



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

DISEÑO DE UN EDIFICIO CON ESTRUCTURA METÁLICA SISMORRESISTENTE DE 3 PISOS PARA USO DE UN CENTRO COMERCIAL EN LA URBANIZACIÓN VISTA SAN EDUARDO, CANTÓN GUAYAQUIL

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Civil

AUTOR: Joseph Aaron Vera Yanez.

TUTOR: Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra. Msc

GUAYAQUIL-ECUADOR

2024

1. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD YAUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Joseph Aaron Vera Yanez, con documento de identificación N° 0952852234 y manifesté que:

Yo soy autor y responsable del presente trabajo; y, autoriza a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 27 de febrero del año 2024



Joseph Aaron Vera Yánez

C.I. 0952852234

2. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Joseph Aaron Vera Yanez, con documento de identificación N° 0952852234, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "DISEÑO DE UN EDIFICIO CON ESTRUCTURA METÁLICA SISMORRESISTENTE DE 3 PISOS PARA USO DE UN CENTRO COMERCIAL EN LA URBANIZACIÓN VISTA SAN EDUARDO, CANTÓN GUAYAQUIL", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento cuando entregaré el trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de febrero del año 2024.



Joseph Aaron Vera Yanez

C.I. 0952852234

3. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Ricardo Proaño Viscarra con documento de identificación N° 1205363326, docente de la Universidad, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO DE UN EDIFICIO CON ESTRUCTURA METÁLICA SISMORRESISTENTE DE 3 PISOS PARA USO DE UN CENTRO COMERCIAL EN LA URBANIZACIÓN VISTA SAN EDUARDO, CANTÓN GUAYAQUIL", realizado por Joseph Aaron Vera Yanez, documento de identificación N° 0952852234, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de febrero del año 2024.



Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra, MSC.

C.I. 1205363326

4. DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a mis padres Ana Giomar Yanez y Heiston Moisés Vera que fueron y son mis apoyo y pilares durante toda mi carrera universitaria, también a mi primo hermano difunto Iván Darío que al igual que yo soñaba en convertirse en profesional en la ingeniería, gracias a ellos es que estoy aquí luchando para no solo convertirme en un hombre de prosperidad si no y un gran ingeniero.

Joseph Aaron Vera Yanez

5. Agradecimiento

A Dios, por darme la fuerza y la inteligencia para seguir adelante y superarme cada día más.

Kevin Proaño por ser mi tutor y profesor de la materia de sismo resistente, por haberme compartido muchas sus enseñanzas y experiencia en un par de meses, y haberme instruido en todo este proceso de titulación.

Al ING. Leonardo Echeverría que fue uno de mis primeros profesores a lo largo de la carrera y más allá de ser el jefe de titulación de docente fue una figura de inspiración para mí, ya que siempre prevalece la enseñanza y la ciencia ante todo y es capaz de no formar a futuros ingenieros sino de gente fuertes con carácter y disciplina y muy poco puede llegar a hacer eso, y eso para mí me sobra y basta para decirle que unos de los más fuertes.

A la Universidad Politécnica Salesiana, y a todos los docentes que forman parte de la carrera de Ingeniería Civil, que impartieron sus conocimientos y experiencias que hicieron que día a día pueda crecer como profesional.

Joseph Aaron Vera Yanez

Índice

1.	CERTIFICADODE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	i
2.	CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	ii
3.	CERTIFICADO DEDIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
4.	DEDICATORIA.....	iv
5.	Agradecimiento.....	v
6.	Índice de tablas.....	9
7.	Índice de ilustraciones.....	10
8.	Índice de ecuaciones.....	12
9.	Título.....	1
10.	Antecedente.....	1
11.	Objetivos del proyecto	4
11.1	Objetivo general.....	4
11.2	Objetivos específicos	4
12.	Justificación.....	5
13.	Alcance del proyecto.....	6
14.	Fundamentos teóricos.....	8
14.1	Sismos.....	8
14.1.1	Causa de los sismos	8
14.1.2	Ondas sísmicas	11
14.1.3	Sismos en el Ecuador	15
14.1.4	Efectos de los sismos en los diseños constructivos.....	18
14.2	El acero estructural	21
14.2.1	Características del acero estructural.....	22
14.2.2	Propiedades	23
14.2.3	Tipos de acero	27
14.2.4	Perfiles metálicos.....	29
14.2.5	Estructuras metálicas arriostramientos	34
14.2.1	Estructuras metálicas ventajas y desventajas	37
14.3	Normas y códigos para el diseño.....	40

14.3.1	La NEC para los aceros escrutarles	42
14.4	Diseño sismorresistente en las estructuras metálica	43
14.4.1	Componentes y Técnicas de criterios de diseños metálico	45
14.4.2	los fallos que suelen producirse en un inmueble no sismorresistente	46
14.4.3	Cargas sísmicas.....	48
14.4.4	Combinaciones de diseño por última resistencia (LRFD)	51
14.4.5	Elementos sometidos a flexión de Acero estructural.....	60
14.4.6	Uniones	64
14.5	Robot estructural	67
15.	Metodologías	71
15.1	Definiciones de las cargas	71
15.1.1	Cálculos de cargas verticales	73
15.2	Prediseño de las estructuras metálica	76
15.3	Cálculo de prediseño de la viga	77
15.4	Prediseño con modelación en Robot	85
15.5	Uniones viga-viga alma.....	96
15.6	Unión pilar-viga	99
15.7	Cargas sísmicas	103
15.7.1	Periodo natural de vibración	104
15.7.2	Cálculo de factor de importancia	106
15.7.3	Factor de reducción de respuesta.....	107
15.7.4	Relación de amplificación espectral.....	109
15.7.5	ZONA SISMICA	109
15.7.6	Periodo TC.....	115
15.7.7	ACELERACION ESPECTRAL (Sa)	116
15.7.8	Factor de irregularidad en elevación ϕ_E	118
15.8	Cortante basal	120
15.9	Cálculos de coeficientes sísmico de diseño	122
15.9.1	Peso de la estructura	123
16.	Cálculo del cortante basal.....	125
17.	Cálculos de análisis	127
17.1	Análisis sísmico estático	127
17.1.1	Análisis sísmico estático en Robot.....	128

17.1.2	Centro de gravedad del edificio.....	133
17.1.3	Análisis estático con espectro estático	139
17.1.4	Diagrama del espectro estático.....	142
17.2	Análisis sísmico dinámico.....	143
17.2.1	Cálculo de rigidez.....	144
17.2.2	Matriz de rigidez y de masas	145
17.2.3	Formas de modos de vibración	147
17.2.4	Comprobación de la normalización de los modos a la matriz de masa	152
17.2.5	Análisis dinámico con espectro dinámico	155
17.2.6	Diagrama del espectro Dinámico.....	159
17.2.7	Desplazamientos elásticos máximos de entrepisos	160
17.2.8	Análisis dinámico con robot.....	163
18.	Resultado	168
18.1	Resultado del análisis estático	170
18.1.1	Respuesta de análisis dinámico	172
19.	Conclusión.....	176
20.	Recomendaciones	178
21.	Referencias	180

6. Índice de tablas

<i>Tabla 1/eficiencia de arrojamiento</i>	49
<i>Tabla 2/ cargas verticales</i>	85
<i>Tabla 3/ cargas verticales cubierta</i>	85
<i>Tabla 4/Cargas vivas según la NEC</i>	86
<i>Tabla 5/Cargas vivas según NEC</i>	87
<i>Tabla 6/ resumen de las cargas verticales</i>	88
<i>Tabla 7/prediseño de las vigas</i>	90
<i>Tabla 8/pre-diseño de las columnas</i>	94
<i>Tabla 9/cargas sísmicas</i>	116
<i>Tabla 10/tipo de estructura, para el periodo natural</i>	117
<i>Tabla 11/importancia de uso</i>	119
<i>Tabla 12/factor de importancias</i>	120
<i>Tabla 13/ zonas sísmicas</i>	122
<i>Tabla 14/tipos de suelos</i>	123
<i>Tabla 15/coeficientes de ampliación</i>	124
<i>Tabla 16/desplazamiento para diseño en roca</i>	124
<i>Tabla 17/comportamiento no lineal de suelos</i>	125
<i>Tabla 18/factor de configuración en planta</i>	130

Tabla 19/factor de configuración en elevación	132
Tabla 20/ peso del edificio	136
Tabla 21/ cortante basal	137
Tabla 22/ reacciones del edificio	146
Tabla 23/ tabla de las cargas sísmicas	151
Tabla 24/ espectro análisis estático	154
Tabla 25/ rigideces	158
Tabla 26/ Datos del cálculo dinámico	159
Tabla 27/ Modo 1	163
Tabla 28/ Modo 2	164
Tabla 29/ Modo 3	164
Tabla 30/ espectro análisis dinámico	169
Tabla 31/ resumen del cálculo de cortante basal	182
Tabla 32/ tabla de desplazamiento del eje X	183
Tabla 33/ resumen de los desplazamientos en el eje Y	184
Tabla 34/ respuesta dinámica	185
Tabla 35/ tabla de la reacción dinámica con respecto X	186

7. Índice de ilustraciones

Ilustración 1/Causas de los sismos	23
Ilustración 2/Ondas sísmicas	25
Ilustración 3/diagrama de ondas sísmicas	26
Ilustración 4/Mapa de peligrosidad sísmica de Ecuador	29
Ilustración 5/Efectos sísmicos en diseño constructivos	32
Ilustración 6/diagrama ilustrativo de las características del acero	35
Ilustración 7/diagrama de la deformación del acero	37
Ilustración 8/propiedades del acero	39
Ilustración 9/tipos de Acero Estructural	41
Ilustración 10/clases de secciones	43
Ilustración 11//clases de los perfiles de acero	44
Ilustración 12/ diagrama de las ventajas y desventajas del Acero	51
Ilustración 13/normativa Ecuatoria para el acero	55
Ilustración 14/fallos que suelen producirse en un inmueble no sismorresistente	60
Ilustración 15/diagrama de las cargas sísmicas	63
Ilustración 16/ Trabajo del Análisis sísmico	71
Ilustración 17/ elementos sometidos a flexión	75
Ilustración 18/uniones con pernos en columnas y vigas	79
Ilustración 19/diseño con Robot Structural en Acero	83
Ilustración 20/ Características del Steel Panel	88
Ilustración 27/ combinación de cargas	91
Ilustración 28/plano arquitectónico del LV300	98
Ilustración 29/ ejes en el plano	99
Ilustración 30/ secciones de acero	101
Ilustración 31/ corte del plano arquitectónico	102
Ilustración 32/modelación geométrica	103
Ilustración 33/excentricidad	105
Ilustración 34/ forma geométrica en el software	106

<i>Ilustración 35/configuración de cargas</i>	<i>107</i>
<i>Ilustración 36/unión viga-viga.....</i>	<i>110</i>
<i>Ilustración 37/esquema de viga -viga.....</i>	<i>111</i>
<i>Ilustración 38/unión pilar-viga</i>	<i>113</i>
<i>Ilustración 39/esquema de unión pilar-viga</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 21/relación de ampliación espectral</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración 22/peligro sísmico</i>	<i>126</i>
<i>Ilustración 23/espectro de respuesta</i>	<i>127</i>
<i>Ilustración 24/ factor de irregularidad en planta.....</i>	<i>129</i>
<i>Ilustración 25/coeficiente de regularidad en elevación</i>	<i>132</i>
<i>Ilustración 26/ Cortante basal diseño</i>	<i>135</i>
<i>Ilustración 40/carga sísmica reactiva.....</i>	<i>138</i>
<i>Ilustración 41/ figura de fuerzas laterales</i>	<i>141</i>
<i>Ilustración 42/cargasestipuladas.....</i>	<i>143</i>
<i>Ilustración 43/cargas respectivasen cada caso.....</i>	<i>144</i>
<i>Ilustración 44/centro de gravedad</i>	<i>149</i>
<i>Ilustración 45/ fuerzas laterales</i>	<i>150</i>
<i>Ilustración 46/desplazamiento en el edificio.....</i>	<i>152</i>
<i>Ilustración 47/ Espectro elástico horizontal</i>	<i>153</i>
<i>Ilustración 53/diagrama espectro estático</i>	<i>156</i>
<i>Ilustración 48/matricesde masa y rigidez.....</i>	<i>159</i>
<i>Ilustración 56/espectro análisis dinámico.....</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 57/diagrama de espectro basado en lossuelos</i>	<i>173</i>
<i>Ilustración 49/tipo de cálculo modal</i>	<i>177</i>
<i>Ilustración 50/caso de análisis espectral</i>	<i>178</i>
<i>Ilustración 51/espectro en el software.....</i>	<i>179</i>
<i>Ilustración 52/conversión de cargas</i>	<i>180</i>
<i>Ilustración 54/desplazamiento del eje de lasX</i>	<i>183</i>
<i>Ilustración 55/desplazamiento del eje de la Y.....</i>	<i>184</i>
<i>Ilustración 58/desplazamiento yderivadel eje Y</i>	<i>185</i>
<i>Ilustración 59/Desplazamiento yderivason respecto al ejeX.....</i>	<i>186</i>

8. Índice de ecuaciones.

Ecuación 1/ ecuaciones de LRFD.....	64
Ecuación 2/ factores de carga y resistencia.....	65
Ecuación 3/ fuerza sísmica base.....	68
Ecuación 4/ coeficiente sísmico.....	68
Ecuación 5/ distribución de fuerza sísmicas.....	69
Ecuación 6/ Cálculos de momentos.....	69
Ecuación 7/ cálculo del desplazamiento Sísmico.....	70
Ecuación 8 /Ecuación de la flexión.....	73
Ecuación 9/ Momento de inercia I.....	73
Ecuación 10/ Modulo de sección.....	74
Ecuación 11/ Ecuación de la deflexión.....	74
Ecuación 12/ Ecuación de Diseño para soldadura.....	76
Ecuación 13/ fuerza de diseño para pernos.....	77
Ecuación 14/ mayoraciones de cargas.....	91
Ecuación 15/ ecuación de momento máximo.....	92
Ecuación 16/ Sx de los perfiles de acero.....	93
Ecuación 17/ esbeltes.....	96
Ecuación 18/ tensión crítica de pandeo.....	96
Ecuación 19/ tensión de pandeo por flexión.....	96
Ecuación 20/ resistencia de compresión nominal.....	96
Ecuación 21/ perforación de reducción.....	108
Ecuación 22/ perforación con esfuerzos.....	109
Ecuación 23/ ecuación de periodo natural de vibración.....	117
Ecuación 24/ ecuación d periodo máximo.....	118
Ecuación 25/ Periodo TC.....	127
Ecuación 26/ aceleración espectral.....	128
Ecuación 27/ Factor de irregularidad en planta.....	129
Ecuación 28/ factor de irregularidad.....	131
Ecuación 29/ cortante basal.....	133
Ecuación 30/ coeficiente de carga sísmica.....	133
Ecuación 31 / centro de gravedad.....	147
Ecuación 32/ coeficiente sísmico.....	154
Ecuación 33/ periodo fundamental.....	154
Ecuación 34/ ley de Hooke.....	157
Ecuación 35/ matrices de rigidez y masa.....	160
Ecuación 36/ formula matricial.....	160
Ecuación 37/ modo de desplazamiento.....	163
Ecuación 38/ matriz de modos generalizada.....	165
Ecuación 39/ comprobación de la normalización.....	166
Ecuación 40/ comprobación de la normalización.....	168
Ecuación 41/ desplazamiento de piso.....	174
Ecuación 42/ desplazamiento de espectro máximo.....	174
Ecuación 43/ desplazamiento elástico máximo.....	175

9. Título

Diseño de un edificio con estructura metálica sismorresistente de 3 pisos para uso de un centro comercial en la urbanización vista san Eduardo, cantón guayaquil.

10. Antecedente

Ecuador, situado en el cinturón de fuego del Pacífico, enfrenta una alta sismicidad debido a la interacción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Esta condición geográfica predispone al país a frecuentes y a veces devastadores terremotos, como el de 7.8 de magnitud en 2016, que afectó severamente a las provincias costeras, causando significativas pérdidas humanas y materiales. La recurrencia de estos eventos subraya la importancia de avanzar en la comprensión de la dinámica sísmica regional, mejorar los sistemas de alerta temprana, y reforzar las prácticas de construcción y planificación urbana para mitigar el impacto de futuros sismos.

La construcción en acero, marcada por su introducción durante la Revolución Industrial, ha transformado el paisaje arquitectónico global, permitiendo el diseño de edificaciones más altas y espacios más amplios. Este material se destaca por su resistencia, ductilidad y eficiencia en la construcción, facilitando estructuras con grandes luces y cargas, como rascacielos y puentes. La innovación en técnicas de fabricación y ensamblaje ha mejorado su sostenibilidad y resistencia a eventos sísmicos, posicionando al acero como un pilar fundamental en la construcción moderna y promoviendo su uso en proyectos de ingeniería civil y arquitectura vanguardista.

Uno de los hitos en la aplicación de principios sismorresistentes a estructuras metálicas fue la introducción de los marcos dúctiles de momento en los años 60, un diseño que permite a los edificios soportar movimientos sísmicos a través de la flexión y deformación controlada de

sus elementos. Este concepto marcó un cambio fundamental en el diseño de edificios altos y puentes, ofreciendo una mayor protección contra los terremotos.

La implementación de normas específicas para construcciones metálicas sismorresistentes, como las proporcionadas por el American Institute of Steel Construction (AISC) en Estados Unidos, ha establecido guías detalladas para el diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas capaces de resistir eventos sísmicos. Estas normativas incluyen especificaciones para la conexión y detallado de elementos estructurales, promoviendo prácticas que mejoran la capacidad de las estructuras metálicas para soportar cargas sísmicas.

La investigación y el desarrollo tecnológico han innovado técnicas y materiales de construcción, como el aislamiento sísmico, los amortiguadores de masa sintonizada y los disipadores de energía, que permiten a las estructuras absorber y disipar la energía sísmica, minimizando los daños durante un terremoto.

El Proyecto La Vista de San Eduardo Edificio 300 es una edificación constituida por tres niveles destinadas a centro comercial, que será construida en la Vista San Eduardo de la Ciudad de Guayaquil de la Provincia de Guayas, km 7 ½ de la Av. Del Bombero, atrás del Edificio 100, con la finalidad de darle más comodidad a los que residentes en la urbanización.

El desarrollo de espacios urbanos de calidad que logren cautivar a los visitantes y generar un impacto positivo en su percepción sobre la urbanización es fundamental para atraer inversiones en diversos sectores como la gastronomía, la moda, el hogar, y la tecnología. Este enfoque no solo fomenta la diversificación económica, sino que también crea nuevas oportunidades de empleo, contribuyendo significativamente al crecimiento socioeconómico local. Sin embargo, en regiones propensas a eventos sísmicos, como es el caso de Ecuador, es

imprescindible que dichos desarrollos urbanos incorporen prácticas de diseño y construcción que garanticen su resiliencia frente a terremotos.

El desafío radica en concebir un edificio que, además de ser estéticamente atractivo y funcional para el propósito previsto, cumpla con rigurosas normativas de construcción sismorresistente, específicamente las NEC-SE-DS vigentes en el país. Este compromiso con la seguridad estructural debe estar alineado con un diseño presupuestario accesible para el cliente, asegurando que la edificación pueda resistir eventos sísmicos de magnitudes comparables al terremoto de abril de 2016 o similares históricamente significativos en Ecuador.

Para alcanzar estos objetivos, se propone elaborar un proyecto arquitectónico con estructuras metálicas, por su capacidad para ofrecer soluciones tanto en resistencia sísmica como de eficiencia en la construcción. La utilización de software especializado en diseño estructural jugará un papel crucial en este proceso, permitiendo una planificación detallada de perfiles, conexiones, nodos, y cálculos estructurales.

11. Objetivos del proyecto

11.1 Objetivo general

Diseñar un edificio de tres niveles con estructura metálica en Guayaquil, con programas de elementos finitos para analizar el comportamiento dinámico de la estructura ante cargas sísmicas, y garantizar el estricto cumplimiento de la normativa ecuatoriana de construcción vigente.

11.2 Objetivos específicos

La revisión de la literatura sobre el diseño de estructuras de acero se realizará mediante una recopilación de información científica proceso para obtener datos de alta calidad que respalden el trabajo de investigación, para ello se explorarán y analizarán rigurosamente la literatura académica relacionada con el diseño de estructuras de acero, haciendo hincapié en investigaciones previas, metodologías empleadas y avances relevantes en el campo.

Determinar la configuración estructural conforme a los diseños arquitectónicos del proyecto denominado "LV 300", mediante la elaboración de un modelo estructural que incorpore perfiles y uniones de acero, con el objetivo de evaluar el desempeño dinámico de la estructura según lo estipulado por la normativa de construcción de Ecuador.

Comparar las propiedades dinámicas de la estructura a través de un análisis matricial, utilizando las respuestas obtenidas del software de análisis por elementos finitos, con el propósito de contrastar los resultados obtenidos manualmente con aquellos generados por el programa Robot.

Desarrollar los planos estructurales de acero, asegurando que estos reflejen con precisión las dimensiones, ubicaciones, y conexiones de todos los elementos estructurales, para garantizar una construcción eficiente.

12. Justificación

La justificación de este proyecto estructural para una urbanización privada se basa en la imperiosa necesidad de integrar conocimientos teóricos y prácticos avanzados en análisis y diseño estructural metálico, con el fin de desarrollar un centro comercial de tres pisos que exhiba una resistencia óptima ante los sismos. Dada la ubicación geográfica de Ecuador en la costa oriental del Océano Pacífico, el país se encuentra en una zona propensa a terremotos y erupciones volcánicas, fenómenos atribuidos a la dinámica de las placas tectónicas, específicamente a la interacción entre la placa Sudamericana y la placa Nazca. Esta realidad geológica sitúa a Ecuador en una zona de subducción caracterizada por la actividad sísmica frecuente, lo que subraya la relevancia de elaborar edificaciones que puedan soportar las fuerzas generadas por estos eventos naturales.

El proyecto se orienta hacia un modelo estructural para el centro comercial que cumpla con las regulaciones nacionales en construcción sismorresistente y demuestre, mediante simulaciones basadas en eventos sísmicos históricos, su capacidad para mantener la integridad estructural bajo condiciones extremas. Este enfoque no solo busca garantizar la seguridad física de los ocupantes y visitantes sino también proporcionar un análisis detallado del comportamiento estructural del edificio frente a los movimientos telúricos característicos de la región.

La implementación de estructuras metálicas, seleccionadas por su superioridad en términos de resistencia y flexibilidad, permitirá una optimización del espacio y una eficiencia constructiva significativa. Este material no solo favorece la rapidez en la ejecución de la obra, sino que también ofrece ventajas en términos de resistencia a la tensión y a la compresión, lo cual es crítico en zonas sísmicas.

El empleo de software especializado en análisis estructural facilitará la modelización detallada del edificio, permitiendo una evaluación precisa de su respuesta sísmica y asegurando que los cálculos estructurales cumplan con las normativas vigentes. Este proceso se enriquecerá con la utilización de datos y referencias de proyectos anteriores dentro de la urbanización, proporcionando una base sólida para el desarrollo del diseño actual. En resumen, este proyecto propone una solución integrada que combina innovación en diseño estructural con responsabilidad social y ambiental, apuntando a establecer un nuevo estándar en la construcción sismorresistente en Ecuador.

13. Alcance del proyecto

El alcance de la presente tesis se centra en el diseño y ejecución de un edificio comercial utilizando estructuras metálicas, teniendo la consideración que no, se va realizar el diseño de la cimentación de la estructura, fundamentando la selección de este material en su destacada resistencia comparativa frente al concreto, especialmente en términos de tensión, compresión y flexión. El acero, con una resistencia aproximadamente ocho veces superior a la del concreto bajo tensiones y cortes, ofrece un rendimiento estructural superior. Esta característica permite una optimización eficiente del espacio disponible, facilitando una implementación más rápida y efectiva que el uso tradicional del hormigón armado.

Los procedimientos para el cálculo estructural seguirán los parámetros dictados por la normativa ecuatoriana vigente y se apoyarán en análisis detallados para guiar el desarrollo de la propuesta estructura metálica. Este enfoque se complementará con el uso de planos de cimentación y arquitectónicos de proyectos previos, sirviendo estos como referencia esencial para el diseño propuesto.

Este estudio se realiza en colaboración con los proyectos de Urbaland, una empresa del sector privado responsable de la urbanización privada "Vista San Eduardo", buscando construir un espacio comercial que no solo atraiga clientes y promueva el consumo, sino que también genere interés en la adquisición y arrendamiento de propiedades inmobiliarias dentro del complejo.

La intención principal de este proyecto es diseñar y construir una estructura de acero sismorresistente, cumpliendo así con las estrictas normativas de construcción de Ecuador, y ofrezca la estabilidad y seguridad necesarias para proteger a los usuarios en caso de sismo. Paralelamente, se aspira a elaborar un presupuesto ajustado a los requerimientos del diseño, considerando las limitaciones económicas y optimizando los recursos disponibles.

Para garantizar la viabilidad de la estructura metálica dentro del proyecto de construcción, se establecen tres condiciones fundamentales: la rigidez estructural, para evitar deformaciones bajo cargas aplicadas; la estabilidad, asegurando que la estructura permanezca en pie mediante el uso de tensores o bases ampliadas, por ejemplo; y la resistencia, permitiendo que la estructura soporte fuerzas sin romperse.

Este enfoque integral subraya el compromiso con la creación de un espacio seguro, funcional y económicamente viable, marcando un hito en la construcción comercial sostenible y resistente a sismos en Ecuador.

14. Fundamentos teóricos

14.1 Sismos

Los sismos, o terremotos, constituyen uno de los fenómenos naturales más poderosos y devastadores, originados por la liberación repentina de energía en la corteza terrestre. Esta energía se acumula y libera debido a la actividad tectónica, específicamente por el movimiento y la interacción de las placas tectónicas que conforman la superficie de la Tierra. Los sismos pueden ocurrir por el deslizamiento de placas a lo largo de fallas geológicas, por actividad volcánica, o como resultado de movimientos isostáticos y antropogénicos.

La energía liberada durante un sismo se propaga en forma de ondas sísmicas, que pueden causar vibraciones en el suelo que van desde apenas perceptibles hasta lo suficientemente intensas como para provocar la destrucción de ciudades enteras.

14.1.1 Causa de los sismos

Las causas de los sismos se pueden clasificar en varias categorías principales, cada una con sus propios procesos subyacentes. Aquí te proporciono un resumen detallado de estas causas para apoyar tu tesis investigativa:

Movimientos Tectónicos

La mayoría de los sismos se deben a los movimientos de las placas tectónicas de la Tierra.

Estos movimientos pueden clasificarse en:

Choque de Placas (Convergencia): Cuando dos placas se mueven una hacia la otra, el borde de una placa puede ser forzado debajo de la otra en un proceso conocido como subducción, lo que puede generar sismos.

Separación de Placas (Divergencia): En las dorsales oceánicas, donde las placas se separan, el magma asciende para llenar el espacio creado, lo que puede provocar sismos.

Deslizamiento de Placas (Transformante): Las placas pueden también deslizarse horizontalmente una past la otra a lo largo de fallas transformantes, como la Falla de San Andrés en California, generando sismos.

Actividad Volcánica

Los sismos también pueden ser causados por la actividad volcánica, que incluye:

Liberación de Magma: El movimiento del magma hacia la superficie terrestre puede provocar fracturas en la roca circundante, generando sismos.

Presión de Gases: La acumulación de gases volcánicos puede aumentar la presión interna hasta que se libera repentinamente, causando explosiones y sismos.

Actividad Humana

La intervención humana en la corteza terrestre puede inducir sismos, conocidos como sismos inducidos, a través de:

Extracción de Minerales: La minería a gran escala y la extracción de petróleo y gas pueden alterar el equilibrio de presión en la corteza terrestre, provocando sismos.

Embalses de Gran Tamaño: El peso del agua en grandes embalses puede inducir sismos al incrementar la presión en la corteza terrestre subyacente.

Fracturación Hidráulica (Fracking): La inyección de fluidos a alta presión para fracturar formaciones rocosas y extraer gas o petróleo puede provocar sismos.

Procesos Geológicos Internos

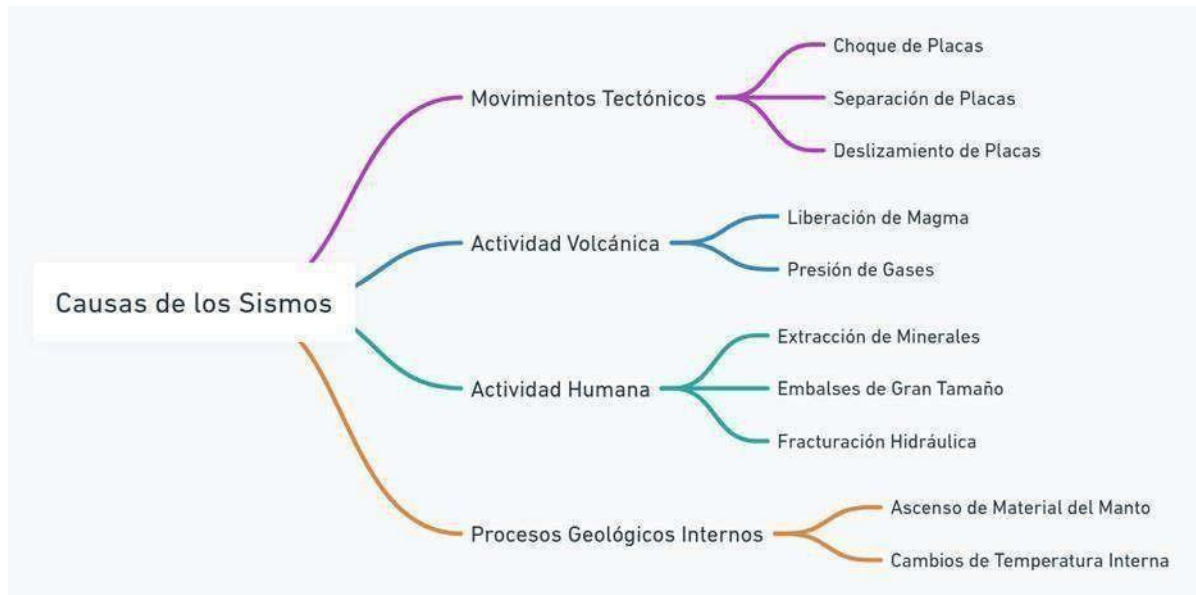
Además de los factores externos, los procesos internos de la Tierra también pueden causar sismos:

Ascenso de Material del Manto: El movimiento ascendente de material caliente desde el manto puede provocar el levantamiento y fractura de la corteza, generando sismos.

