceleración horizontal (A_0)	0,42
Forma espectral	S2
Factor de corrección (φ)	0,90
Grupo	A
Factor de importancia (α)	1,30
Nivel de diseño	ND1
Tipo de estructura	Tipo I
Factor de reducción de respuesta (R)	1
Máximo periodo en el intervalo donde los espectro normalizados tienen un valor constante (T^*)	0,70
Factor de magnificación promedio (β)	2,60
Exponente que define la rama descendente del espectro (p)	1
periodo característico de variación de respuesta dúctil (T^+)	0,175

Fuente: Elaboración propia.

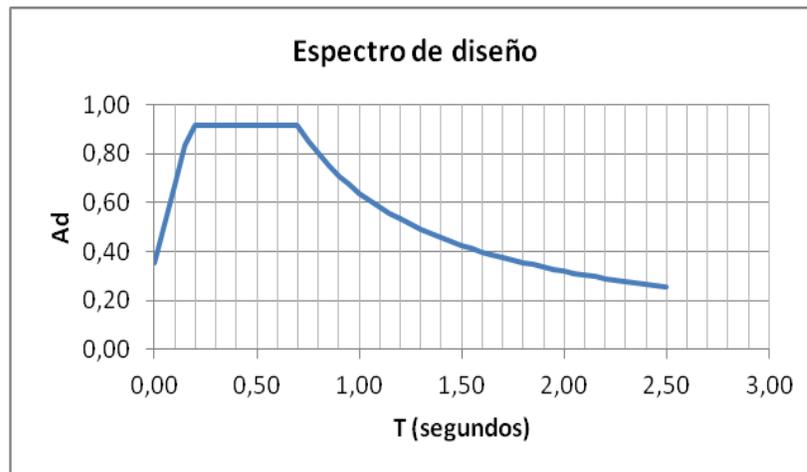


Imagen N°53. Espectro de diseño y espectro de respuesta.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el valor de R es igual a 1, el espectro de diseño coincide con el espectro de respuesta.

5.1.7 Combinaciones de carga

La Norma FONDONORMA 1753-06 en el Capítulo 9 en el Artículo H-9.4 indica que para el diseño de una estructura de concreto armado sometida a cargas permanentes, variables y fuerzas sísmicas, se le aplican ciertas combinaciones de cargas (U_i).

Según la Norma COVENIN 1756-01 en el Artículo 8.6 indica que las estructuras deben diseñarse bajo la acción simultánea de 2 componentes sísmicas horizontales; uno de los criterios aceptados es el valor absoluto de las solicitaciones debidas al sismo en una dirección más el 0,30 del valor absoluto de las solicitaciones debidas a sismo en la dirección ortogonal y viceversa.

- $U_1 = 1,4 (PP+SCP)$
- $U_2 = 1,2 (PP+SCP) + 1,6 CV + 0,5 CV_t$
- $U_3 = 1,2 (PP+SCP) + CV + 1,6 CV_t$
- $U_4 = 1,2 (PP+SCP) + 0,5 (CV+CV_t) \pm S_x \pm 0,3S_y$
- $U_5 = 1,2 (PP+SCP) + 0,5 (CV+CV_t) \pm 0,3S_x \pm S_y$
- $U_6 = 0,9 (PP+SCP) \pm S_x \pm 0,3S_y$
- $U_7 = 0,9 (PP+SCP) \pm 0,3S_x \pm S_y$

En el caso de existir empuje de tierras (ET) las combinaciones a utilizar serán las siguientes:

- $U_1 = 1,4 (PP+SCP)$
- $U_2 = 1,2 (PP+SCP) + 1,6 (CV+ET) + 0,5 CV_t$
- $U_3 = 1,2 (PP+SCP) + CV + 1,6 CV_t$
- $U_4 = 1,2 (PP+SCP) + 0,5 (CV+CV_t) \pm S_x \pm 0,3S_y$
- $U_5 = 1,2 (PP+SCP) + 0,5 (CV+CV_t) \pm 0,3S_x \pm S_y$
- $U_6 = 0,9 (PP+SCP) \pm S_x \pm 0,3S_y$
- $U_7 = 0,9 (PP+SCP) \pm 0,3S_x \pm S_y$
- $U_8 = 0,9 (PP+SCP) \pm 1,6ET$

5.2 PROCEDIMIENTO DEL MODELADO

El análisis de las edificaciones que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, ejecutado con el programa ETABS, se dividió en 3 partes: el primer modelo formado por la estructura IMME Sur, el segundo por la Nave de Ensayos Especiales y el tercer modelo está formado por el IMME Norte e IMME Norte – Ampliación, las cuales tienen varias columnas en común.

5.2.1 Estructura IMME Sur

Se inició con la ubicación de los ejes basado en los planos originales, los cuales se usaron para los 2 primeros modelos, debido a la contigüidad de las estructuras. Cabe destacar que no todos los ejes en planta son ortogonales entre sí, ya que algunos tienen 6° de inclinación con respecto a los ejes “X” y “Y”. Para efectos de nomenclatura los ejes nombrados con números son los ejes verticales y los que tienen 6° de inclinación con respecto al eje “Y”, mientras que los ejes nombrados con letras son los ejes horizontales y los que están inclinados 6° medidos desde el eje “X”.

Debido a la irregularidad de la planta se ha tomado en cuenta las siguientes consideraciones: los ejes nombrados con números se encuentran en el intervalo comprendido entre 0 y 24, incluyendo los ejes 14' y 16' resultando un total de 27 ejes. Por otra parte los ejes nombrados con letras están entre la A y la K, tomando en cuenta A', Aa, Ab, Ac, F' y G' obteniendo un total de 17 ejes. En cuanto a la elevación se establecieron 7 niveles medidos con respecto al nivel Base que serán presentados en la Tabla N°29.

Tabla N°29. Niveles de los modelos de las estructuras IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales

Nivel	Elevación (m)	Comentario
BASE	0	Se encuentran los empotramientos al terreno de las columnas y muros del sótano del IMME Sur.
PT=V-4	3	Está ubicado el envigado del nivel Planta talleres del IMME Sur y la viga V-4 de la NEE.

TO-PAT = V-3	6,2	Está ubicado el envigado del nivel Techo oficinas – Planta alta talleres del IMME Sur y la viga V-3 de la NEE.
Cambio c-b	8,5	Se encuentra el cambio de sección c-b de las columnas tipo 7 y 10.
TT	9,4	Ubicación del nivel Techo talleres del IMME Sur.
V-2 = Cambio b-a	14	Se encuentra el cambio de sección b-a de las columnas tipo 7 y 10 y la viga V-2 de la NEE.
V-1	17,2	Se encuentra la viga V-1 de la NEE.

Fuente: Elaboración propia.

En el menú “Define”, opción “Material Properties...” se definió el material a utilizar para este modelo tal como se observa en el punto 5.1.2, el cual es concreto armado con resistencia a la compresión simple a los 28 días ($f'c$) de 250 kg/cm^2 , peso unitario de 2500 kg/m^3 y cuyo módulo de elasticidad es de 238752 kg/cm^2 . Adicionalmente el concreto estará reforzado con barras de acero con esfuerzo cedente (f_y) de 4000 kg/cm^2 . Por otro lado, se creó un material con las mismas características del anterior, con la particularidad de no poseer masa por unidad de volumen, que se usó en algunos elementos que se encuentran en el nivel del sótano, cuya masa no participa en el análisis modal.

En el menú “Define”, opción “FrameSections...” se procedió a definir la sección transversal de las columnas que conforman el IMME Sur, las cuales se observan en la Imagen N°7. Considerando los ensayos realizados con el Ferroskan PS200, se estimó 4 cm de recubrimiento para todos los elementos. Se definen las columnas con el acero de refuerzo longitudinal especificado en los planos estructurales, para que sean chequeados por el programa en la opción “Reinforcement to be Checked”. En el mismo menú se definen las secciones transversales de las vigas, con el fin de que el programa calcule el área del acero de refuerzo longitudinal requerido. También se

definieron dos secciones tipo “Wall” de 25 cm de espesor y con el material sin masa, que conforman los muros de contención del sótano del IMME Sur.

Se dibujaron las columnas sobre los ejes existentes tal como se indican en los planos de los envigados de estas estructuras. A las columnas del nivel Base y a algunas del nivel Planta talleres se le seleccionaron los nodos, para asignarles restricciones de empotramiento. Luego se dibujaron los muros de contención que se encuentran en el perímetro del sótano de la estructura y posterior se dibujaron las vigas.

Se definió un elemento tipo “Slab” que representa una losa maciza de 20 cm de espesor al cual se le asignó el material sin masa. Debido a la existencia de losas nervadas de 20 cm y 25 cm de espesor, se definieron elementos “Frame”, de sección transversal tipo “Tee”, con las dimensiones que se observan en las Imágenes N°54 y N°55. Por otra parte, con el fin de estimar el peso de las losas prefabricadas se definieron secciones transversales de los elementos prefabricados que conforman algunas losas del IMME Sur como se observa en la Imagen N°56.

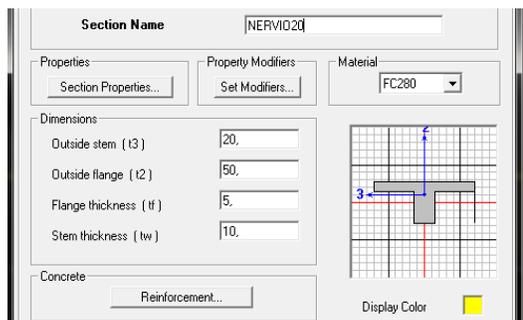


Imagen N°54. Sección transversal de nervio perteneciente a losa nervada de 20 cm de espesor.

Fuente: Elaboración propia.

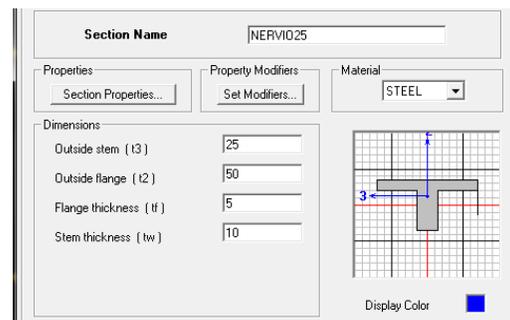


Imagen N°55. Sección transversal de nervio perteneciente a losa nervada de 25 cm de espesor.

Fuente: Elaboración propia.

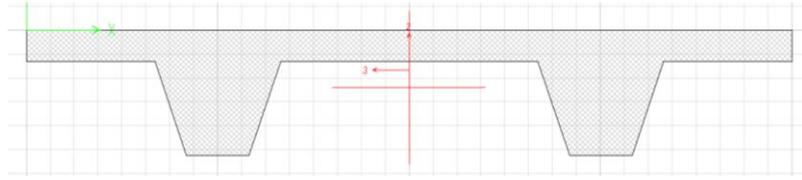


Imagen N°56. Sección transversal de nervio de losa prefabricada de 20 cm de espesor.

Fuente: Elaboración propia

Se colocaron en el modelo las secciones tipo “Frame” que representan nervios de losas, tanto prefabricadas como vaciadas en sitio, tal como lo indican los planos originales de los envigados. Sobre estas se colocó una sección tipo “Slab”, que no es más que una losa maciza, creada con un material con las características del concreto armado, pero con la particularidad de no tener masa ni peso. La losa posee 14,5 cm de espesor para que su inercia sea igual a la de la losa nervada que se desea simular. La creación de esta losa se hace con la finalidad de distribuir tributariamente en una dirección las cargas hacia los nervios y posteriormente hacia las vigas.

Según los planos estructurales, la escalera del edificio IMME Sur está formada por una losa maciza de 15 cm de espesor, por lo que se definió una losa tipo “Slab” del mismo material de los demás elementos de concreto armado. El modelo de las estructuras se observa en la Imagen N°57 y N°58.

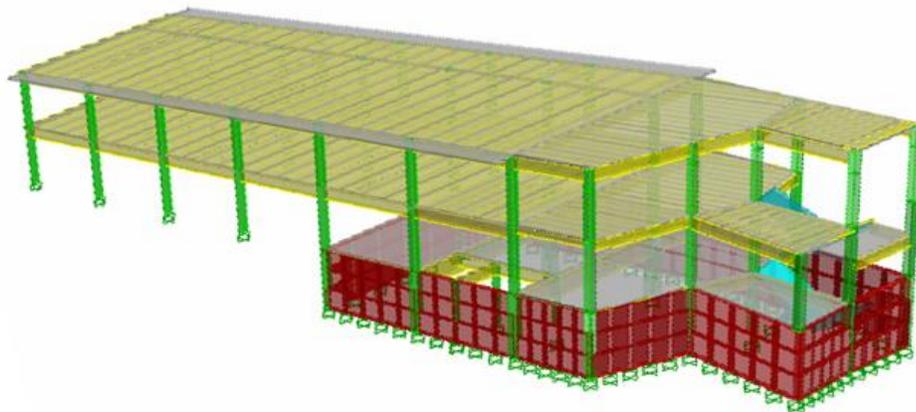


Imagen N°57. Modelo del IMME Sur. Cara norte

Fuente: Elaboración propia.

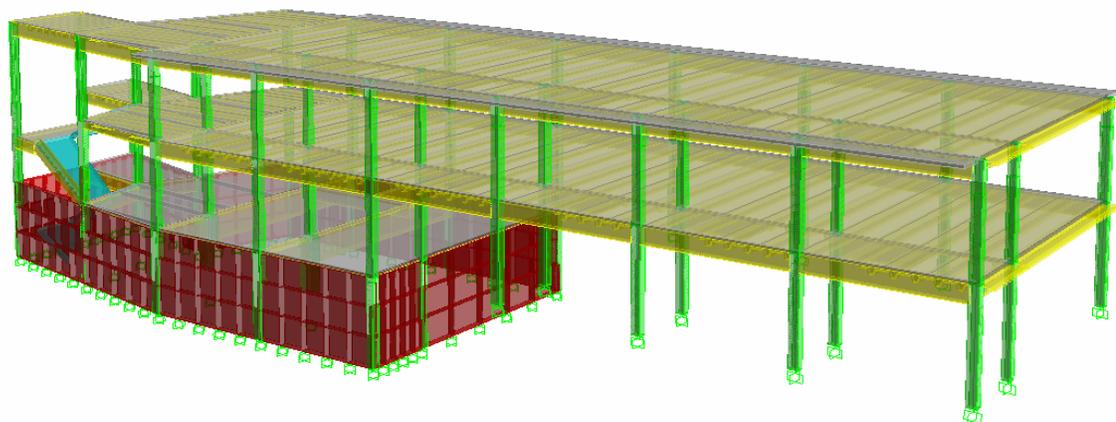


Imagen N°58. Modelo del IMME Sur. Cara sur

Fuente: Elaboración propia.

Se definieron los siguientes casos de carga estáticos, para luego agregar las cargas al modelo: Peso Propio (PP), Sobrecarga Permanente (SCP), Carga Variable (CV), Carga Variable de techo (CVT) y Empuje de Tierra (ET). La Tabla N°30 muestra los valores de cargas variables presentes en el modelo, basados en la Norma COVENIN MINDUR 2002-88. Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones.

Tabla N°30. Valores de carga variable para los usos existentes en la estructura IMME Sur.

Uso	Carga Variable (kg/m ²)
Pasillos	400
Escaleras	500
Oficinas	300
Aulas	300
Talleres de maquinaria ligera	600
Techo	100

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de carga SCP, el valor aplicado se estimó de la siguiente manera:

- En los niveles Planta talleres y Techo oficinas – Planta alta talleres se midió 230 ml de tabiquería aproximadamente. Considerando una altura promedio de 2,70 m, se obtienen 621 m² de pared. Según la norma COVENIN MINDUR 2002-88, paredes hechas de bloques de arcilla de 15 cm de espesor, frisadas por ambas caras tienen un peso unitario de 230 kg/m², por lo que el peso de la tabiquería en la estructura IMME Sur es aproximadamente 143 T; este valor dividido entre el área en planta de ambos niveles (580m²) genera una carga uniformemente distribuida de 250 kg/m².
- El acabado superior de las losas de la estructura IMME Sur es en su mayoría baldosas de cerámicas, por lo que se estima un valor de 80 kg/m². Para el nivel techo se estima un valor de 10 kg/m² por impermeabilización.
- El acabado inferior de las losas no es constante en la edificación. En algunos lugares se observa cielos rasos, frisado, iluminación o tuberías de instalaciones sanitarias. Se selecciona un valor de 25 kg/m².
- En cuanto a la escalera, los valores de acabados superior e inferior son 80 kg/m² y 25 kg/m² respectivamente. En las rampas de las escaleras se considera el peso adicional de los escalones estimado en 200 kg/m².

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, los valores de sobrecarga permanente se aprecian en la Tabla N°31.

Tabla N°31. Valores de sobrecarga permanente para las zonas existentes en la estructura IMME Sur.