Cambios de Temperatura Interna: Las fluctuaciones en el calor interno de la Tierra pueden causar la expansión o contracción de materiales, lo que puede llevar a fracturas y, por ende, a sismos.

Estas causas subrayan la complejidad de los procesos geológicos que pueden llevar a la ocurrencia de sismos. Para una tesis investigativa, es crucial explorar estas causas en detalle, examinando estudios de caso específicos, datos sísmicos, y la literatura científica relevante para obtener una comprensión profunda de cómo y por qué ocurren los sismos.

Ilustración 1/Causas de los sismos.



Nota: Diagrama elaborado por Joseph vera. explicando las causas de los sismos.

14.1.2 Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son vibraciones que se propagan a través de la Tierra como resultado de un terremoto, una explosión o un proceso geológico similar que genera energía. Estas ondas son fundamentales para el estudio de la estructura interna de la Tierra, ya que proporcionan información valiosa sobre las propiedades de los materiales que atraviesan. Para una tesis investigativa sobre este tema, es importante comprender los tipos de ondas sísmicas, cómo se generan, cómo se propagan y cómo se utilizan para estudiar la Tierra.

Tipos de Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas se clasifican en dos tipos: de cuerpo y de superficie.

Ondas de Cuerpo

Las ondas de cuerpo viajan a través del interior de la Tierra y se subdividen en:

Ondas Primarias (P): También conocidas como ondas de compresión, son las más rápidas y pueden moverse a través de sólidos, líquidos y gases. Las ondas P comprimen y expanden el material a través del cual se propagan, moviéndose en la misma dirección que la onda.

Ondas Secundarias (S): Son más lentas que las ondas P y solo pueden moverse a través de materiales sólidos. Las ondas S mueven el material perpendicularmente a la dirección de propagación, causando oscilaciones en el suelo.

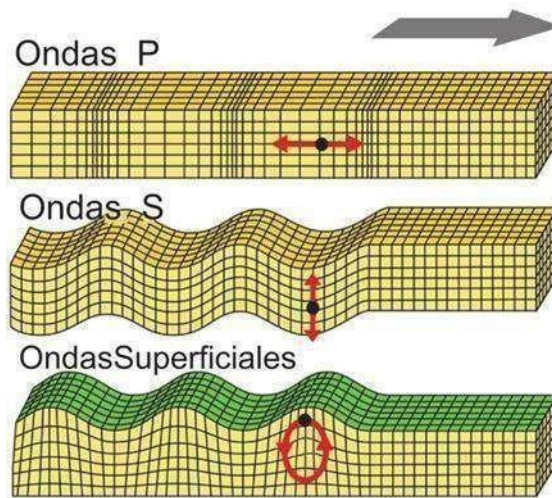
Ondas de Superficie

Las ondas de superficie viajan a lo largo de la superficie de la Tierra y son generalmente las responsables de los daños durante los terremotos. Se dividen en:

Ondas Love: Se mueven horizontalmente, causando desplazamiento del suelo perpendicular a la dirección de propagación. No se propagan a través de fluidos y su velocidad es menor que la de las ondas S, pero mayor que la de las ondas Rayleigh.

Ondas Rayleigh: Provocan un movimiento elíptico del suelo, similar a las olas del mar, moviéndose tanto vertical como horizontalmente en la dirección de propagación. Son las más lentas y a menudo llegan las últimas, pero pueden causar daños significativos.

Ilustración 2/ Ondas sísmicas.



Nota: Ilustración, donde se explica el comportamiento de la onda sísmica. Fuentes: Héctor González-Huizar, octubre (2019)

Generación y Propagación

Las ondas sísmicas se generan por la liberación repentina de energía en el foco o hipocentro de un terremoto, usualmente debido a la ruptura de fallas geológicas, actividad volcánica o actividades humanas como explosiones. Esta energía se propaga en todas direcciones desde el punto de origen.

La velocidad y el camino de las ondas sísmicas varían según las propiedades del material que atraviesan. Por ejemplo, las ondas viajan más rápido a través de materiales más densos y rígidos. La interacción de las ondas sísmicas con diferentes capas internas de la Tierra (como la corteza, el manto y el núcleo) y sus variaciones de velocidad permiten a los sismólogos inferir la estructura y composición de la Tierra.

Aplicaciones

El estudio de las ondas sísmicas es crucial para la sismología y la geofísica, ya que permite:

Determinar la ubicación y magnitud de terremotos.

Investigar la estructura interna de la Tierra, incluyendo la identificación de capas y discontinuidades.

Explorar recursos naturales como petróleo y gas mediante técnicas de reflexión y refracción sísmica.

Evaluar riesgos sísmicos y mejorar la ingeniería sísmica para la construcción de estructuras más resistentes a terremotos.

Ilustración 3/ diagrama de ondas sísmicas.



Nota: Diagrama esquemático, explicando acerca de las Ondas sísmica, elaborado por Joseph vera.

14.1.3 Sismos en el Ecuador.

Esta interacción tectónica hace que Ecuador sea susceptible a terremotos potencialmente devastadores, así como a la actividad volcánica asociada. Para una tesis investigativa sobre los sismos en Ecuador, es importante considerar varios aspectos, incluyendo la historia sísmica del país, las zonas más afectadas, los impactos de estos eventos y las medidas de mitigación y respuesta adoptadas.

Historia Sísmica de Ecuador

Ecuador ha experimentado varios terremotos significativos a lo largo de su historia, algunos de los cuales han tenido consecuencias devastadoras para la población y la infraestructura. Algunos de los terremotos más notables incluyen:

Terremoto de Ambato (1949): Este terremoto de magnitud 6.8 ocurrió el 5 de agosto de 1949, causando la muerte de más de 5,000 personas. Fue uno de los terremotos más mortales en la historia del país.

Terremoto de Tumaco (1979): Aunque el epicentro de este terremoto de magnitud 8.2 se ubicó cerca de la costa de Colombia, afectó gravemente a la provincia ecuatoriana de Esmeraldas, causando grandes daños y pérdidas.

Terremoto de Puyo (1987): Con una magnitud de 6.1, este terremoto afectó a la región amazónica de Ecuador, demostrando que los sismos no solo afectan a las áreas costeras.

Terremoto de Ecuador (2016): Este terremoto de magnitud 7.8 golpeó la costa pacífica de Ecuador el 16 de abril de 2016, cerca de la ciudad de Muisne. Fue el terremoto más fuerte que golpeó Ecuador desde 1979, causando la muerte de más de 670 personas, miles de heridos y extensos daños materiales.

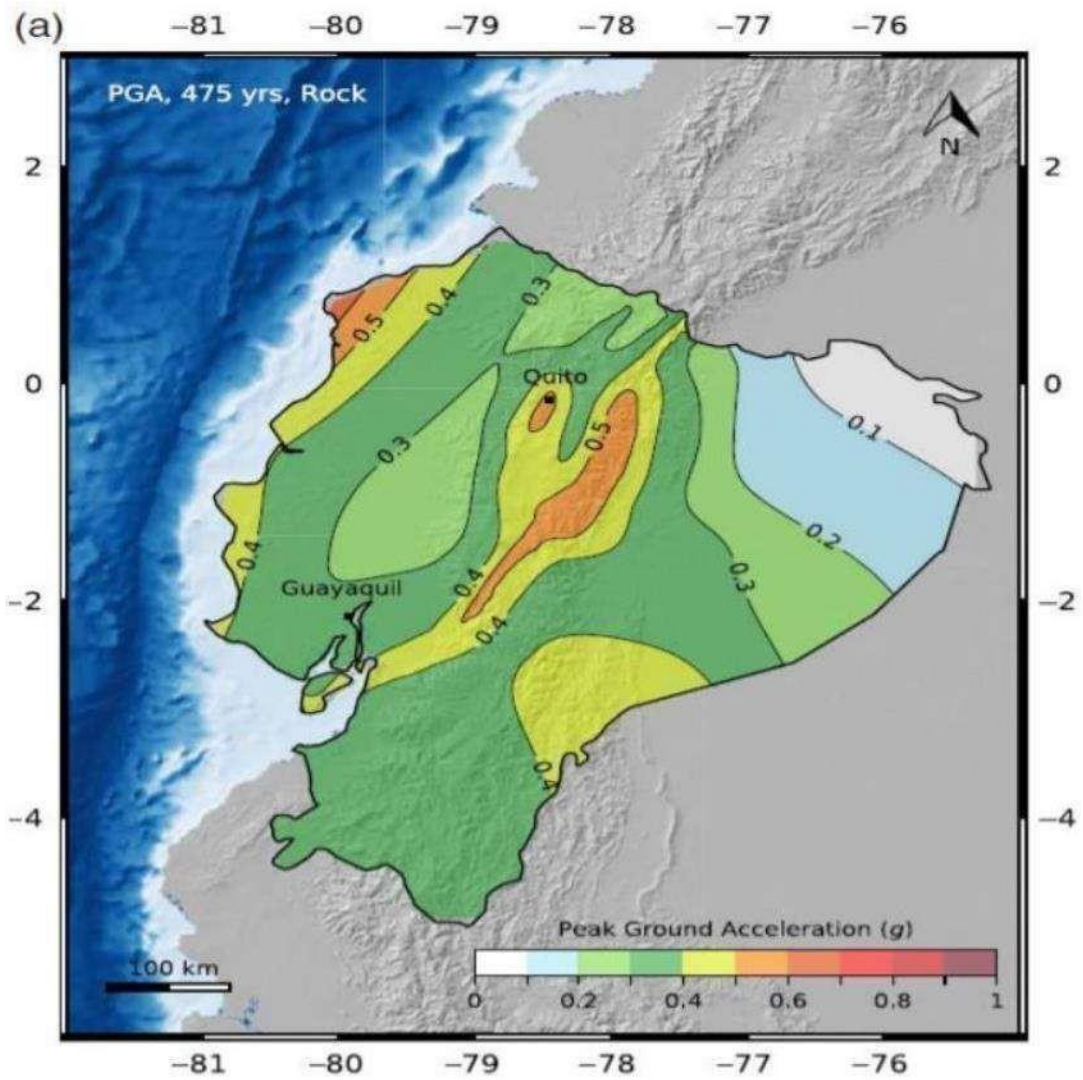
Impacto de los Terremotos en Ecuador

Los terremotos en Ecuador han tenido profundos efectos en la infraestructura, economía y tejido social del país. La recurrente actividad sísmica ha impulsado la implementación de normativas de construcción más estrictas, especialmente en áreas propensas a sismos, y ha fomentado la conciencia sobre la preparación y respuesta ante desastres. Además, estos eventos han motivado investigaciones científicas y tecnológicas destinadas a mejorar los sistemas de alerta temprana y la capacidad de respuesta de la nación ante futuros sismos.

Investigación Sísmica en Ecuador

La investigación sobre sismos en Ecuador se centra en entender mejor la dinámica tectónica del país, mejorar los modelos de riesgo sísmico y desarrollar estrategias de mitigación efectivas. Instituciones como el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional juegan un papel crucial en el monitoreo sísmico, la educación pública y la cooperación internacional para fortalecer la resiliencia del país ante los terremotos.

Ilustración 4/Mapa de peligrosidad sísmica de Ecuador.



Nota: Zonificación de peligrosidad sísmica a partir de análisis probabilísticos. Fuente: Paredes & Pachar

(2019)

14.1.4 Efectos de los sismos en los diseños constructivos

La influencia de los sismos en el diseño de construcciones es un área crítica de estudio en la ingeniería civil y estructural, enfocada en desarrollar edificaciones capaces de resistir las fuerzas sísmicas sin sufrir daños catastróficos. Esta investigación aborda cómo los sismos afectan los diseños en la construcción, destacando la importancia de la sismología, la ingeniería sísmica y las prácticas de construcción resiliente. A continuación, se presentan los aspectos fundamentales para una tesis en este campo.

Fundamentos de la Sismología en el Diseño de Construcciones

El estudio comienza con una comprensión básica de los sismos: cómo ocurren, sus tipos y las ondas sísmicas generadas. Esta base es crucial para aplicar principios de diseño que puedan absorber y disipar la energía sísmica, minimizando el riesgo para las estructuras y sus ocupantes.

Análisis de Riesgo Sísmico

El análisis de riesgo sísmico evalúa la probabilidad de ocurrencia de sismos en una región y su potencial impacto en las construcciones. Incluye la identificación de zonas de falla, la historia sísmica y la predicción de la magnitud y frecuencia de futuros sismos. Este análisis es fundamental para el diseño de nuevas construcciones y la evaluación de la necesidad de refuerzo en estructuras existentes.

Principios de Diseño Sísmico

El diseño sísmico implica la creación de estructuras que puedan soportar las fuerzas sísmicas a través de la ductilidad, la resistencia y la rigidez. Los principios clave incluyen:

Diseño Basado en Desempeño: Establece objetivos específicos de desempeño para diferentes niveles de sismo, desde sismos menores sin daños hasta sismos mayores con daños limitados.

Disipación de Energía: Uso de dispositivos como aisladores de base y disipadores de energía para reducir las demandas sísmicas en la estructura.

Redundancia y Regularidad: Asegurar que la estructura tenga múltiples caminos para transferir cargas y evitar irregularidades que puedan causar concentraciones de esfuerzos.

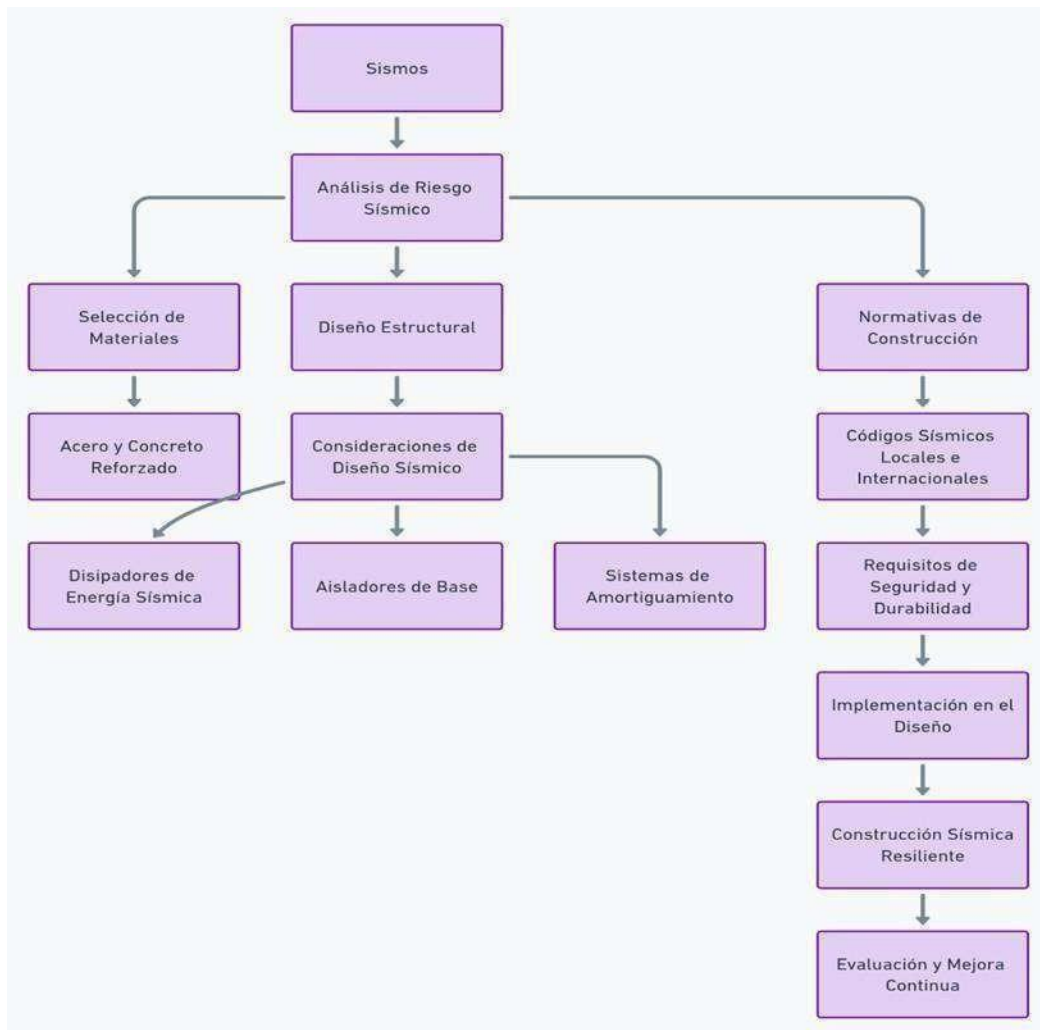
Materiales y Tecnologías en Construcción Sísmica

La selección de materiales y el empleo de tecnologías avanzadas son esenciales para mejorar la resistencia sísmica. El acero estructural y el concreto reforzado se usan para soportar cargas sísmicas significativas. Además, tecnologías como el aislamiento sísmico y los sistemas de amortiguamiento avanzan la capacidad de las estructuras para resistir sismos.

Estudios de Caso y Lecciones Aprendidas

Analizar terremotos pasados y las fallas en las estructuras afectadas proporciona lecciones valiosas para mejorar los diseños futuros. Estos estudios de caso son fundamentales para entender las limitaciones de las prácticas de diseño actuales y cómo pueden ser mejoradas.

Ilustración 5/Efectos sísmicos en diseño constructivos.



Nota: Diagrama conceptual creado por Joseph Vera, explicando los efectos importantes de los sismos en los diseños constructivos.

14.2 El acero estructural.

El acero estructural es un material clave en la ingeniería civil y la construcción, utilizado ampliamente para crear el esqueleto de edificios, puentes, torres y otras estructuras debido a su alta resistencia, durabilidad y flexibilidad. Se compone de aleaciones de hierro con un pequeño porcentaje de carbono, lo que le confiere propiedades mecánicas superiores para soportar cargas y resistir condiciones ambientales adversas. Este material se caracteriza por su capacidad para ser moldeado en una amplia variedad de formas y tamaños, tales como vigas, columnas, y trusses, mediante procesos de fabricación como el laminado, el forjado y la soldadura.

Una de las principales ventajas del acero estructural es su alta relación resistencia-peso, que permite diseñar estructuras más ligeras que, a su vez, requieren cimientos menos masivos, reduciendo el costo y el impacto ambiental de la construcción. Además, su ductilidad lo hace especialmente valioso en áreas propensas a terremotos, ya que puede absorber una cantidad significativa de energía sísmica sin fallar.

El acero estructural también destaca por su versatilidad en diseño, permitiendo la creación de estructuras con grandes luces y formas complejas que serían difíciles de lograr con otros materiales. Esta característica, combinada con la precisión de su fabricación, facilita la rápida construcción y montaje en el sitio, acelerando los plazos de entrega de los proyectos.

Sin embargo, el uso del acero estructural no está exento de desafíos. La protección contra la corrosión mediante pinturas, galvanizado o el uso de aceros resistentes a la corrosión es esencial, especialmente en ambientes agresivos. Por ende, no hay elemento basado en la que se pueda excluir de responsabilidad a la persona precandidata.

En términos de sostenibilidad, el acero estructural es altamente reciclable, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental de la construcción. La industria del acero ha hecho avances significativos en la reducción de la energía requerida para su producción y en el aumento del contenido reciclado en los nuevos productos de acero.

14.2.1 Características del acero estructural.

El acero estructural es un material de construcción preferido por ingenieros y arquitectos debido a su notable resistencia, ductilidad, y versatilidad.

Se fabrica con hierro, con poca cantidad de carbono añadido para mejorar su resistencia y dureza. Este material se utiliza en una variedad de formas, como vigas, columnas, y armaduras, adaptándose a las necesidades específicas de cada proyecto.

Comportamiento bajo Cargas y Condiciones

Fatiga: El acero puede sufrir de fatiga bajo ciclos repetidos de carga, lo que puede llevar a una falla eventual si no se considera en el diseño.

Corrosión: Aunque el acero es susceptible a la corrosión, el tratamiento adecuado y los revestimientos protectores pueden mitigar este problema.

Comportamiento a Alta Temperatura: El acero pierde parte de su resistencia cuando se expone a altas temperaturas, como en el caso de un incendio, lo que requiere consideraciones especiales en el diseño de estructuras para mejorar su resistencia al fuego.

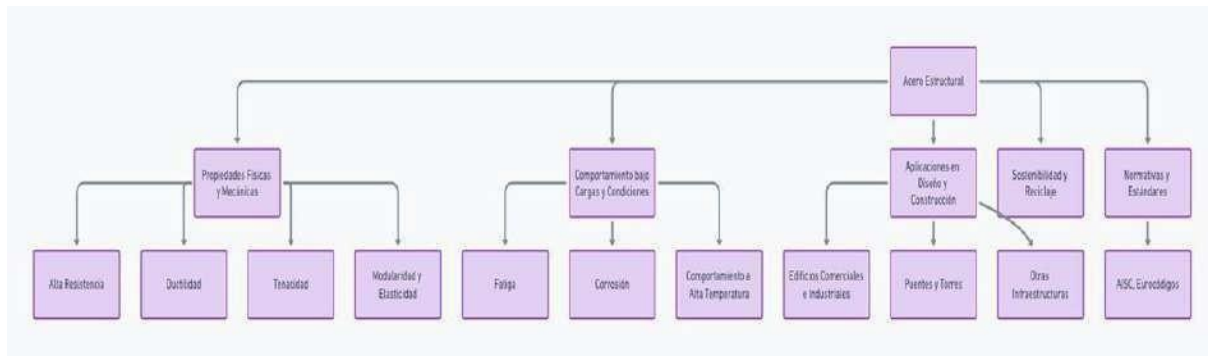
Aplicaciones en Diseño y Construcción

El acero estructural se utiliza ampliamente en la construcción de edificios comerciales, industriales, puentes, torres, y otras infraestructuras. Su capacidad para moldearse en casi cualquier forma y su facilidad de ensamblaje lo hacen ideal para estructuras complejas y altas.

Sostenibilidad y Reciclaje

El acero estructural es notablemente sostenible, siendo uno de los materiales más reciclados en el mundo. La capacidad de reciclar y reutilizar el acero sin pérdida significativa de propiedades asegura que juegue un papel crucial en la construcción sostenible.

Ilustración 6/ diagrama ilustrativo de las características del acero.



Nota: En este diagrama creador por Joseph Vera, explica de manera conceptual las características del acero estructural.

14.2.2 Propiedades

Las características del acero estructural derivan tanto de su constitución química como de su proceso de elaboración, abarcando el tratamiento durante su producción. Las normativas del producto establecen los márgenes de composición, calidad y eficacia, y dichos márgenes son empleados o considerados por los ingenieros de estructuras.

Este documento examina las principales características de relevancia para el ingeniero y señala las normas aplicables a productos específicos.

Composición y Fabricación

El acero estructural es una aleación de hierro con un contenido de carbono menor al 2%, además de pequeñas cantidades de silicio, fósforo, azufre y oxígeno. La adición de otros elementos como manganeso, níquel, cromo, molibdeno, vanadio, y titanio puede mejorar sus propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión. La fabricación del acero estructural implica procesos de refinado que eliminan impurezas y ajustan su composición química, seguidos por procesos de laminado o forjado que determinan su forma final.

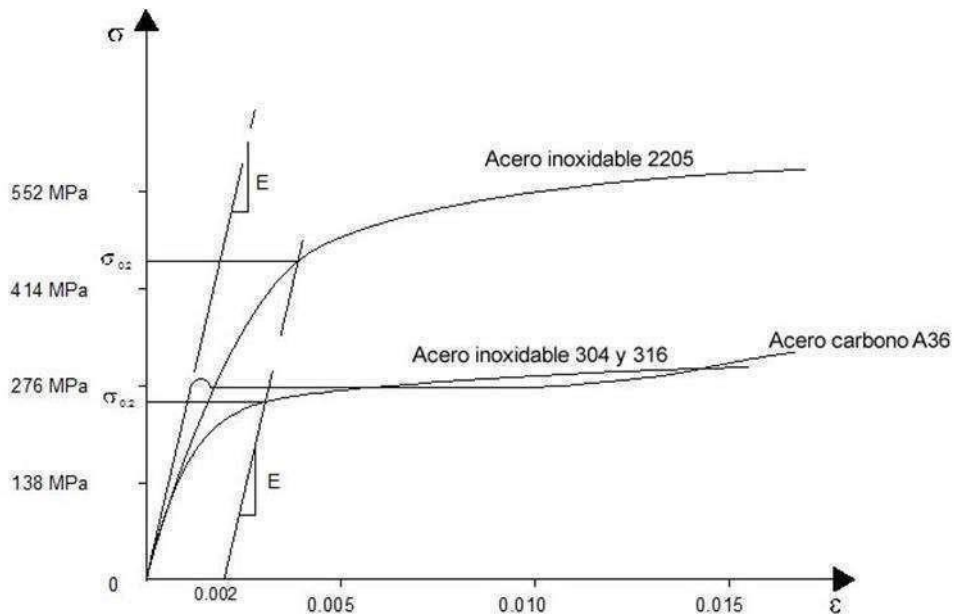
Propiedades Físicas y Mecánicas

Resistencia: El acero estructural es conocido por su alta resistencia tanto a la tracción como a la compresión, lo que permite diseñar estructuras delgadas y eficientes.

Ductilidad: La capacidad de deformarse antes de fallar hace al acero estructural adecuado para aplicaciones en zonas sísmicas, donde puede absorber energía sin colapsar.

El proyectista se apoya en la ductilidad para múltiples facetas del diseño, incluyendo la redistribución de esfuerzos en condiciones de carga límite, la configuración de conjuntos de anclajes, la minimización del riesgo de extensión de fisuras por fatiga y en técnicas de manufactura como la soldadura, el plegado y el alisado.

Ilustración 7/ diagrama de la deformación del acero.



Nota: Imagen donde se explica el estrés y comportamiento de deformación para el acero. Fuentes: MIC.SAS (2022).

Tenacidad: La tenacidad del acero le permite resistir impactos y cargas dinámicas sin fracturarse.

Está en la naturaleza de todos los materiales contener algunas imperfecciones. En el acero, estas imperfecciones toman la forma de grietas muy pequeñas. Si el acero no es lo suficientemente resistente, la 'grieta' puede propagarse rápidamente, sin deformación plástica y provocar una 'fractura frágil'. El riesgo de fractura quebradiza aumenta con el espesor, la tensión de tensión, los elevadores de tensión y a temperaturas más frías.

Modularidad: El módulo de elasticidad del acero estructural es alto, lo que significa que es rígido y vuelve a su forma original después de ser sometido a cargas.

Durabilidad: Con el tratamiento adecuado, el acero estructural puede resistir la corrosión, el desgaste y otros factores ambientales que podrían degradarlo.

Propiedades Térmicas

El acero estructural tiene una alta conductividad térmica y se expande al ser expuesto a altas temperaturas, lo que puede afectar la integridad estructural durante incendios. Sin embargo, técnicas como el revestimiento con materiales aislantes y el uso de aceros resistentes al fuego pueden mitigar estos efectos.

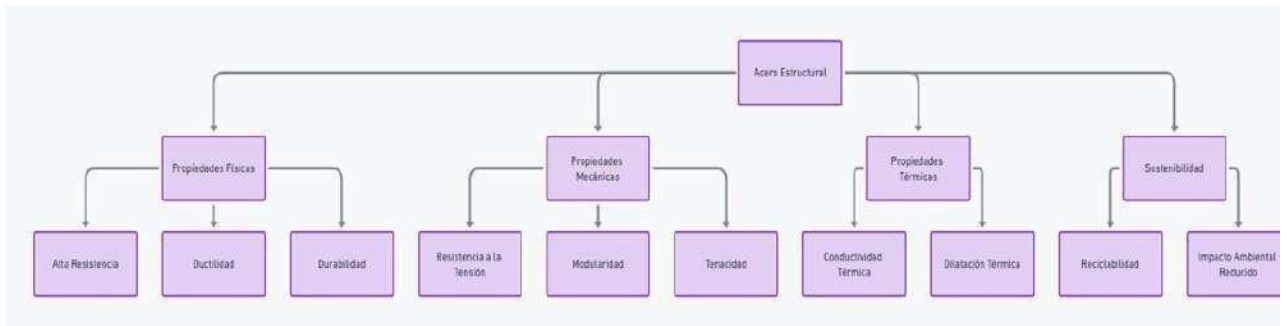
Sostenibilidad

El acero estructural es altamente reciclable, lo que contribuye a su sostenibilidad. La capacidad de reciclar el acero sin perder calidad permite reducir el impacto ambiental asociado con la producción de nuevos materiales.

Aplicaciones

Por sus propiedades, el acero estructural se utiliza en muchas aplicaciones, desde la construcción de edificios altos y puentes hasta la fabricación de vehículos y maquinaria. Su capacidad para soportar cargas pesadas y resistir condiciones ambientales adversas lo hace indispensable en la ingeniería moderna.

Ilustración 8/ propiedades del acero.



Nota: En el siguiente diagrama, se explica las diferentes propiedades mecánicas del Acero. Fuentes: Joseph vera (febrero-2024).

14.2.3 Tipos de acero

Existen varios tipos de acero estructural, cada uno con sus propias propiedades y aplicaciones.

Aquí te proporciono una visión general de los tipos más comunes de acero estructural:

Acero al Carbono: Es el tipo más común de acero estructural, con un porcentaje de carbono que varía entre el 0,05 % y el 0,25 %. Su resistencia depende directamente de la cantidad de carbono presente. Se usa en la construcción de edificios, puentes y otras estructuras por su resistencia y flexibilidad.

Acero de Alta Resistencia y Baja Aleación (HSLA): Este tipo de acero se caracteriza por tener una resistencia mayor que el acero al carbono, pero con una mejor ductilidad y formabilidad. Contiene otros elementos de aleación como manganeso, cromo, níquel, o cobre, que mejoran sus propiedades mecánicas. Se usa en lugares donde se requiere alta resistencia, pero sin el peso adicional del acero tradicional.

Acero para Herramientas: Aunque no es comúnmente asociado con estructuras, el acero para herramientas puede utilizarse en componentes estructurales especiales que requieren alta resistencia al desgaste o a la temperatura. Contiene tungsteno, molibdeno, cobalto y vanadio en diferentes proporciones para mejorar su dureza y resistencia al calor.

Acero Inoxidable: Conocido por su resistencia a la corrosión, el acero inoxidable contiene cromo, níquel y, en algunos casos, molibdeno. Este tipo de acero se utiliza en estructuras expuestas a ambientes corrosivos, como en construcciones costeras o en la industria química.

Acero Estructural de Sección Hueca: Este tipo de acero viene en secciones cuadradas o rectangulares y se usa sobre todo en estructuras ligeras pero resistentes. Su ventaja radica en su alta resistencia en relación con su peso, así como en su capacidad para resistir torsiones.

Acero Laminado en Caliente y en Frío: Estos términos se refieren al proceso de fabricación del acero. El acero laminado en caliente es más maleable y se utiliza para formar placas, vigas y otros componentes estructurales. El acero laminado en frío se utiliza para crear perfiles más finos y precisos, con una mayor resistencia debido al endurecimiento por deformación.

Acero Resistente a la Intemperie: También conocido como acero patinable, desarrolla una capa de óxido que protege la estructura de más corrosión. Es ideal para estructuras al aire libre, como puentes y estatuas, donde se desea una apariencia rústica sin comprometer la integridad estructural.

Cada tipo de acero estructural tiene sus propias normas y especificaciones, las cuales deben ser seguidas para asegurar la seguridad y la eficacia de las estructuras que se construyen con ellos. Es importante que tu tesis aborde las propiedades específicas, aplicaciones, ventajas y limitaciones de cada tipo de acero, así como los estándares de la industria relevantes para su uso y aplicación.

Ilustración 9/ tipos de Acero Estructural.



Nota: diagrama conceptual creado por Joseph Vera, donde se explica los tipos de Acero estructural con sus usos.

14.2.4 Perfiles metálicos

Los perfiles metálicos para acero estructural son elementos fundamentales en la construcción y el diseño de estructuras debido a su resistencia, durabilidad y flexibilidad. Estos perfiles se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde edificios residenciales y comerciales hasta puentes y torres. La selección del perfil adecuado depende de varios factores, incluyendo las cargas a soportar, las condiciones ambientales, el coste y las especificaciones del proyecto. A continuación, te proporciono una visión general de los aspectos más relevantes de los perfiles metálicos para acero estructural:

Tipos de Perfiles Metálicos

Perfiles I (o H): Son los más utilizados en estructuras por su resistencia respecto al peso. Se emplean comúnmente en columnas y vigas.

Perfiles C: Su forma se asemeja a la letra "C", se usan en pórticos y como elementos de soporte.

Perfiles T: Se utilizan en situaciones donde la carga es menor, como en ciertos tipos de vigas y elementos de soporte.

Perfiles L (ángulos): Son perfiles en forma de ángulo recto, utilizados en uniones y como elementos de refuerzo.

Perfiles tubulares: Pueden ser circulares, cuadrados o rectangulares. Son utilizados en estructuras que requieren resistencia a la torsión y en aplicaciones arquitectónicas por su estética.

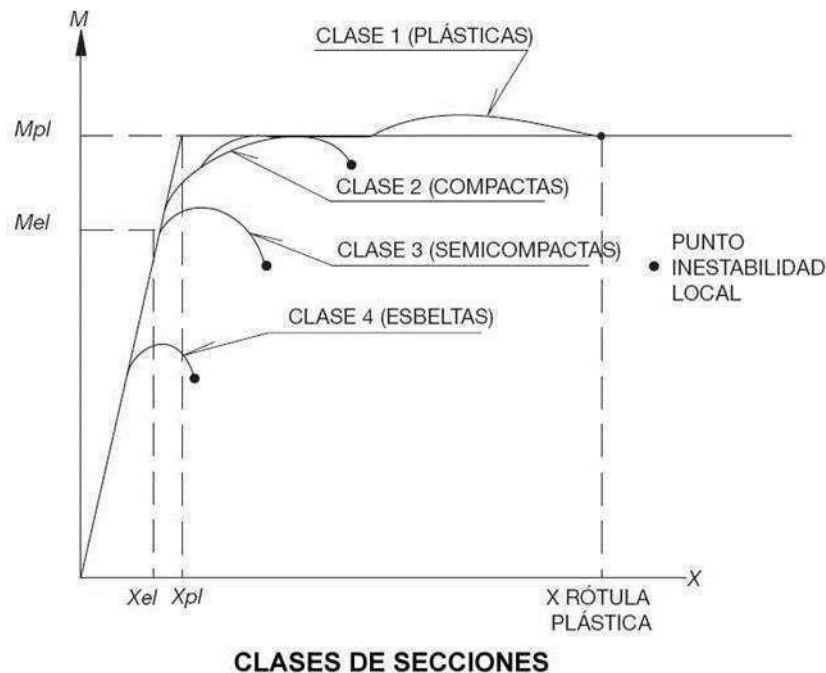
Tipos de perfiles de acero laminado estructural

Una de las restricciones en la tensión operativa del acero radica en la inestabilidad local de sus secciones. Tal inestabilidad no se origina por la máxima capacidad de resistencia del acero, sino que emerge cuando una sección, constituida por elementos de gran esbeltez -placas delgadas con longitudes considerables-, experimenta una inestabilidad local en sus placas debido a la compresión aplicada, antes de alcanzar el límite de su capacidad resistente.

Este fenómeno de compresión en las placas de acero ocurre en perfiles sometidos a flexión -únicamente en las áreas comprimidas- así como en situaciones de compresión directa. Por ende, es imperativo considerar este efecto en ambas circunstancias. La inestabilidad local de

las placas están relacionada con la tensión del acero, evidenciando que, similar a lo que sucede con las deformaciones, no es factible explotar la capacidad resistente del material. En dichos escenarios, optar por un acero de alta resistencia resulta ser ineficiente.

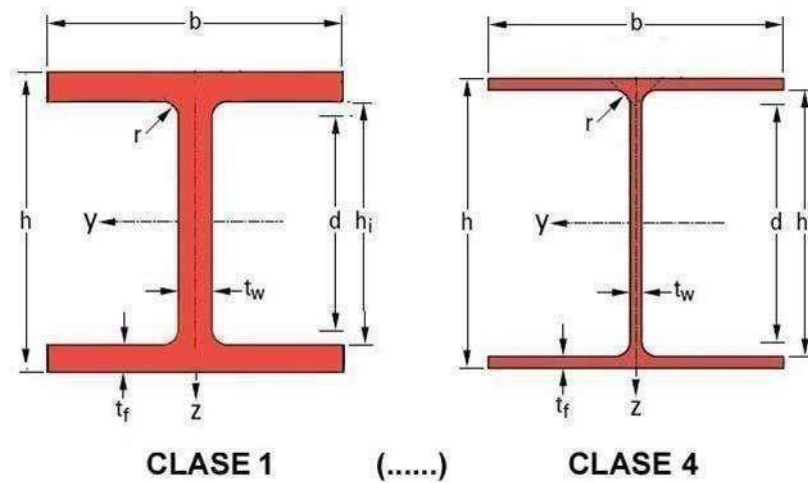
Ilustración 10/ clases de secciones.



Nota: en esta ilustración se muestra un gráfico de las clases de secciones que existen en las estructuras de acero. Fuentes: E-struc (2020).

Para determinar la ocurrencia de esta inestabilidad local, se clasifican las secciones de acero en cuatro categorías, designadas numéricamente del 1 al 4. Las secciones de clase 1 son considerablemente robustas, permitiendo que el material ejerza su plena capacidad resistente y su deformación plástica completa sin incurrir en inestabilidad. Las de clase 4, compuestas por placas extremadamente delgadas, impiden que el material alcance su umbral elástico, por la previa manifestación de inestabilidad local.

Ilustración 11// clases de los perfiles de acero.



Nota: En esta ilustración, se explica las clases de perfiles de acero que se utiliza más comúnmente. Fuentes: E-struc (2020).

Materiales y Propiedades

Acero al carbono: Es el material más comúnmente utilizado por su buena relación resistencia-peso y su soldabilidad.

Acero de alta resistencia: Permite reducir el peso de la estructura manteniendo o mejorando su resistencia.

Tratamientos superficiales: Los perfiles pueden ser galvanizados o recibir otros tratamientos para mejorar su resistencia a la corrosión.

Diseño y Fabricación

Normativas y estándares: El diseño de estructuras de acero se rige por normativas internacionales como las especificaciones AISC (American Institute of Steel Construction) o euro códigos en Europa.

Procesos de fabricación: Incluyen laminado en caliente, laminado en frío y extrusión, cada uno adecuado para diferentes tipos y formas de perfiles.

Uniones: Las uniones pueden realizarse con soldadura, pernos o remaches, dependiendo de las necesidades del proyecto.

Consideraciones de Sostenibilidad

Reciclabilidad: El acero es 100% reciclable, lo que contribuye a la sostenibilidad de las construcciones.

Eficiencia energética: La elección de perfiles adecuados puede contribuir a la eficiencia energética de los edificios mediante la optimización del uso de materiales y la reducción del peso de la estructura.

Aplicaciones

Las aplicaciones de los perfiles metálicos en acero estructural son muy variadas, incluyendo:

Edificación: Oficinas, residencias, centros comerciales.

Infraestructuras: Puentes, estadios, aeropuertos.

Industria: Plantas industriales, almacenes.

Innovaciones Tecnológicas

Desarrollo de nuevos materiales: Aleaciones ligeras y de alta resistencia.

Avances en técnicas de fabricación: Mejoras en la precisión y la eficiencia de los procesos productivos.

Software de diseño: Herramientas avanzadas para el modelado y la simulación de estructuras.

14.2.5 Estructuras metálicas arriostramientos

Las estructuras de acero con arriostramientos constituyen un sistema estructural diseñado para resistir cargas laterales y sísmicas, asegurando la estabilidad y seguridad de las construcciones ante movimientos telúricos y fuerzas horizontales como el viento. Este sistema se basa en la incorporación de elementos de arriostramiento que aumentan la rigidez lateral de la estructura, mejorando significativamente su comportamiento sísmico.

Tipos y Clasificaciones

Las estructuras de acero con arriostramientos se pueden clasificar según diversas características, como su configuración, el tipo de arriostramiento utilizado y la ubicación de estos elementos dentro de la estructura. Los tipos principales incluyen:

Arriostramientos Concéntricos (CB): En estos sistemas, los elementos de arriostramiento se conectan en el centro de las uniones, formando un camino recto para las fuerzas sísmicas. Permiten un diseño más sencillo y son eficaces para edificios de altura media a baja. Pueden ser:

X-Bracing (Cruz de San Andrés): Ofrece alta rigidez y resistencia, pero puede interferir con la ubicación de ventanas y puertas.

V-Bracing y Inverted V-Bracing (Chevron): Mejora el acceso en comparación con el X-Bracing, siendo adecuado para áreas donde se necesitan aperturas.

K-Bracing: Similar al X-Bracing pero con una conexión intermedia, lo que reduce la longitud de pandeo de los miembros.

Arriostramientos Excéntricos (EB): En estos sistemas, los elementos de arriostramiento están conectados a las vigas y columnas en puntos que no coinciden con el centro de rigidez de la unión, creando una excentricidad que proporciona disipación de energía adicional a través de la deformación controlada de los elementos de arriostramiento. Son especialmente útiles en zonas de alta sismicidad.

Arriostramientos de Diafragma: Utilizan placas de acero o paneles estructurales para proporcionar rigidez lateral. Son comunes en construcciones donde se requiere mantener abiertas grandes áreas, como en estacionamientos y auditorios.

Arriostramientos de Marco Rígido: Combina columnas y vigas que son resistentes a momentos, permitiendo la resistencia a cargas laterales sin arriostramientos diagonales.

Consideraciones de Diseño

Material: El acero utilizado en los arriostramientos debe tener propiedades adecuadas para absorber y disipar energía sin fallar durante un sismo.

Conexiones: Las conexiones entre los elementos de arriostramiento y el resto de la estructura deben ser capaces de soportar las fuerzas generadas durante eventos sísmicos.

Configuración: La selección del tipo de arriostramiento depende del uso del edificio, las restricciones arquitectónicas, y los requisitos de desempeño sísmico.

Refuerzo o arriostramientos verticales

En las edificaciones de múltiples niveles con sistemas de arriostramiento, los mecanismos de refuerzo vertical se implementan comúnmente mediante arriostramientos diagonales entre dos secuencias de columnas, como se ilustra en la figura adjunta. Se opta por instalar diagonales sencillas, tal como se exhibe, que requieren calcularse para resistir tensión y compresión, o se prefiere el uso de diagonales entrecruzadas, situación en la que es viable el uso de componentes de arriostramiento más esbeltos diseñados exclusivamente para soportar tensiones.

Al emplear diagonales entrecruzadas y considerar únicamente las diagonales tensionadas para la resistencia, las vigas horizontales contribuyen al sistema de arriostramiento (se conforma una cercha vertical al estilo Pratt, con diagonales sujetas a tensión y montantes -representados por vigas horizontales- sometidos a compresión). En los apartados subsiguientes, se expone orientación sobre la estimación de fuerzas horizontales equivalentes y sobre el análisis de efectos de orden superior. Adicionalmente, se ofrece acceso a una herramienta especializada en el diseño de la estabilidad de marcos estructurales. Las cargas actuantes en los componentes individuales del sistema de arriostramiento deben calcularse considerando las combinaciones de acciones pertinentes.

Para los elementos de arriostramiento, es probable que las cargas de diseño en estados límites últimos (ULS), originadas por la combinación en la que la acción del viento predomina, resulten ser las más críticas.

La tabla subsiguiente brinda una perspectiva de cómo la deflexión máxima varía en función del diseño del sistema de arriostramiento, manteniendo constante la sección transversal de los elementos de arriostramiento.

Tabla 1/eficiencia de arriostramiento

Eficiencia de arriostramiento			
Altura del piso	Ancho de arriostramiento	Ángulo desde horizontal	Relación de deflexión máxima (en comparación con el arriostramiento a 34°)
h	2h	26°	0,9
h	1,5 h	34°	1.0
h	h	45°	1,5
h	0,75 h	53°	2.2
h	0,5 h	63°	4.5

Nota: En la tabla se muestra como es el ancho de arriostramiento en las alturas del piso y su ángulo desde horizontal. Fuentes: MIC S.A.S (2022)

14.2.1 Estructuras metálicas ventajas y desventajas

El acero estructural es un material fundamental en la ingeniería y construcción, ofreciendo una combinación única de durabilidad, flexibilidad y resistencia que lo hace idóneo para una amplia gama de aplicaciones estructurales.

Ventajas del Acero Estructural

Alta Resistencia a Peso: El acero estructural posee una alta relación resistencia-peso, lo que significa que proporciona gran resistencia sin añadir mucho peso a la estructura. Esto es particularmente beneficioso en la construcción de grandes spans y edificios altos, donde la reducción del peso es crítica.

Adaptabilidad y Versatilidad: Se puede moldear y fabricar en una amplia gama de formas y tamaños, lo que permite diseños arquitectónicos complejos y personalizados. Además, las modificaciones en la estructura son más factibles con acero, comparado con otros materiales.

Durabilidad: El acero es resistente a muchos de los factores que afectan negativamente a otros materiales, como la putrefacción, el moho y las termitas. También es resistente a la deformación bajo cargas variadas.

Reciclabilidad: El acero estructural es 100% reciclable sin pérdida de calidad, lo que lo convierte en una opción sostenible. La industria del acero ha mejorado significativamente en eficiencia y sostenibilidad, reciclando acero para producir nuevo material.

Construcción Rápida: El uso de componentes prefabricados permite una construcción más rápida y eficiente, reduciendo los tiempos de proyecto y permitiendo un retorno de inversión más rápido.

Desventajas del Acero Estructural

Corrosión: Una de las principales desventajas del acero es su susceptibilidad a la corrosión cuando no está adecuadamente protegido, lo que puede comprometer la integridad estructural y aumentar los costos de mantenimiento.

Costo: Aunque el precio del acero puede fluctuar, generalmente es más costoso que otros materiales de construcción como el hormigón. El coste inicial de la construcción en acero puede ser más alto debido al material y a la mano de obra especializada requerida.

Conductividad Térmica: El acero tiene una alta conductividad térmica, lo que puede contribuir a una menor eficiencia energética en edificios sin aislamiento adecuado, aumentando los costos de calefacción y refrigeración.

Sensibilidad al Fuego: Aunque el acero es incombustible, su resistencia puede disminuir significativamente a altas temperaturas, requiriendo protección adicional contra incendios para mantener su capacidad de carga en situaciones de incendio.

Fatiga y Fractura Frágil: El acero estructural puede ser susceptible a la fatiga bajo cargas cíclicas repetitivas y a la fractura frágil a bajas temperaturas, lo que requiere consideraciones especiales en el diseño y la selección de materiales en climas fríos o en estructuras sometidas a cargas variables.

Estas características deben ser cuidadosamente consideradas en la fase de diseño de cualquier proyecto de construcción para maximizar las ventajas del acero estructural mientras se mitigan sus desventajas.

Ilustración 12/ diagrama de las ventajas y desventajas del Acero.



Nota: En este diagrama se explica de forma conceptual, las ventajas de desventajas.

14.3 Normas y códigos para el diseño

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) representa un conjunto de regulaciones y directrices técnicas establecidas para guiar la industria de la construcción en Ecuador. Su propósito es asegurar la calidad, seguridad y sostenibilidad de las edificaciones y obras civiles en el país. La NEC abarca una amplia gama de aspectos relacionados con el diseño, materiales, técnicas de construcción y procedimientos de seguridad, entre otros.

Objetivos de la NEC

Establecer estándares de calidad: Definir los requisitos mínimos para materiales, diseño y ejecución de obras, asegurando estructuras seguras y funcionales.

Promover la seguridad: Implementar prácticas de construcción que protejan la vida y bienestar de las personas, así como la integridad de las edificaciones frente a riesgos naturales y antropogénicos.

Fomentar la sostenibilidad: Incentivar el uso de técnicas y materiales que minimicen el impacto ambiental de la construcción y promuevan la eficiencia energética.

Unificar criterios: Establecer un lenguaje técnico común y criterios uniformes para profesionales del sector, facilitando la colaboración y el entendimiento mutuo.

Estructura de la NEC

La Norma Ecuatoriana de la Construcción se organiza en varias secciones o libros, cada uno enfocado en diferentes áreas de la construcción, tales como:

Estructuras (NEC-SE): Normativas relacionadas con el diseño estructural, incluyendo especificaciones para hormigón armado, acero estructural, mampostería, entre otros.

Instalaciones (NEC-IN): Directrices para sistemas eléctricos, sanitarios, de gas, y otros servicios esenciales en edificaciones.

Seguridad contra incendios (NEC-SCI): Requisitos de diseño y equipamiento para la prevención y control de incendios.

Eficiencia energética (NEC-EE): Estándares para mejorar el desempeño energético de las edificaciones, incluyendo aislamiento, iluminación y climatización.

Actualizaciones y Revisión

La NEC se actualiza periódicamente para incorporar avances tecnológicos, cambios normativos y lecciones aprendidas de eventos recientes, como terremotos o inundaciones. Estas actualizaciones son fundamentales para mantener relevante y efectiva la normativa frente a los desafíos emergentes de la industria de la construcción.

Aplicación e Implementación

La adopción y cumplimiento de la NEC es obligatoria para proyectos de construcción en Ecuador. Las autoridades locales de construcción y urbanismo son responsables de verificar el cumplimiento de estas normas en las fases de diseño, construcción y mantenimiento de las edificaciones.

14.3.1 La NEC para los aceros escrutables.

Diseño Estructural

La NEC proporciona directrices para el diseño estructural, incluyendo la selección de materiales, cálculos de carga y resistencia, y el empleo de metodologías de diseño por resistencia o elasticidad. Estos criterios buscan optimizar el uso del acero, garantizando estructuras capaces de soportar cargas previstas y condiciones adversas sin comprometer su estabilidad o funcionalidad.

Materiales y Fabricación

Especifica los tipos de acero permitidos, requisitos de resistencia, ductilidad y otros parámetros esenciales que los materiales deben cumplir. Además, detalla normas para procesos de fabricación, incluyendo soldadura, corte y ensamblaje, asegurando la calidad y precisión en la construcción de componentes estructurales.

Montaje y Control de Calidad

Establece procedimientos para el montaje de estructuras de acero, enfatizando la importancia de un control de calidad riguroso durante todas las etapas de construcción. Incluye inspecciones periódicas y pruebas no destructivas para verificar la conformidad con las especificaciones de diseño y construcción.

Ilustración 13/normativa Ecuatoria para el acero.



Nota: Diagrama esquemático, donde se explica se explica los factores a considera en la NEC con respecto al acero.

14.4 Diseño sismorresistente en las estructuras metálica

El diseño sismorresistente en estructuras metálicas es un enfoque crucial en la ingeniería estructural que busca garantizar la seguridad y estabilidad de las construcciones frente a los sismos. Este tipo de diseño implica la aplicación de principios de ingeniería y normativas específicas que permiten a las estructuras absorber y disipar la energía generada por los movimientos sísmicos, minimizando así el riesgo de colapso o daños significativos.

Principios Clave del Diseño Sismorresistente

Ductilidad: La capacidad de las estructuras de deformarse de manera controlada sin llegar a la fractura es fundamental. Las estructuras metálicas, gracias a su ductilidad inherente, son especialmente adecuadas para el diseño sismorresistente, ya que pueden soportar grandes deformaciones elásticas y plásticas bajo cargas sísmicas.

Disipación de Energía: Mediante el uso de dispositivos y técnicas específicas, como amortiguadores sísmicos y disipadores de energía, las estructuras pueden disipar parte de la energía inducida por el sismo, reduciendo la demanda sobre los elementos estructurales.

Redundancia: La inclusión de múltiples caminos de carga en el diseño estructural asegura que, en caso de falla de un elemento, otros puedan tomar su lugar, manteniendo la estabilidad general de la estructura.

Regularidad: Las estructuras con una distribución regular de masa y rigidez tienen un comportamiento más predecible bajo acción sísmica, lo que facilita su diseño y mejora su comportamiento.

Normativas y Códigos

El diseño sismorresistente se rige por normativas y códigos específicos que establecen criterios mínimos para el análisis sísmico, el diseño y la construcción de estructuras metálicas en zonas sísmicas. Estos códigos, como el ASCE 7 (American Society of Civil Engineers), AISC 341 (American Institute of Steel Construction) o las normativas locales adaptadas a las condiciones sísmicas específicas de cada región, proporcionan las directrices para asegurar prácticas de diseño y construcción seguras.

14.4.1 Componentes y Técnicas de criterios de diseños metálico.

Marcos Momento Resistentes: Son estructuras de acero donde las columnas y las vigas se unen rígidamente para resistir las cargas laterales a través de la flexión de los miembros. Estos marcos están diseñados para tener una ductilidad considerable, permitiendo que la estructura se deforme de manera controlada bajo cargas sísmicas.

Sistemas de Arriostamiento: Los arriostamientos son elementos diagonales que proporcionan resistencia lateral adicional a la estructura. Pueden ser de tensión únicamente o trabajar a tensión y compresión, absorbiendo energía sísmica a través de la deformación axial.

Aisladores Sísmicos: Son dispositivos que se colocan entre la fundación y la superestructura de un edificio, permitiendo que la base se mueva independientemente de la estructura superior. Esto reduce la transferencia de energía sísmica al edificio, disminuyendo las demandas de deformación en los elementos estructurales.

Disipadores de Energía: Son dispositivos diseñados para absorber y disipar la energía sísmica, reduciendo las demandas sobre la estructura principal. Pueden ser de varios tipos, como metálicos, de fricción, o viscoelásticos.

Estrategias de Diseños metálico

Aislamiento Sísmico: Técnica que separa la estructura del movimiento del suelo mediante dispositivos especiales, reduciendo la transferencia de energía sísmica a la estructura.

Disipadores de Energía: Implementación de dispositivos diseñados para absorber y disipar energía sísmica, reduciendo las demandas de deformación en los elementos estructurales principales.

Sistemas de Contrafuertes: Uso de contrafuertes o muros de corte para incrementar la rigidez lateral de la estructura, mejorando su capacidad para resistir fuerzas horizontales.

14.4.2 los fallos que suelen producirse en un inmueble no sismorresistente

Los fallos en inmuebles no sismorresistentes durante un terremoto varían según la magnitud del sismo, el diseño del edificio, los materiales de construcción y la calidad de la mano de obra. La falta de capacidad sismorresistente en un edificio puede llevar a daños estructurales significativos o incluso al colapso total. A continuación, se detallan los tipos de fallos más comunes que pueden ocurrir en inmuebles no diseñados con criterios sismorresistentes.

Fallos en la Fundación

Asentamiento Diferencial: Ocurre cuando diferentes partes de la fundación se asientan a diferentes velocidades, lo que puede provocar grietas y deformaciones en la estructura.

Licuefacción del Suelo: En zonas con suelos saturados, la vibración del terremoto puede causar que el suelo pierda su resistencia, comportándose como un líquido y provocando el hundimiento o inclinación de la estructura.

2. Fallos en Elementos Estructurales

Columnas Cortas: Las columnas que son más cortas debido a cambios en el nivel del suelo o por la presencia de escaleras suelen ser más vulnerables a daños, ya que están sujetas a esfuerzos de corte elevados.

Pandeo de Columnas: La falta de refuerzo adecuado puede llevar al pandeo de columnas bajo cargas sísmicas, comprometiendo la estabilidad vertical del edificio.

Rotura de Vigas: Las vigas pueden fallar por flexión o corte si no están diseñadas para absorber y disipar la energía sísmica.

Conexiones Débiles: Las conexiones inadecuadas entre vigas y columnas pueden fallar, permitiendo que los elementos estructurales se separen durante un sismo.

3. Fallos en Muros y Particiones

Colapso de Muros de Carga: Los muros de carga no reforzados pueden colapsar bajo las fuerzas sísmicas, especialmente si no están conectados adecuadamente con el resto de la estructura.

Falla de Muros de Corte: En edificios sin muros de corte adecuados, la resistencia lateral es insuficiente, lo que puede llevar a un colapso por deslizamiento o volcamiento.

4. Fallos No Estructurales

Daños en Acabados: Grietas en paredes, pisos y techos pueden no comprometer la seguridad estructural, pero indican movimientos diferenciales.

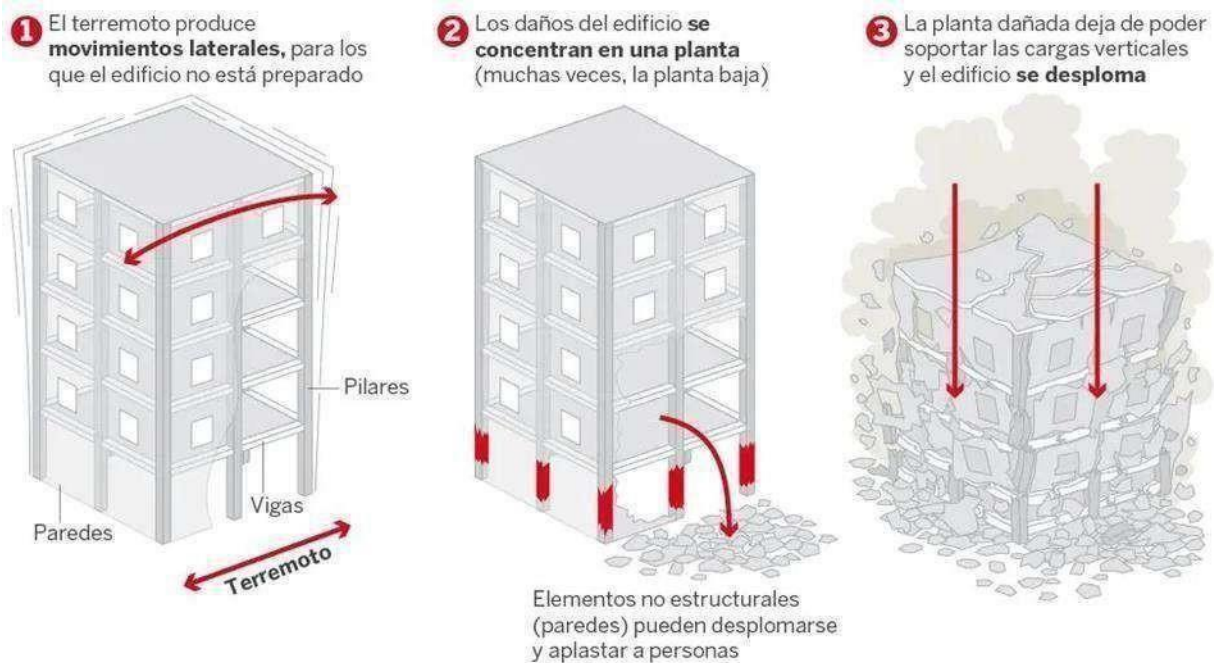
Colapso de Techos Falsos y Elementos Colgantes: Estos elementos pueden caer, representando un riesgo significativo para los ocupantes.