Zona	SCP
Losas de entrepiso	355 kg/m ²
Losas de techos	35kg/m ²
Rampas	305kg/m ²
Descansos	105kg/m ²

Fuente: Elaboración propia.

A los muros de contención del sótano se les realizó una división tipo “Mesh”, con el fin de crear nodos adicionales, a los cuales se les asignaron resortes que representan la respuesta del suelo sobre el muro ante un evento sísmico, considerando un módulo de balasto típico de la CUC de 3kg/cm^3 . Para la representación del empuje de tierra se creó una carga escalonada sobre los muros, asumiendo el coeficiente de empuje activo $K_a=0,33$ y un peso específico del suelo de 2000 kg/m^3 . Por otra parte, a los muros ya divididos se les asignó un “Pier Label” con el fin de que el programa los considere como una columna y las solicitaciones sean transmitidas de una división a otra.

Para determinar los casos espectrales (S_x y S_y) se definió en el programa el espectro de diseño correspondiente, tal como se explicó en el punto 5.1.6 Espectro de Diseño. Luego se indicó en el programa las 8 combinaciones de cargas explicadas en el punto 5.1.7 Combinaciones de carga, incluyendo el empuje de tierra.

Se le asignó un diafragma rígido solo a la losa del nivel Planta talleres, mientras que a las losas de los demás niveles no se le asignó diafragma con el fin de que el programa lo considere como un diafragma flexible. Finalmente se realizó el análisis dinámico de la estructura.

5.2.2 Nave de Ensayos Especiales

Para este modelo se utiliza el mismo sistema de ejes y distribución de niveles usados en el modelo anterior. Además se definieron las características de los materiales que conforman el concreto armado de esta estructura, tal como lo explica el punto 5.1.2.

Se definió la sección transversal de las columnas y vigas de la estructura analizada, asumiendo 4 cm de recubrimiento para cada elemento. De manera análoga al modelo anterior, se le indicó al programa que el armado longitudinal de las columnas debe ser chequeado, mientras que el de las vigas se diseña.

Se procedió a dibujar los elementos estructurales en la ubicación que indica el plano de envigado mostrado en la Imagen N° 19 y se seleccionaron los nodos

inferiores de cada una de las columnas para asignarles restricciones de empotramiento. Cabe destacar que el sótano no se dibujó en el modelo, ya que su comportamiento dinámico es independiente al del resto de la estructura.

Se colocó en el modelo la representación de los nervios de losas prefabricadas, para el techo del ambiente dedicado a oficinas se colocaron los mismos elementos definidos en el modelo anterior, como se observa en la Imagen N°56; mientras que para el techo de la Nave de Ensayos Especiales se definió una sección que se muestra en la Imagen N°59, con el fin de que el programa estime el peso de las losas sobre la estructura. Para distribuir de manera tributaria las cargas de las losas a los nervios, se colocó un elemento tipo “Slab” sin masa que distribuya los esfuerzos en una sola dirección. El modelo de la estructura se observa en la Imagen N°60, N°61 y N°62.

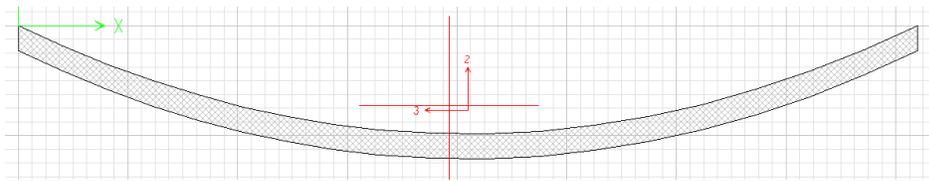


Imagen N°59. Sección transversal de elemento prefabricado de la losa de techo de la Nave de Ensayos Especiales.

Fuente: Elaboración propia.

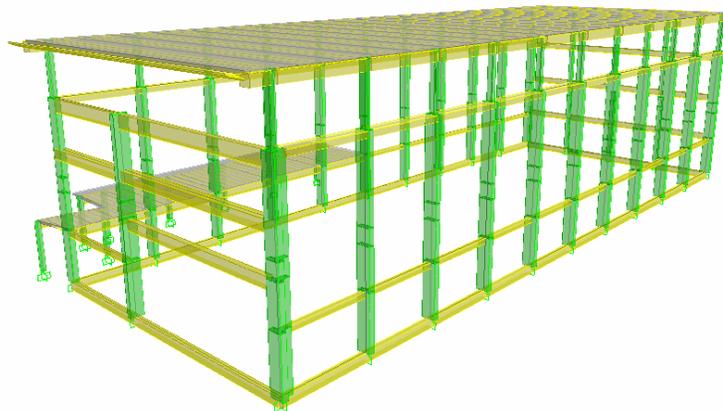


Imagen N°60. Modelo de la Nave de Ensayos Especiales. Cara norte

Fuente: Elaboración propia.

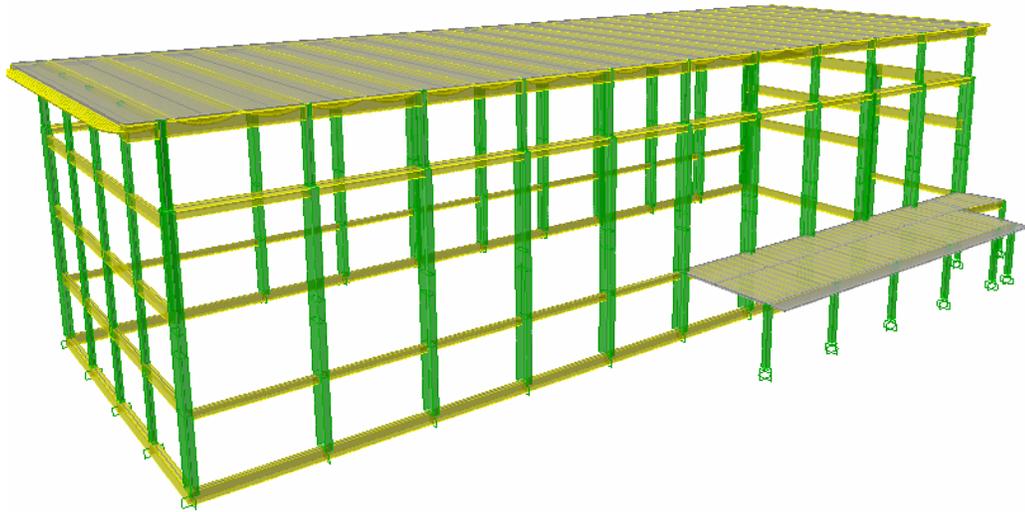


Imagen N°61. Modelo de la Nave de Ensayos Especiales. Cara sur
Fuente: Elaboración propia.

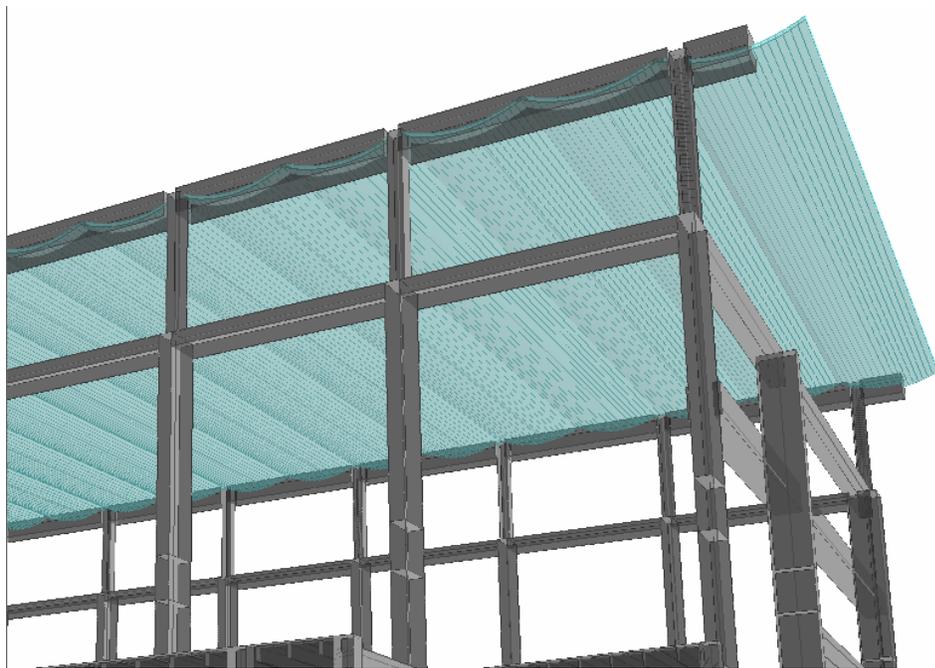


Imagen N°62. Vista de los elementos prefabricados curvos de la losa de techo de la
Nave de Ensayos Especiales.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto los casos estáticos de carga, se usaron los mismos del modelo anterior pero sin tomar en cuenta el empuje de tierras. Debido a que no existen losas de entrepiso, no se aplican valores de carga variable (CV) y solo se consideró carga variable de techo (CVT) de 100 kg/m^2 .

En el caso de carga SCP, el valor aplicado se estimó de la siguiente manera:

- En cuanto a la sobrecarga generada por la tabiquería, se observó que las paredes no se apoyan sobre losas, sino directamente sobre vigas, por lo que se tuvo que estimar un valor de carga lineal. La altura de la Nave de Ensayos Especiales es de 14,2 m; se asumió una altura promedio de tabiquería de 9 m, considerando la existencia de puertas, portones, vigas, bloques aligerados y ventanales. Se midió un aproximado de 140 ml de tabiquería generando un total de 1260 m^2 , cuyo peso es de 290 T. Este peso dividido entre la longitud total de vigas (560 m), produce una carga lineal uniforme de 515 kg/m
- El valor de sobrecarga asociado al acabado inferior de las losas de techo es de 25 kg/m^2 .

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, los valores de sobrecarga permanente para las vigas de la Nave de Ensayos Especiales es de 515 kg/m mientras que para las losas de techo es de 35 kg/m^2 .

A partir del mismo espectro de diseño usado en el modelo anterior se definieron los casos espectrales (S_x y S_y), los cuales fueron utilizados para la definición de las 7 combinaciones de cargas que establece la Norma 1756-01 para el diseño de estructuras en concreto armado sin tomar en cuenta el efecto del empuje de tierra. A las losas del techo de la Nave de Ensayos Especiales no se le asignó diafragma con el fin de que el programa lo considere como un diafragma flexible y finalmente se realizó el análisis dinámico de la estructura.

5.2.3 Estructuras IMME Norte e IMME Norte - Ampliación

Para iniciar el tercer modelo se establecieron los ejes resultando un total de 11 ejes verticales nombrados con números desde el 1 hasta el 11 y 6 ejes horizontales

nombrados con letras desde A hasta D incluyendo B' y D'. En cuanto a la elevación se definieron tres niveles con 4 m de altura de entrepiso. El nivel Base ubicado a 0 m de altura, el nivel 1 que se encuentra a 4 m de altura y finalmente el nivel Techo que está a 8 m de altura.

El material que forma el concreto armado de estas estructuras se definió de la misma manera que en los modelos anteriores, con las siguientes características: resistencia a la compresión simple a los 28 días ($f'c$) de 280 kg/cm^2 , peso unitario de 2500 kg/m^3 y cuyo módulo de elasticidad es de 252671 kg/cm^2 . El esfuerzo cedente (f_y) de las barras de acero de refuerzo es de 2800 kg/cm^2 . Se procedió a definir las secciones transversales de las columnas que conforman el IMME Norte e IMME Norte – Ampliación, tal como lo indican la Imagen N°12, N°13 y N°14, considerando 4 cm de recubrimiento para todos los elementos. Análogamente a los casos anteriores, las columnas serán chequeadas por el programa, mientras que las vigas serán diseñadas.

Se procedió a dibujar las columnas y las vigas, luego en el nivel Base se les asignó restricciones de empotramiento a los nodos de las columnas. Con el fin de representar en el programa las dos estructuras independientes una de la otra, debido a que algunas de las vigas que conforman la estructura del IMME Norte – Ampliación tienen la característica de estar empotradas en un extremo y simplemente apoyadas en el otro en una ménsula, se les realizó una liberación de momentos torsores y flectores en el extremo común con las columnas del IMME Norte, con el fin de simular una viga simplemente apoyada en uno de sus extremos. De la misma manera se le hizo liberación de fuerzas axiales y cortantes para que solo transmita su reacción a la columna donde se apoya.

Ciertas columnas de la estructura IMME Norte – Ampliación son de sección variable, por lo que inicialmente se definieron como elementos no-prismáticos, es por ello que el programa no calculó los factores de demanda-capacidad de estos elementos. Por lo tanto, se definieron como elementos de sección rectangular tomando en cuenta la menor sección.

Debido a que las losas del nivel Techo y del nivel 1 de ambas estructuras son losas nervadas de 20 cm de espesor, se definió un elemento “Frame”, de sección transversal tipo “Tee”, con las dimensiones que se observan en la Imagen N°54 del primer modelo.

Se colocaron las secciones llamadas “NERVIO20” en el modelo, de la misma manera que indican los planos de envigados, luego se colocó una losa maciza sin masa ni peso con el fin de distribuir tributariamente en una dirección, las cargas que actúan sobre la losa hacia los nervios y posteriormente hacia las vigas. La losa posee 14,5 cm de espesor para que su inercia sea igual a la de la losa nervada que se desea simular. En cuanto a las 2 escaleras presentes en el edificio IMME Norte, se definió una losa maciza de 16 cm de espesor, tipo membrana, de concreto armado $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, para el descanso y las rampas.

Para las vigas de la grúa puente, se definió una sección con el material y las dimensiones que se observan en la Imagen N°63. Se dibujaron las vigas en la ubicación que muestran los planos estructurales a una elevación de 6 m con respecto al nivel Base, y se vincularon a las vigas del techo mediante elementos denominados “Tensores”. El modelo de las estructuras se observa en la Imagen N°64 y N°65.

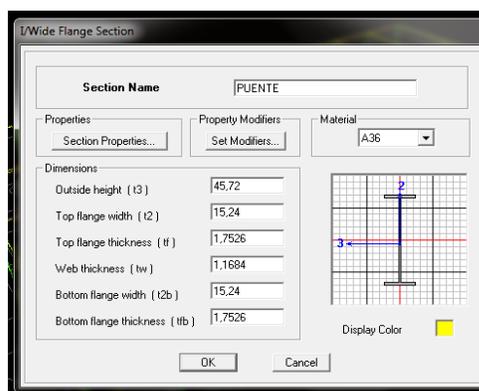


Imagen N°63. Sección transversal de la viga carrilera de la grúa puente en la estructura IMME Norte.

Fuente: Elaboración propia.

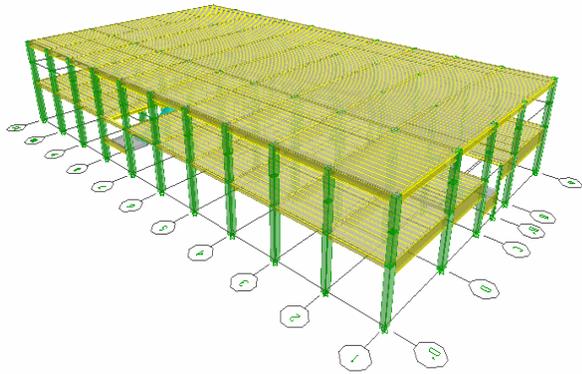


Imagen N°64. Vista noroeste del IMME Norte y su Ampliación.

Fuente: Elaboración propia.

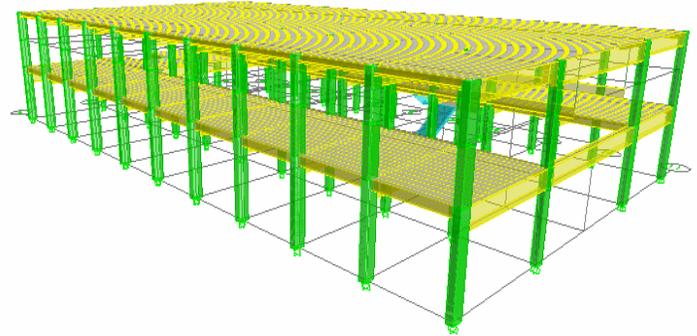


Imagen N°65. Vista sureste del IMME Norte y su Ampliación.

Fuente: Elaboración propia.

Se consideraron los mismos casos de carga estáticos definidos en el punto 5.1.5.3, sin tomar en cuenta el empuje de tierra. La incorporación de las cargas variables al modelo en el nivel 1, se hizo en base a los usos de la planta, los cuales se pueden observar en la Imagen N°66, que se elaboró a partir de los planos originales de arquitectura. En el nivel Techo se agregó una carga única en el caso de carga CVT.