Falla de Instalaciones: Las instalaciones eléctricas, sanitarias y de gas pueden sufrir daños, provocando incendios o fugas.

5. Interacción de Componentes Estructurales y No Estructurales

La interacción negativa entre componentes estructurales y no estructurales puede exacerbar el daño. Por ejemplo, el colapso de un muro no estructural puede obstruir rutas de evacuación o dañar elementos estructurales críticos.

Ilustración 14/ fallos que suelen producirse en un inmueble no sismorresistente.



Nota: ilustración donde se explica los fallos de los edificios con movimiento sismorresistente. Fuentes: Pau Seguí (2018).

14.4.3 Cargas sísmicas.

La carga sísmica se refiere a las fuerzas dinámicas ejercidas sobre una estructura por un sismo o terremoto. Estas fuerzas son producidas por la liberación repentina de energía acumulada en la corteza terrestre, generando ondas sísmicas que se propagan a través del suelo y afectan las edificaciones. La carga sísmica es un componente crítico en el diseño estructural, ya que las

estructuras deben ser capaces de resistir y absorber estas fuerzas para garantizar la seguridad y estabilidad durante un evento sísmico.

Naturaleza de las Cargas Sísmicas

Dinámicas y Transitorias: A diferencia de las cargas estáticas, como el peso propio de la estructura o las cargas vivas, las cargas sísmicas varían en magnitud y dirección a lo largo del tiempo.

Dependientes del Tiempo: Las cargas sísmicas son funciones del tiempo, y su perfil exacto es impredecible, dependiendo de factores como la magnitud del terremoto, la distancia al epicentro, y las características del suelo.

Componentes de las Cargas Sísmicas

Cargas Horizontales: Son las más críticas durante un terremoto, ya que la mayoría de las estructuras están diseñadas para soportar cargas verticales y pueden ser menos capaces de resistir fuerzas horizontales significativas.

Cargas Verticales: Aunque menos críticas que las horizontales, las cargas verticales sísmicas pueden afectar la capacidad de carga de columnas y otros elementos verticales, especialmente en terremotos de alta magnitud.

Cálculo de Cargas Sísmicas

Método Estático Equivalente: Utiliza un espectro de diseño sísmico basado en la historia sísmica local y las propiedades dinámicas de la estructura para estimar las cargas sísmicas máximas esperadas.

Análisis Dinámico: Incluye métodos más sofisticados como el análisis de respuesta espectral y el análisis de historia en tiempo real, que consideran la respuesta de la estructura a registros de movimiento del suelo específicos o genéricos.

Factores que Afectan las Cargas Sísmicas

Propiedades del Suelo: El tipo de suelo puede amplificar o atenuar las ondas sísmicas, afectando la intensidad de las cargas sobre la estructura.

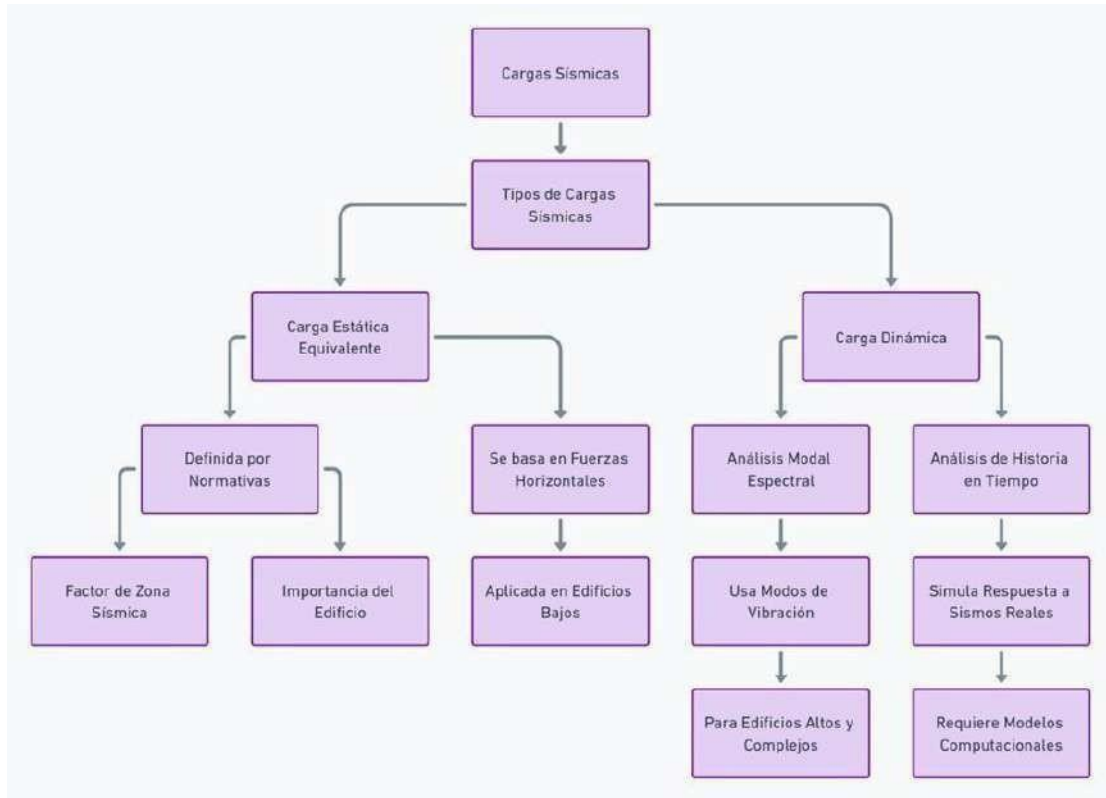
Frecuencia Natural de la Estructura: La resonancia entre la frecuencia de vibración de la estructura y las frecuencias predominantes de las ondas sísmicas puede aumentar significativamente las cargas experimentadas.

Amortiguamiento: La capacidad de la estructura para disipar energía influye en la magnitud de las cargas sísmicas, con mayores niveles de amortiguamiento reduciendo las fuerzas internas generadas.

Importancia en el Diseño Sismorresistente

El correcto entendimiento y modelado de las cargas sísmicas son fundamentales para el diseño de estructuras que puedan resistir terremotos. La normativa de construcción en zonas sísmicas, como el International Building Code (IBC) y normas locales específicas, proporciona directrices para evaluar estas cargas, asegurando que las estructuras sean capaces de soportar movimientos sísmicos sin sufrir daños irreparables o colapsar.

Ilustración 15/diagrama de las cargas sísmicas.



Nota: En este diagrama se explica los tipos de cargas sísmicas que existen.

14.4.4 Combinaciones de diseño por última resistencia (LRFD)

Las Combinaciones de Diseño por Última Resistencia (Load and Resistance Factor Design, LRFD) son un enfoque de diseño estructural que utiliza factores de seguridad variables para garantizar que las estructuras posean una resistencia adecuada frente a diversas cargas y fuerzas durante su vida útil. Este método se basa en principios probabilísticos para abordar la incertidumbre tanto en las cargas aplicadas como en la resistencia de los materiales.

Principios Básicos de LRFD

LRFD combina las cargas actuantes sobre una estructura con factores de carga mayores que la unidad para aumentar la seguridad, y multiplica la resistencia nominal de los materiales por factores de resistencia menores que la unidad. Este enfoque busca equilibrar de manera más efectiva el costo y la seguridad, optimizando el uso de materiales sin comprometer la integridad estructural.

Ecuaciones Fundamentales de LRFD

Ecuación 1/ ecuaciones de LRFD.

$$\Phi R_n > \gamma Q$$

Donde:

Φ = Factor de resistencia (menor que la unidad)

R_n = Resistencia nominal del material o componente estructural

γ = Factor de carga (mayor que la unidad)

Q = Efecto de carga (la demanda o carga actuante sobre la estructura)

La resistencia de diseño (ΦR_n) debe ser mayor que el efecto de carga de diseño (γQ), asegurando un margen de seguridad adecuado.

Factores de Carga y Resistencia

Los factores de carga (γ) varían según el tipo de carga (carga muerta, carga viva, carga de viento, carga sísmica, etc.), reflejando la variabilidad y la incertidumbre en la magnitud de las cargas. Los factores de resistencia (Φ) se aplican a la resistencia nominal y tienen en cuenta la variabilidad en las propiedades de los materiales, las dimensiones de los miembros y las condiciones de ejecución.

Ecuación 2/ factores de carga y resistencia.

$$1.2D + 1.6L + 0.5(Lr + S + R)$$

Donde:

D= Carga muerta

L = Carga viva

Lr = Carga viva en el techo

S = Carga de nieve

R = Carga de lluvia

La combinación asegura que la estructura soporta cargas muertas y vivas a la vez, con un margen de seguridad adecuado.

Aplicación de LRFD

La aplicación de LRFD requiere un análisis detallado de las cargas actuantes sobre la estructura y la resistencia de los materiales utilizados. Los ingenieros deben realizar cálculos precisos para cada componente estructural, asegurando que todos los elementos cumplan con los requisitos de LRFD.

Ventajas de LRFD

Optimización del Material: Permite un uso más eficiente de los materiales, reduciendo el costo sin comprometer la seguridad.

Base Probabilística: Ofrece un enfoque más racional y científico para el diseño estructural, basado en la probabilidad de ocurrencia de cargas y fallos.

Desafíos de LRFD

Complejidad de Cálculo: Requiere un análisis detallado y puede ser más complejo que otros métodos de diseño.

Requiere Conocimiento Especializado: Los diseñadores deben estar familiarizados con las normativas específicas y los principios probabilísticos detrás de LRFD.

Análisis Sísmico Estático

La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, propone un capítulo dedicado al diseño del sismo resistente, donde está el método DBF (Diseño Basado en Fuerzas) (diseño basado en fuerzas), que constituye un análisis sísmico obligatorio en estructuras.

El análisis sísmico estático, también conocido como método de fuerza estática equivalente, es una técnica simplificada utilizada en ingeniería estructural para evaluar la respuesta de edificaciones y estructuras ante cargas sísmicas. Este método se adopta por su simplicidad y eficacia para estructuras de complejidad y altura moderadas.

Fundamentos del Análisis Sísmico Estático

El análisis sísmico estático se basa en la aplicación de fuerzas horizontales estáticas o equivalentes en la estructura para simular el efecto de las cargas sísmicas. Este método presupone que se puede estimar la respuesta máxima de una estructura a un movimiento sísmico mediante un conjunto de fuerzas estáticas distribuidas.

Procedimiento

Determinación de la Fuerza Sísmica Base: Se calcula una fuerza sísmica total que actúa en la base de la estructura, generalmente utilizando factores de zona sísmica, importancia de la estructura, y tipo de suelo. Esta fuerza se basa en la masa de la estructura y en coeficientes sísmicos que reflejan la intensidad esperada del movimiento del suelo.

Distribución de Fuerzas: La fuerza sísmica base se distribuye a lo largo de la altura de la estructura. La distribución típicamente asume que las fuerzas aumentan con la altura, reflejando el modo fundamental de vibración de la estructura.

Cálculo de Desplazamientos y Fuerzas: Se calculan los desplazamientos y las fuerzas internas (momentos, cortantes, etc.) en los miembros estructurales bajo las fuerzas distribuidas.

Ecuaciones Clave

Cálculo de la Fuerza Sísmica Base (F_{base})

La fuerza sísmica base se calcula como:

Ecuación 3/ fuerza sísmica base.

$$F_{base} = C_s \cdot W$$

Donde:

C_s es el coeficiente sísmico, que depende de la aceleración espectral de diseño y de factores de importancia y respuesta de la estructura.

W es el peso total de la estructura.

Coeficiente Sísmico (C_s)

El coeficiente sísmico puede calcularse como:

Ecuación 4/ coeficiente sísmico

$$C_s = \frac{ZIC}{r} * S_a$$

Donde:

Z es la zona sísmica (factor de zona).

I es el factor de importancia.

C es el factor de ocupación.

R es el coeficiente de reducción de respuesta, relacionado con la ductilidad y el tipo de sistema estructural.

Sa es la aceleración espectral de diseño.

Distribución de Fuerzas Sísmicas

Las fuerzas sísmicas base se distribuyen a lo largo de la altura de la estructura según:

Ecuación 5/ distribución de fuerza sísmicas

$$F_i = F_{base} \cdot h_i^x / \sum (h_i^x \cdot W_i)$$

Donde:

F_i es la fuerza sísmica en el nivel i .

h_i es la altura desde la base al nivel i .

W_i es el peso en el nivel i .

x es un exponente que refleja el modo de vibración de la estructura, típicamente tomado como 1 o 2.

Cálculo de Momentos

Los momentos en la base debido a las fuerzas sísmicas se calculan sumando los momentos de las fuerzas individuales en cada piso:

Ecuación 6/ Cálculo de momentos.

$$M_{base} = \sum (F_i \cdot h_i)$$

Cálculo del Desplazamiento Sísmico (Δ):

El desplazamiento en cada nivel se puede estimar utilizando la rigidez de los elementos estructurales y las fuerzas aplicadas.

Ecuación 7/ cálculo del desplazamiento Sísmico.

$$\Delta = Fi/Kef$$

Donde:

Δ = Desplazamiento lateral en el nivel i.

Kef = Rigidez efectiva de la estructura en el nivel i.

Aplicabilidad

El análisis sísmico estático es más adecuado para estructuras regulares en altura y planta, donde se espera que el comportamiento sísmico sea dominado por el primer modo de vibración. Las normativas de diseño sísmico, como el International Building Code (IBC) y las normas locales en países con actividad sísmica, proporcionan criterios específicos para determinar si una estructura puede ser analizada mediante este método.

Limitaciones

Estructuras Irregulares: No es adecuado para estructuras con irregularidades significativas en planta o elevación, ya que estas pueden tener modos de vibración superiores importantes que no se capturan bien con este método.

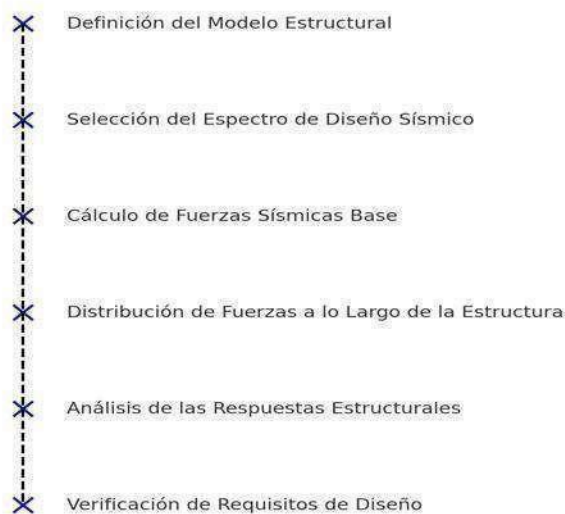
Efectos Dinámicos: No considera explícitamente los efectos dinámicos del sismo, como la resonancia entre la frecuencia de vibración de la estructura y la del movimiento del suelo.

Comparación con Análisis Dinámico

A diferencia del análisis sísmico estático, el análisis dinámico, ya sea modal espectral o de historia en tiempo, considera la respuesta de la estructura a lo largo del tiempo, proporcionando una evaluación más detallada y precisa de la respuesta sísmica, especialmente para estructuras complejas o irregulares.

Ilustración 16/ Trabajo del Análisis sísmico.

Flujo de Trabajo del Análisis Sísmico Estático



Nota: Esquema explicativo del flujo de análisis sísmico estático.

14.4.5 Elementos sometidos a flexión de Acero estructural.

Según las disposiciones del ANSI/AISC 360, las secciones de acero se clasifican en compactas, no compactas y esbeltas. Los miembros de acero con secciones compactas pueden desarrollar su resistencia total sin fenómenos de inestabilidad local, por tanto, no es necesario revisar el estado límite de pandeo local.

Los elementos sometidos a flexión en estructuras de acero son miembros estructurales que experimentan deformaciones debido a momentos flectores aplicados, lo que genera esfuerzos de tracción y compresión a lo largo de su sección transversal. Esta condición es típica en vigas y losas que soportan cargas transversales, como el peso de los pisos, ocupantes, mobiliario y cargas de viento o nieve. A continuación, se describe detalladamente el análisis y diseño de elementos sometidos a flexión en estructuras de acero.

Principios de la Flexión en Acero Estructural

Comportamiento Básico:

Bajo la acción de momentos flectores, una sección de la viga se deforma, presentando elongación en las fibras inferiores y acortamiento en las superiores, con una fibra neutra en medio donde no hay cambio de longitud.

Esfuerzos en la Sección:

Los esfuerzos de tracción y compresión resultantes se distribuyen de manera lineal a través de la sección transversal, alcanzando su máximo en las fibras más alejadas de la fibra neutra.

Ecuaciones Fundamentales para el Diseño

Ecuación de la Flexión:

Ecuación 8/Ecuación de la flexión.

$$M = \sigma \times Z$$

Donde:

M es el momento flector aplicado.

σ es el esfuerzo de flexión (tracción o compresión) en la fibra más alejada de la fibra neutra.

Z es el módulo de sección, que depende de la geometría de la sección transversal y se calcula como I/c , donde I es el momento de inercia de la sección y c es la distancia desde el centroide de la sección hasta la fibra más alejada.

Momento de Inercia (I):

El momento de inercia de una sección transversal respecto a un eje es una medida de su resistencia a la flexión y se calcula como:

Ecuación 9/Momento de inercia I

$$I = \int y^2 dA$$

Donde d^*A es un elemento diferencial de área de la sección transversal y y^2 es la distancia desde el eje neutro hasta d^*A .

Módulo de Sección(S):

El módulo de sección es una medida de la eficiencia de una sección transversal en resistir la flexión y se define como:

Ecuación 10/ Módulo de sección.

$$S = c * I$$

Donde:

c = Distancia desde eje neutro hasta el punto más alejado de la sección transversal.

Ecuación de la Deflexión:

La deflexión (δ) de una viga bajo carga transversal se puede estimar utilizando la teoría de la flexión. Para una viga simplemente apoyada con una carga puntual en el centro, la deflexión máxima es:

Ecuación 11/ Ecuación de la deflexión.

$$\delta * max = F \cdot L^3 / 48 \cdot E \cdot I$$

Donde:

F = Magnitud de la carga puntual.

L = Longitud de la viga.

E = Módulo de elasticidad del material.

I = Momento de inercia de la sección transversal.

Diseño de Elementos Sometidos a Flexión

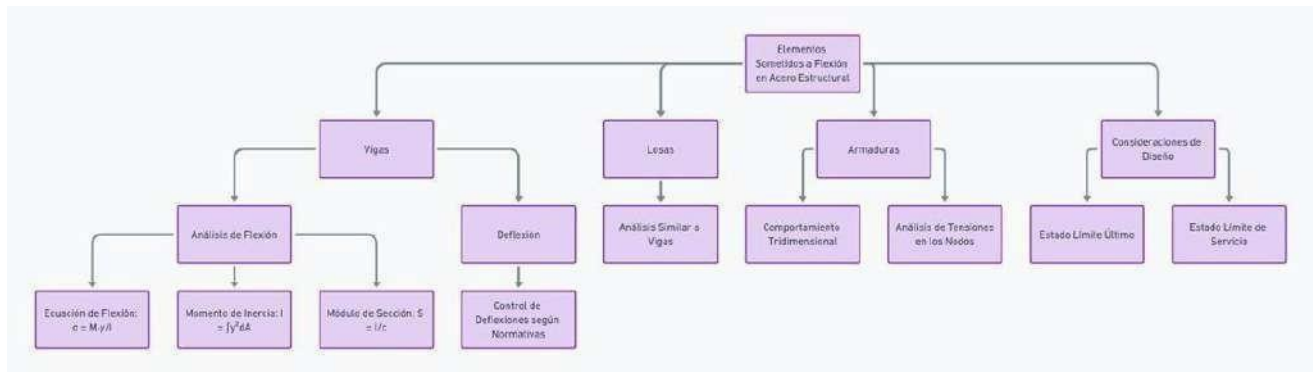
El diseño de elementos sometidos a flexión en el acero estructural implica asegurar que los esfuerzos de flexión no superen la resistencia a la flexión de la sección transversal y que las deflexiones estén dentro de los límites aceptables para el uso previsto de la estructura. Las normativas de diseño, como las especificaciones del AISC para estructuras de acero, proporcionan criterios detallados y factores de diseño para este propósito.

Consideraciones en el Diseño

Estado Límite Último: Se debe verificar que la viga tenga suficiente resistencia a la flexión bajo las combinaciones de carga más críticas.

Estado Límite de Servicio: Se deben controlar las deflexiones para asegurar el confort y la funcionalidad de la estructura.

Ilustración 17/ elementos sometidos a flexión.



Nota: En este diagrama se explica los factores por el cual los elementos de Acero estructurales son sometidos a flexión.

14.4.6 Uniones

Las uniones en estructuras de acero son componentes críticos que conectan diferentes elementos estructurales, como vigas, columnas y placas de conexión, transfiriendo cargas entre ellos y asegurando la integridad global del sistema estructural. Estas uniones pueden ser clasificadas según su método de conexión (soldadura, pernos, o remaches, aunque estos últimos son menos comunes en la construcción moderna) y su comportamiento (rígidas, semirrígidas o articuladas). A continuación, se proporciona una descripción detallada de las uniones en estructuras de acero.

Tipos de Uniones

Soldadas: Utilizan el proceso de fusión del acero para unir elementos estructurales. Son comúnmente utilizadas por su capacidad para formar conexiones continuas y por su eficiencia en la transferencia de momentos y fuerzas.

Atornilladas: Utilizan pernos para conectar elementos estructurales. Pueden ser diseñadas para comportarse como uniones deslizantes (articuladas) o pretensadas (rígidas o semirrígidas).

Diseño y Cálculo de Uniones

Uniones Soldadas

- Ecuación de Diseño para Soldadura de Filete:
Ecuación 12/ Ecuación de Diseño para soldadura.

$$P = L \times t \times fw$$

Donde:

P es la carga permitida en la soldadura.

L es la longitud efectiva de la soldadura.

t es el tamaño (garganta) de la soldadura.

f_w es el esfuerzo permisible de diseño para el material de soldadura.

Resistencia de Diseño de una Soldadura Completa Penetrante:

Se calcula en función del área de la sección transversal de la soldadura y el esfuerzo permisible del material, similar al cálculo de la resistencia de los miembros en tensión.

Uniones Atornilladas

Fuerza de Diseño para Pernos:

Ecuación 13/ fuerza de diseño para pernos

$$P_n = n \times F_v$$

Donde:

P_n es la carga nominal en los pernos.

n es el número de pernos en la unión.

F_v es la fuerza de corte permisible por perno.

Pernos Pretensados:

Para pernos pretensados, se considera la fuerza de pretensado y el coeficiente de fricción para calcular la capacidad de deslizamiento.

Consideraciones Importantes

Verificación de la Resistencia: Las uniones deben ser verificadas tanto para la resistencia a la tensión/corte directo como para la resistencia a la flexión, asegurando que puedan soportar las cargas aplicadas sin fallar.

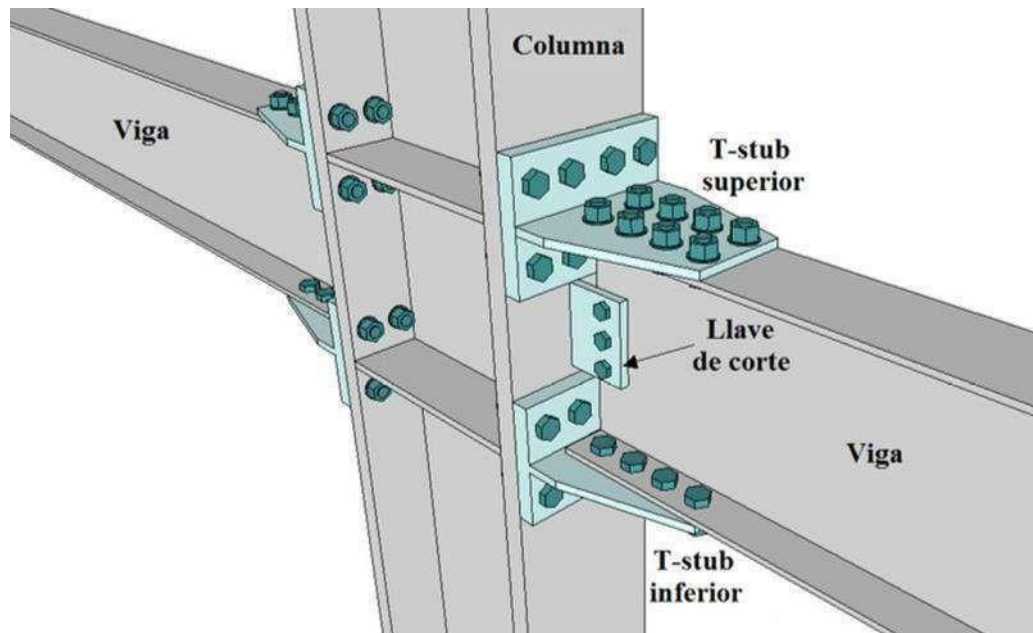
Deformación de las Uniones: En el análisis estructural, es crucial considerar la rigidez de las uniones, ya que afecta la distribución de momentos y fuerzas en la estructura.

Normativas y Códigos: El diseño y cálculo de uniones en estructuras de acero deben seguir las normativas locales e internacionales, como el Euro código 3 (EN 1993) para Europa o el AISC para Estados Unidos, que proporcionan directrices detalladas para el diseño seguro de uniones.

Aplicación en la Tesis

Las uniones en estructuras de acero pueden explorar áreas como el desarrollo de nuevos métodos de conexión más eficientes o económicos, la evaluación del comportamiento de las uniones bajo cargas cíclicas o sísmicas, y la optimización de diseños de uniones para mejorar la resistencia, ductilidad y la capacidad de disipación de energía. Estudiar el impacto de las innovaciones en materiales de soldadura o técnicas de pretensado en pernos también puede ofrecer valiosos insights para el avance de la ingeniería estructural en acero.

Ilustración 18/ uniones con pernos en columnas y vigas.



Nota: En esta ilustración, se muestra como son las uniones con pernos con la vigas y columnas.

14.5 Robot structural.

Robot Structural Analysis Professional es un software avanzado de análisis y diseño estructural desarrollado por Autodesk. Este programa proporciona ingenieros y diseñadores con herramientas sofisticadas para modelar estructuras, simular el comportamiento de los materiales y las respuestas estructurales bajo diversas cargas, incluyendo cargas estáticas, dinámicas, de viento, y sísmicas. Robot Structural Analysis está diseñado para ser utilizado en una amplia gama de estructuras, desde simples vigas hasta complejos rascacielos y puentes, ofreciendo una plataforma integral para el análisis estructural en acero, concreto, madera, y otros materiales.

Características Principales

Análisis Multilateral: Soporta el diseño y análisis de estructuras compuestas por diferentes materiales, permitiendo una integración fluida en proyectos multidisciplinarios.

Análisis Dinámico y Sísmico: Proporciona herramientas para realizar análisis sísmicos y dinámicos, incluyendo el método de espectro de respuesta y análisis de historia en tiempo real, esenciales para evaluar el comportamiento de las estructuras bajo cargas sísmicas y vibraciones.

Modelado de Elementos Finitos: Utiliza un enfoque basado en elementos finitos para modelar y analizar la complejidad de las estructuras, ofreciendo una visualización detallada de las distribuciones de esfuerzos y deformaciones.

Integración BIM (Building Information Modeling): Robot Structural Analysis se integra con otras aplicaciones de Autodesk, como AutoCAD y Revit, facilitando el flujo de trabajo BIM y permitiendo una colaboración eficiente entre diferentes disciplinas del diseño y la construcción.

Personalización y Extensibilidad: Permite a los usuarios crear rutinas personalizadas y utilizar la API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) para automatizar tareas repetitivas y desarrollar funcionalidades específicas.

Aplicaciones en Diseño Estructural

Optimización de Diseños: Robot Structural Analysis ayuda a optimizar el uso de materiales y a identificar la configuración estructural más eficiente, reduciendo los costos y mejorando el rendimiento estructural.

Simulación de Cargas Ambientales: Permite simular el impacto de cargas ambientales, como el viento y la nieve, en la estructura, asegurando que el diseño cumpla con los requisitos de seguridad y desempeño.

Análisis de Seguridad y Factibilidad: Facilita la evaluación de la seguridad estructural y la factibilidad de diseños complejos, proporcionando una comprensión detallada de las respuestas estructurales antes de la construcción.

Ecuaciones y Análisis en Robot Structural

Aunque Robot Structural Analysis Professional automatiza el cálculo de esfuerzos, deformaciones y verificaciones de diseño, los principios subyacentes incluyen:

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

Donde:

[K] es la matriz de rigidez global de la estructura.

{u} es el vector de desplazamientos nodales.

{F} es el vector de fuerzas externas.

Ecuaciones de Diseño para Elementos de Acero:

Verificación de esfuerzos admisibles:

$$\sigma_{actual} \leq \sigma_{admisible} / \gamma_m$$

Donde:

σ^* actual es el esfuerzo debido a la carga aplicada.