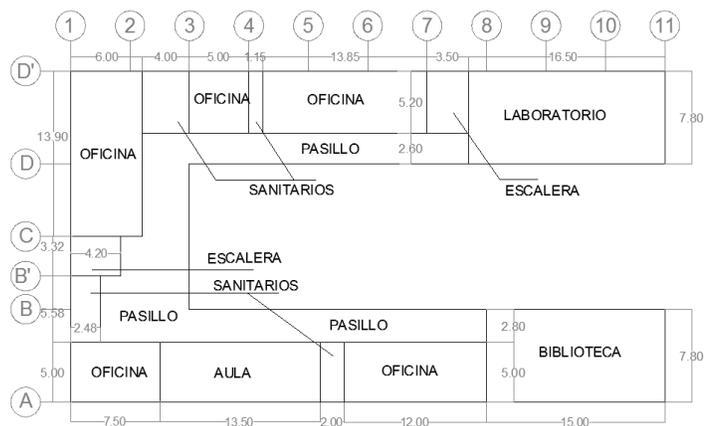


Imagen N°66. Usos de los ambientes del nivel 1 en las estructuras IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N°32 muestra los valores de cargas variables presentes en el modelo, para los usos especificados, basados en la Norma COVENIN MINDUR 2002-88.

Tabla N°32. Valores de carga variable para los usos existentes en las estructuras IMME Norte e IMME Norte - Ampliación.

Uso	Carga Variable (kg/m²)
Pasillos	400
Escaleras	500
Oficinas	300
Aulas	300
Bibliotecas	500
Sanitarios	300
Laboratorios	600
Techo	100

Fuente: Elaboración propia

En el caso de carga SCP, el valor aplicado se estimó de la siguiente manera:

- A partir de los planos arquitectónicos se midió un estimado de 360 ml de tabiquería en el nivel 1, lo cual representa aproximadamente 1080 m² de pared, considerando una altura promedio de 3 m. El peso unitario de la tabiquería es de 230 kg/m² ya que son paredes hechas de bloques de arcilla de 15 cm de espesor, frisadas por ambas, por lo que el peso de la tabiquería en el nivel 1 es aproximadamente 250 T; este valor dividido entre el área de la planta (890m²) genera una carga uniformemente distribuida de 280 kg/m². Para el nivel Techo no se toma en cuenta sobrecarga por tabiquerías.

- En cuanto al acabado superior e inferior de las losas, rampas y descansos de las escaleras, se consideran los mismos valores de sobrecarga permanente que en el primer modelo.

Los valores de sobrecarga permanente se aprecian en la Tabla N°33.

Tabla N°33. Valores de sobrecarga permanente para las zonas existentes en las estructuras IMME Norte e IMME Norte - Ampliación

Zona	SCP (kg/m²)
Nivel 1	385
Nivel techo	35
Rampa	305
Descanso	105

Fuente: Elaboración propia

Se definió el mismo espectro de diseño y casos espectrales (S_x y S_y) usados anteriormente. Luego se indicó en el programa las 7 combinaciones de cargas explicadas en el punto 5.1.7 Combinaciones de carga. A la losa del nivel Techo se le asignó un diafragma rígido, mientras que a la losa del nivel 1 no se le asignó diafragma con el fin de que el programa lo considere como un diafragma flexible. Por último se realizó el análisis dinámico de la estructura.

Cabe destacar que fue necesario realizar un análisis adicional para revisar el diseño del acero de las vigas de concreto armado que soportan la grúa puente, solo considerando los casos de carga estáticos y simulando el peso propio de la grúa con una carga de 1700 kg, más su movimiento mediante una carga puntual móvil de 5000 kg que representa la capacidad de carga de la grúa.

5.3 RESULTADOS Y ANALISIS

Luego de realizar el análisis estructural de los 3 modelos de las edificaciones que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales se obtuvo la siguiente información:

5.3.1 Peso de la estructura

Con el fin de que el programa pueda estimar la masa de la edificación se le asignó diafragmas rígidos a las losas de cada estructura, sabiendo que, en varios casos no se puede considerar de esta forma debido a los nervios prefabricados o aberturas que superen el 20% del área de la planta. Por otra parte se definió la participación de

las masas, donde actúa el 100% del peso propio y de la sobrecarga permanente, el 50% de la carga variable y el 25% de la carga variable de techo. Los resultados de la masa y el peso de cada modelose muestraen la Tabla N°34.

Tabla N°34. Masa y peso de los niveles de las estructuras.

Modelo	Nivel	Masa (T*S²/m)	Peso (T)
IMME Sur	TT	15,7	153,8
	TO-PAT	33,5	328,2
	PT	26,8	263,3
	<i>Total</i>	76,0	745,2
Nave de Ensayos Especiales	Techo NEE	40,9	401,1
	Techo Oficinas	8,4	81,9
	<i>Total</i>	49,2	483,1
IMME Norte + Ampliación	TECHO	63,5	623,0
	1	96,7	948,4
	<i>Total</i>	160,2	1571,4

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Cortante basal

Según lo que establece la Norma COVENIN 1756-01 el valor de la fuerza cortante de piso máxima, también conocida como cortante basal dinámica (V_{0x} y V_{0y}), obtenida a partir de los casos de carga espectrales S_x y S_y , deben ser mayores al valor de la cortante basal estática (V_0) que se determina según el artículo 9.3.1 de dicha Norma. En el caso de que no se cumpla esta relación, se deben aplicar ciertos factores de corrección a los casos de carga espectrales antes mencionados. A partir del programa se obtiene los valores de cortante de piso por nivel de cada estructura y se seleccionan los valores de cortante máximo que se muestran en la Tabla N°35. En la Imagen N°67 se observa la representación gráfica de la fuerza cortante basal por nivel del tercer modelo.

Tabla N°35. Cortante de piso por nivel para las estructuras.

Modelo	Nivel	Caso Sísmico	Ubicación	VX (T)	VY (T)
IMME Sur	TT	SX	Superior	171,2	47,9
	TT	SX	Inferior	171,2	47,9
	TT	SY	Superior	45,2	104,8
	TT	SY	Inferior	45,2	104,8
	TO-PAT	SX	Superior	394,2	100,6
	TO-PAT	SX	Inferior	395,0	101,6
	TO-PAT	SY	Superior	101,6	203,4
	TO-PAT	SY	Inferior	101,8	204,3
	PT	SX	Superior	700,4	84,5
	PT	SX	Inferior	700,4	84,5
	PT	SY	Superior	53,6	485,0
	PT	SY	Inferior	53,4	485,0
	<i>Valores máximos de cortante</i>				700,4
Nave de Ensayos Especiales	Techo NEE	SX	Superior	508,5	7,4
	Techo NEE	SX	Inferior	508,4	7,4
	Techo NEE	SY	Superior	6,6	621,8
	Techo NEE	SY	Inferior	6,6	621,8
	Techo Oficinas	SX	Superior	802,7	9,9
	Techo Oficinas	SX	Inferior	802,7	9,9
	Techo Oficinas	SY	Superior	9,9	912,2
	Techo Oficinas	SY	Inferior	9,9	912,2
	<i>Valores máximos de cortante</i>				802,7
IMME Norte + Ampliación	TECHO	SX	Superior	758,2	7,7
	TECHO	SX	Inferior	758,2	7,7
	TECHO	SY	Superior	4,3	666,5
	TECHO	SY	Inferior	4,3	666,5
	1	SX	Superior	1216,1	12,0
	1	SX	Inferior	1219,6	11,9
	1	SY	Superior	11,7	1128,1
	1	SY	Inferior	11,9	1132,4
	<i>Valores máximos de corte</i>				1219,6

Fuente: Elaboración propia

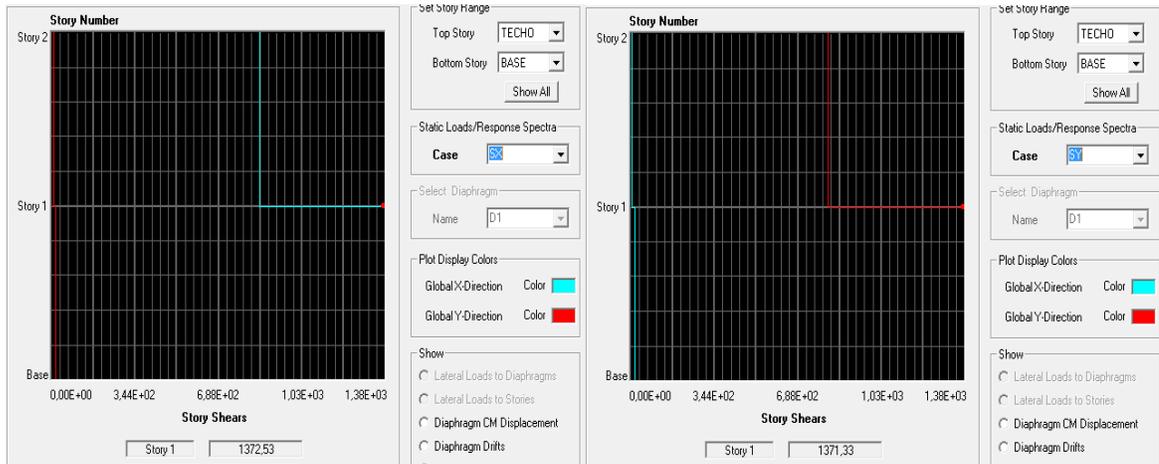


Imagen N°67. Representación gráfica de fuerza cortante basal para los casos Sx y Sy del modelo IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.

Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de los modelos se obtiene el valor de cortante basal estático (V_0), a partir del peso del edificio, el número de niveles, la altura del edificio, el coeficiente de aceleración horizontal y el factor de reducción de respuesta. El cortante basal estático debe ser comparado con su respectivo valor de cortante basal dinámica y si resulta mayor es necesario el cálculo de un factor de corrección, que no es más que el cociente entre la fuerza cortante basal estática entre la fuerza cortante basal dinámica. Posteriormente estos factores son utilizados para corregir los casos de carga espectrales con el fin de cumplir con lo especificado en la Norma. Los valores referentes a la corrección de la cortante basal para cada modelo se muestran en la Tabla N°36.

Tabla N°36. Corrección de la fuerza cortante basal para las estructuras.

Modelo	Fuerza cortante basal dinámica sin corregir (T)	Fuerza cortante basal estática (T)	Revisión	Factor de corrección	Fuerza cortante basal corregida (T)
IMME Sur	Vx	700,4	Cumple	-	
	Vy	485,0	No cumple	1,349691	654,6
Nave de Ensayos	Vx	802,7	Cumple	-	

Especiales	V _y	912,2	424,3	Cumple	-	
IMME Norte + Ampliación	V _x	1219,6	1380,3	No cumple	1,131725	1380,3
	V _y	1132,4	1380,3	No cumple	1,218935	1380,3

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Masa Participativa

La Norma COVENIN 1756-01 establece en su artículo 9.7.3.2, que al utilizar un método de análisis dinámico espacial con diafragma flexible se debe definir un número de modos de vibración, tal que la masa participativa acumulada en “X” y “Y” para ese número de modos exceda al menos el 90% de la masa total del edificio. En la Tabla N°37 se observa para cada estructura la cantidad de modos de vibración empleados, con su respectivo periodo y porcentaje de masa participativa. Entre la Imagen N° 68 y N°73 se observan representaciones gráficas de modos de vibración de los modelos realizados

Tabla N°37. Modos de vibración de las estructuras.

Modelo	Modo	Periodo (s)	Masa Participativa			
			X (%)	Y (%)	Sum X (%)	Sum Y (%)
IMME Sur	1	1,1867	0,7	36,0	0,7	36,0
	2	0,4358	51,5	4,4	52,2	40,4
	3	0,3885	7,0	12,2	59,2	52,6
	4	0,2985	0,0	8,1	59,3	60,7
	5	0,1797	2,4	1,1	61,6	61,8
	6	0,1718	1,6	1,9	63,2	63,7
	7	0,0670	0,0	0,3	63,2	64,0
	8	0,0613	0,0	0,0	63,2	64,0
	9	0,0518	0,4	0,0	63,7	64,0
	10	0,0475	0,1	0,0	63,8	64,0
	11	0,0468	0,3	0,0	64,1	64,1
	12	0,0383	0,0	0,0	64,1	64,1
	13	0,0382	0,0	1,1	64,2	65,2
	14	0,0380	0,0	0,0	64,2	65,2
	15	0,0379	0,0	0,0	64,2	65,2

	16	0,0346	0,1	0,7	64,3	65,9
	17	0,0326	0,1	0,5	64,3	66,4
	18	0,0284	0,0	0,0	64,3	66,5
	19	0,0266	0,1	0,9	64,4	67,4
	20	0,0263	0,1	31,4	64,6	98,8
	21	0,0250	0,0	0,2	64,6	99,0
	22	0,0230	0,0	0,0	64,6	99,0
	23	0,0215	0,6	0,1	65,2	99,1
	24	0,0211	0,0	0,0	65,3	99,1
	25	0,0208	0,0	0,0	65,3	99,1
	26	0,0206	0,0	0,0	65,3	99,1
	27	0,0203	0,0	0,0	65,3	99,1
	28	0,0203	1,6	0,0	66,9	99,1
	29	0,0196	0,0	0,0	66,9	99,1
	30	0,0195	17,3	0,1	84,2	99,2
	31	0,0193	0,0	0,0	84,2	99,2
	32	0,0193	0,0	0,0	84,2	99,2
	33	0,0187	9,3	0,3	93,5	99,5
Nave de Ensayos Especiales	1	1,3092	79,7	0,0	79,7	0,0
	2	1,0513	0,0	74,2	79,7	74,2
	3	0,8723	0,0	2,4	79,7	76,6
	4	0,6512	0,3	0,0	80,0	76,6
	5	0,4368	0,3	0,0	80,4	76,6
	6	0,3582	0,0	0,0	80,4	76,6
	7	0,3282	0,5	0,0	80,9	76,6
	8	0,2956	0,0	3,3	80,9	79,9
	9	0,2484	0,0	0,1	80,9	80,0
	10	0,2434	0,0	0,0	80,9	80,0
	11	0,2386	0,5	0,0	81,4	80,0
	12	0,2206	0,0	0,0	81,4	80,0
	13	0,2196	0,1	0,0	81,5	80,0
	14	0,2099	0,0	2,9	81,5	82,9
	15	0,1996	0,0	0,2	81,5	83,1
	16	0,1959	6,6	0,0	88,1	83,1
	17	0,1916	0,7	0,0	88,9	83,1
	18	0,1861	0,0	0,3	88,9	83,5

	19	0,1808	0,0	2,1	88,9	85,6
	20	0,1721	0,1	0,2	88,9	85,7
	21	0,1683	0,4	0,0	89,4	85,7
	22	0,1522	3,8	0,0	93,2	85,7
	23	0,1519	0,0	0,0	93,2	85,7
	24	0,1510	1,5	0,0	94,7	85,7
	25	0,1449	0,1	0,0	94,8	85,7
	26	0,1437	0,0	0,0	94,8	85,7
	27	0,1352	0,5	0,0	95,3	85,7
	28	0,1343	2,3	0,0	97,6	85,7
	29	0,1210	0,0	0,1	97,6	85,8
	30	0,1187	0,0	0,0	97,6	85,8
	31	0,1150	0,9	0,0	98,5	85,8
	32	0,1137	0,0	0,0	98,5	85,9
	33	0,1099	0,0	1,3	98,5	87,2
	34	0,1070	0,3	0,5	98,8	87,7
	35	0,1033	0,0	3,6	98,8	91,3
	36	0,0989	0,0	0,2	98,8	91,5
IMME Norte + Ampliación	1	0,570	81,16	0,00	81,16	0,00
	2	0,315	0,00	48,38	81,16	48,39
	3	0,291	0,02	37,38	81,18	85,76
	4	0,170	16,91	0,01	98,09	85,77
	5	0,137	1,52	0,02	99,60	85,80
	6	0,106	0,00	7,94	99,60	93,74

Fuente: Elaboración propia

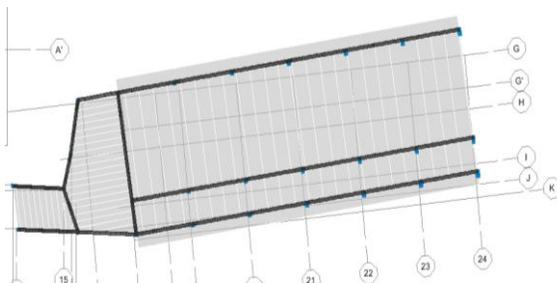


Imagen N°68. Representación gráfica del modo de vibración 1 en planta del modelo IMME Sur.

Fuente: Elaboración propia

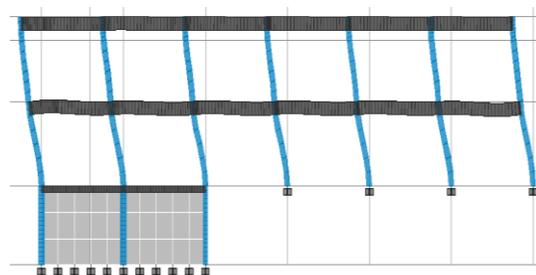


Imagen N°69. Representación gráfica del modo de vibración 2 en epótico H del modelo IMME Sur.