σ^* admisible es el esfuerzo admisible del material.

γ_m es el factor de seguridad material.

Cálculo de la capacidad a flexión de una viga de acero:

$$M_n = F_y \cdot Z$$

Donde:

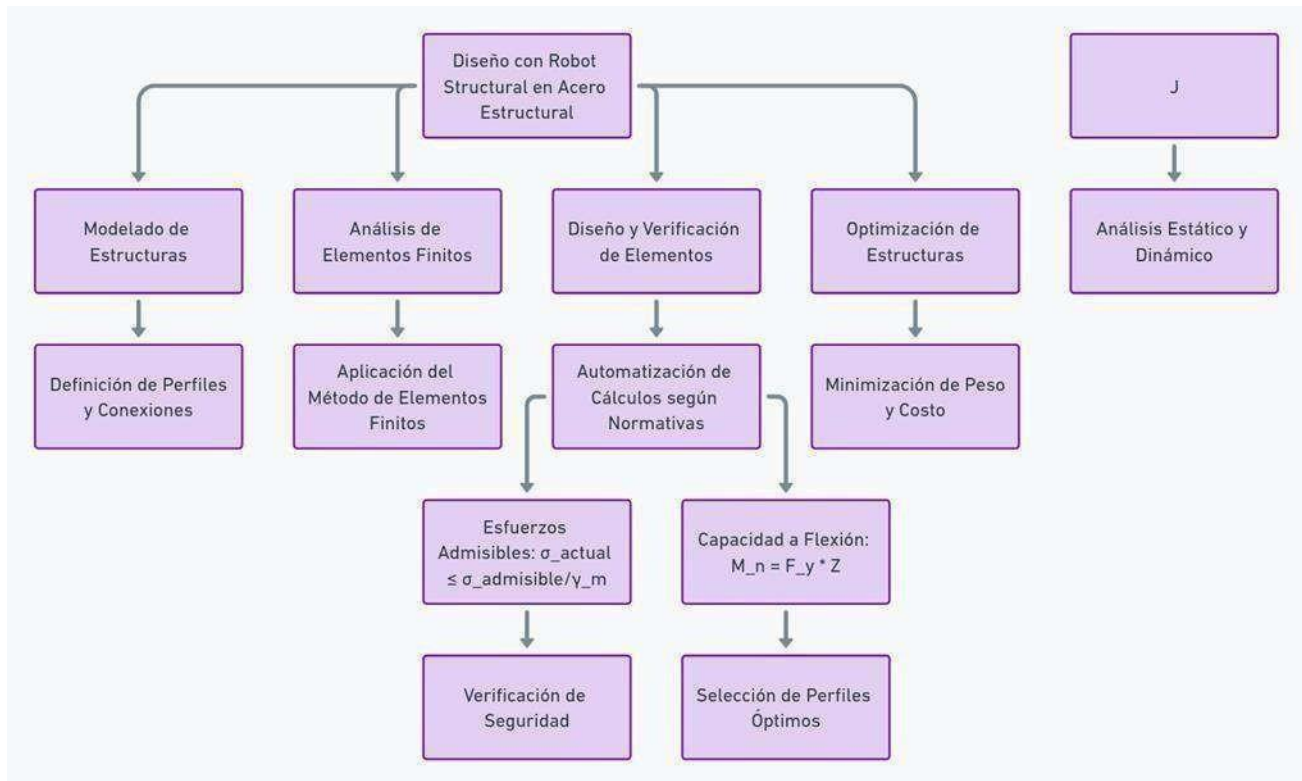
M_n es el momento nominal.

F_y es el límite elástico del material.

Z es el módulo plástico de la sección transversal.

En el acero estructural podría explorar temas como la comparación de métodos de análisis estructural manual versus análisis automatizado, la eficacia del software en el diseño óptimo de estructuras de acero bajo cargas específicas, o el impacto de diferentes normativas de diseño en la selección de perfiles de acero. También podría incluir estudios si demuestran la aplicación práctica del software en proyectos de ingeniería estructural complejos, evaluando la precisión, eficiencia y ahorro de costos logrados usando esta herramienta avanzada.

Ilustración 19/ diseño con Robot Structural en Acero.



Nota: ilustración sobre los diseños que garantiza el programa Robot Structural en Acero.

15. Metodologías.

La metodología de diseño sismorresistente para estructuras de acero en edificios busca asegurar que estos sean capaces de soportar las fuerzas sísmicas esperadas durante la vida útil del edificio, minimizando el riesgo de daño significativo o colapso durante un terremoto.

15.1 Definiciones de las cargas

La definición de cargas en el diseño estructural de acero es un paso fundamental para asegurar la seguridad, funcionalidad y eficiencia de cualquier estructura. La metodología para definir estas cargas implica la identificación, cuantificación y aplicación de todas las fuerzas externas e internas que la estructura debe soportar durante su vida útil.

1. Identificación de Tipos de Carga

Cargas Muertas (G): Incluyen el peso propio de la estructura y elementos fijos permanentemente. Se calculan a partir de los pesos unitarios de los materiales y las dimensiones de los componentes estructurales.

Cargas Vivas (Q): Son cargas móviles o variables como personas, mobiliario, vehículos, y nieve, entre otros. Se determinan según las normativas aplicables y el uso previsto de la estructura.

Cargas Ambientales: Incluyen cargas de viento (W) y sismo (E), que dependen de la ubicación geográfica, la altura y forma del edificio, y las características del suelo.

Otras Cargas: Cargas de duración limitada como las cargas de construcción, impacto, y cargas especiales como las térmicas o de asentamiento

En este proyecto de titulación se utiliza las cargas vivas, cargas muertas, y cargas ambientales (cargas sísmicas), de las cuales se realizó los cálculos con tablas sacadas de la NEC-SC-CG, para las cargas vivas, y las NEC-SE-DS para los cálculos de las cargas sísmica, cálculo del cortante basal.

15.1.1 Cálculos de cargas verticales

Tabla 2/ cargas verticales.

DETERMINACION DE CARGA VERTICAL -LOSAMACIZA 7CM								
CARGAMUERTAS:								
ESPESOR DE LOSA:		0.07 m		losa maciza				
	Unidad	Largo	Ancho	Alto	Numero	Peso especifico	TOTAL	
LOSA		1.00	1.00	0.07	0.07	2.40	0.17	
REVESTIMIENTO INFERIOR	TON/m2	1.00	1.00	0.02	0.02	2.20	0.03	
REVESTIMIENTO SUPERIOR	TON/m2	1.00	1.00	0.02	0.02	2.20	0.03	
ACABADO	TON/m2	1.00	1.00	0.02	0.02	2.20	0.03	
CIELO RASO	TON/m2	1.00	1.00	0.02	0.02	1.00	0.03	
LOSA STEEL PANEL	TON/m2	1.00	0.13	0.05	0.01	2.40	0.03	
SUB. TOTAL							0.30	
INCIDENCIA VIGAS Y COLUMNAS	TON/m2						0.31	
VARIOS- PAREDES	TON/m2	0.59	0.18	3.00	0.32	0.22	0.07	
TOTAL							0.64	

CARGAS VIVAS:			
ALMACENES			0.4
LOSA INACCESIBLE			0.0
TOTAL			0.5

Tabla 3/ cargas verticales cubierta.

DETERMINACION DE CARGA VERTICAL CUBIERTA -LOSAMACIZA 7CM								
CARGA MUERTAS:								
ESPESOR DE LOSA:		0.07 m		losa maciza				
	Unidad	Largo	Ancho	Alto	Numero	Peso especifico	TOTAL	
LOSA	TON/m2	1.00	1.00	0.07	0.07	2.40	0.17	
REVESTIMIENTO INFERIOR	TON/m2	1.00	1.00	0.02	0.02	2.20	0.03	
REVESTIMIENTO SUPERIOR	TON/m2	1.00	1.00	0.02	0.02	2.20	0.03	
ACABADO	TON/m2	1.00	1.00	0.02	0.02	-	-	
CIELO RASO	TON/m2	1.00	1.00	0.02	0.02	1.00	0.03	
LOSA STEEL PANEL	TON/m2	1.00	0.13	0.05	0.01	2.40	0.03	
SUB. TOTAL							0.26	
INCIDENCIA VIGAS Y COLUMNAS	TON/m2						0.31	
VARIOS- PAREDES	TON/m2	0.59	0.18	3.00	0.32	-	-	
TOTAL	TON/m2						0.57	

CARGAS VIVAS:			
ALMACENES			0.4
LOSA INACCESIBLE			0.0
TOTAL			0.5

Para el cálculo de las cargas verticales en losa se utilizó los siguientes criterios:

La carga viva que se utiliza es para almacenes ya que estaba diseñado un centro comercial, que ha su vez tiene cubiertas (losa en la cubierta) que esto representa en la normativa “*Cubiertas planas, inclinadas*”, que en los cálculos se la denomina losa inaccesible, también este diseño estructural cuenta con secciones en voladizo.

Para esto datos se utilizó la tabla de NEC-SC-CG “4.2 Cargas vivas: sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas”

Tabla 4/ Cargas vivas según la NEC

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Almacenes		
Venta al por menor		
Primer piso	4.80	4.50
Pisos superiores	3.60	4.50
Venta al por mayor. Todos los pisos	6.00	4.50
Armerías y salas de instrucción militar	7.20	
Áreas de reunión y teatros		
Asientos fijos	2.90	
Áreas de recepción	4.80	
Asientos móviles	4.80	
Plataformas de reunión	4.80	
Escenarios	7.20	
Áreas de almacenamiento sobre techos	1.00	

Nota: En la tabla se resalta Almacenes y su valor que nos corresponde. Fuentes: NEC-SC-CG (DICIEMBRE 22014).

Tabla 5/Cargas vivas según NEC

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Cubiertas		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		
Toldos y carpas	i	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0.24 (no reduc.)	
Todas las demás	1.00	
Elementos principales expuestos a áreas de trabajo		8.90
Carga puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubiertas sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular		1.40
Todos los otros usos		1.40
Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores		

Nota: En la tabla se resalta Cubierta planas y su valor que nos corresponde. Fuentes: NEC-SC-CG (DICIEMBRE 2014).

En el cálculo de las cargas muerta se realizó el cálculo donde se estima el peso propio de la losa con el largo, ancho y alto escogiendo un ancho distributivo de $1.00m \times 1.00m$ y el espesor de $0.07m$, en conjunto con la losa STEEL PANEL que es la otra estructura que compone la losa completa, y así mismo este se tomó un ancho distributivo de $1.00m \times 0.013m$ y de alto $0.05m$, donde estas mediciones se multiplicara con el peso específico del hormigón de $2.40 T/m^3$ a continuación, se mostrar unas características del STELL PANEL

Ilustración 20/ Características del Steel Panel.

Características técnicas:

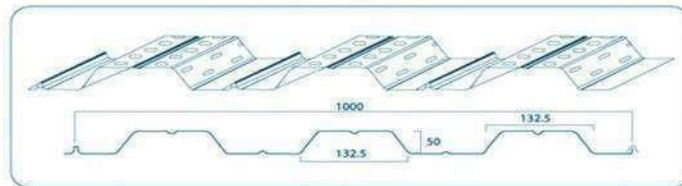
Losa Dipac se fabrica en acero galvanizado según la norma ASTM-653 en calidad estructural Grado 37.

Características generales:

Losa Dipac forma parte de un sistema cuyos componentes son:
 -Lámina Galvanizada trapezoidal con resaltes:
 $F_y=2600 \text{ kg/cm}^2$
 -Hormigón: $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$
 -Malla electrosoldada: refuerzo por temperatura
 -Como complemento se puede utilizar conectores de cortante para lograr el efecto de viga compuesta o para aumentar la capacidad propia de la losa colaborante.



Geometría:



También se consideró sobre cargas para las losas como mamposterías, acabados, revestimientos, cielos rasos con sus anchos distributivos multiplicado con los pesos específico

Esto son los resultados que se lo calculo en Excel y la unidad son TON/m²

Tabla 6/ resumen de las cargas verticales.

	UNIDAD	LOSA MACIZA	LOSA CUEBIERTA
C. VIVAS	TON/m ²	0.56	0.56
C.MUERTAS	TON/m ²	0.68	0.57

15.2 Prediseño de las estructuras metálica

Para determinar el cortante basal, es indispensable calcular previamente la carga sísmica reactiva. Este proceso implica temporalmente apartarse del análisis directo del cortante basal

para obtener las cargas requeridas. Para este fin, se llevará a cabo un prediseño de la estructura que garantice el cumplimiento de las normativas vigentes, abarcando los cálculos de flexión, cortante, torsión, y demás fuerzas actuantes. Este prediseño incluirá la configuración de vigas, columnas, losas, conexiones y otros componentes estructurales críticos.

Además, se utilizará el software avanzado de modelado estructural Robot para la simulación y análisis detallado, lo que facilitará la obtención de resultados precisos que reflejen las demandas reales sobre la estructura. Este enfoque integrado asegura que el diseño no solo cumpla con las exigencias normativas, sino que también respete los principios de optimización de diseño, resultando en una estructura segura, funcional y eficiente desde el punto de vista de la ingeniería sísmica.

15.3 Cálculo de prediseño de la viga.

En la fase preliminar del diseño estructural de la viga, se adoptan criterios fundamentados en la evaluación del momento flector en relación con la longitud de la viga y la masa inherente al perfil seleccionado. Se anticipa la utilización de una viga con apoyos simples fijos. La determinación de la carga que la estructura soporta la formación debido al momento flector se fundamentará en la amplificación de cargas, proceso que se elaborará con antelación. Posteriormente, se procederá a la verificación del cumplimiento de la sección modular S_x del perfil de la viga, conforme a las especificaciones contenidas en la tabla de perfiles de la normativa ASIC 15, que representa un estándar internacional en la ingeniería de materiales, específicamente para aceros de la categoría A527. A través de esta evaluación, se identificará un perfil óptimo que satisfaga de manera eficaz las exigencias estructurales establecidas, garantizando así la integridad y seguridad de la obra.

Tabla 7/ prediseño de las vigas.

PRE-DISEÑO POR MODULO DE SECCION		
VIGA		
C.MAYORADA	1.71	T/m
LONGITUD	1,737.44	kgf/m
PRE. MOMENTO	7818.48	m
	781848	kgf-m
Fy	344	kgf-cm
Sx	251.94895	Acero A52 // kgf/cm ²
PERFIL	W 36*210	cm ³
		ASIC 15.0

Primero se allá la mayoración de carga el cual es una ecuación relacionada con una tabla que se la determina de la norma NEC-SE-CG, que no es nada más que la sumatoria de la carga vivas y muertas multiplica con factores, la combinación que se utilizara.

En circunstancias pertinentes, es imperativo realizar una indagación exhaustiva de cada estado límite de resistencia, evaluando su capacidad para soportar las demandas impuestas. Se reconoce que los impactos más adversos derivados de fenómenos meteorológicos extremos y movimientos sísmicos no requieren una consideración concurrente dentro del análisis estructural.

Ilustración 21/ combinación de cargas.

1.4 D
<u>Combinación 2</u>
1.2 D + 1.6 L + 0.5max[L_r ; S ; R]
<u>Combinación 3*</u>
1.2 D + 1.6 max[L_r ; S ; R] + max[L ; 0.5W]
<u>Combinación 4*</u>
1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L_r ; S ; R]
<u>Combinación 5*</u>
1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S
<u>Combinación 6</u>
0.9 D + 1.0 W
<u>Combinación 7</u>
0.9 D + 1.0 E

Nota: Esta ilustración se muestra la distinta combinación de carga que se puede utilizar en base a la normativa. Fuentes: NEC-SE-CG. (DICIEMBRE 2014).

Ecuación 14/ mayoraciones de cargas

$$1.2 (0.68) + 1.6(0.56)$$

$$1.71 \text{ TON/m}$$

$$1737.44 \text{ kgf/m}$$

Se toma la luz entre ejes del plano arquitectónico en este proyecto es de 6 metros de longitud.

El término "El momento mayor" se refiere al valor máximo de momento flector que una estructura, como una viga o un pilar, puede experimentar bajo una combinación específica de cargas, se determina mediante la fórmula del momento máximo esto con el propósito que sabes las deflexiones de la viga con las cargas mayoradas.

Ecuación 15/ ecuación de momento máximo.

$$M_{max}: \frac{WL^2}{8}$$

$$M_{max}: (1737.44) (6)^2/8$$

$$M_{max}: 7818.48 \text{ kgf} - \text{cm}$$

El término "fluencia, f_y ", se refiere a la propiedad mecánica de los materiales que indica el esfuerzo (o tensión) mínimo necesario para que comience a deformarse de manera plástica, es decir, una deformación que no desaparece al retirar la carga aplicada. Este concepto es fundamental en el campo de la ingeniería civil y mecánica, especialmente en el diseño y análisis estructural, pues marca el límite entre el comportamiento elástico y plástico del material, en el proyecto se utiliza $f_y: 3448 \frac{\text{KGF}}{\text{cm}^2}$, este número se lo determino mediante la norma extranjera AISC 15, al utilizar el acero A52.

El cálculo de S_x , conocido como el módulo de sección o módulo elástico respecto al eje x , en los perfiles de acero es un aspecto crucial en el diseño estructural y la ingeniería civil. Este parámetro proporciona una medida de la resistencia de un perfil frente a la flexión, siendo esencial para garantizar que las estructuras de acero cumplan con los requisitos de seguridad y rendimiento, el cálculo de S_x es el siguiente:

Ecuación 16/ S_x de los perfiles de acero.

$$S_x: f_y / 0.9 M_{max}$$

$$S_x: 3448 / 0.9 * 781848:$$

$$S_x: 251.94 \text{ cm}^3$$

En el marco de esta investigación, se procederá a la selección de un perfil adecuado dentro de la gama de perfiles W, según lo estipulado por la normativa ASIC 15, que satisfaga los requerimientos establecidos en base al valor del módulo de sección, S_x . Es imperativo destacar que la diversidad de perfiles disponibles ofrece una amplia gama de opciones capaces de cumplir con este criterio. Sin embargo, la elección no solo se guiará por la conformidad técnica, sino que también incorporará consideraciones económicas intrínsecas al presupuesto del proyecto, así como criterios de diseño que abarquen resistencia a la flexión, cortante, torsión, entre otros aspectos, en armonía con lo dispuesto por la normativa NEC para estructuras de acero.

Para este proyecto, se ha seleccionado preliminarmente el perfil W36*210, conforme a las directrices de ASIC 15, el cual ostenta un módulo de sección, S_x , de 370 cm³. Esta elección se fundamenta en los cálculos previos, demostrando que dicho perfil no solo cumple con las estimaciones de S_x sino que también será implementado en la mayoría de la estructura como parte del diseño preliminar, con la excepción notable de elementos específicos como voladizos y cubiertas.

Esta redacción enriquecida no solo detalla el proceso de selección del perfil de acero, basado en criterios técnicos y económicos, sino que también subraya la importancia de cumplir con las normativas relevantes. Se introduce un vocabulario más especializado y se contextualiza la decisión dentro de un marco de diseño integral, adecuado para un documento académico de nivel investigativo.

En el caso del voladizo se hizo el mismo procedimiento, pero con los cálculos de las estimaciones de carga que se hizo respectivamente, con ello determino W36*135 de perfil de acero para los voladizos.

Tabla 8/ pre- diseño de las vigas voladiso.

PRE-DISEÑO POR MODULO DE SECCION		
VIGA		
C.MAYORADA	1.59	T/m
LONGITUD	1,590.00	kgf/m
PRE. MOMENTO	715	m
	71550	kgf-m
Fy	344	kgf-cm
Sx	230.56844	Acero A52 // kgf/cm ²
PERFIL	W 36*135	cm ³
		ASIC 15.0

Pre- diseño de columnas

Para el desarrollo preliminar del diseño de las columnas, se adopta como marco de referencia la normativa NEC-SE (Normas Ecuatorianas de la Construcción - Sección de Estructuras de Acero), que establece los criterios y procedimientos esenciales para garantizar la integridad y seguridad estructural. En esta fase, se hacen cálculos meticulosos para obtener los datos imprescindibles que aseguren que se cumplan los requisitos especificados en la NEC. Un aspecto crucial de este proceso es la validación de la ecuación $\phi_c \cdot P_n \geq P_u$, donde $\phi_c \cdot P_n$, que representa la capacidad nominal de la columna ajustada por el coeficiente de reducción de resistencia, debe ser igual o superior P_u , la carga axial última actuante sobre la columna.

Datos:

mayoracion de carga: $1737.44 \frac{kgm}{m}$

longitud de la columnas: 16.17 m

E: 29000

I: 1.20

Rx: 4.19, *este dato se lo selecciono por medio del los perfiles, mas espezifisco W40*

** 362*

Area: 683.97 cm², *este dato al igual qeu anterior se lo consigo mediante el perfil W40*

** 362 de acero ASIC 15*

Calculos:

Ecuación 17/ esbeltes.

$$\lambda: \frac{L * R_x}{r}$$

$$\lambda: \frac{16.17 * 4.19}{1.2}$$

$$\lambda: 4.6299$$

Ecuación 18/ tensión critica de pandeo.

$$F_e: \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2}$$

$$F_e: 13352.19$$

Ecuación 19/ tensión de pandeo por flexión

$$F_{cr}: 3096.36$$

Ecuación 20/ resistencia de compresión nominal.

$$\phi_c * F_{cr}:$$

$$0.9 * 3096.36 = 2786.7$$

$$\phi_c * P_n$$

$$0.9 * \frac{683.97 * 2786.7}{1000} : 1906.035.$$

$$\phi_c * P_n = P_u; \text{ si cumple.}$$

15.4 Prediseño con modelación en Robot

Una vez determinados los perfiles de acero a emplear, se inicia el proceso de modelado en el software especializado en análisis estructural. Esta etapa es crucial, ya que facilita la construcción virtual del modelo geométrico del edificio, basándose en el diseño arquitectónico, y permite asignar las cargas aumentadas pertinentes a la estructura. Esta asignación es esencial para someter el modelo a un exhaustivo análisis mediante el método LRFD (Load and Resistance Factor Design), asegurándose de que se adhiere rigurosamente a la normativa vigente. Además, es imperativo establecer criterios para las conexiones estructurales, seleccionando el tipo de unión más adecuado, no solo basándose en el juicio profesional sino también garantizando el cumplimiento con las regulaciones y las demandas de esfuerzo aplicables.

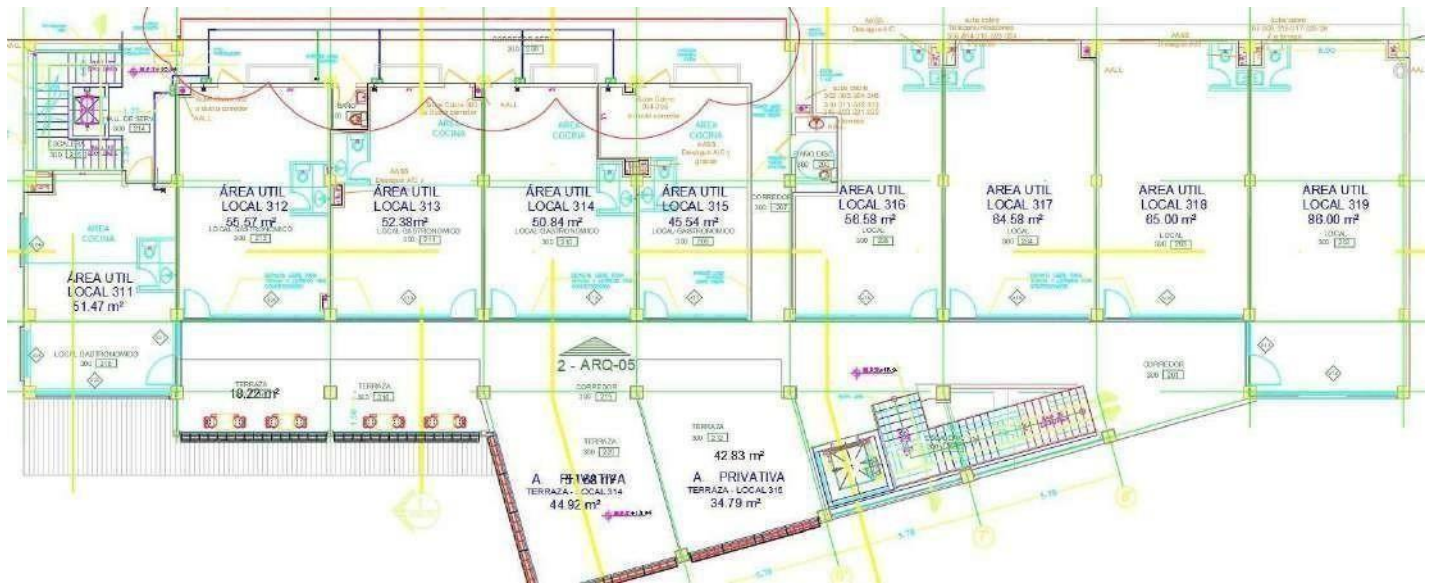
Este proceso define la integridad estructural y la seguridad del edificio y permite calcular con precisión el peso propio que los niveles de la edificación soportarán por la modelación. Comprender el peso propio es vital para la evaluación del cortante basal y las fuerzas horizontales que cada piso experimentará, ofreciendo críticos sobre la necesidad de implementar sistemas de arriostramiento para mejorar la resistencia sísmica de la estructura. La determinación de estos factores no solo es crucial para la estabilidad física del edificio sino también para asegurar la seguridad y bienestar de sus ocupantes ante eventos sísmicos.

Además, esta fase del proyecto ofrece una oportunidad invaluable para anticipar y mitigar posibles desafíos estructurales, permitiendo ajustes en el diseño que optimicen el uso de materiales y la eficiencia constructiva, y se mantiene una rigurosa conformidad con los estándares de seguridad. El análisis detallado y la cuidadosa planificación en esta etapa son

fundamentales para el éxito del proyecto, asegurando que la edificación soporta las cargas previstas y que contribuya a la sostenibilidad y la innovación en la ingeniería estructural.

Como primero en el modelo se le insertará los ejes, tanto los que tenemos en el plano arquitectónico, como los ejes que necesitaremos para que darle la forma correcta o más precisa del modelado de la edificación.

Ilustración 22/ plano arquitectónico del LV300



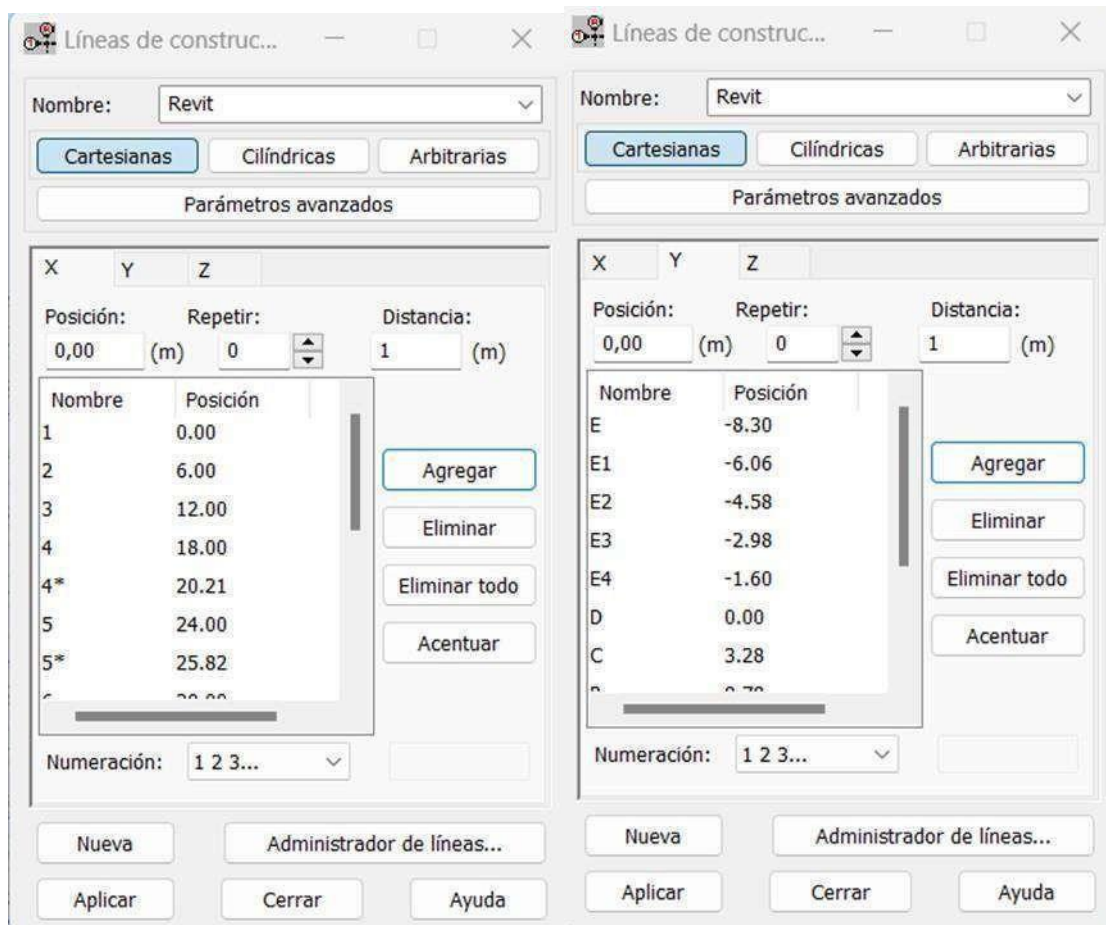
Nota: En esta ilustración se muestra el plano arquitectónico que se va a utilizar para realizar los ejes.

Dimensiones correspondientes a los ejes definidos en el plano, abarcando tanto el eje X como el eje Y. Adicionalmente, se especifican los niveles a ser empleados en el diseño, lo cual es esencial para establecer con precisión las alturas relativas de los distintos pisos de la edificación. Este procedimiento es crucial, ya que permite una definición exacta de la distribución espacial y

la disposición vertical de la estructura, asegurando que cada elemento arquitectónico y estructural esté ubicado en su posición correcta conforme a la planificación inicial.

La incorporación detallada de estas medidas en el software no solo refleja un compromiso con la exactitud técnica, sino que también evidencia una comprensión profunda de la importancia de la coherencia entre el diseño conceptual y la ejecución práctica.

Ilustración 23/ ejes en el plano.



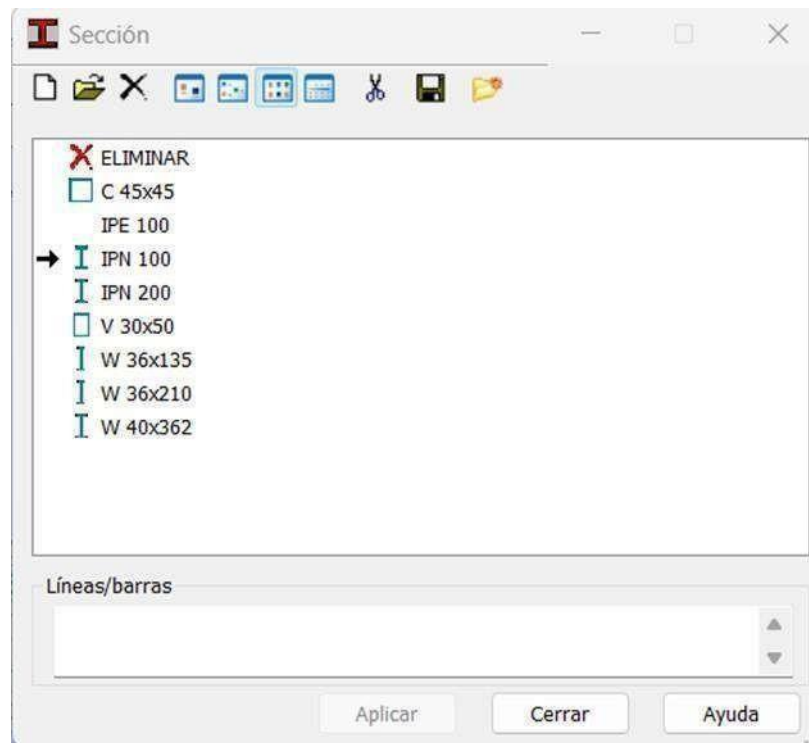
Nota: En la ilustración se muestra como se le da la posición mediante las dimensiones del plano arquitectónico.

En la siguiente fase de la modelación, será que se procede a definir las secciones de acero que se seleccionaron previamente, abarcando elementos estructurales clave como vigas, columnas, losas y cimentaciones. La especificación para las cimentaciones se derivará directamente de la documentación técnica existente y de los estudios de suelo disponibles, asegurando así una integración coherente y fundamentada de estos componentes críticos en el diseño estructural global.

Antes de avanzar con esta etapa esencial, es necesario completar una serie de pasos preliminares que facilitarán la transición hacia la definición precisa de las secciones. Inicialmente, se ajustarán las unidades de medida utilizadas en el software a las normas internacionales, estableciendo un marco de trabajo coherente y universalmente comprendido. Posteriormente, es imperativo seleccionar un conjunto de normativas que guiarán los cálculos estructurales y los criterios de diseño dentro del programa. En este contexto, hemos optado por adoptar la normativa AISC 15 y los principios de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) del año 2000 como referencias primarias. Esta elección se debe a la ausencia de la normativa ecuatoriana de acero estructural en el software utilizado, lo que nos obliga a recurrir a estándares internacionales reconocidos que garantizan un nivel adecuado de precisión y seguridad en el diseño.

El tercer paso implica la selección del material específico para la construcción, en este caso, el Acero A52, lo que refleja una decisión informada basada en sus propiedades mecánicas y su adecuación al contexto del proyecto. Una vez establecido el tipo de acero, se definen las secciones de los componentes estructurales, culminando la preparación necesaria para avanzar hacia una fase de modelado y análisis más detallada.

Ilustración 24/ secciones de acero.



Nota: En la ilustración se puede observar, las diferentes secciones que se pre diseñaron.

El procedimiento subsiguiente en nuestra investigación implica la creación detallada de la modelación geométrica, utilizando las secciones previamente definidas. Esta fase consiste en la disposición precisa de elementos estructurales clave, incluyendo columnas, vigas, losas, y correas metálicas. Además, se aborda la implementación de la cimentación, que fundamentalmente comprende el empotramiento de las columnas para garantizar la estabilidad y resistencia de la estructura. Esta conformación geométrica se ejecuta tomando como referencia los cortes específicos del plano arquitectónico, lo que facilita la ubicación de pisos y la cubierta del edificio.

La meticulosa elaboración de este modelo geométrico es esencial, ya que permite una representación fidedigna y detallada de la estructura, asegurando que cada componente esté correctamente posicionado en concordancia con el diseño arquitectónico. Este enfoque no solo favorece la precisión en el proceso de diseño, sino que también facilita una evaluación más efectiva de la respuesta estructural del edificio, permitiendo anticipar y mitigar posibles desafíos técnicos.

Ilustración 25/ corte del plano arquitectónico.

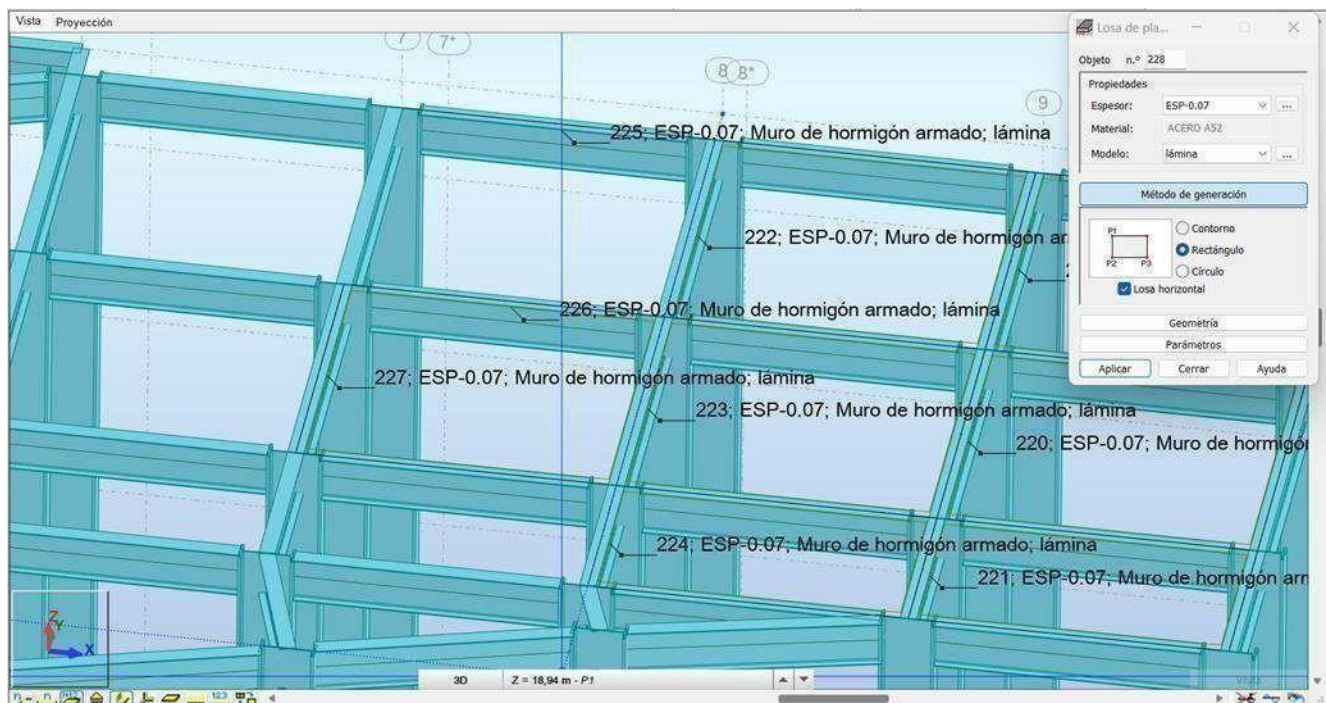


Nota: Esta ilustración es un perfil del corte del edificio donde se muestra los detalles de las estructuras.

Fuentes: plano Arq. (agosto-2022).

En la etapa inicial de la formación geométrica del modelo estructural, se configuraron las columnas, estableciendo la base del esqueleto estructural. Posteriormente, a estas columnas se les integró un sistema de empotramiento, diseñado para simular de manera precisa la estructura de cimentación de hormigón. Este componente crítico del diseño se desarrolló según los resultados del estudio de suelos, según se detalla en la memoria de cálculos. Este proceso meticuloso asegura que la interacción entre la superestructura y la infraestructura sea coherente con las condiciones geotécnicas específicas del sitio, reflejando un enfoque integrado que abarca desde la concepción geométrica hasta la implementación estructural.

Ilustración 26/ modelación geométrica.



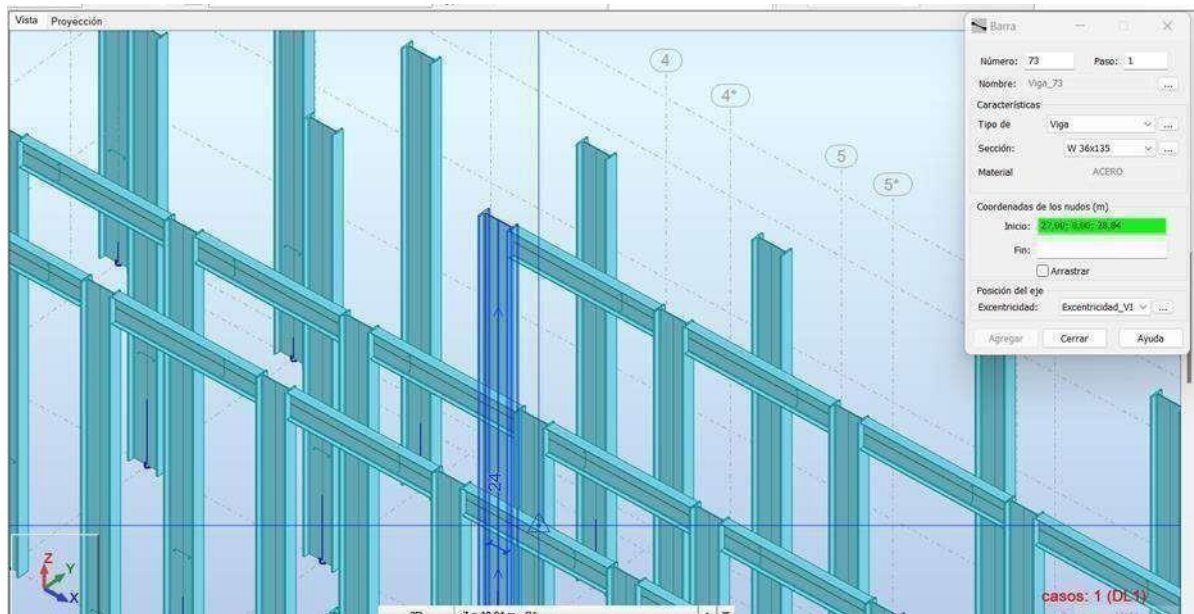
Nota: En la imagen se observar la modelación del edificio con las losa, columnas y vigas implementadas.

Fuente: Sacada del robot (Joseph vera-2024).

El desarrollo de la geometría base del modelo estructural sigue un procedimiento sistemático y detallado, comenzando con la integración de las vigas a las columnas previamente establecidas. Este paso crucial asegura la cohesión y continuidad estructural, proporcionando el esqueleto sobre el cual se soportará el resto de la edificación. Posteriormente, se procede a la incorporación de las losas y nervios, actuando estos últimos como elementos de refuerzo que distribuyen las cargas y mejoran la rigidez del sistema. Estos componentes son esenciales para formar una superficie continua que se conecta de manera eficiente con las vigas y columnas, completando así la estructura portante del edificio.

Además, se ha implementado un proceso adicional utilizando herramientas específicas del software de diseño, destacando la herramienta de excentricidad. Esta funcionalidad es vital, ya que permite alinear las vigas al nivel de la losa, a la parte superior, y facilita la conexión precisa de las columnas al borde de la losa. Este nivel de detalle en el posicionamiento y alineación de los elementos estructurales no solo optimiza la transferencia de cargas dentro del sistema, sino que también contribuye a la integridad y estabilidad general de la construcción.

Ilustración 27/ excentricidad.



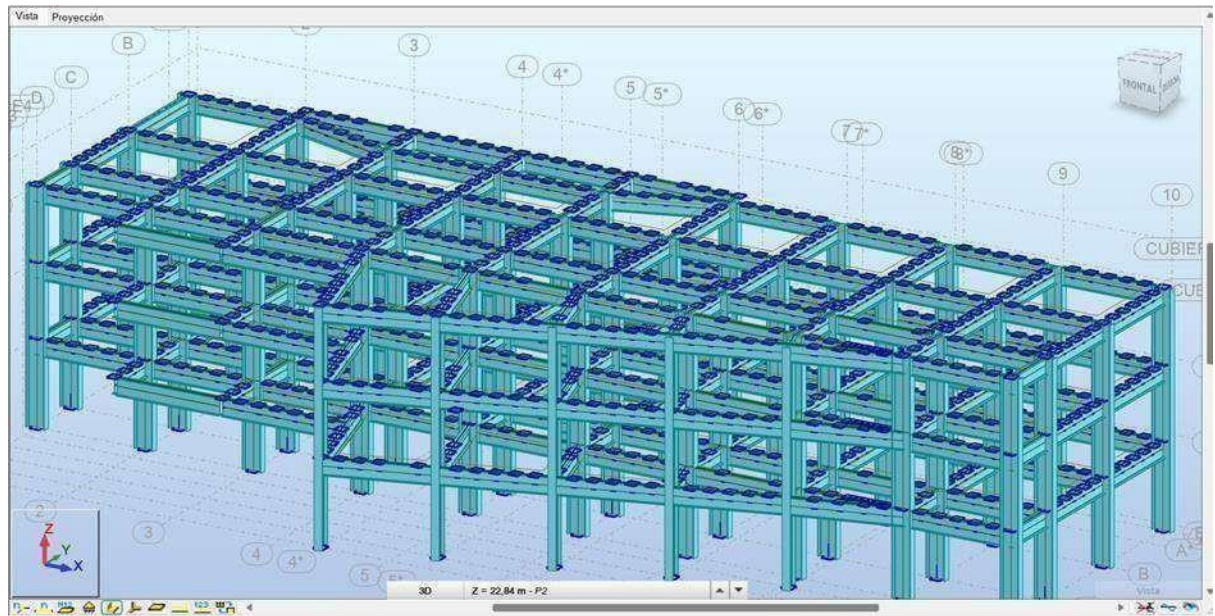
Nota: En la imagen se utiliza la excentricidad para posicionar de una manera correcta las vigas y columnas. Fuentes: sacada de robot (Joseph vera 2024).

En el proceso de configuración de los nodos estructurales, resulta imperativo considerar los distintos tipos de conexiones disponibles, tales como las conexiones por soldadura y por pernos. Para este proyecto, se optó por utilizar conexiones por pernos, cuya selección y cálculo se fundamentan en el uso del software especializado y en el cumplimiento de la normativa establecida por el American Institute of Steel Construction (AISC), aplicando el método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD). Estos cálculos preliminares sientan las bases para análisis más exhaustivos que se llevarán a cabo en etapas posteriores del proyecto.

Entre las variedades de conexiones empleadas, las conexiones de cimentación asociadas a las columnas, vigas y pilas (columnas vinculadas) destacan por su prevalencia, dada su importancia crítica en la transferencia de cargas desde la superestructura hacia los cimientos. Asimismo, las conexiones viga-viga se utilizan extensivamente en la configuración de voladizos,

una aplicación que requiere especial atención en el diseño para garantizar la estabilidad y el comportamiento adecuado de estos elementos bajo cargas.

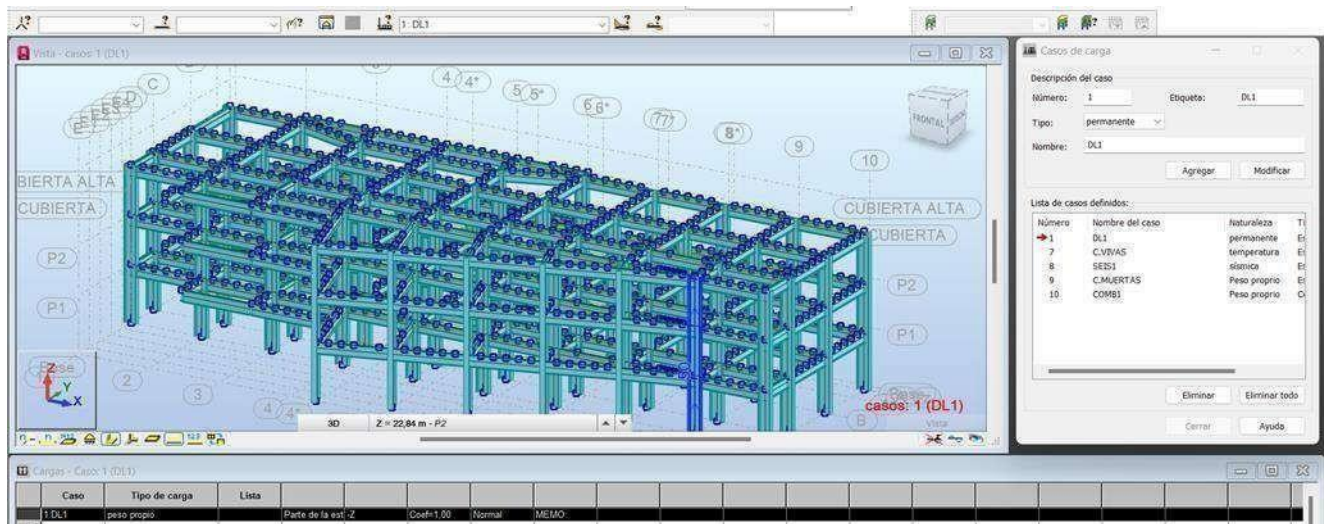
Ilustración 28/ forma geométrica en el software.



Nota: En esta ilustración se muestra, como es modelo geométrico de la estructura metálica. Fuente: Sacada de robot (Joseph vera 2024)

Definiciones de carga, en este apartado se procede a dar las cargas vivas muertas y combinaciones que vamos a utilizar en el programa, también esta mayoración cumple con la normativa del programa como la de la NEC.

Ilustración 29/ configuración de cargas.



Nota: En la ilustración se da el proceso de las estimaciones de carga en el edificio estructural. Fuentes: sacada del programa Robot (Joseph vera 2024)

La importancia de las uniones dentro del diseño estructural es fundamental, y su adecuada implementación, en concordancia con los cálculos realizados, constituye un pilar esencial en la integridad de la construcción. Es relevante destacar que, aunque la selección de estas conexiones se basó en criterios predeterminados, los cálculos específicos se llevaron a cabo considerando las secciones previamente definidas. Este proceso meticuloso aseguró que las uniones seleccionadas para un análisis más detallado y posterior establecimiento, cumplieran con los requisitos estructurales y normativos necesarios. La precisión en la elección y cálculo de estas uniones subraya la rigurosidad del enfoque adoptado en el estudio, garantizando así la coherencia y la fiabilidad del diseño estructural propuesto.

15.5 Uniones viga-viga alma.

Para diseñar una unión viga-viga que involucre el alma de las vigas, se consideran principalmente las fuerzas de corte (V) que actúan en la unión. El diseño se basa en garantizar que la capacidad de la soldadura y del material del alma de la viga puedan resistir estas fuerzas sin fallo.

Fuerza de Diseño

La fuerza de diseño en la unión, V_d , generalmente se obtiene de los análisis de carga aplicados a la estructura, teniendo en cuenta los factores de carga y resistencia especificados por la normativa aplicable (por ejemplo, AISC).

Conceptos Básicos de Diseño

En el diseño de uniones viga-viga con almas perforadas, se deben considerar las siguientes ecuaciones y principios básicos para evaluar la resistencia y rigidez de las vigas afectadas:

La presencia de una perforación en el alma de la viga reduce el área transversal efectiva, A_{eff} , que puede resistir cargas. La resistencia de diseño de la sección transversal perforada, $V_{d,perf}$, se puede estimar ajustando la resistencia de la sección completa por el área efectiva:

Ecuación 21/ perforación de reducción.

$$A_{eff} = A_{total} - A_{perforación}$$

$$V_{d,perf} = 0.6 \cdot F_y \cdot A_{eff}$$

Donde:

A^* total es el área total de la sección transversal de la viga sin perforaciones.

A^* perforación es el área de la perforación en el alma.

F_y es el límite de fluencia del material de la viga.

Las perforaciones pueden generar concentraciones de esfuerzos que deben evaluarse. La tensión máxima, σ_{max} , cerca de la perforación puede estimarse utilizando la teoría de concentración de esfuerzos:

Ecuación 22/ perforación con esfuerzos

$$\Sigma^*_{max} = K_t \cdot \sigma^*_{nominal}$$

Donde:

K_t es el factor de concentración de esfuerzos, que depende de la forma y el tamaño de la perforación.

$\Sigma^*_{nominal}$ es la tensión nominal calculada sin considerar la perforación.

Para las uniones, el diseño debe garantizar que la viga y la conexión puedan soportar las cargas aplicadas, considerando el efecto de las perforaciones. Esto incluye el diseño de los elementos de conexión (como placas de refuerzo o elementos de conexión soldados o atornillados) que pueden necesitar ser reforzados para distribuir las cargas de manera efectiva alrededor de la perforación.

Ilustración 30/ unión viga-viga.

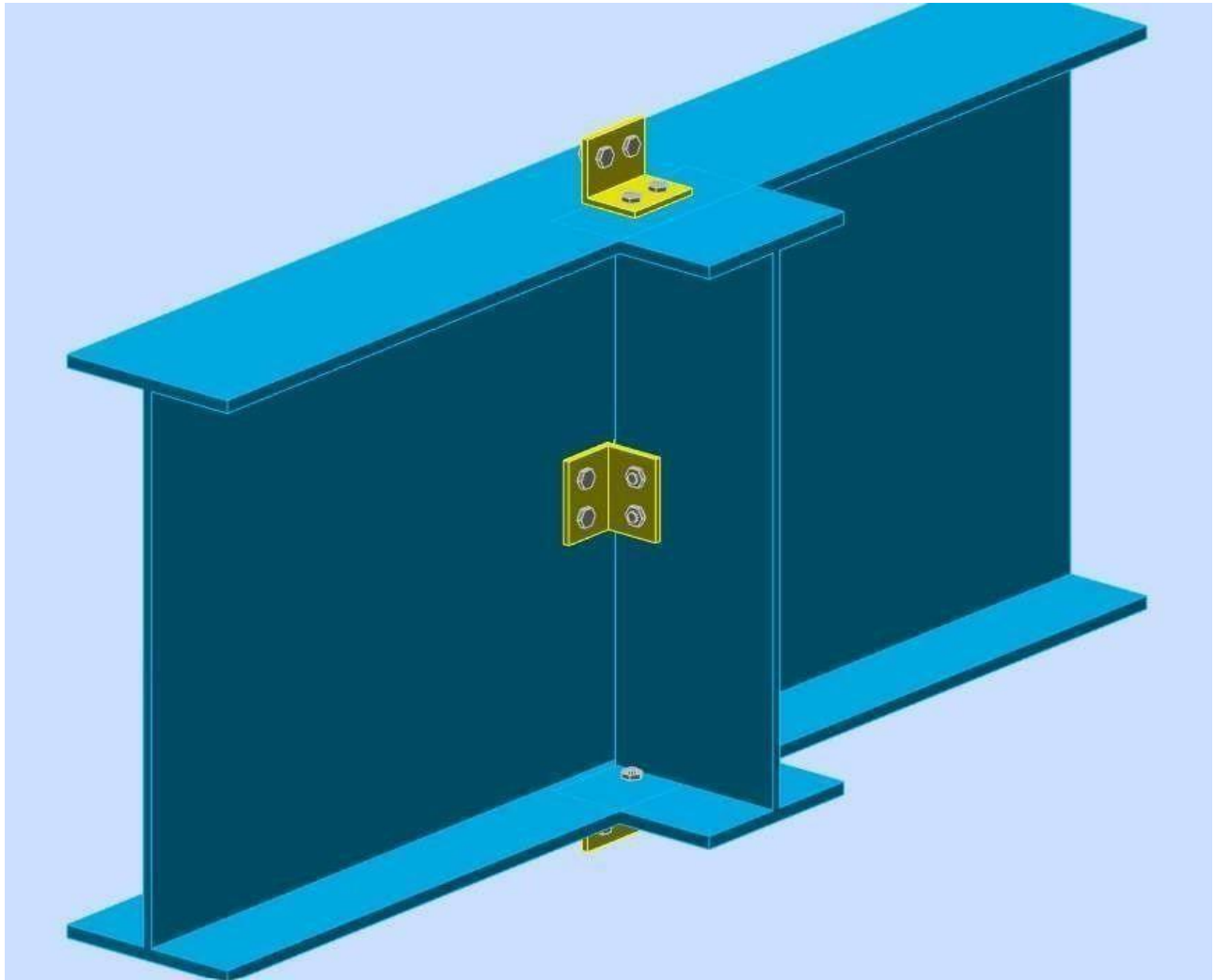
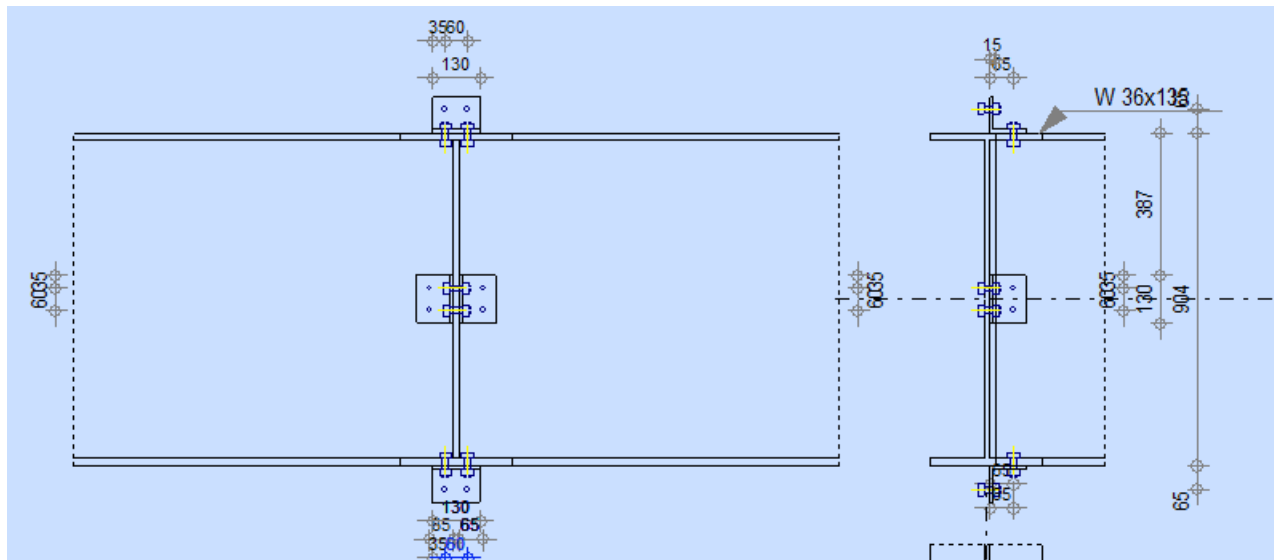


Ilustración 31/ esquema de viga -viga



Nota: aquí se presenta el esquema con sus dimensiones y análisis rápido.

15.6 Unión pilar- viga

La resistencia de la sección transversal del pilar, $P_{d,perf}$, después de la perforación se calcula ajustando la resistencia de la sección completa por el efecto de la perforación:

$$A^{*eff} = A_{total} - A_{perforación}$$

$$P_{d,perf} = 0.9 \cdot F_y \cdot A^{*eff}$$

Donde:

A_{total} es el área total de la sección transversal del pilar sin perforaciones.

$A_{perforación}$ es el área removida por la perforación.

F_y es el límite de fluencia del material del pilar.

El factor 0.9 es un valor típico utilizado para el cálculo de la capacidad a compresión, que puede variar según la normativa aplicable.