Fuente: Elaboración propia

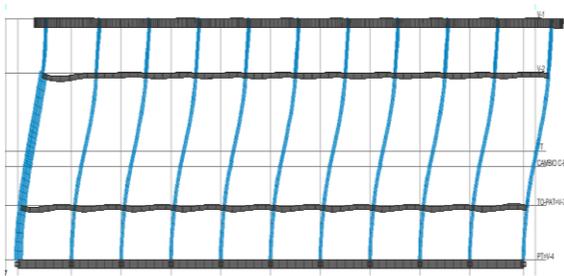


Imagen N°70. Representación gráfica del modo de vibración 1 en el pórtico A del modelo de la NEE.

Fuente: Elaboración propia

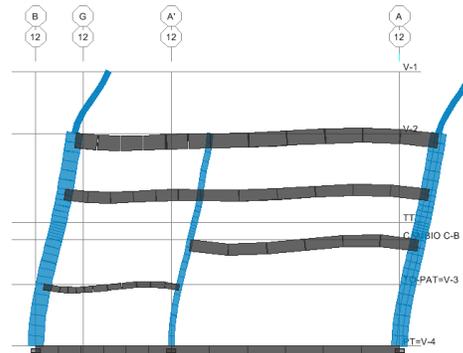


Imagen N°71. Representación gráfica del modo de vibración 2 en el pórtico 12 del modelo de la NEE.

Fuente: Elaboración propia

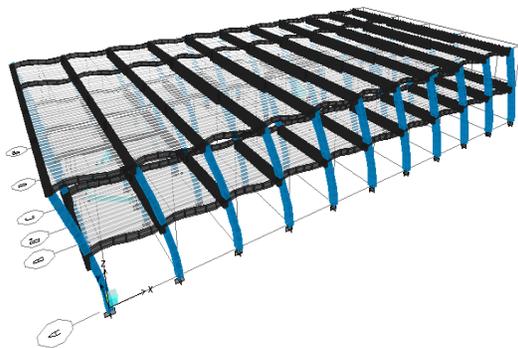


Imagen N°72. Representación gráfica del modo de vibración 1 en vista 3D del modelo IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.

Fuente: Elaboración propia

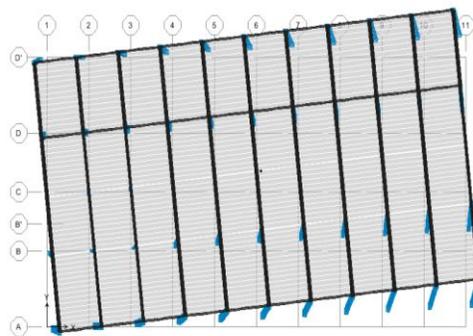


Imagen N°73. Representación gráfica del modo de vibración 2 en planta del modelo IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.

Fuente: Elaboración propia

Para los modelos de las estructuras IMME Sur y Nave de Ensayos Especiales, fue necesario hacer un análisis dinámico con 33 y 36 modos de vibración respectivamente, lo cual supera los 3 modos por diafragmas que se esperaban. Debido a la irregularidad de las estructuras, ya sea la presencia de losas formadas por elementos prefabricados simplemente apoyados que no generan rigidez, la presencia de vigas en una sola dirección en el IMME Sur o la gran altura libre de la Nave de

Ensayos Especiales, se requirió analizarlas con un número elevado de modos de vibración para poder superar el 90% de la masa participativa acumulada en las direcciones “X” y “Y”.

Por otra parte, en el modelo formado por las estructura IMME Norte e IMME Norte – Ampliación, a pesar de tener una notable abertura en la planta del nivel 1, se considera una estructura regular. Por lo que se superó el 90% de la masa participativa acumulada en las direcciones “X” y “Y” con los 6 primero modos de vibración.

Observando la tabla N°37, se observa que el primer modo de vibración de cada estructura, se considera como el modo de vibración fundamental de la misma; esto debido a que es el modo de vibración con el mayor periodo (T) asociado, además de ser el que afecta mayor porcentaje de masa participativa. Para el caso de las estructuras Nave de Ensayos Especiales e IMME Norte con su ampliación, el modo fundamental está asociado a los efectos trasnacionales en dirección “X”, esto causado por la orientación de las vigas en cada estructura tal como se observa en la Imagen N°70 y N°72. En el caso particular del IMME Sur, el modo fundamental de la estructura es un modo rotacional, lo cual indica que la estructura es bastante irregular. La representación de este modo de vibración se observa en la Imagen N°68.

5.3.4 Derivas

El programa de cálculo estructural arroja los valores de deriva elásticas (Δ_{ei}), en las tres direcciones espaciales, para cada uno de los nodos de la estructura. Con esta información se busca las derivas elásticas máximas en dirección “X” y “Y” de cada estructura y se muestran en la Tabla N°38. En la Imagen N°74 se observa la representación gráfica de las derivas de piso del modelo formado por el IMME Norte y su ampliación. Por otra parte, el capítulo 10 de la Norma COVENIN 1756-01 establece que la deriva inelástica (Δ_i) se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\Delta_i = 0,8 * R * \Delta_{ei}$$

Tabla N°38. Máximas derivas elásticas e inelásticas para las estructuras.

Estructura	Máxima deriva elástica		Máxima deriva inelástica	
	X	Y	X	Y
IMME Sur	0,0274	0,1019	0,0219	0,0815
Nave de Ensayos Especiales	0,0179	0,0342	0,0143	0,0274
IMME Norte	0,0176	0,0052	0,0141	0,0042
IMME Norte - Ampliación	0,0113	0,0062	0,0090	0,0050

Fuente: Elaboración propia

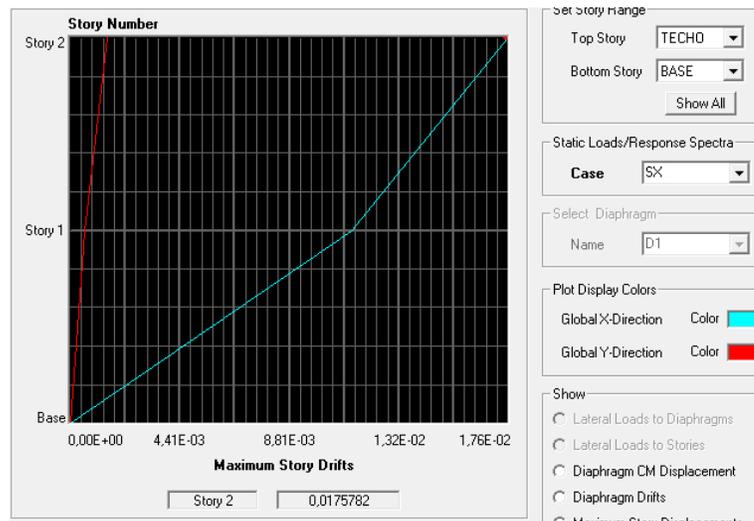


Imagen N°74. Representación gráfica de la máxima deriva inelástica producida por el caso Sx en el modelo de la estructura IMME Norte.

Fuente: Elaboración propia

En el artículo 10.2 se establece que para una edificación tipo A, susceptible a sufrir daños por deformación de la estructura, el valor máximo de deriva inelástica es 0,012. Para el caso del IMME Sur y de la Nave de Ensayos Especiales se observa que la máxima deriva inelástica en las direcciones “X” y “Y” superan los valores límite establecido por la Norma, debido a sus irregularidades. Por otra parte, el modelo del

IMME Norte en la dirección “Y” y su ampliación en ambas direcciones, el valor máximo de deriva inelástica no supera el valor máximo establecido por la Norma.

5.3.5 Factor de demanda-capacidad en columna

Al definir la sección transversal de las columnas que conforman cada estructura se colocaron las dimensiones y barras de acero que indican los planos originales, con el fin de que el programa verifique si están aptas para resistir las solicitaciones a la que estarán sometidas. El factor de demanda-capacidad (F_{DC}) representa el cociente de las solicitaciones que cargan la columna entre su capacidad de resistencia.

Debido a que el sismo es una carga accidental poco probable, se incluye el cálculo de un factor demanda-capacidad estático (F_{DC}^*) que solo toma en cuenta las solicitaciones generadas por las combinaciones de carga que no incluyen los casos espectrales. Los factores antes mencionados se muestran para cada estructura en la Tabla N°39, N°40, N°41 y N°42.

Tabla N°39. Factores de demanda-capacidad para las columnas de la estructura IMME Sur.

Columna	Tipo	As (cm ²)	FDC	FDC*
<i>Nivel Planta talleres</i>				
D-13	1	5,07	0,52	0,14
E-15	2	9,9	2,41	0,45
F'-14	1	5,07	0,98	0,03
G-17	2	9,9	1,06	0,03
G-18	4	17,1	0,29	0,1
G-18'	6	5,07	0,10	0,1
G-19	4	17,1	0,21	0,14
G-20	2	9,9	0,51	0,16
G'-18	6	5,07	0,35	0,32
G'-18'	6	5,07	0,26	0,25
H-16	1	5,07	0,62	0,09
I-18	5	40,54	0,4	0,2
I-19	5	40,54	0,22	0,2

I-20	2	9,9	0,26	0,1
K-18	3	11,4	1,04	0,1
K-19	3	11,4	0,29	0,11
K-20	2	9,9	0,77	0,12
<i>Techo Oficinas - Planta alta talleres</i>				
B-12	1	5,07	9,8	0,35
C-11	1	5,07	4,5	0,2
D-13	1	5,07	9,73	1,43
E-15	1	5,07	8,11	0,42
F'-14	1	5,07	7,64	0,46
G-17	2	9,9	6,39	0,17
G-18	2	9,9	11,65	0,94
G-19	2	9,9	10,82	0,41
G-20	2	9,9	11,41	0,4
G-21	2	9,9	13,32	0,4
G-22	2	9,9	15,73	0,39
G-23	2	9,9	18,44	0,41
G-24	2	9,9	21,5	0,35
H-16	1	5,07	9,55	0,28
I-18	2	9,9	13,95	0,78
I-19	2	9,9	8,89	0,51
I-20	2	9,9	10,04	0,5
I-21	2	9,9	12,68	0,49
I-22	2	9,9	15,25	0,49
I-23	2	9,9	18,15	0,53
I-24	1	5,07	24,99	0,39
J-16'	1	5,07	8,18	0,42
K-18	2	9,9	13,06	0,29
K-19	2	9,9	8,65	0,2
K-20	2	9,9	9,16	0,22
K-21	2	9,9	11,8	0,2
K-22	2	9,9	14,27	0,2
K-23	2	9,9	17,06	0,22
K-24	2	9,9	20,34	0,16
<i>Nivel Techo talleres</i>				
D-13	1	5,07	3,25	0,22
E-15	1	5,07	9,45	0,12
F'-14	1	5,07	5,23	0,23

G-17	2	9,9	7,56	0,23
G-18	2	9,9	11,58	1,08
G-19	2	9,9	10,68	0,14
G-20	2	9,9	10,32	0,11
G-21	2	9,9	10,65	0,13
G-22	2	9,9	10,87	0,17
G-23	2	9,9	11,47	0,25
G-24	2	9,9	9,12	0,55
H-16	1	5,07	11,49	0,21
I-18	1	5,07	20,79	0,99
I-19	1	5,07	5,7	0,2
I-20	1	5,07	5,5	0,17
I-21	1	5,07	5,58	0,19
I-22	1	5,07	5,69	0,18
I-23	1	5,07	6,2	0,21
I-24	1	5,07	12,5	0,75
J-16'	1	5,07	10,68	0,6
K-18	2	9,9	12,31	0,21
K-19	2	9,9	8,61	0,06
K-20	2	9,9	8,65	0,08
K-21	2	9,9	8,72	0,11
K-22	2	9,9	8,46	0,12
K-23	2	9,9	8,71	0,16
K-24	2	9,9	6,8	0,25

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N°39 se observa que 80,8% de las columnas del IMME Sur tienen un factor de demanda-capacidad (F_{DC}) mayor a 1, lo que implica que estas columnas no están en capacidad de resistir las solicitaciones generadas por el sismo de diseño según las combinaciones de cargas que establece la Norma COVENIN 1756-01. Por otra parte, bajo combinaciones de cargas estáticas el 97,3% de las columnas tienen un factor demanda-capacidad estático (F_{DC}^*) menor a 1.

Según la Norma Fondonorma 1753-06 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”, en su artículo 10.4.3 el área de acero mínima que debe tener una columna o cualquier miembro comprimido es del 1% de la sección transversal.

Conociendo esto, en las tablas anteriores se observa el área de acero presente en cada una de las columnas y el área de acero mínima relacionada a la cuantía mínima (ρ_{min}). El porcentaje de columnas que cumplen con la cuantía mínima se observa en el Gráfico N°7.

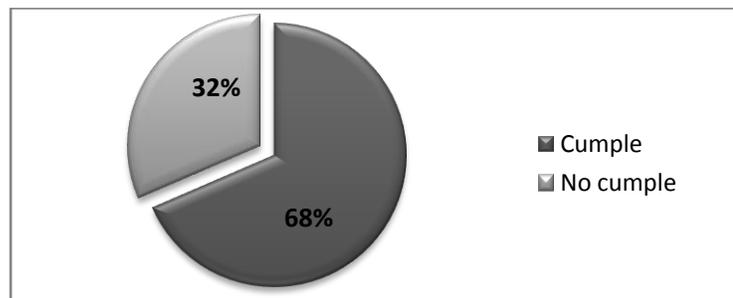


Gráfico N°7. Columnas que cumplen con ρ_{min} en la estructura IMME Sur.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°40. Factores de demanda-capacidad para las columnas de la estructura Nave de Ensayos Especiales

Columna	Tipo	As (cm ²)	As _{min} (cm ²)	FDC	FDC*
A - 0	7 - a	20,27	9	10,6	4,61
	7 - b	25,97	24	2,46	0,15
	7 - c	46,24	24	5,41	0,12
A - 1	7 - a	20,27	9	5,12	3,11
	7 - b	25,97	24	4,05	0,25
	7 - c	46,24	24	2,23	0,37
A - 2	7 - a	20,27	9	3,94	2,73
	7 - b	25,97	24	4,07	0,25
	7 - c	46,24	24	2,54	0,48
A - 3	7 - a	20,27	9	3,9	2,82
	7 - b	25,97	24	4,08	0,25
	7 - c	46,24	24	2,58	0,53

A - 4	7 - a	20,27	9	4,04	2,95
	7 - b	25,97	24	4,03	0,3
	7 - c	46,24	24	2,52	0,54
A - 5	7 - a	20,27	9	4,06	3
	7 - b	25,97	24	4,55	0,31
	7 - c	46,24	24	2,42	0,53
A - 6	7 - a	20,27	9	3,96	2,94
	7 - b	25,97	24	4,89	0,33
	7 - c	46,24	24	2,34	0,53
A - 7	7 - a	20,27	9	3,77	2,78
	7 - b	25,97	24	4,25	0,34
	7 - c	46,24	24	2,25	0,51
A - 8	7 - a	20,27	9	3,55	2,58
	7 - b	25,97	24	4,89	0,29
	7 - c	46,24	24	2,25	0,46
A - 9	7 - a	20,27	9	3,54	2,44
	7 - b	25,97	24	4,38	0,25
	7 - c	46,24	24	2,19	0,34
A - 12	10 - a	20,27	9	O/S	O/S
	10 - b	46,24	39	4,39	0,28
	10 - c	76,64	39	3,2	0,11
A'-12	8	41,8	24	3,13	0,4
Aa - 0	9	9,9	8	O/S	0,95
Ab - 0	9	9,9	8	O/S	0,92
Ac - 0	9	9,9	8	O/S	0,96
B-5	7 - c	46,24	24	2,5	0,69
B-6	7 - c	46,24	24	2,2	0,55
B-7	7 - c	46,24	24	2,14	0,46
B-8	7 - c	46,24	24	2,02	0,41
B-9	7 - c	46,24	24	1,82	0,34
B-12	7 - c	46,24	24	3,11	0,25
C-11	1	5,07	6,25	4,66	0,27
F-5	2	9,9	7,5	4,9	0,31
F-6	2	9,9	7,5	5,02	0,36

F-7	2	9,9	7,5	5,02	0,31
F-8	2	9,9	7,5	4,45	0,27
F-9	2	9,9	7,5	4,43	0,29
F-10	2	9,9	7,5	4,11	0,24

Fuente: Elaboración propia

Se observa que no hay columnas con factor demanda-capacidad menor a 1, por lo que se puede decir que no estas columnas no son capaces de resistir las solicitaciones generadas por el sismo de diseño. En cuanto al factor de demanda capacidad estático, solo el 53,4% de las columnas se encuentran por debajo de 1, debido a la existencia de muchas columnas de sección transversal pequeña como 7-a y 10-a, tal como se muestra en la Imagen N°8 y N°11. Por otra parte, se observa que 98% de las columnas tienen un área de acero original mayor al área de acero asociada a la cuantía mínima.