La rigidez del pilar se ve afectada por las perforaciones, lo cual puede influir en el comportamiento global de la estructura. La reducción en la rigidez, I_{eff} , puede calcularse como:

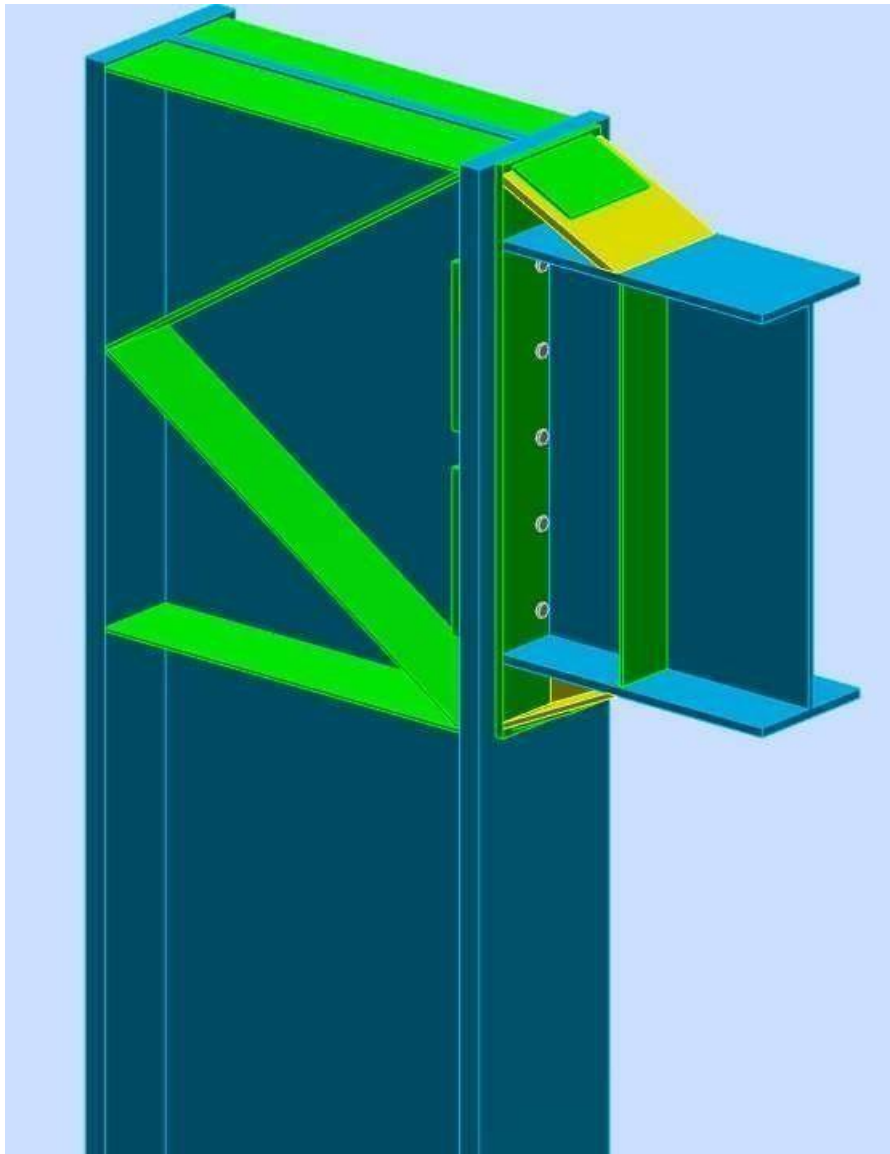
$$I_{eff} = I_{total} - I_{perforación}$$

Donde:

I_{total} es el momento de inercia de la sección completa del pilar sin perforaciones.

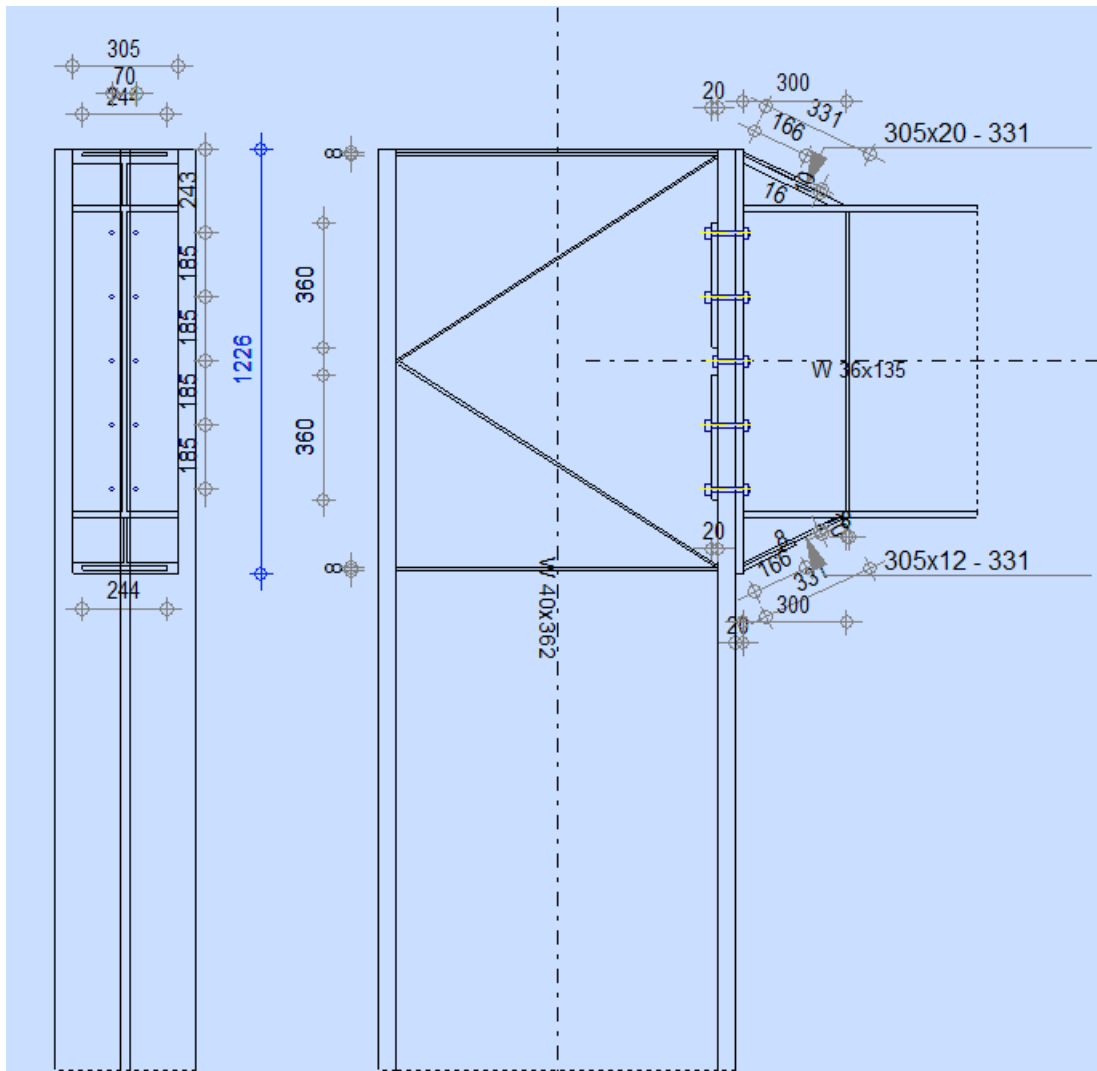
$I_{perforación}$ es el momento de inercia que se pierde debido a la perforación.

Ilustración 32/ unión pilar-viga.



Nota: ilustración sacada del robot, donde se muestra de manera tridimensional la forma de unión. Fuentes: Joseph vera (2024).

Ilustración 33/ esquema de unión pilar-viga



Nota: cabe recalcar que se da un ejemplo las uniones más utilizadas en el modelado porque, de ahí las uniones se repiten y son demasiadas uniones, con cálculos

15.7 Cargas sísmicas.

La estimación de las cargas sísmicas para el proyecto denominado "Edificio 300" se fundamenta en el cumplimiento y la aplicación rigurosa de la normativa NEC-SE-DS. Dicha normativa es esencial, pues provee un marco detallado que incluye tablas y ecuaciones específicas que se emplearon para el cálculo de cortante basal y la carga sísmica relativa. Estos elementos son cruciales para asegurar la integridad estructural y la resistencia sísmica del edificio en cuestión. Además, se abordan los criterios adoptados para determinados coeficientes, tales como la clasificación de la zona sísmica. Dicha clasificación es fundamental para el cálculo del cortante basal y se obtuvo a partir de los resultados del estudio de suelo proporcionado por la firma "ASESORIA Y ESTUDIOS TECNICOS C. ITDA."

Este estudio de suelo forma parte de una memoria técnica exhaustiva que abarca el diseño de hormigón armado no solo del "Edificio 300" sino también del "Edificio 200", ambos ubicados en la urbanización La Vista San Eduardo. La documentación previa es fundamental para entender y analizar las cargas sísmicas y el cortante basal.

En este contexto, el presente trabajo investigativo busca profundizar en la metodología aplicada para la estimación de dichas cargas, examinando la aplicación de la normativa NEC-SE-DS en el contexto específico del "Edificio 300". Se enfatiza en la adaptación de los criterios normativos a las condiciones particulares del suelo y la zona sísmica donde se emplaza el proyecto, utilizando como referencia el estudio de suelo mencionado. Este enfoque no solo cumple con los requerimientos técnicos y normativos vigentes, sino que también promueve la sostenibilidad y resiliencia de la construcción frente a eventos sísmicos, asegurando así la seguridad y el bienestar de sus ocupantes a largo plazo.

Tabla 9/ cargas sísmicas.

CARGAS SISMICAS.			
CARGAS SISMO (NEC-15-NEC-SE-DS-(PELIGRO SISMICO))			
	VALOR	OBSERVACION	REFERENCIA
COEFICIENTE CT	0.07		SEC 6.3.3.a
ALTURA TOTAL DEL EDIFICIO (HN)	16.17	m	PLANOS ARQ.
COEFICIENTE PARA CALCULO DE PERIODO	0.75		SEC 6.3.3.a
PERIODO NATURAL DE VIBRACION (t1)	0.59	seg	SEC 6.3.3.a
PERIODO NATURAL DE VIBRACION MAX (T2)	0.77	seg	SEC 6.3.3.a
FACTOR DE IMPORTANCIA (I)	1.00		TABLA 6, SEC 4.1
FACTOR DE REDUCCION DE RESPUESTA	7.00		TABLA 16, SEC 6.3.4
RELACION DE AMPLIFICACION ESPECTRAL	1.80	Provincia de la costa	SEC 3.3.1
ZONA SISMICA	V	ALTA	TABLA 1 SEC 3.1.1
FACTOR DE ZONA (Z)	0.40		
TIPO DE SUELOS	C		TABLA 1 SEC 3.2.1
FACTOR DE SISTIO (Fa)	1.20		TABLA 3 SEC 3.2.2 A
FACTOR DE SITIO (Fd)	1.30		TABLA 3 SEC 3.2.2 A
FACTOR DE COMPORTAMIENTO INELASTICO (Fs)	1.30		TABLA 3 SEC 3.2.2 A
FACTOR EN EL ESPECTRO PARA DISEÑO ELASTICO r	1.00		SEC 3.3.1
PERIODO TC	0.77	seg	
ACELERACION ESPECTRAL (Sa)	0.86		
$\phi_p = \phi_{PA} * \phi_{PB}$	0.81		SEC 5.3.3
FACTOR DE IRREGULARIDAD EN PLANTA ϕ_p	0.81		TABLA 11 5.3.3
$\phi_E = \phi_{PE} * \phi_{PE}$	0.90		SEC 5.3.3
IRREGULARIDAD EN ELAVACION ϕ_E	0.90		TABLA 12 5.3.3
V	0.13		SEC 6.3.2

15.7.1 Periodo natural de vibración

En la evaluación del cortante basal, se inicia con la determinación del coeficiente *CT* y el coeficiente referente al cálculo del período, ambos esenciales en el proceso de diseño conforme a la sección 6.3.3.a de la normativa NEC-SE-DS. La elección de estos coeficientes implica seleccionar el tipo de estructura que se adoptará como base del diseño, que varía entre hormigón armado y acero estructural. Para el proyecto en cuestión, se opta por una estructura de acero estructural, lo que conduce a la consideración de dos variantes de estructuras de acero conforme a la normativa: aquellas con arriostramientos y las que carecen de estos. Por razones de criterio, se decide que el edificio incorpore arriostramientos, fundamentándose en el diseño sismorresistente ante las fuerzas horizontales.

Los coeficientes determinados para este análisis son $CT = 0.073$ y $\alpha = 0.75$, respectivamente.

Estos valores son cruciales para el cálculo subsecuente del período natural de vibración de la estructura.

Para la altura de la estructura se lo determina mediante los planos arquitectónico que en este caso es $h: 16.17\text{ m}$

Tabla 10/tipo de estructura, para el periodo natural.

$T_{\alpha} = Ct^{\alpha}$	
Dónde:	
h_{α}	Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.
T_{α}	Periodo de vibración
Ct	Coficiente que depende del tipo de edificio

Para:

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.047	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.049	0.75

Alternativamente, para estructuras con muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural (con $\alpha = 1$):

Nota: En la tabla se explica que tipo de diseño en la edificación uno puede escoger según su diseño constructivo, con lo cual se aplica los coeficientes para el cálculo de T_{α} . Fuentes: NEC-SE-DS, SEC 3.3.3.a (DICIEMBRE 2015)

Ecuación 23/ ecuación de periodo natural de vibración.

$$T_{\alpha} = C * t^{\alpha}$$

$$T_{\alpha} = 0.073 * 16.17^{0.75}: 0.588\text{ seg}$$

El cálculo del periodo de periodo natural de vibración máxima también se la saca de la norma de la misma sección que el del cálculo anterior SEC 3.3.3.a de la normativa NEC-SE-DS y el resulta es el siguiente:

Ecuación 24/ ecuación d periodo máximo.

$$T: 1.3T_{\alpha}$$

$$T: 1.3 (0.5888): 0.76544 \text{ seg}$$

15.7.2 Cálculo de factor de importancia

Este más que un cálculo es un valor obtenido directamente de la norma NEC, este valor representa la importancia I , nos sirve para los requisitos sísmicos de diseño en edificaciones que, debido a sus funciones específicas o relevancia, deben mantener su operatividad o experimentar daños mínimos durante y tras el evento sísmico de referencia. Este parámetro busca asegurar que estructuras críticas, tales como hospitales, estaciones de bomberos y otras instalaciones esenciales, puedan seguir funcionando eficazmente después de un terremoto, minimizando así el impacto en los servicios vitales y en la seguridad de la comunidad.

Con base en el criterio del diseño del edificio que es de dos pisos y planta baja, toma el criterio de importancia como 1.0 (Otras estructuras) y con este valor se realizan los otros factores.

Tabla 11/importancia de uso.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 6: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

El diseño de las estructuras con factor de importancia 1.0 cumplirá con todos los requisitos

Nota: En la tabla se explica los diferentes factores que se utiliza para la edificación sismorresistente, dependiendo del uso que se le dar a la estructura. Fuentes: NEC-SE-DS, TABLA 6, SEC 4.1

15.7.3 Factor de reducción de respuesta.

El coeficiente de reducción sísmica R facilita la disminución de las cargas sísmicas prescritas en el diseño, condición aceptable solo si las edificaciones y sus ensamblajes se proyectan para fomentar un patrón de fallo anticipado y dotado de suficiente ductilidad. Esto implica que el deterioro debe focalizarse en áreas meticulosamente especificadas para actuar como articulaciones plásticas. En este enfoque estratégico, la deformación se localice en zonas diseñadas para ello, permitiendo que el resto de la estructura permanezca indemne y, por lo tanto, más segura.

En el proyecto el factor de seguridad a utilizar va a ser de 7 con el criterio de que la estructura es un pórtico de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadores, debido a que anteriormente en los cálculos del periodo natural, se consideró como estructura de acero con arrastramientos.

Tabla 12/factor de importancias.

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	7
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	7
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	6
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	6
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	6
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	6
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5
Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HA limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 4 metros.	3
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	3

Nota: En la tabla se explica los diferentes criterios en general de la forma de los pórticos relacionado con las resistencias al momento. Fuentes: NEC-SE-DS TABLA 6, SEC 4.1 (DICIEMBRE 2014)

15.7.4 Relación de amplificación espectral

Esta relación es otro factor que se lo determina mediante la Norma NEC, mediante el criterio de la zona por el cual la estructura estará en el país, Costa, Sierra, Orientes; en caso del proyecto Edificio 300 estará ubicado en la ciudad de Guayaquil, provincia de Guayas región costa del país, por lo cual el factor de relación de amplificación espectral n : 1.80, según la norma.

Ilustración 34/ relación de ampliación espectral.

Asimismo, de los análisis de las ordenadas de los espectros de peligro uniforme en roca para el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años), que se obtienen a partir de los valores de aceleraciones espectrales proporcionados por las curvas de peligro sísmico de la sección 3.1.2 y, normalizándolos para la aceleración máxima en el terreno Z , se definieron los valores de la relación de amplificación espectral, η (S_a/Z , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, adoptando los siguientes valores:

- $\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

Nota: En la ilustración se explica cuáles son factores que se utiliza según la región que este ubicado los proyecto. Fuentes: NEC-SE-DS SEC 3.3.1.

15.7.5 ZONA SISMICA

En las edificaciones de uso estándar, se usa el coeficiente Z , que simboliza la aceleración máxima anticipada en roca firme durante el evento sísmico de referencia, expresada en proporción de la aceleración gravitatoria. Este valor es crucial para determinar las demandas sísmicas de diseño, ya que proporciona una medida cuantitativa de la intensidad sísmica esperada en la ubicación de la construcción, permitiendo así la adecuación de la edificación a las condiciones sísmicas específicas de su emplazamiento.

Para la cual en este proyecto se utilizará el estudio de suelo otorgado por "ASESORIA Y ESTUDIOS TECNICOS C. ITDA." De la cual ellos dan los siguientes resultados de su estudio:

los edificios 200 y 300 de la Vista – San Eduardo, le corresponde la zona sísmica $Z = V$ con un coeficiente de aceleración horizontal máxima en la roca para diseño de $g(A_0) = 0.40g$

factor de importancia (I) de 1.0

un perfil de suelo tipo “C”

Entonces en el proyecto la zona sísmica será de V, este factor se lo determina mediante la norma con la tabla valores de factor Z.

Tabla 13/ zonas sísmicas

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Nota: En la tabla se muestra los diferentes factores que se utiliza en el país, dependiendo del estudio del suelo se tomara el valor. Fuentes: NEC-SE-DS TABLA 1 SEC 3.1.1.

15.7.5.1 Tipo de suelo

En la clasificación de suelos, los criterios empleados se basan en las características de los primeros 30 metros del perfil estratigráfico, aplicables a los tipos de perfil A, B, C, D, y E. Para los perfiles con capas distintivamente separadas en esta sección, hay que hacer una subdivisión, asignando a cada estrato un subíndice i , que inicia en 1 en la capa superficial y aumenta

secuencialmente hasta en el límite inferior de los 30 metros superiores del perfil. Este sistema de clasificación permite una descripción detallada y precisa de las propiedades geotécnicas del subsuelo, facilitando así la identificación de las variaciones estratigráficas significativas que pueden influir en el comportamiento sísmico del suelo y, por ende, en el diseño sismorresistente de las estructuras que se apoyen sobre él.

El suelo del edificio 300 tiene un suelo perfil C, que este factor se lo determina con la tabla de la normativa de la clasifica de los suelos que se utiliza en base al estudio y al criterio de análisis de suelos y geotécnicos.

Tabla 14/tipos de suelos.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$

Nota: En la tabla se especifica los tipos de suelo que existen en nuestro país, que se determina por estudios.

Fuentes: NEC-SE-DS TABLA 1 SEC 3.2.1 (DICIEMBRE 2014).

15.7.5.2 Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

Una vez se obtiene los factores de suelos y zona sísmica se procede a determina los factores mediante el perfil de suelo F_a , F_d y F_s estos factores son determinado por tablas de la normativa según el perfil de suelo y el Factor z, los factores que se determinaron según el perfil de estudio de suelo fueron

Coeficiente de aplicación de suelo

Tabla 15/coeficientes de ampliación.

3.2.2. Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

Nota: Para los suelos tipo F no se proporcionan valores de F_a , F_d ni de F_s , debido a que requieren un estudio especial, conforme lo estipula la sección 10.6.4.

a. F_a : Coeficiente de ampliación de suelo en la zona de periodo cortó.

En la [Tabla 3](#) se presentan los valores del coeficiente F_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Para F_a : 1.20, debido a que el factor z es de 0.40 y el perfil de suelo C, por lo cual 1.20.

Factor desplazamientos para diseño en roca

Tabla 16/desplazamiento para diseño en roca.

3.2.2. Coeficientes de perfil de suelo F_s , F_d y F_a

Nota: Para los suelos tipo F no se proporcionan valores de F_s , F_d ni de F_a , debido a que requieren un estudio especial, conforme lo estipula la sección 10.6.4.

a. F_s : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó.

En la [Tabla 3](#) se presentan los valores del coeficiente F_s que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio F_s

Para F_a : 1.30, debido a que el factor z es de 0.40 y el perfil de suelo C, por lo cual 1.30.

Factor comportamiento no lineal de los suelos

Tabla 17/comportamiento no lineal de suelos.

b. F_d : desplazamientos para diseño en roca.

En la [Tabla 4](#) se presentan los valores del coeficiente F_d que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 4: Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

Para F_a : 1.30, debido a que el factor z es de 0.40 y el perfil de suelo C, por lo cual 1.30.

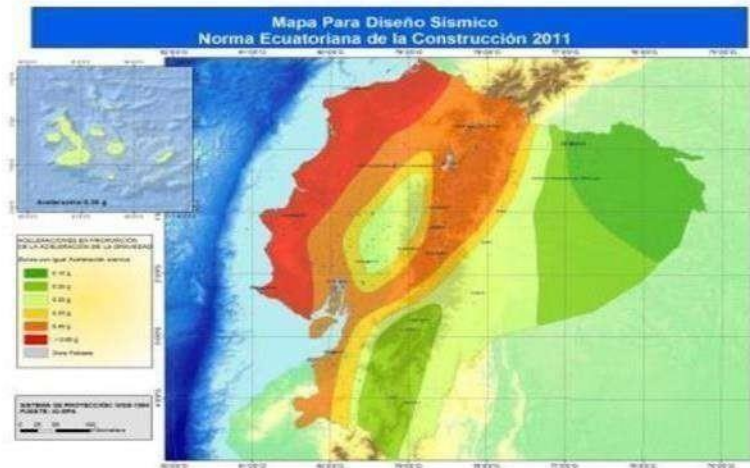
Ilustración 35/ peligro sísmico



10. PELIGRO SÍSMICO.-

Para determinar el peligro sísmico, se utiliza el mapa de zonificación sísmica de la Norma Ecuatoriana de la Construcción "NEC-2015", en la cual se muestran las aceleraciones de suelo máximas esperadas (PGA) para el sismo de diseño, considerado una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años y un periodo de retorno de 475 años.

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica, el sitio donde se asientan los edificios 200 y 300 de la Vista - San Eduardo, le corresponde la zona sísmica Z=V, con un coeficiente de aceleración horizontal máxima en la roca para diseño de $g(A_0)=0.40g$, factor de importancia (I) de 1.0 y un perfil de suelo tipo "C", con una velocidad de onda de corte de $360 \leq V_s(m/s) \leq 760$, una resistencia al esfuerzo cortante en condiciones no drenadas de $S_u \geq 10.0 \text{ Ton/m}^2$ ó un número de golpes obtenido de la prueba de penetración estándar de $N_{60} \geq 50$ golpes.



Nota: Este es el estudio que "ASESORIA Y ESTUDIOS TECNICOS C. ITDA." nos dio para el proyecto.

15.7.5.3 Factor en el espectro para diseño elástico r

El factor en el espectro para diseño elástico, comúnmente referido como el factor de amplificación espectral (S), es un componente crítico en la elaboración de espectros de diseño sísmico. Este factor ajusta la demanda sísmica base, calculada para un suelo de referencia, a las condiciones específicas de un sitio determinado, teniendo en cuenta la respuesta dinámica de la estructura.

Este factor al igual que los que se determinaron con anterioridad, se dictamina mediante la norma NEC en la SEC 3.3.1 donde se especifica como es la ecuación de *Espectro de respuesta elástico de aceleraciones*, y se explica que el valor del factor dependerá del tipo de perfil de suelo que tiene como estudio, en este caso el suelo es de tipo C por lo cual r equivaldría a 1.

Ilustración 36/ espectro de respuesta

$S_a = \eta Z F_a$	para $0 \leq T \leq T_c$
$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$	para $T > T_c$
Dónde:	
η	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
r	Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto
$r = 1$	para tipo de suelo A, B o C
$r = 1.5$	para tipo de suelo D o E.
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura
T_c	Periodo limite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Nota: En la ilustración se explica la ecuación de espectro de respuesta de aceleración

15.7.6 Periodo TC

Este es el cálculo del Periodo TC que se utiliza con los datos de los factores que determinamos en los parámetros anteriores y la ecuación junto con el cálculo es el siguientes:

Ecuación 25/ Periodo TC

$$TC: 0.55 * F_s * \frac{f_d}{f_a}$$

$$TC: 0.55 * 1.30 * \frac{1.30}{1.20}$$

$$T: 0.77$$

15.7.7 ACELERACION ESPECTRAL (S_a)

La aceleración espectral es un concepto clave en el campo de la ingeniería sísmica y se refiere a la representación de cómo varía la aceleración máxima que puede experimentar una estructura en función de su período de vibración natural. Este parámetro es fundamental para el diseño sismorresistente de estructuras, ya que proporciona una medida de la demanda sísmica esperada basada en la respuesta dinámica de la estructura a las vibraciones del terreno.

El cálculo es el siguiente:

Ecuación 26/ aceleración espectral

$$S_a: R_a * Z * F_a$$

$$S_a: 1.80 * 0.4 * 1.20$$

$$S_a: 0.86$$

Factor de irregularidad en planta ϕ_p

El factor de irregularidad en planta es un concepto utilizado en la ingeniería sísmica para evaluar cómo las variaciones en la configuración geométrica de una estructura en su planta (vista superior) pueden afectar su comportamiento sísmico. Este factor identifica las desigualdades en la distribución de masa, rigidez y resistencia que pueden llevar a una respuesta sísmica no uniforme, aumentando potencialmente el riesgo de daño o colapso durante un sismo.

En este apartado para calcular se necesita elegir los factores ϕ_{PA} y ϕ_{PB} que se lo determina mediante la normativa NEC y con el criterio de la geometría del edificio ósea, si la

geometría tienes irregularidad a la torsión, si tiene discontinuidad en el sistema de piso, entre otros, en este caso por criterio se utiliza 0.9.

Ecuación 27/ Factor de irregularidad en planta.

$$\emptyset_p = \emptyset_{PA} * \emptyset_{PB}$$

$$\emptyset_p: 0.9 * 0.9$$

$$\emptyset_p: 0.81$$

Ilustración 37/factor de irregularidad en planta.

$\emptyset_p = \emptyset_{PA} \times \emptyset_{PB}$	
Dónde	
\emptyset_p	Coefficiente de regularidad en planta
\emptyset_{PA}	Mínimo valor \emptyset_{Pi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 1, 2 y/o 3
\emptyset_{PB}	Mínimo valor \emptyset_{Pi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 4
\emptyset_{Pi}	Coefficiente de configuración en planta

Quando una estructura no contempla ninguno de los tipos de irregularidades descritas en la Tabla 11, en ninguno de sus pisos, \emptyset_p tomará el valor de 1 y se le considerará como regular en planta.

Nota: En esta ilustración se muestra la ecuación del factor de irregularidad en planta.

Tabla 18/factor de configuración en planta.

5. FACTOR DE CONFIGURACIÓN EN PLANTA Φ_P

<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_p = 0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$ Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_p = 0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$ La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_p = 0.9$ a) $C \times D > 0.5A \times B$ b) $[C \times D + C \times E] > 0.5A \times B$ La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_p = 0.9$ La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Nota: Esta tabla se presenta los tipos de geometría que se utiliza, como criterio para determinar Φ_p . Fuentes: NEC-SE-DS TABLA 11 5.3.3

15.7.8 Factor de irregularidad en elevación Φ_E

El factor de irregularidad en elevación, denotado comúnmente como Φ_E , es una medida empleada en la ingeniería sísmica para evaluar el impacto que las variaciones en la configuración vertical de una estructura pueden tener en su respuesta a las acciones sísmicas. Este factor toma en cuenta las discontinuidades o cambios en la masa, rigidez y resistencia distribuidas a lo largo de la altura de la edificación, las cuales pueden alterar significativamente el comportamiento sísmico esperado.

Este factor se determina con dos cosas que se lo encuentra en la normativa de la NEC, primero es la ecuación de la irregularidad en elevación donde nos dice que se multiplicará por dos factores determinando por el otro punto, el criterio del pórtico que tiene el edificio como el piso flexible, y la distribución de masa se usará 0,9 por la distribución de masa en el edificio.

Ecuación 28/factor de irregularidad.

$$\emptyset E = \emptyset PE * \emptyset PE$$

$$\emptyset E: 0.9 * 1.00$$

$\emptyset E: 0.9$ Ilustración 38/coeficiente de regularidad en elevación

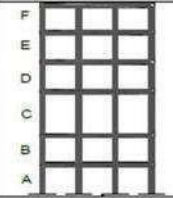
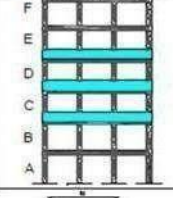
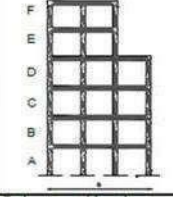
$\emptyset E = \emptyset EA \times \emptyset EB$ <p>Dónde:</p> <p>$\emptyset E$ Coeficiente de regularidad en elevación</p> <p>$\emptyset EA$ Mínimo valor $\emptyset Ei$ de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; $\emptyset Ei$ en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 1</p> <p>$\emptyset EB$ Mínimo valor $\emptyset Ei$ de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; $\emptyset Ei$ en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 2 y/o 3</p> <p>$\emptyset Ei$ Coeficiente de configuración en elevación</p> <p>Cuando una estructura no contempla ninguno de los tipos de irregularidades descritos en las Tabla 13 y Tabla 14 en ninguno de sus niveles, $\emptyset E = 1$ y se le considerará como regular en elevación.</p> <p>Si $\Delta_{Mi} < 1.30 * \Delta_{M+1}$ puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1, 2, ó 3.</p> <p>Dónde:</p> <p>Δ_{Mi} Deriva máxima de cualquier piso</p> <p>Δ_{M+1} Deriva máxima del piso superior</p> <p>Adicionalmente, para estructuras tipo pórtico especial sismo resistente con muros estructurales (sistemas duales), que cumplan con la definición de la sección 1.2, se considerará:</p> <p>$\emptyset E = 1$</p> <p>Dónde:</p> <p>$\emptyset E$ Coeficiente de regularidad en elevación</p>

Nota: En esta ilustración se explica cómo es la ecuación del coeficiente de regularidad en elevación.