Tabla N°41. Factores de demanda-capacidad para las columnas de la estructura IMME Norte.

Columna	Tipo	As (cm ²)	As min (cm ²)	F _{DC}	F _{DC} *
<i>Nivel 1</i>					
A-1	11	28,5	28	7,82	0,159
A-2	12	38,8	28	6,12	0,269
A-3				6,11	0,277
A-4				6,19	0,351
A-5				6,19	0,365
A-6				6,19	0,375
A-7				6,22	0,38
A-8				6,25	0,414
A-9				6,3	0,443
A-10				6,37	0,429
A-11	11	28,5	28	8,07	0,244
B-1	18	7,62	18	18,13	0,166
B-2				21,79	0,291
B-3				21,36	0,286

B-4				4,4	0,361
B-5				4,4	0,356
B-6	23	40,56	20	4,38	0,353
B-7				4,39	0,352
B-8				4,41	0,378
B-9				4,45	0,408
B-10	24	65,36	20	3,18	0,354
B-11	17	11,88	20	13,38	0,17
B'-1	22	5,08	4,6	9,65	1,229
C-1	18	7,62	18	21,14	0,265
C-2				21,76	0,286
C-3				19,61	0,19
D-1	11	28,5	28	8,65	0,093
D-2				8,53	0,191
D-3				8,63	0,151
D-4	20	70,98	28	3,68	0,156
D-5				3,72	0,142
D-6				3,72	0,131
D-7				3,83	0,146
D-8				4,07	0,147
D-9	3,73	0,164			
D-10	21	81,7	28	3,26	0,165
D-11	12	38,8	28	6,17	0,121
<i>Nivel Techo</i>					
A-1	11	28,5	28	3,85	0,246
A-2	12	38,8	28	4,16	0,344
A-3				4,02	0,343
A-4				3,94	0,329
A-5				3,87	0,317
A-6				3,82	0,311
A-7				3,83	0,312
A-8				3,87	0,353
A-9				3,91	0,405
A-10				4	0,432
A-11				11	28,5
B-1	13	7,62	16	12,58	0,084
B-2	14	7,62	7,07	6,5	0,218
B-3				4,46	0,221

B-4				4,12	0,259
B-5				3,96	0,262
B-6	15	22,8	20	3,94	0,268
B-7				4	0,278
B-8				4,16	0,276
B-9				4,6,	0,282
B-10				16	30,8
B-11	17	11,88	20	13,9	0,618
C-1	18	7,62	13,5	13,43	0,067
C-2	19	7,62	13,5	12,45	0,155
C-3				11,35	0,147
D-1	11	28,5	28	3,8	0,057
D-2				4,25	0,095
D-3				5,64	0,066
D-4	20	70,98	28	1,56	0,276
D-5				1,57	0,265
D-6				1,59	0,254
D-7				1,64	0,244
D-8				1,87	0,253
D-9				1,54	0,256
D-10	21	81,7	28	1,31	0,243
D-11	12	38,8	28	2,09	0,221

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°42. Factores de demanda-capacidad para las columnas de la estructura IMME Norte – Ampliación.

Columna	Tipo	As (cm ²)	As min (cm ²)	F _{DC}	F _{DC} *
<i>Nivel I</i>					
D'-1	25	56,4	24	3,54	0,196
D'-2	26	66,54	24	3,17	0,343
D'-3				3,2	0,352
D'-4				3,17	0,361
D'-5				3,17	0,372
D'-6				3,16	0,388
D'-7				3,09	0,344
D'-8				3,2	0,363
D'-9				3,22	0,492

D'-10				3,23	0,48
D'-11	25	56,4	24	3,66	0,272
Nivel Techo					
D'-1	27	56,4	24	1,42	0,295
D'-2				1,85	0,272
D'-3				1,74	0,265
D'-4				1,72	0,24
D'-5				1,71	0,211
D'-6	28	66,54	24	1,69	0,185
D'-7				1,71	0,147
D'-8				1,68	0,199
D'-9				1,72	0,266
D'-10				1,8	0,282
D'-11	27	56,4	24	1,68	0,165

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N°41 y N° 42 se observa que las solicitaciones generadas por el sismo de diseño según las combinaciones antes mencionadas, ninguna de las columnas esta en condición de resistir las cargas aplicadas, ya que sus factores de demanda-capacidad (F_{DC}) son mayores a 1. Por otra parte, bajo combinaciones de cargas estáticas, todas las columnas que conforman los pórticos principales de las estructuras son capaces de soportar las cargas a las que están sometidas, a excepción una columna que solo sirve de apoyo a una escalera. El Gráfico N°8 muestra el porcentaje de columnas que cumplen con la cuantía mínima de 1% del área de la sección transversal que exige la Norma Fondonorma 1753-06.

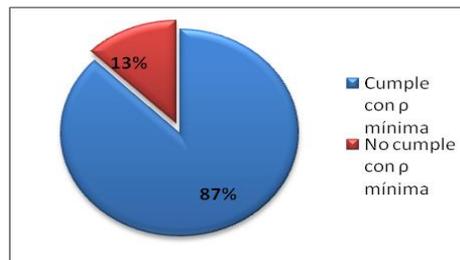


Gráfico N°8. Columnas que cumplen con ρ_{\min} en las estructuras IMME Norte e IMME Norte – Ampliación.

Fuente: Elaboración propia

Una vez estudiados los factores demanda-capacidad de las columnas de las 4 estructuras, se observan que los valores máximos son: 24,99 en la columna I-24 del nivel Techo oficinas- Planta alta talleres del IMME Sur, 10,6 en la sección inferior de la columna A-0 de la Nave de Ensayos especiales, 21 79 en la columna B-2 del nivel 1 del IMME Norte y finalmente 3,66 de la columna D'-11 del nivel 1 del IMME Norte – Ampliación. Se observa que las columnas con un factor demanda-capacidad más desfavorable son las que se encuentran en las esquinas o fachadas de las estructuras. En el caso particular de las columnas B-2 y C-2 del IMME Norte son las únicas a las que le llegan 2 vigas en ambas direcciones, por lo que a diferencia de las otras, están sometidas a la acción simultaneas de las 2 fuerzas sísmicas horizontales; es por ello que sus factores son los mas altos en este edificio.

5.3.6 Diseño y comparación de acero de refuerzo en vigas

Mediante el programa se obtuvo el área de acero de refuerzo longitudinal requerido por las vigas, considerando los casos de carga mencionados en el punto 5.1.7. Es importante destacar que para varias vigas el programa no pudo obtener un resultado para el acero de refuerzo, ya que la sección presenta dimensiones insuficientes (O/S). Los valores de área de acero longitudinal original y requerido para las fibras superiores e inferiores de las secciones de cada una de las vigas de las estructuras, se observaran en la Tabla N°43, N°44, N°45 y N°46, para mejor entendimiento, se sombrearon las celdas que contienen los valores de área de acero requerido que superen el área de acero original o que no pudieron ser calculados por el programa.

Tabla N°43. Área de acero original y requerido para las vigas de la estructura IMME Sur.

Viga	Tramo	Sección	Área de acero longitudinal superior (cm ²)		Área de acero longitudinal inferior (cm ²)	
			Original	Requerido	Original	Requerido
Nivel Planta talleres						
IS-OV-1 (25x50) (60 E-10)	13-15	i	8,24	3,73	5,7	2,64
		m	2,54	4,04	11,4	4,04
		j	8,24	5,97	5,7	6,13
IS-OV-2 (25x50) (60 E-10)	H-E	i	10,3	4,04	5,7	3,11
		m	2,54	2,48	13,46	2,2
		j	13,46	3,63	5,7	4,04
	E-J	i	13,46	4,04	3,81	4,67
		m	5,7	16,03	3,81	18,48
		j	5,7	6,77	3,81	5,95
IS-OV-3 (35x90) (60 E-10)	K-I	i	30,42	8,11	7,92	6,69
		m	30,42	5,17	7,92	4,53
		j	60,84	2,39	7,92	2,88
	I-G	i	60,84	5,75	25,35	4,55
		m	3,96	2,26	55,77	3,78
		j	30,42	8,87	25,35	6,66
IS-OV-4 (25x50) (60 E-10)	G-G'	i	2,54	1,07	3,96	0,54
		m	2,54	0,7	3,96	0,4
		j	2,54	0,77	3,96	0,25
IS-OV-5 (25x50) (60 E-10)	18-19	i	10,3	2,73	10,14	1,87
		m	2,54	1,92	17,9	2,98
		j	10,3	0,21	10,14	4,04
Techo oficinas - Planta alta talleres						
IS-TV-7 (25x50) (60 E-7)	12-16	i	13,78	11,77	5,7	10,83
		m	6,49	6,62	14,25	8,4
		j	11,09	15,54	5,7	14,65
IS-TV-9 (25x40) (60 E-12)	13-15	i	5,07	27,33	2,53	23,89
		m	5,07	14,77	3,8	13,68
		j	3,8	19,83	2,53	19,08
IS-V-1 (25x50) (60 E-)	18-19	i	15,84	38,23	10,14	34,79
		m	13,46	10,8	20,28	17,28
		j	28,67	32,84	10,14	24,39

12)	19-20	i	28,67	26,82	5,7	18,16
		m	13,46	9,25	11,4	11,1
		j	17,1	27,41	5,7	20,58
	20-21	i	17,1	28,86	5,7	21,56
		m	11,4	7,74	11,4	10,57
		j	17,1	28,36	5,7	21,41
	21-22	i	17,1	28,56	5,7	21,29
		m	11,4	8,86	11,4	11,12
		j	17,1	28,6	5,7	21,72
	22-23	i	17,1	28,07	5,7	20,81
		m	13,46	10,32	11,4	12,16
		j	28,67	27,52	5,7	18,67
23-24	i	28,67	33,54	10,14	23,64	
	m	13,46	18,11	20,28	22,9	
	j	15,84	37,49	10,14	34,38	
IS-V-2 (25x60) (60 E-12)	18-19	i	15,84	23,3	7,76	20,18
		m	11,4	5,09	17,9	11,91
		j	26,61	20,66	7,76	10,13
	19-20	i	26,61	15,55	5,7	5,91
		m	11,4	4,92	11,4	5,89
		j	17,1	15,91	5,7	7,75
	20-21	i	17,1	17,03	5,7	8,44
		m	11,4	4,53	11,4	6,04
		j	17,1	16,64	5,7	8,37
	21-22	i	17,1	16,78	5,7	8,27
		m	11,4	4,92	11,4	6,1
		j	17,1	16,56	5,7	8,56
	22-23	i	17,1	16,59	5,7	8,31
		m	11,4	4,92	11,4	6,39
		j	26,61	17,61	5,7	7,05
23-24	i	26,61	19,79	7,76	7,37	
	m	11,4	5,07	17,9	11,44	
	j	15,84	15,74	7,76	14,32	
IS-V-3 (25x50) (60 E-12)	18-19	i	8,55	27,11	5,7	25,67
		m	13,46	12,98	8,55	14,63
		j	12,59	22,3	5,7	19,15
	19-20	i	12,59	19,57	3,96	15,24
		m	13,46	7,08	5,94	7,87
		j	9,66	19,7	3,96	16,63

	20-21	i	9,66	20,61	3,96	17,06
		m	11,4	6,09	5,94	7,06
		j	9,66	20,24	3,96	17,08
	21-22	i	9,66	20,6	3,96	16,95
		m	11,4	6,97	5,94	7,69
		j	9,66	20,39	3,96	17,5
	22-23	i	9,66	20,14	3,96	16,53
		m	13,46	7,98	5,94	8,5
		j	12,59	18,74	3,96	15,3
	23-24	i	12,59	23,42	5,7	19,82
		m	13,46	13,76	8,55	16,06
		j	8,55	27,85	5,7	27,09
IS-V-4 (25x60) (60 E-12)	K-I	i	15,21	37,78	3,96	37,04
		m	15,21	22,69	3,96	20,31
		j	30,42	28,44	3,96	18,57
	I-G	i	30,42	28,77	10,14	15,22
		m	19,17	13,29	25,35	22,09
		j	19,17	31,13	10,14	29,4
IS-V-5 (25x40) (60 E-12)	J-E	i	8,24	27,46	5,7	25
		m	8,24	32,32	11,4	O/S
		j	11,4	7,78	5,7	9,2
	E-H	i	11,4	34,56	3,8	33,1
		m	13,46	19,06	3,8	18,87
		j	10,61	22,29	3,8	19,18
	H-G	i	10,61	16,14	5,7	11,4
		m	10,3	9,95	8,55	12,84
		j	5,39	22,94	5,7	21,63
IS-VE-1 (25x40) (60 E-12)	D-F	i	8,24	19,22	5,7	19,35
		m	2,53	6,25	11,4	7,08
		j	8,24	18,31	5,7	17,54
IS-VE-2 (25x40) (60 E-12)	14-16	i	4,51	16,63	3,96	16,17
		m	2,53	8,25	5,94	7,57
		j	4,51	5,16	3,96	4,83
<i>Nivel Techo talleres</i>						
IS-TV-1 (25x50) (60 E-13)	17-18	i	2,53	21,68	2,53	21,34
		m	2,53	7,9	2,53	7,94
		j	7,05	17,06	2,53	16,15
	18-19	i	4,51	11,39	3,96	9,67

		m	6,49	6,58	5,94	7,04
		j	7,92	16,83	3,96	12,341
	19-20	i	7,92	19,16	3,96	14,67
		m	7,92	5,76	5,94	6,49
	20-21	j	7,92	17,82	3,96	14
		i	7,92	17,24	3,96	13,44
		m	7,92	4,92	5,94	5,95
	21-22	j	7,92	17,51	3,96	13,53
		i	7,92	17,86	3,96	13,88
		m	7,92	5,6	5,94	6,55
	22-23	j	7,92	17,24	3,96	13,57
		i	7,92	17,56	3,96	13,86
		m	9,66	6,57	5,94	7,29
	23-24	j	10,53	16,69	3,96	11,93
		i	10,53	20,39	5,7	14,89
m		8,24	9,57	8,55	13,45	
IS-TV-2 (25x50) (60 E-14)	18-19	j	5,39	20,69	5,7	21,71
		i	5,39	7,88	5,7	6,5
		m	8,24	2,25	8,55	4,57
	19-20	j	10,53	8,13	5,7	4,04
		i	10,53	6,33	3,96	2,71
		m	9,66	1,99	5,94	2,98
	20-21	j	7,92	6,41	3,96	3,35
		i	7,92	6,46	3,96	3,45
		m	7,92	1,43	5,94	3,18
	21-22	j	7,92	6,42	3,96	3,26
		i	7,92	6,42	3,96	3,36
		m	7,92	1,64	5,94	3,16
	22-23	j	7,92	6,47	3,96	3,4
		i	7,92	6,16	3,96	3,2
		m	9,66	2,14	5,94	3,27
23-24	j	10,53	6,36	3,96	2,98	
	i	10,53	7,79	3,96	3,6	
	m	8,24	3,68	5,94	5,6	
IS-TV-3 (25x50) (60 E-14)	14-16	j	5,39	7,67	3,96	6,56
		i	4,51	8,08	3,96	7,73
		m	2,53	4,04	5,94	5,2
	16-18	j	4,51	5,04	3,96	4,04
		i	7,05	6,21	2,53	4,31

		m	2,53	3,61	2,53	3,76	
		j	6,34	7,84	2,53	6,93	
	18-19	i	3,8	11,37	3,96	10,3	
		m	5,07	5,18	5,23	5,73	
	19-20	j	5,07	12,11	3,96	10,21	
		i	5,07	13,34	2,53	11,43	
		m	5,07	4,58	3,8	4,95	
	20-21	j	5,07	12,74	2,53	11,03	
		i	5,07	12,52	2,53	10,82	
		m	5,07	4,04	3,8	4,46	
	21-22	j	5,07	12,51	2,53	10,76	
		i	5,07	12,83	2,53	11,03	
		m	5,07	4,62	3,8	5,02	
	22-23	j	5,07	12,5	2,53	10,87	
		i	5,07	12,65	2,53	10,92	
		m	5,07	5,21	3,8	5,51	
	23-24	j	5,78	11,56	2,53	9,74	
		i	5,78	14,42	3,96	12,21	
		m	5,07	8,38	5,94	9,46	
	IS-TV-4 (25x50) (60 E-14)	K-I	j	4,51	17,01	3,96	16,5
			i	9,03	43,36	2,53	41,03
m			7,76	27,82	3,8	25,89	
I-G		j	16,79	17,6	2,53	13,68	
		i	16,79	20,89	7,76	14,71	
		m	2,53	16,28	15,52	19,44	
IS-TV-5 (25x50) (60 E-14)	J-E	j	10,3	33,55	7,76	28,24	
		i	3,8	17,63	3,8	16,18	
		m	3,8	6,19	3,8	7,34	
	E-H	j	3,8	8,51	3,8	8,56	
		i	3,8	9,33	3,8	9,73	
		m	7,6	5,02	3,8	5,41	
	H-G	j	3,8	7,76	3,8	5,8	
		i	3,8	10,4	3,8	8,12	
		m	3,8	8,5	3,8	9,62	
IS-TV-6 (25x50) (60 E-14)	13-15	j	3,8	18,49	3,8	18,22	
		i	4,51	4,67	3,96	4,33	
		m	2,53	3,24	5,94	4,04	
		j	4,51	5,64	3,96	5,54	
		m	5,07	1,53	3,8	3,16	

		j	5,07	6,92	2,53	6,09
--	--	---	------	------	------	------

Fuente: Elaboración propia

Para las vigas de la estructura IMME Sur, se observa que para la fibra superior el 42,6% de las secciones transversales cumplen, mientras que el 57,4% poseen áreas de acero originales menores a las requeridas debido a las solicitaciones generadas por las combinaciones de carga que establece la Norma COVENIN 1756-01. Los resultados en la fibra inferior son muy similares, ya que solo 26,8% de las secciones poseen áreas de acero mayores a las requeridas y el 73,2% restante no cumplen. Los resultados se muestran en los Gráficos N°9.

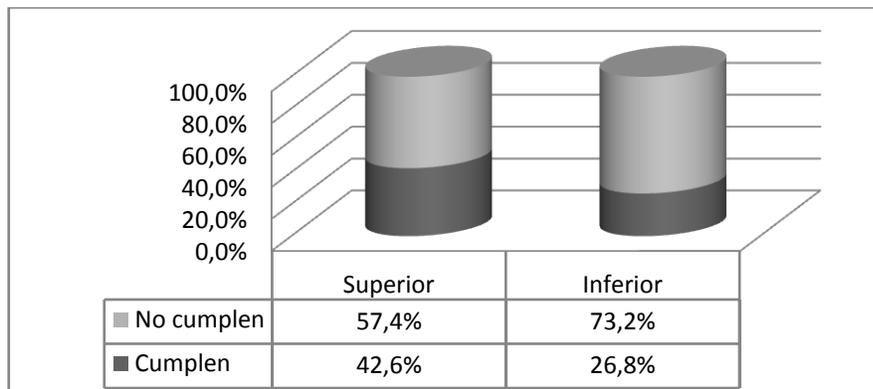


Gráfico N°9. Resultados de la comparación de las áreas de acero original y requerido, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Sur.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la cantidad de acero mínimo de refuerzo longitudinal que deben tener vigas de concreto armado, la sección 18.3.3 de la Norma Fondonorma 1753-06 especifica que para concreto cuya resistencia a la compresión simple sea menor que 315 kg/cm^2 se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} * b * d$$

Siendo f_y el esfuerzo cedente de las barras de acero de refuerzo, b el ancho de la sección y d la altura útil. Realizando la comparación entre el área de acero mínima y

el área de acero original de las secciones de las vigas de la estructura IMME Sur se obtiene el Gráfico N°10, donde se observa que la mayor parte de las secciones de las vigas cumplen con el área de acero mínima tanto en la fibra superior e inferior.

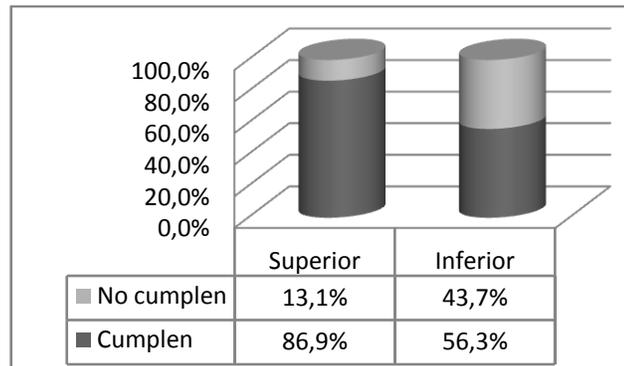


Gráfico N°10. Resultados de la comparación de las áreas de acero mínima y original, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Sur.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°44. Área de acero original y requerido para las vigas de la estructura Nave de Ensayos Especiales.

Nave de Ensayos Especiales						
Viga	Tramo	Sección	Área de acero longitudinal superior (cm ²)		Área de acero longitudinal inferior (cm ²)	
			Original	Requerido	Original	Requerido
NE-V-1 (Ver Imagen N°28) (60 E-7)	Volado-0	i	8,24	0	3,96	0
		m	8,24	2,01	3,96	0
		j	8,24	4,02	3,96	0
	0-1	i	8,24	12,98	3,96	10
		m	8,24	2,8	9,66	10,76
		j	13,38	12,46	3,96	6,54
	1-2	i	13,38	12,33	3,96	5,96
		m	11,4	1,56	5,94	4,93
		j	9,66	11,47	3,96	6,31
	2-3	i	9,66	11,46	3,96	6,31
		m	11,4	1,26	5,94	5,17
		j	9,66	11,47	3,96	6,4

	3-4	i	9,66	11,66	3,96	6,33
		m	11,4	1,22	5,94	5,07
		j	9,66	11,44	3,96	6,34
	4-5	i	9,66	11,74	3,96	6,37
		m	11,4	1,29	5,94	5,11
		j	9,66	11,57	3,96	6,44
	5-6	i	9,66	11,35	3,96	6,11
		m	11,4	1,14	5,94	5,03
		j	9,66	11,19	3,96	6,23
	6-7	i	9,66	11,63	3,96	6,3
		m	11,4	1,26	5,94	5,11
		j	9,66	11,49	3,96	6,38
	7-8	i	9,66	11,52	3,96	6,27
		m	11,4	1,17	5,94	5,1
		j	9,66	11,03	3,96	5,25
	8-9	i	9,66	11,68	3,96	5,15
		m	11,4	2,01	5,94	4,91
		j	13,38	13,1	3,96	6,31
	9-12	i	13,38	12,78	3,96	6,39
		m	8,24	1,72	9,66	9,84
		j	8,24	11,42	3,96	8,56
	12-Volado	i	8,24	5,28	3,96	0
		m	8,24	2,6	3,96	0
		j	8,24	0	3,96	0
NE-V-2 (80x30) (60 E-7)	0-1	i	3,8	57,32	9,9	53,06
		m	7,6	18,4	9,9	22,04
		j	12,36	48,91	9,9	42,33
	1-2	i	12,36	43,61	6,34	37,93
		m	7,6	18,98	6,34	19,84
		j	9,51	44,39	6,34	39,23
	2-3	i	9,51	45,35	6,34	40,12
		m	7,6	19,18	6,34	20,09
		j	9,51	45,34	6,34	40,07
	3-4	i	9,51	45,24	6,34	39,99
		m	7,6	19,14	6,34	20,02
		j	9,51	45,23	6,34	39,93

	4-5	i	9,51	45,22	6,34	40,92	
		m	7,6	20,33	6,34	21,29	
		j	9,51	47,12	6,34	41,69	
	5-6	i	9,51	48,38	6,34	43,01	
		m	7,6	21,02	6,34	21,93	
		j	9,51	48,72	6,34	43,49	
	6-7	i	9,51	49,07	6,34	43,85	
		m	7,6	21,15	6,34	22,08	
		j	9,51	48,95	6,34	43,66	
	7-8	i	9,51	49,09	6,34	43,82	
		m	7,6	21,41	6,34	22,32	
		j	9,51	49,5	6,34	44,24	
	8-9	i	9,51	47,81	6,34	42,74	
		m	7,6	19,02	6,34	19,5	
		j	12,36	46,13	6,34	40,29	
	9-12	i	12,36	57,55	9,9	50,7	
		m	7,6	26,36	9,9	30,53	
		j	3,8	72,68	9,9	68,78	
	NE-V-3* (25x30) (60 E-7)	0-1	i	3,96	O/S	3,96	O/S
			m	3,96	9,27	3,96	11,24
			j	3,96	O/S	3,96	25,84
		1-2	i	3,96	O/S	3,96	O/S
			m	3,96	13,91	3,96	14,45
			j	3,96	O/S	3,96	O/S
		2-3	i	3,96	O/S	3,96	O/S
			m	3,96	13,79	3,96	14,35
			j	3,96	O/S	3,96	O/S
3-4		i	3,96	O/S	3,96	O/S	
		m	3,96	13,77	3,96	14,33	
		j	3,96	O/S	3,96	O/S	
4-5		i	3,96	O/S	3,96	O/S	
		m	3,96	13,77	3,96	14,31	
		j	3,96	O/S	3,96	O/S	
5-6		i	3,96	O/S	3,96	O/S	
		m	3,96	13,71	3,96	14,28	
		j	3,96	O/S	3,96	O/S	

	6-7	i	3,96	O/S	3,96	O/S
		m	3,96	13,7	3,96	14,25
		j	3,96	O/S	3,96	O/S
	7-8	i	3,96	O/S	3,96	O/S
		m	3,96	13,64	3,96	14,22
		j	3,96	O/S	3,96	O/S
	8-9	i	3,96	O/S	3,96	O/S
		m	3,96	13,85	3,96	14,32
		j	3,96	O/S	3,96	O/S
	9-12	i	3,96	O/S	3,96	O/S
		m	3,96	14,22	3,96	14,96
		j	3,96	O/S	3,96	O/S
NE-V-4* (30x50) (60 E-7)	0-1	i	5,94	2,47	5,94	0,09
		m	5,94	0	5,94	1,18
		j	5,94	2,47	5,94	0,09
	1-2	i	5,94	2,11	5,94	0,08
		m	5,94	0	5,94	1,01
		j	5,94	2,11	5,94	0,08
	2-3	i	5,94	2,11	5,94	0,08
		m	5,94	0	5,94	1,01
		j	5,94	2,11	5,94	0,08
	3-4	i	5,94	2,11	5,94	0,08
		m	5,94	0	5,94	1,01
		j	5,94	2,11	5,94	0,08
	4-5	i	5,94	2,11	5,94	0,08
		m	5,94	0	5,94	1,01
		j	5,94	2,11	5,94	0,08
	5-6	i	5,94	2,11	5,94	0,08
		m	5,94	0	5,94	1,01
		j	5,94	2,11	5,94	0,08
	6-7	i	5,94	2,11	5,94	0,08
		m	5,94	0	5,94	1,01
		j	5,94	2,11	5,94	0,08
	7-8	i	5,94	2,11	5,94	0,08
		m	5,94	0	5,94	1,01
		j	5,94	2,11	5,94	0,08

	8-9	i	5,94	2,11	5,94	0,08
		m	5,94	0	5,94	1,01
		j	5,94	2,11	5,94	0,08
	9-12	i	5,94	2,47	5,94	0,09
		m	5,94	0	5,94	1,18
		j	5,94	2,47	5,94	0,09
NE-V-5* (20x50) (60 E-7)	A-B	i	3,96	O/S	3,96	O/S
		m	3,96	O/S	3,96	O/S
		j	3,96	O/S	3,96	O/S
NE-V-4 (30x50) (60 E-8)	A-B	i	5,94	1,86	5,94	0
		m	5,94	1,86	5,94	0,93
		j	5,94	1,86	5,94	0
NE-V-4 (30x50) (60 E-8)	A-B	i	5,94	10,38	5,94	5,36
		m	5,94	9,32	5,94	4,85
		j	5,94	9,32	5,94	0
NE-V-6 (25x30) (60 E-8)	A'-B	i	3,96	24,04	3,96	18,71
		m	3,96	9,87	3,96	11,71
		j	3,96	23,48	3,96	16,78
NE-V-7 (30x60) (60 E-8)	A-A'	i	20,28	55,59	10,14	44,96
		m	2,54	22,59	20,28	26,43
		j	12,68	53,56	10,14	44,23
NE-V-8 (Ver Imagen N°29) (60 E-8)	A-A'	i	20,28	64,2	10,14	47,22
		m	3,96	27,89	20,28	31,81
		j	20,28	49,96	10,14	28,2
	A'-B	i	20,28	63,68	5,94	55,11
		m	3,96	48,1	5,94	49,76
		j	3,96	64,66	5,94	79,76
NE-V-9 (Ver Imagen N°30)(60 E- 8)	A-A'	i	17,9	50,1	7,76	38,54
		m	20,28	23,91	15,52	25,3
		j	17,9	27,48	7,76	18,43
	A'-B	i	17,9	35,73	5,94	30,41
		m	5,94	38,19	5,94	35,83
		j	5,94	64,45	5,94	57,81
NE-V-10 (Ver Imagen N°31)	9-12	i	Acero de refuerzo distribuido de forma irregular, Ver Imagen N°31.			
		m				
		j				

(60 E-7)						
IS-TV-7 (25x50) (60 E-7)	5-6	i	5,94	36,32	3,96	33,19
		m	7,92	11,93	5,94	13,92
		j	7,21	32,86	3,96	29,08
	6-9	i	7,21	29,8	2,53	25,88
		m	6,49	9,77	3,8	11,16
		j	5,07	30	2,53	26,51
	9-12	i	5,07	30,6	2,53	26,75
		m	6,49	11,61	3,8	12,59
		j	13,78	30,34	2,53	26,87
IS-TV-8 (25x50) (60 E-12)	5-6	i	5,94	6,81	3,96	6,62
		m	7,92	3,08	5,94	4,19
		j	7,21	7,7	3,96	6,48
	6-7	i	7,21	5,56	2,53	4,04
		m	7,92	2,1	3,8	2,9
		j	6,49	6,21	2,53	4,04
	7-8	i	6,49	6,16	2,53	4,24
		m	7,92	2,4	3,8	3,42
		j	6,49	6,66	2,53	4,04
	8-9	i	6,49	6,1	2,53	4,04
		m	7,92	2,742	3,8	3,56
		j	5,23	4,87	2,53	3,79
	9-10	i	5,23	6,16	2,53	5,01
		m	5,23	1,03	2,53	0,4
		j	3,96	8,14	2,53	7,51
IS-TV-9 (25x40) (60 E-12)	11-13	i	3,8	6,42	2,53	6,43
		m	5,07	1,53	3,8	3,16
		j	5,07	6,92	2,53	6,09

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico N°11 se observa que tanto para la fibra superior como inferior de las vigas de la Nave de Ensayo Especiales entre el 60% y el 70% requieren de áreas de acero mayores a las que indican los planos estructurales suministrados por COPRED. Por otra parte, el Gráfico N°12 muestra que en el 81,7% de las fibras superiores de las vigas, el armado original supera el área de acero mínima que exige la

Norma 1753-06, en cuanto a las fibras inferiores, solo el 47,8% cumple con el área de acero mínimo.

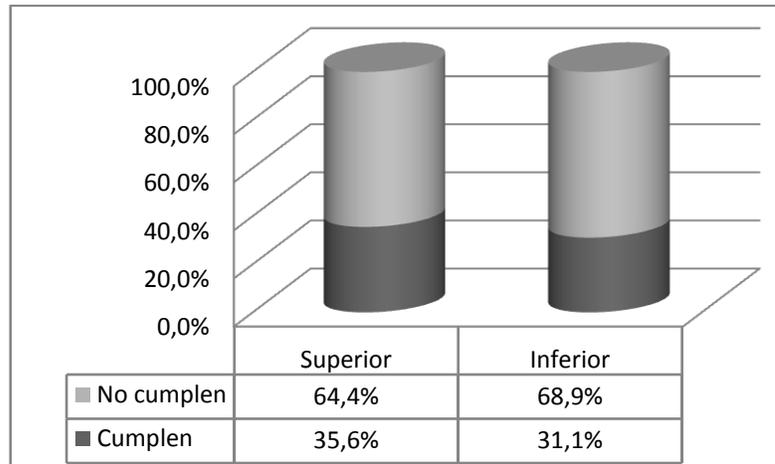


Gráfico N°11. Resultados de la comparación de las áreas de acero original y requerido, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura Nave de Ensayos Especiales.

Fuente: Elaboración propia.

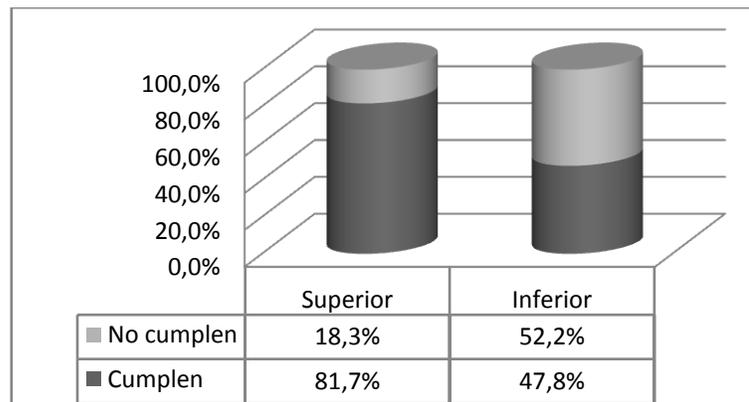


Gráfico N°12. Resultados de la comparación de las áreas de acero mínima y original, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura Nave de Ensayos Especiales.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°45. Área de acero original y requerido para las vigas de la estructura IMME Norte.

IMME Norte						
Viga	Tramo	Sección	Área de acero longitudinal superior (cm ²)		Área de acero longitudinal inferior (cm ²)	
			Original	Requerido	Original	Requerido
Nivel Techo						
IN-VT-1 (40x40) (24 E-66)	A-B	i	29,15	37,34	11,64	22,17
		m	2,53	12,17	23,04	14,32
		j	32,32	29,28	11,64	17,99
	B-C	i	32,32	26,69	14,17	15,98
		m	2,53	9,51	8,24	10,92
		j	21,55	25,44	2,53	17,83
	C-D	i	21,55	37,5	8,55	27,76
		m	2,53	12,54	14,25	15,47
		j	18,38	44,91	8,55	35,76
IN-VT-2 (30x70) (24 E-66)	A-B	i	29,31	40,07	15,21	25,28
		m	3,96	18,05	25,35	19,72
		j	38,34	15,2	15,21	9,47
	B-C	i	38,34	8,46	5,70	1,76
		m	3,96	6,65	10,77	8,58
		j	25,82	10,73	5,70	7,46
	C-D	i	25,82	35,6	10,14	27,06
		m	3,96	18,55	15,21	21,8
		j	19,17	51,24	10,14	45,77
IN-VT-3 (30x70) (24 E-66)	A-B	i	24,24	34,82	15,21	20,66
		m	3,96	15,2	25,35	16,92
		j	34,77	13,58	15,21	7,51
	B-C	i	34,77	8,19	3,96	1,24
		m	3,96	5,78	9,03	7,47
		j	23,13	10,06	3,96	6,2
	C-D	i	23,13	32,41	10,14	23,48
		m	3,96	16,61	15,21	20,45
		j	16,79	45,25	10,14	41,43
IN-VT-4	A-B	i	24,24	35,86	7,76	27,58

(VAR) (24 E-66)		m	3,96	13,97	17,9	16,45
		j	67,06	27,84	24,1	14,89
	B-D	i	67,06	34,89	40,85	14,6
		m	3,96	10,55	61,13	21,87
		j	34,38	35,63	50,99	22,22
IN-VT-5 (VAR) (24 E-66)	A-B	i	29,31	52,27	10,14	41,06
		m	3,96	20,96	20,28	22,61
		j	72,13	35,01	26,48	19,16
	B-D	i	72,13	42,72	49,02	17,28
		m	3,96	17,28	69,3	26,31
		j	39,45	48,12	49,02	30,13
IN-VT-6 (VAR) (24 E-66)	A-B	i	16,79	52,79	3,96	42,62
		m	3,96	20,41	9,03	20,65
		j	37,07	32,97	20,3	25,79
	B-D	i	37,07	42,51	24,51	24,04
		m	3,96	16,28	34,65	23,34
		j	24,24	47,72	24,51	35,43
IN-TV-7 (VAR) (24 E-63)	El programa muestra: Error O/S. Sección transversal insuficiente					
<i>Nivel 1</i>						
IN-V-4 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	43,68	60,87	21,41	36,68
		m	3,96	22,63	36,62	27,93
		j	52,71	35,79	21,41	18,22
	B-C	i	52,71	24,88	7,76	13,11
		m	3,96	12,99	12,83	13,36
		j	47,64	17,18	7,76	15,78
	C-D	i	47,64	50,78	7,76	37,47
		m	3,96	27,53	17,9	32,88
		j	24,24	70,4	7,76	58,97
IN-V-5 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	38,61	59,55	24,51	34,81
		m	3,96	21,6	34,65	26,7
		j	50,49	35,15	24,51	18,74
	B-C	i	50,49	22,26	5,70	11,16
		m	3,96	7,98	8,55	10,75
		j	15,60	20,56	5,70	15,53

	C-D	i	15,60	37,19	10,14	28,58
		m	3,96	19,9	12,99	23,08
		j	11,88	48,02	10,14	42,63
IN-V-6 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	35,88	76,71	32,68	46,37
		m	3,96	23,77	44,32	29,92
		j	25,74	57,51	32,68	48,78
IN-V-7 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	39,45	88,45	32,68	59,48
		m	3,96	29,14	47,89	35,59
		j	29,31	71,3	32,68	61,2
IN-V-8 (35x80) (24 E-64)	A-B	i	43,68	94,52	34,65	67,61
		m	3,96	32,24	49,86	38,63
		j	30,81	77,23	34,65	68,72
IN-V-10 (20x40) (24 E-65)	El programa muestra: Error O/S. Sección transversal insuficiente					
IN-V-11 (20x40) (24 E-65)						
IN-V-12 (20x40) (24 E-65)						
IN-V-13 (20x40) (24 E-65)						
IN-V-14 (20x40) (24 E-65)						
IN-VB-1 (20x40) (24 E-63)						
IN-V-1 (20x120) (24 E-64)	A-B	i	15,6	61,67	10,14	50,71
		m	3,96	27,5	17,9	29,26
		j	26,93	35,11	10,14	29,93
	B-B'	i	26,93	16,73	2,53	12,84
		m	19,17	9,32	6,414	7,28
		j	19,17	13	11,09	12,86
IN-V-2	B'-C	i	8,55	9,54	5,70	9,54

(20x99) (24 E-64)		m	5,70	22,46	8,55	24,55
		j	8,55	36,76	5,70	38,47
IN-V-3 (20x120) (24 E-64)	C-D	i	11,72	57,1	18,69	49,76
		m	3,96	30,97	17,9	34
		j	11,72	70,94	10,14	69,7
IN-V-9 (40x80) (24 E-64)	A-B	i	19,17	95,04	5,70	79,01
		m	3,96	39,39	10,77	41,68
		j	45,67	69,21	5,70	58,88
	B-D	i	45,67	49,57	16,34	33,93
		m	3,96	24,16	24,51	28,19
		j	36,37	60,77	16,34	52,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°46. Área de acero original y requerido para las vigas de la estructura IMME Norte – Ampliación.

Viga	Tramo	Sección	Área de acero longitudinal superior (cm ²)		Área de acero longitudinal inferior (cm ²)	
			Original	Requerido	Original	Requerido
Nivel Techo						
IN-VT-8 (40x40) (24a E-5)	D-D'	i	40,85	0,00	57,19	7,73
		m	24,51	8,16	40,85	12,85
		j	40,85	22,17	24,51	11,53
IN-VT-9 (40x70) (24a E-5)	D-D'	i	32,68	0,00	32,68	12,21
		m	16,34	8,76	40,85	16,58
		j	32,68	17,74	24,51	16,08
IN-VT-10 (40x70) (24a E-5)	D-D'	i	20,28	2,88	20,28	11,83
		m	10,14	13,75	25,35	20,16
		j	20,28	25,68	15,21	21,39
IN-VT-12 (20x40) (24a E-4)	El programa muestra: Error O/S. Sección transversal insuficiente					

<i>Nivel 1</i>						
IN-V-18 (45x20) (24a E-4)	El programa muestra: Error O/S. Sección transversal insuficiente					
IN-V-19 (38x20) (24a E-3)						
IN-V-15 (20x80) (24a E-5)	D-D'	i	33,52	2,00	20,28	9,07
		m	10,14	13,60	30,42	17,20
		j	20,28	29,23	20,28	16,93
IN-V-16 (35x80) (24a E-5)	D-D'	i	57,19	13,36	32,68	31,73
		m	24,51	23,02	57,19	28,79
		j	40,85	51,72	40,85	29,50
IN-V-17 (35x80) (24a E-5)	D-D'	i	32,68	8,09	24,51	16,14
		m	24,51	31,02	32,68	37,79
		j	32,68	56,32	24,51	42,38

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N°45 y N°46 se destaca que tanto para el IMME Norte como para su ampliación, las vigas que presentan el Error “O/S” son aquellas vigas de sección transversal insuficiente para el área de acero que requieren, estas son paralelas a los nervios, por lo que no cumplen la función de distribuir cargas a las columnas, sino que sirven para darle rigidez a los pórticos.

Para las vigas de la estructura IMME Norte, se observa que para la fibra superior el 23,3% de las secciones transversales cumplen, mientras que el 76,7% no cumple. Los resultados en la fibra inferior son muy similares, ya que solo 30% de las secciones poseen áreas de acero mayores a las requeridas y el 70% restante requieren mayor área de acero que la original. No obstante, los resultados en el IMME Norte – Ampliación son más favorables, debido a que en la fibra superior e inferior, el 61,1% y el 83,3% cumplen, mientras que el 38,9% y el 16,7% no cumplen, respectivamente. Los resultados se muestran en los Gráficos N°13 y N°14.

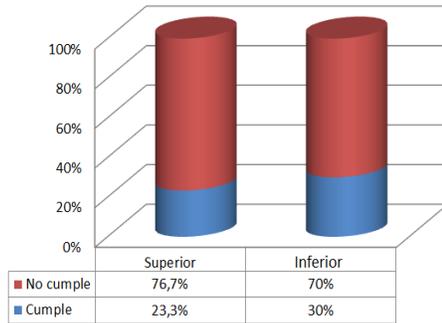


Gráfico N°13. Resultados de la comparación de las áreas de acero original y requerido, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Norte.

Fuente: Elaboración propia

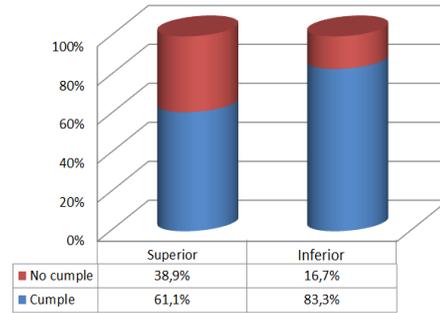


Gráfico N°14. Resultados de la comparación de las áreas de acero original y requerido, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Norte - Ampliación.

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el Gráfico N°15 y N°16 que muestran la comparación entre el área de acero mínima y el área de acero original de las secciones de las vigas de las estructuras analizadas en esta sección.

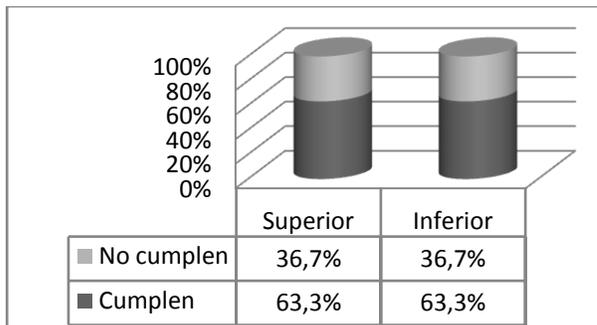


Gráfico N°15. Resultados de la comparación de las áreas de acero mínima y original, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Norte.

Fuente: Elaboración propia

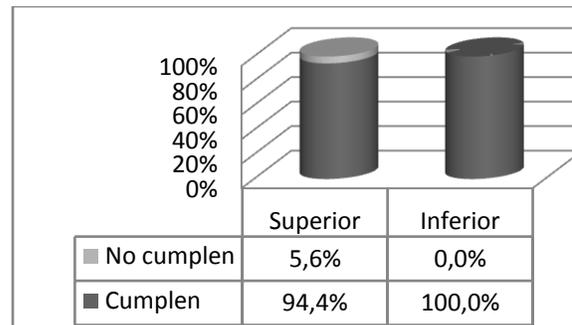


Gráfico N°16. Resultados de la comparación de las áreas de acero mínima y original, en las fibras superior e inferior de las vigas de la estructura IMME Norte - Ampliación.

Fuente: Elaboración propia

5.3.7 Diseño de vigas de soporte de grúa puente.

Las vigas IN-VT-4, IN-VT-5, IN-VT-6 son las que se encargan de soportar el peso de la grúa puente más la carga que esta levanta. Al realizarse el análisis estático, se simuló la ubicación de la carga móvil de la grúa en 5 posiciones, representadas por el 10%, 25%, 50%, 75% y 90% de la longitud de la misma. En la Tabla N°47 se presentan los resultados de áreas de acero requeridas.

Tabla N°47. Diseño estático del área de acero para las vigas que soportan la grúa puente del IMME Norte.

Tramo	Sección	Área de acero superior (cm ²)					Área de acero inferior (cm ²)					Áreas de acero requeridas por grúa puente (cm ²)		Áreas de acero requeridas por sismo (cm ²)	
		10%	25%	50%	75%	90%	10%	25%	50%	75%	90%	Superior	Inferior	Superior	Inferior
A-B	i	6,67	6,73	6,83	6,93	6,99	1,56	1,56	1,74	1,74	1,74	6,99	1,74	52,27	41,06
	m	3,83	3,68	3,44	3,21	3,07	3,05	3,05	3,35	3,35	3,35	3,83	3,35	20,96	22,61
	j	16,85	16,72	16,52	16,32	16,2	0	0	0	0	0	16,85	0	35,01	19,16
B-D	i	20,99	20,77	20,41	20,05	19,84	10,66	10,1	9,17	8,24	8,13	20,99	10,66	42,72	17,28
	m	0	0	0	0	0	17,28	17,28	17,28	17,28	17,28	0	17,28	17,28	26,31
	j	16,91	17,12	17,28	17,28	17,28	11,53	11,67	11,91	12,34	13,95	17,28	13,95	48,12	30,13

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los valores de área de acero requeridos para las vigas que soportan la grúa puente cuando esta está cargada, no superan al área de acero que requieren estas vigas bajo condiciones sísmicas. Por otra parte sería muy conservador suponer que la grúa puente esté cargada con su máxima capacidad al ocurrir el evento sísmico, ya que este es poco probable. Debido a estos resultados se obviará el diseño estático de las 2 grúas puentes que se encuentran en la Nave de Ensayos Especiales.

5.3.8 Factor demanda-capacidad de muros

Debido a que existen 2 tipos de muro en el sótano del IMME Sur, los cuales se encuentran distribuidos de manera irregular en la planta del nivel Planta talleres, tal como se observa en la Imagen N°16, es necesario hacer varias revisiones en diferentes ubicaciones, con el fin de registrar los factores demanda – capacidad de ambos tipos de muro. Los valores presentes en la Tabla N°48 se obtuvieron asignándole la cantidad de acero de refuerzo longitudinal vertical que indican los planos originales asumiendo 3 cm de recubrimiento y posteriormente el programa realiza el chequeo de la sección.

Tabla N°48. Factor demanda-capacidad de muros de la estructura IMME Sur.

Muro	Ubicación		Armado	FDC	
				Superior	Inferior
IS-MS1	1	K19	Ø1/2" c/0,25	0,491	0,538
	2	G18		0,240	0,300
	3	J16'		0,967	0,995
IS-MS2	1	I20	Ø1/2" c/0,25	0,232	0,201
	2	D13		0,387	0,749
	3	H16		0,221	0,531

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°48 se observa que para todas las ubicaciones de muros estudiadas existen factores menores a la unidad, eso quiere decir que los muros están en capacidad de resistir las solicitaciones que generan las combinaciones de carga estudiadas. Cabe destacar que a diferencia de las columnas, todos los muros de la estructura poseen factores demanda-capacidad adecuados, esto debido principalmente a que los muros se encuentran confinados en la masa de suelo, por lo que no están sometidos a la totalidad de las cargas sísmicas.

5.4 VARIACIÓN DEL SISMO DE DISEÑO

Una vez realizados los análisis de resultados de los 3 modelos en estudio, se observa que para condiciones de carga sin la intervención de fuerzas sísmicas, los factores demanda-capacidad (FDC*) de las mayoría de las columnas resultan menores que 1, es decir, las columnas están sometidas a sollicitaciones menores que las que son capaces de resistir. Por otra parte, al realizar los análisis de los modelos con el sismo de diseño se observa que los factores demanda-capacidad son mayores que 1 en casi todos los casos. Es por esto que se estudió la variación del promedio de los factores demanda-capacidad de las columnas del modelo formado por el IMME Norte y su ampliación, alterando las condiciones sísmicas para saber a partir de que coeficiente de aceleración horizontal el factor demanda-capacidad de las columnas sobrepasan el valor límite establecido por la norma.

Para este estudio se seleccionó el modelo formado por las estructuras IMME Norte e IMME Norte-Ampliación por ser el más regular de los 3 modelos estudiados. Para este modelado se tomaron en cuenta las mismas consideraciones geométricas, materiales, dimensiones de elementos estructurales, casos de carga y combinaciones de diseño, donde la única modificación es el espectro de diseño para simular un sismo de menor magnitud. Se elaboraron 5 espectros de diseño adicionales al descrito en el punto 5.1.6, donde se conservaron los siguientes parámetros: forma espectral, factor de corrección, factor de importancia y factor de reducción de respuesta. En la Tabla N° 49 se muestra la variación del coeficiente de aceleración horizontal con el que se forma cada uno de los espectros de diseño y su efecto sobre los factores demanda-capacidad de las columnas.

Tabla N°49. Variación de factor demanda-capacidad de las columnas del IMME Norte en función de la aceleración horizontal (A_o).

A_o	A_o^*	FDC _{promedio}	Desviación
0	0	0,280	0,092
0,05	0,07	0,821	0,404
0,1	0,14	1,751	0,988
0,15	0,21	2,708	1,570
0,2	0,28	3,665	2,160
0,25	0,35	5,272	3,104
0,3	0,42	9,53	9,51

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°49 se observan los valores de A_o^* que fueron utilizados para la elaboración de los espectros de diseño; estos valores se obtienen de aumentar en 40% el valor del coeficiente de aceleración horizontal A_o , tal como se explicó en el punto 5.1.6.3. Se observa que hasta para un espectro de diseño elaborado a partir de un coeficiente de aceleración horizontal de 0,05 el promedio del factor demanda-capacidad de las columnas se encuentra por debajo de 1, sin embargo, debido a una desviación estándar de 0,404 algunas de las columnas tienen factores demanda-capacidad mayores a 1.

Para espectros de diseño generados con valores de A_o entre 0,1 y 0,3, siendo este último el correspondiente a una zona sísmica 5, utilizado en el sismo de diseño de la investigación, los valores promedio de los factores demanda-capacidad son mayores a 1, por lo que las columnas de las estructuras en estudio no son capaces de soportar las solicitaciones generadas por los sismos correspondientes a estos valores de A_o .

CONCLUSIONES

Actualmente el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales está formado por 2 edificaciones conocidas como IMME Norte e IMME Sur con su Nave de Ensayos Especiales. El edificio IMME Norte se conforma por una estructura principal y una ampliación, las cuales en sus inicios se denominaron Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Escuela de Ingeniería y Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Escuela de Ingeniería – Ampliación, respectivamente. Por otra parte, el actualmente conocido como IMME Sur, se denominaba Edificio del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Mientras que la Nave de Ensayos Especiales era conocida como Ampliación Sur del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales.

Se llevó a cabo satisfactoriamente la inspección visual de las 4 estructuras que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales en donde se determinó para cada una de ellas los materiales de construcción, el tipo de sistema estructural, número de niveles, presencia de discontinuidades, usos y algunas características resaltantes. Durante esta inspección se realizó un registro fotográfico de los daños presentes y la información se clasificó por estructura.

Se levantó un total de 126 daños, de los cuales el 35% pertenecen a la estructura IMME Sur, las estructuras IMME Norte e IMME Norte – Ampliación con 25% cada una y el 15% restante corresponde a la Nave de Ensayos Especiales. La mayor parte de los daños registrados fueron en mampostería, el resto ubicados en elementos estructurales, ya sean vigas, columnas, losas y muros. Por otra parte, el principal tipo de daño observado fue agrietamiento, seguido por humedad, mientras que caída de recubrimiento, desprendimiento de mosaicos, vegetación, aberturas y corrosión de perfiles de acero, fueron observados con menos frecuencia.

Según la escala de daños establecida, se aprecia que la mayor parte de los daños son de niveles bajos, es decir, no representan una amenaza y solo se observa un 6% de los daños en el nivel máximo establecido. Por lo anterior se puede considerar que

los daños presentes no comprometen la estabilidad de la estructura y son generalmente causados por falta de mantenimiento. Gracias a la colaboración del personal del IMME se tuvo acceso a más del 90% de los espacios de las edificaciones, sin embargo no se puede asegurar que se hayan registrado la totalidad de los daños ya que algunos daños son difíciles de apreciar. A pesar de esto se considera que la información recabada es representativa.

Utilizando los planos suministrados por COPRED se pudo describir de manera satisfactoria las características de los elementos estructurales (columnas, vigas, losas y muros) concebidas en el proyecto original para cada una de las estructuras, representadas en este Trabajo Especial de Grado por medio de textos, tablas e imágenes. Por otra parte, se pudieron realizar ensayos no destructivos a una cantidad representativa de elementos estructurales con colaboración del personal técnico del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales.

Comparando el diseño original de los elementos estructurales con los resultados obtenidos de los ensayos no destructivos, se observa que en cuanto al acero de refuerzo longitudinal, la mayor parte de los ensayos coinciden con lo expresado en los planos. Sin embargo, parte de los escaneos reflejan exceso de armado longitudinal que puede ser mal interpretado por el equipo debido a solapes o tuberías de servicio. Mientras que otros escaneos presentan déficit en el acero de refuerzo longitudinal que puede ser generado por exceso de corrosión o recubrimientos mayores a los que el equipo puede detectar. De manera similar, la mayor parte de los ensayos cumplen en cuanto al acero de refuerzo transversal y solo un 14% de los mismos presentan separaciones mayores a las expresadas en los planos.

Las consideraciones necesarias para realizar el modelado de las estructuras se obtuvieron a partir de los planos originales de las estructuras en estudio, suministrados por COPRED y de las siguientes Normas: Fondonorma 1753-06 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”, COVENIN-MINDUR 2002-88 “Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones” y

COVENIN 1756-01 “Edificaciones Sismorresistentes” y su comentario; de esta manera cumplir el tercer objetivo del presente Trabajo Especial de Grado. El análisis estructural de los edificios Norte y Sur del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, se ejecutó mediante 3 modelos realizados en el programa de cálculo estructural ETABS, uno por edificación.

Luego de realizar el análisis de las estructuras que conforman el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, en primer lugar se obtiene la masa y peso por nivel, con el fin de conocer la masa total de cada edificación. Este valor junto a otros relacionados a las características de la estructura, resultan necesarios para el cálculo de la cortante basal estática.

Los valores de cortante basal dinámica máximos por estructura, se obtienen del programa, los cuales deben ser menores al valor de cortante basal estática correspondiente, tal como lo indica la Norma COVENIN 1756-01 en su artículo 9.3.1. Para el modelo del IMME Norte con su ampliación, la fuerza cortante basal estática resultó mayor a la dinámica en ambas direcciones, por lo que fue necesario el cálculo de un factor de corrección que se aplicó a cada caso de carga espectral; de la misma manera que ocurrió en el modelo del IMME Sur en la dirección “Y”. Sin embargo en este modelo, la cortante basal dinámica en dirección “X” resultó mayor a la cortante basal estática, por lo que no fue necesario aplicar corrección al caso espectral “Sx”. En cuanto al modelo de la Nave de Ensayos Especiales tampoco fue necesario el cálculo de dicho factor de corrección.

Debido a que a cada modelo se le aplicó el método de análisis dinámico especial con diafragma flexible, fue necesario establecerles un número de modos de vibración que garantice que la suma de las masas participativas de los modos exceda el 90% de la masa total del edificio, tal como lo indica el artículo 9.7.3.2 de la Norma 1756-01. Con el fin de cumplir lo anterior, se realizó el análisis con 33 modos de vibración para el IMME Sur, 36 para la Nave de Ensayos Especiales y 6 para el IMME Norte con su ampliación.

En cuanto a la máxima deriva inelásticas, la Norma 1756-01 en su artículo 10.2 establece que para las estructuras en estudio, pertenecientes al grupo A y susceptibles a sufrir daños por deformación de la estructura, tienen un valor límite de 0,012. Del programa se obtienen los valores de deriva elástica máxima en las direcciones “X” y “Y” con los que calcula la respectiva deriva máxima inelásticas. Se aprecia que solo para la estructura IMME Norte en dirección “Y” y para ambas direcciones de la estructura IMME Norte – Ampliación, los valores se ajustan a lo establecido anteriormente.

El área de acero mínima de una columna con nivel de diseño ND1 está asociada a la cuantía mínima de $\rho=1\%$ tal como lo establece la Norma 1753-06 en el artículo 10.4.3. Para las estructuras estudiadas, el 83,5% de todas las columnas tienen cuantía de acero mayor al 1%, mientras que el 16,5% de estas no alcanzan el valor mínimo. En la misma Norma, en el artículo 18.3.3 se establece la cantidad de acero mínima de refuerzo longitudinal que deben tener secciones de viga de concreto armado. Para las vigas de las 4 estructuras en estudio, en cuanto a la fibra superior se observa que el 80,7% de las secciones tienen área de acero de refuerzo mayor a la mínima. Por otra parte, solo el 56,1% del acero de la fibra inferior supera el área de acero mínima.

Para el diseño de columnas de concreto armado de estructuras que estarán sometidas a cargas permanentes, variables y fuerzas sísmicas, la Norma 1753-06 en el artículo H-9.4 establece que se deben aplicar ciertas combinaciones de carga. Se estudia un factor demanda-capacidad que no es más que el cociente de las solicitaciones que cargan la columna, calculadas por el programa a partir de las combinaciones de carga anteriormente nombradas, entre la capacidad de la columna en función de las dimensiones de su sección transversal y el área de acero que posee obtenidas a partir de los planos estructurales originales. Se aprecia que el 93,6% de las columnas de los modelos de las edificaciones del IMME, tienen un factor demanda-capacidad mayor a 1, es decir que no son capaces de resistir las solicitaciones generadas por las combinaciones que toman en cuenta el sismo de

diseño. Debido a lo anterior, resultó necesario calcular un factor demanda-capacidad estático, que solo considera las combinaciones de carga estática, en donde casi la totalidad de las columnas tienen asociado un factor demanda-capacidad menor a 1.

Las solicitaciones de momento flector máximas, obtenidas de las combinaciones de carga nombradas anteriormente, son usadas por el programa para calcular el área de acero requerida por las vigas en los tramos y apoyos de las fibras superiores e inferiores. El área de acero requerida se compara en cada sección con el área de acero original, establecida en los planos estructurales suministrados por COPRED. Los resultados para las 4 estructuras analizadas, son que las secciones con área de acero originales mayores a las requeridas son solo de 36,9% y 31,2% para las fibras superiores e inferiores respectivamente.

En cuanto al estudio adicional de la variación de los factores demanda-capacidad del modelo IMME Norte y su ampliación en función del coeficiente de aceleración horizontal A_0 , se observa que las columnas son capaces de resistir las solicitaciones generadas por un sismo cuyo A_0 sea igual a 0,05. Para el resto de los valores de A_0 estudiados, las columnas presentan factores demanda-capacidad promedio mayores a 1.

Una vez analizados ciertos parámetros obtenidos de los 3 modelos con los rangos propuestos en las Normas 1756-01 y 1753-06 se concluye que las estructuras no cumplen con las condiciones mínimas exigidas. No obstante, esto no significa que las estructuras colapsarán ante un evento sísmico con las características del sismo de diseño, ya que los requerimientos de las Normas venezolanas vigentes tienen un alto grado de exigencia, además de que las estructuras pueden presentar condiciones locales como la existencia de tabiquería que permitan soportar las acciones sísmicas.

RECOMENDACIONES

No se asegura que se haya realizado el levantamiento de todos los daños, ya que algunos daños son difíciles de apreciar por sus dimensiones o por estar ocultos por equipos o techos rasos. Sin embargo se estima que la información recopilada es representativa, aunque es recomendable realizar una inspección más profunda para obtener una mayor cantidad de información.

Al momento de realizar los ensayos no destructivos con el Ferroskan PS200, para varios elementos estructurales se observó un déficit de acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal, se presume que esto se debe a que el equipo no está en capacidad de detectar barras de acero que presenten alto grado de corrosión o con recubrimientos de concreto superiores a los 8 cm, según lo expresado por el personal técnico del IMME. Se recomienda el empleo de un equipo con mayor sensibilidad para disminuir esta incertidumbre y que permita estimar el diámetro de las barras de acero para hacer una comparación más completa.

Tal como se indica en la Norma 1756-01 en el artículo 8.3.4 es recomendable realizar el análisis considerando el efecto de la tabiquería, ya que esta modifica la capacidad portante de la estructura y se podrían obtener resultados más óptimos, además podría considerarse la implementación de las cargas generadas por la tabiquería como cargas lineales y no como cargas distribuidas sobre las losas.

Con el fin de simplificar los modelos realizados se omitieron elementos como el volado de la entrada del IMME Sur, el techo de la entrada y el efecto de la grúa puente de la Nave de Ensayos Especiales. Se presume que el efecto de estos elementos no modificará significativamente los resultados obtenidos, sin embargo es recomendable incluirlos en una investigación más profunda.

Se recomienda realizar el análisis del sótano de la Nave de Ensayos Especiales como un modelo adicional, sabiendo que tiene un comportamiento dinámico independiente al resto de la estructura.

El programa ETABS está diseñado para realizar análisis estructurales principalmente de edificios convencionales. Para otro tipo de estructuras más complejas como la Nave de Ensayos Especiales, la cual se asemeja más a un galpón que a un edificio, se recomienda usar un programa como el SAP2000, que permita un modelado más complejo para obtener resultados más precisos. No obstante, el análisis estructural de la Nave de Ensayos Especiales con el programa ETABS es suficientemente apropiado para cumplir con los objetivos del presente Trabajo Especial de Grado.

Debido a que la mayoría de los daños apreciados se deben principalmente al limitado grado de seguimiento que se le hace a los planes de mantenimiento, es recomendable que organizaciones como COPRED realicen seguimiento de las jornadas de mantenimiento tanto para estas estructuras como para todas las que conforman la Ciudad Universitaria de Caracas. Por otra parte, de ser posible se recomienda la realización y ejecución de proyectos de refuerzo a las estructuras más vulnerables a las que se les hayan realizado este tipo de análisis. También es recomendable incluir a las edificaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales en el Plan de Gestión de Riesgo y Seguridad Ambiental que se lleva a cabo en la Facultad de Ingeniería

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO RUIZ, M; UGAS PACE, D. (2011). *Evaluación estructural del edificio Sede de las Facultades de Humanidades y Educación, y de Ciencias Jurídicas y Políticas. Ciudad Universitaria de Caracas.*

FACULTAD DE INGENIERÍA-UCV. (2014). *Los TEG como parte fundamental de los nodos y activos del conocimiento.* (pp. 37). Recuperado el 7 de febrero de <http://es.slideshare.net/BibliotecasUNAB/sistema-bibliotecas-unab-citas-y-referencias-bibliograficas-segn-normas-apa-actualizacin-2014>

FONDONORMA. (2006). *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural.* Caracas, Venezuela.

FUNDACIÓN VENEZOLANA DE INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS. (2002). *La investigación sísmológica en Venezuela.* Recuperado el 7 de febrero de http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/libros/funvisis_1_18.pdf

GOBIERNO DE ESPAÑA. (2015). *Patrimonio Mundial.* Recuperado el 7 de febrero de <http://www.mecd.gob.es/cultura-mecd/areas-cultura/patrimonio/mc/patrimoniomundial/presentacion.html>

HERNÁNDEZ, E. *Manual de aplicación del programa ETABS v9.* Caracas, Venezuela.

HILTI. *Manual de instrucciones. Ferroscaan PS200.* Recuperado el 26 de abril de https://www.hilti.es/medias/sys_master/documents/h28/9077246918686/PUB_5135463_000_APC_RAW.pdf

NORMA VENEZOLANA COVENIN-MINDUR. (2002), *Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones*. Caracas, Venezuela.

PORRERO, J; RAMOS, C; GRASES, J; VELAZCO, G. (2012). *Manual del concreto estructural conforme con la Norma COVENIN 1753:03*. Caracas, Venezuela. Editorial SIDETUR.

SALGADO, J. (2014). *Sismos en Venezuela, una posibilidad ante la que siempre es mejor estar preparados*. Recuperado el 7 de febrero de <http://www.noticias24.com/fotos/noticia/17910/sismos-en-venezuela-una-posibilidad-ante-la-cual-siempre-es-mejor-estar-preparados/>

UCV NOTICIAS. (2012). *12 años de la declaración de la Ciudad Universitaria de Caracas como Patrimonio Mundial*. Recuperado el 7 de febrero de <http://ucvnoticias.ucv.ve/?p=11263>

UNESCO. (2014). *Sobre la UNESCO*. Recuperado el 7 de febrero de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/about-us/who-we-are/introducing-unesco/>

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. (2009) *Patrimonio mundial UNESCO*. Recuperado el 7 de febrero de <http://www.ucv.ve/index.php?id=7771>

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. (2009) *Creación del COPRED*. Recuperado el 7 de febrero de <http://www.ucv.ve/estructura/rectorado/direcciones/consejo-de-preservacion-y-esarrollo-copred/quienes-somos/creacion-del-copred.html>

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, FACULTAD DE INGENIERÍA.
(2012). *Instituto de Materiales y Modelos Estructurales*. Recuperado el 7 de febrero de <http://www.ing.ucv.ve/imme/>