Fuentes: NEC-SE-DS. SEC 5.3.3

Tabla 19/factor de configuración en elevación

6. FACTOR DE CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN Φ_E

<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_i = 0.9$ Rigidez $K_i < 0.70$ Rigidez K_0 $Rigidez < 0.80 \frac{(K_{i-1} + K_i)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_i = 0.9$ $m_0 > 1.50 m_k$ ó $m_0 > 1.50 m_c$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_i = 0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p><small>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</small></p>	

Nota: En la tabla se explica se explica la configuración del pórtico, para determinar el factor. Fuentes:

NEC-SE-DS TABLA 12 5.3.3

15.8 Cortante basal

El cortante basal es una medida de la fuerza sísmica total que actúa en la base de una estructura durante un terremoto. Es un componente crucial en el diseño sismorresistente, ya que proporciona una estimación de las demandas máximas que la estructura debe ser capaz de soportar sin fallar. La determinación del cortante basal se realiza a través de una ecuación que integra varios factores relacionados con la sismicidad del lugar, las características del sitio, y las propiedades dinámicas de la estructura.

La ecuación básica para calcular el cortante basal, V, en términos generales es:

Ecuación 29/ cortante basal

$$V = C_s \cdot W$$

donde:

V es el cortante basal (fuerza sísmica total en la base).

Cs es el coeficiente sísmico de diseño, que depende de la aceleración espectral de diseño ajustada por la importancia de la estructura y otros factores de modificación sísmica.

W es el peso total de la estructura.

El coeficiente sísmico de diseño, Cs, se calcula típicamente como:

Ecuación 30/ coeficiente de carga sísmica

$$C_s = S_d(I) / R / I$$

donde:

Sd es la demanda de diseño espectral (aceleración espectral ajustada para el período fundamental de la estructura).

I es el factor de importancia, que refleja la función y el riesgo asociado con la falla de la estructura.

R es el coeficiente de respuesta, que representa la capacidad de disipación de energía de la estructura.

Hasta ahora vamos a solo calculara el coeficiente de diseño de sísmico, debido a que nos falta la carga total del edificio y el peso de este, como tal y para realizar ese procedimiento se elabora se diseña el pre- dimensionamiento y los cálculos de momentos con el cumplimiento requerido de flexión y corte.

15.9 Cálculos de coeficientes sísmico de diseño

Los cálculos de los coeficientes sísmicos de diseño son fundamentales para el diseño sismorresistente de estructuras, asegurando que sean capaces de soportar las fuerzas generadas durante un terremoto. Estos coeficientes se utilizan para ajustar las cargas sísmicas base a las condiciones específicas de la estructura y su ubicación, reflejando la sismicidad local, el tipo de suelo, la importancia de la estructura, y otras variables críticas.

Una vez tenemos los cálculos de los factores que realizamos con la norma NEC, se procede a realizar el cálculo del coeficiente sísmico de diseño, este factor de sísmico de diseño se

lo multiplica con la carga sísmica reactiva, este último dato se lo tendrá después, puesto que, primero se necesita sacar el peso y las cargas restante de todo el edificio, el cálculo de este factor de diseño sísmico es el siguiente:

$$C_s: IS_a(T_a) / R \phi_p \phi_E$$

$$C_s: 0.77 * 0.86 / 0.81 * 7 * 0.86$$

$$C_s: 0.13$$

Ilustración 39/ Cortante basal diseño.

6.3.2. Cortante basal de diseño V

El cortante basal total de diseño V, a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante las expresiones:

$V = \frac{I S_a(T_a)}{R O_p O_E} W$	
Dónde	
$S_a(T_a)$	Espectro de diseño en aceleración; véase en la sección [3.3.2]
O_p y O_E	Coefficientes de configuración en planta y elevación; véase en la sección [5.3]
I	Coefficiente de importancia; se determina en la sección [4.1]
R	Factor de reducción de resistencia sísmica; véase en la sección [6.3.4]
V	Cortante basal total de diseño
W	Carga sísmica reactiva; véase en la sección [6.1.7]
T_a	Periodo de vibración; véase en la sección [6.3.3]

Nota: En esta ilustración se explica el cálculo del cortante basal de diseño. Fuentes: NEC-SE-DS SEC

6.3.2.

15.9.1 Peso de la estructura.

Una vez determinadas las uniones y se realizaron los cálculos pertinentes usando software, ajustándose a las normativas vigentes, se pueden estimar los pesos correspondientes a los pisos y a la estructura en su conjunto. Este paso es fundamental para la determinación de los factores que inciden en la cortante basal, permitiendo así una evaluación precisa de las fuerzas que actúan sobre la base de la estructura. Este proceso no solo asegura el cumplimiento de los requisitos normativos, sino que también contribuye a la optimización del diseño estructural, garantizando la seguridad y la estabilidad de la edificación.

Tabla 20/ peso del edificio

Caso/Planta	Nombre	Masa (kg)	G (x,y,z) (m)	R (x,y,z) (m)	Ix (kgm2)	Iy (kgm2)	Iz (kgm2)	ex0 (m)	ey0 (m)	ex2 (m)	ey2 (m)
1/ 1	P1	2087122.36	26.47 5.90 18.82	32.16 6.38 18.82	61519213.16	459438712.47	522344168.89	5.69	0.48	0.0	0.0
1/ 2	P2	2069964.20	26.46 5.90 22.75	32.16 6.38 22.75	60259955.52	454154431.46	516978244.58	5.70	0.47	0.0	0.0
1/ 3	CUBIERTA	2069964.20	26.46 5.90 26.65	32.16 6.38 26.65	59960810.33	453855286.26	516978244.58	5.70	0.47	0.0	0.0

Nota: En esta tabla se explica el peso de cada piso, del peso muerto de la estructura.

Fuente: (Joseph vera – 2024)

Utilizando los valores obtenidos, avanzaremos hacia la ejecución de los cálculos definitivos del cortante basal, con el objetivo de precisar las fuerzas horizontales que incidirán en el edificio. Este análisis es fundamental para comprender la interacción de la estructura con las potenciales cargas sísmicas. A continuación, se efectuará una meticulosa comparación con el espectro de diseño sismorresistente, un paso indispensable para verificar la conformidad con las normativas vigentes en materia de construcción y seguridad sísmica. Este procedimiento no solo es esencial para validar la capacidad de la estructura de soportar las cargas sísmicas anticipadas, sino que también es crucial para reafirmar el compromiso con la preservación de la integridad estructural y la protección de la vida humana.

La evaluación del espectro de diseño, en consonancia con los estándares establecidos, permite identificar y subsanar cualquier discrepancia en las fases tempranas del diseño, asegurando una respuesta eficaz de la estructura ante eventos sísmicos. Este enfoque proactivo hacia la ingeniería sísmica no solo cumple con los requisitos regulatorios, sino que también promueve la implementación de prácticas de diseño avanzadas y la adopción de soluciones innovadoras para mejorar la resiliencia sísmica de las edificaciones. Al garantizar que la estructura esté adecuadamente preparada para enfrentar las cargas sísmicas previstas, este proceso refuerza la seguridad, la durabilidad y la fiabilidad del proyecto, estableciendo un modelo a seguir en la ingeniería estructural orientada hacia la mitigación de riesgos y la sostenibilidad a largo plazo.

16. Cálculo del cortante basal

Tabla 21/ cortante basal.

Prediseño por cortante basal V										
NIVEL	PESO TOTAL (TON)		ALTURA (m)		ALT (m)		Wi*AL (Ton*m)		α	Fi
CUBIERTA	2,037.27	TON	3.90	m	12.40	m	25,262.15	Ton*m	0.49	385.56
PISO 2	2,037.27	TON	3.90	m	8.50	m	17,316.80	Ton*m	0.33	264.29
PISO 3	2,054.20	TON	4.60	m	4.60	m	9,449.32	Ton*m	0.18	144.22
W	6,128.74	TON					52,028.26	Ton*m	1.00	
V	794.07									794.07

En el desarrollo de este estudio, se ha empleado un detallado cuadro de Excel para la sistematización y ejecución de los cálculos necesarios, destacando la conversión de kilogramos a toneladas para el peso de los pisos, conforme a las unidades de medida adoptadas en el proyecto. Esta conversión es fundamental para mantener la coherencia y precisión en el análisis estructural.

Se han tomado en cuenta las alturas intermedias de cada piso, sumando estos valores para conocer las dimensiones verticales del edificio.

Siguiendo las directrices establecidas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), se procedió a ajustar el peso total del edificio, identificando W:D como la carga sísmica reactiva, un parámetro crítico en el diseño sísmico. Este ajuste, multiplicado por la suma de las alturas de los pisos, permite calcular el valor de WI*AL, esencial para la determinación de las fuerzas sísmicas actuantes sobre la estructura.

Ilustración 40/ carga sísmica reactiva.

6.1.7. Carga sísmica reactiva **W**

La carga sísmica **W** representa la carga reactiva por sismo.

Independientemente del método de análisis descrito en la sección [6.2](#) se usará la siguiente carga sísmica reactiva **W**.

Caso general

$$W=D+0.25L_i$$

Dónde

D Carga muerta total de la estructura

L_i Carga viva del piso *i*

Casos especiales: bodegas y almacenaje

$$W=D+0.5L_i$$

Dónde

D Carga muerta total de la estructura

L_i Carga viva del piso *i*

Nota: En la ilustración se explica las ecuaciones según el diseño del edificio a utilizar. Fuentes: NEC-SE-DS (diciembre 2015).

El factor α , calculado como la relación entre el total de $W_i \cdot A_i$ y la suma de las multiplicaciones correspondientes a cada piso, incluyendo la cubierta, es crucial para asegurar que la distribución de las cargas sísmicas a lo largo del edificio sea proporcional y cumpla con el principio de equilibrio dinámico, cuyo resultado debe converger hacia la unidad.

La determinación del cortante basal, utilizando la fórmula $V = W \cdot \alpha$, integra el coeficiente derivado de la carga reactiva, reflejando las interacciones entre la estructura y las fuerzas sísmicas. Este paso es vital para la evaluación de la respuesta estructural y la implementación de medidas de mitigación adecuadas.

Finalmente, el valor del cortante basal se ajusta mediante la aplicación de factores específicos para cada piso, derivando en la distribución de cargas a lo largo del edificio. La sumatoria de estas cargas proporciona el valor final del cortante basal, un indicador clave de la capacidad del edificio para resistir movimientos sísmicos. Este enfoque metodológico no solo

cumple con los requisitos normativos, sino que también contribuye significativamente a la seguridad estructural, ofreciendo insights valiosos para el diseño de edificaciones resilientes a sismos. Este análisis detallado subraya la importancia de una planificación meticulosa y la adopción de estándares de ingeniería avanzados en el desarrollo de proyectos en zonas sísmicamente activas.

17. Cálculos de análisis

En la sección subsiguiente, se emprenderá un meticuloso examen analítico de las dinámicas estructurales del edificio, abordando su interacción con fenómenos sísmicos y la influencia de la gravedad, así como las cargas que incidirán sobre la construcción. Este análisis se extenderá para incluir una evaluación detallada de los esfuerzos, desplazamientos y respuestas estructurales del edificio ante dichas condiciones.

El punto de partida para esta fase analítica será la evaluación sísmica. Esta decisión se fundamenta en los trabajos previos del proyecto, donde se determinó el cortante basal de la estructura conforme a la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC), asegurando así una progresión lógica y estructurada en el avance del proyecto. Es crucial subrayar que, además de aplicar la normativa local, se integrarán criterios de normativas internacionales en los cálculos, como son la Especificación AISC 15 para estructuras de acero y la normativa peruana E030-2018. La adopción de estos estándares internacionales persigue el objetivo de afinar la precisión y coherencia de los análisis, facilitando el desarrollo de una solución estructural de óptima calidad.

17.1 Análisis sísmico estático.

Para llevar a cabo los cálculos pertinentes al análisis sísmico, se han empleado herramientas como hojas de cálculo de Excel y el software especializado Robot Structural Analysis. El proceso inició con la elaboración de un modelo matemático detallado que representa

cómo las fuerzas laterales actúan sobre la estructura, basándose en el análisis previo del cortante basal realizado en AutoCAD. Este modelo incluye la especificación precisa de dimensiones y la distribución de las fuerzas en función del peso de los diferentes niveles o entrepisos de la edificación. Este enfoque metodológico permite una evaluación rigurosa y detallada de la respuesta estructural del edificio ante la acción sísmica, asegurando así un diseño que cumple con los requisitos de seguridad y estabilidad necesarios.

Ilustración 41/ figura de fuerzas laterales.



Nota: En la ilustración, se muestra las fuerzas laterales en el edificio que se va a ejercer. Fuentes: Joseph vera (febrero 2024).

17.1.1 Análisis sísmico estático en Robot.

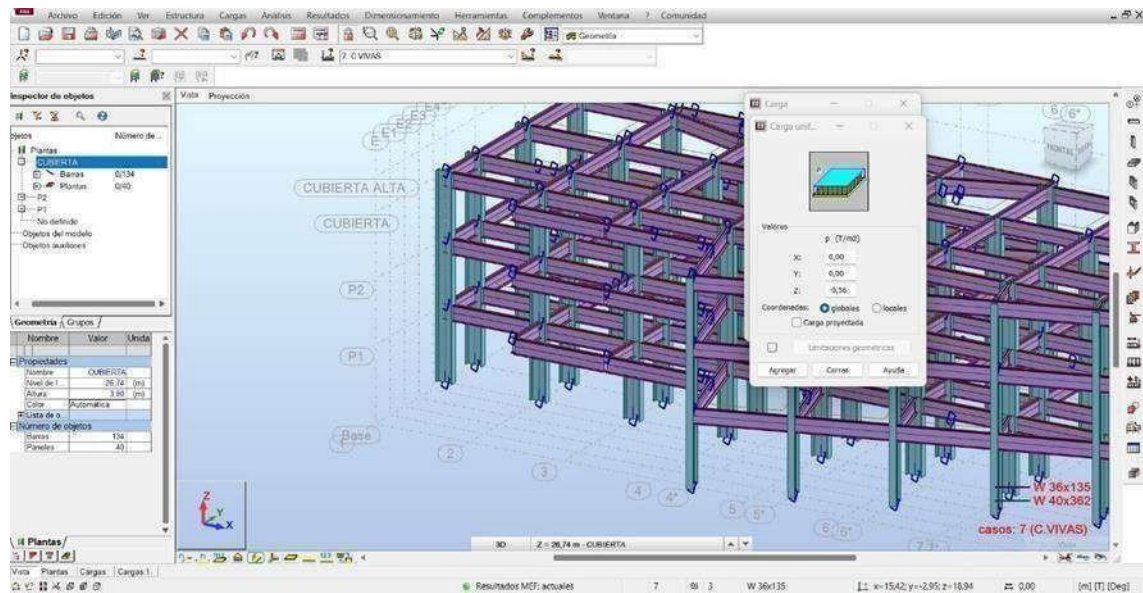
El análisis sísmico estático se basa en la premisa de que es posible estimar la respuesta sísmica de una estructura mediante la aplicación de fuerzas laterales estáticas. Estas fuerzas se calculan en función de la masa de la estructura y de su rigidez, así como de parámetros sísmicos específicos de la región, como la aceleración del suelo. Este método es efectivo para estructuras regulares en altura y de comportamiento elástico. Esta técnica, también conocida como método de fuerza horizontal equivalente (FHE), se fundamenta en la aplicación de fuerzas sísmicas estáticas horizontales a una estructura para simular los efectos de un terremoto.

En el desarrollo de este análisis, se adoptó un enfoque metodológico que involucra el uso directo del software especializado, destinado a evaluar las deformaciones estructurales del edificio y las rigideces que se manifiestan entre los diferentes pisos. Este procedimiento facilita la transición hacia un análisis bidimensional, empleando matrices de cálculo modal espectral sísmico, lo que constituye un paso inicial crucial dentro del proceso de evaluación.

Para la implementación efectiva de este análisis, fue imprescindible inicializar el programa con la definición precisa de las cargas vivas y muertas. Estas cargas, conocidas como gravitatorias, constituyen elementos permanentes en los cálculos de análisis estructural, debido a su naturaleza constante y su impacto significativo en la integridad estructural del edificio.

En etapas previas de este proyecto, se procedió a la cuantificación de dichas cargas, siguiendo los criterios establecidos por la normativa ecuatoriana. Este proceso implicó un detallado cálculo de las losas, considerando los materiales específicos que serían utilizados en su construcción. Posteriormente, se abordó la cuestión de la mayoración de cargas, una práctica comúnmente adoptada en este tipo de análisis para asegurar un margen de seguridad adecuado. Esta mayoración de cargas se integró al software como una combinación de factores, preparando el terreno para el análisis estructural propiamente dicho.

Ilustración 42/ cargas estipuladas.



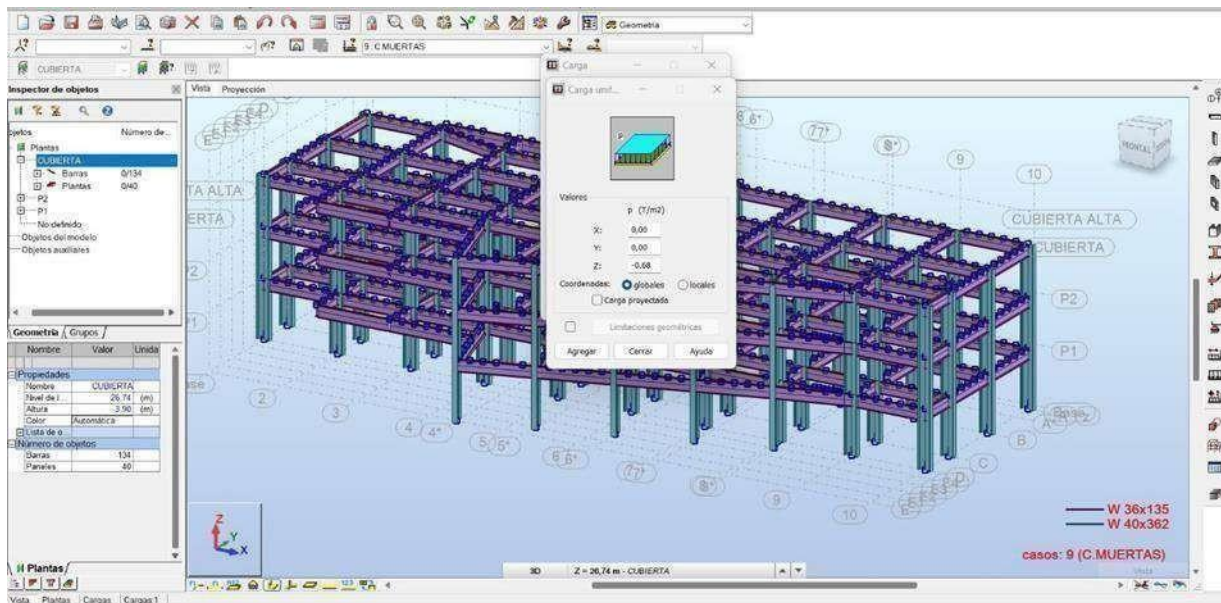
Nota: En la ilustración se muestra, como se le añade el valor de cargas a su respectivo orden. Fuentes:

Joseph vera (febrero-2024)

Una vez establecidas las bases metodológicas y los parámetros iniciales, el valor de las cargas se introdujo en el programa siguiendo un orden preestablecido. Este procedimiento meticuloso asegura la precisión del análisis estructural, permitiendo así identificar con exactitud las deformaciones y rigideces entre pisos, elementos cruciales para garantizar la seguridad y estabilidad del edificio frente a eventos sísmicos. La implementación de estas estrategias, respaldada por herramientas computacionales avanzadas, constituye un pilar fundamental en la ingeniería estructural moderna, orientada hacia la optimización de la respuesta sísmica de las edificaciones.

En el programa se pone de manera vertical las cargas, ósea en el eje de las Z según el programa y esta se coloca de manera distribuidas en todas las vigas y columnas.

Ilustración 43/ cargas respectivas en cada caso.



Nota: En esta ilustración, se muestra la colocación de la carga correspondiente en las cargas muertas.

Fuentes: Joseph vera (febrero 2024).

En la fase subsiguiente de nuestra investigación, es imperativo elaborar una tabla que permita verificar meticulosamente que el peso propio de las vigas y columnas esté adecuadamente representado bajo una categoría de carga designada como DL1 por el software utilizado. Este procedimiento es crucial para distinguir entre el peso propio de estos elementos estructurales y las cargas muertas, las cuales ya incorporan el cálculo correspondiente a las losas.

La distinción entre el peso propio de vigas y columnas y las cargas muertas es fundamental, ya que permite una evaluación más precisa y detallada de las fuerzas que actúan sobre la estructura. Las cargas muertas generalmente comprenden el peso de los elementos constructivos fijos y permanentes, incluyendo las losas, muros, y acabados, entre otros. En

contraste, el peso propio se refiere al peso de las vigas y columnas, elementos cruciales para transferir cargas a los cimientos.

Tras la verificación meticulosa del procedimiento establecido, se procede al cálculo detallado de las reacciones estructurales del edificio. Este análisis es crucial para determinar los momentos flectores máximos a los que estará sometido el edificio bajo condiciones de carga específicas. Se evalúa la sumatoria de las fuerzas aplicadas, prestando especial atención a la mayoración de cargas, identificando los escenarios críticos que pueden afectar la integridad estructural del edificio.

Además, se analizan detenidamente las reacciones provocadas por el peso propio del edificio, es decir, la carga muerta que representa una componente constante e invariable a lo largo del tiempo. Esta evaluación incluye la suma de las cargas que actúan sobre la estructura, fundamental para comprender la distribución de fuerzas y asegurar que el diseño estructural resista las cargas permanentes y las transitorias, garantizando la seguridad y estabilidad del edificio a largo plazo.

Tabla 22/ reacciones del edificio.

Nudo/Caso	FX (T)	FY (T)	FZ (T)	MX (Tm)	MY (Tm)	MZ (Tm)
44/ 1	-0.02	-0.06	9,58	0.10	-0.04	0.00
46/ 1	0.03	-0.05	10,14	0.08	0.05	0.00
48/ 1	0.04	-0.01	13,24	0.04	0.09	-0.00
50/ 1	0.02	-0.01	13,52	0.02	0.06	0.00
52/ 1	0.02	-0.00	13,51	0.01	0.07	0.00
54/ 1	0.03	0.00	13,58	0.00	0.08	0.00
56/ 1	-0.15	0.00	11,87	-0.00	-0.16	0.00
58/ 1	0.12	-0.01	10,71	0.03	0.11	0.00
60/ 1	-0.06	0.00	10,35	0.02	-0.13	-0.00
62/ 1	0.00	0.01	9,43	0.01	-0.02	0.00
64/ 1	0.02	-0.00	11,78	0.03	0.03	0.00
66/ 1	0.01	-0.00	12,48	0.02	0.02	-0.00
68/ 1	0.01	-0.01	12,27	0.03	0.04	0.00
72/ 1	0.02	-0.00	12,35	0.01	0.06	0.00
74/ 1	0.02	0.00	12,40	0.00	0.07	0.00
76/ 1	0.03	0.00	12,52	-0.00	0.09	0.00
78/ 1	-0.15	0.01	10,78	-0.01	-0.16	-0.00
80/ 1	0.21	-0.01	8,97	0.03	0.24	0.00
82/ 1	0.03	-0.12	16,14	0.18	0.00	-0.00
84/ 1	-0.03	-0.19	18,89	0.29	-0.08	-0.00
86/ 1	0.01	-0.07	15,02	0.12	0.00	-0.00
88/ 1	0.01	-0.03	12,67	0.07	0.02	0.00
90/ 1	0.02	-0.02	12,06	0.05	0.06	0.00
92/ 1	0.02	-0.01	11,48	0.02	0.07	0.00
94/ 1	0.05	-0.00	11,00	0.00	0.12	-0.00
96/ 1	-0.03	-0.00	12,02	0.01	0.03	0.00
98/ 1	-0.14	0.01	8,79	-0.01	-0.13	0.00
4428/ 1	-0.11	0.49	11,14	-0.20	-0.01	0.00
4430/ 1	-0.04	0.13	12,05	0.18	0.05	0.00
4431/ 1	0.01	-0.01	11,11	0.34	0.11	0.00
4436/ 1	0.02	-0.05	10,62	0.27	0.08	0.00
4437/ 1	0.01	-0.03	10,38	0.14	0.05	0.00
Caso 1	DL1					
Suma final	0.00	0.00	554,39	1.99	0.48	0.00
Suma de reaccion	0.00	0.00	554,39	3061,27	-14896,40	-0.00
Suma de esfuerzos	0.0	0.0	-554,39	-3061,27	14896,40	0.0
Verificación	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00
Precisión:	1,05628e-06	9,40532e-20				

Nota: En la tabla, se explica un resumen de las reacciones en el edificio, con la fuerzas y momentos máximos. Fuentes: Joseph vera 2024.

17.1.2 Centro de gravedad del edificio

El centro de gravedad de un edificio es un concepto fundamental en la ingeniería estructural que desempeña un papel crucial en el diseño y análisis de la estabilidad y la seguridad de las estructuras. Este concepto se refiere al punto teórico en el que actúa toda la masa de una

estructura, distribuyendo su peso uniforme en todas las direcciones. La localización del centro de gravedad es esencial para entender cómo las fuerzas gravitatorias afectan a un edificio y cómo este responde a tales fuerzas, especialmente en situaciones críticas como terremotos o cargas de viento.

El centro de gravedad (CG) de un edificio se define como el punto donde se puede considerar concentrada toda la masa del edificio para propósitos de análisis de equilibrio y estabilidad. El CG es el promedio ponderado de las posiciones de las masas del edificio, considerando su distribución espacial.

La localización del centro de gravedad en un sistema de coordenadas (x, y, z) puede determinarse usando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 31 / centro de gravedad.

$$X_{CG} = \frac{\sum(m_i \cdot x_i)}{\sum m_i}$$

$$Y_{CG} = \frac{\sum(m_i \cdot y_i)}{\sum m_i}$$

$$Z_{CG} = \frac{\sum(m_i \cdot z_i)}{\sum m_i}$$

Donde:

X_{CG} , Y_{CG} , y Z_{CG} son las coordenadas del centro de gravedad en los ejes X, Y, y Z, respectivamente.

m_i es la masa del componente i del edificio.

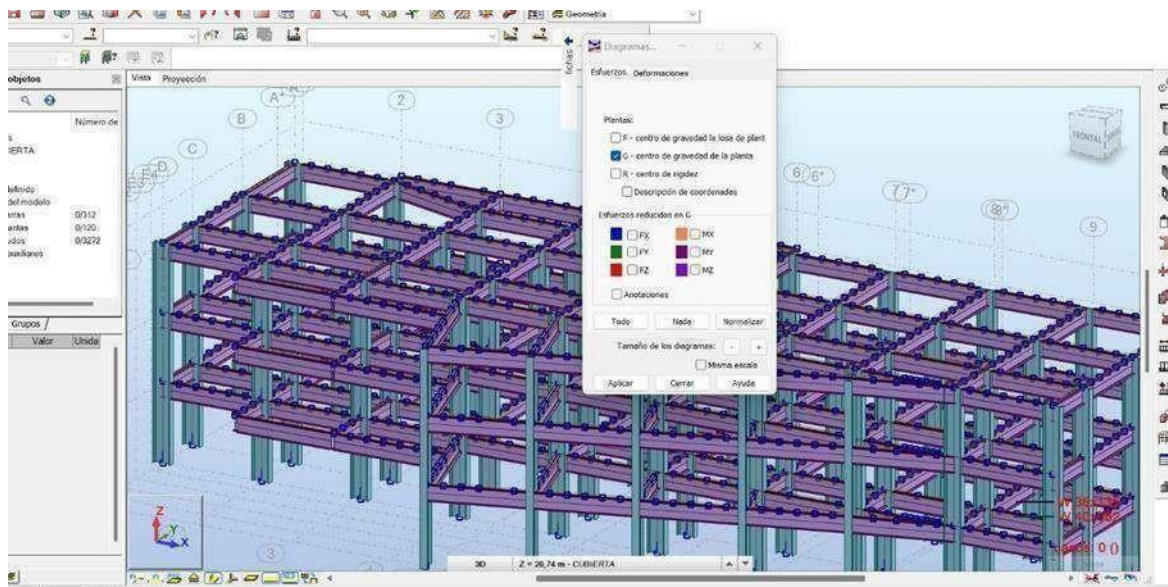
x_i , y_i , y z_i son las coordenadas del centro de masa del componente i.

La suma \sum se extiende a todos los componentes del edificio.

En el proceso de análisis estructural mediante software especializado, es imperativo iniciar con el cálculo de los resultados bajo las cargas preestablecidas para cada escenario específico. Este paso inicial es fundamental para asegurar la precisión en la evaluación de la respuesta estructural del edificio ante las distintas condiciones de carga. Posteriormente, se identifica el centro de gravedad por plantas del edificio, que se realiza mediante la herramienta de diagrama para edificios, específicamente en la sección dedicada al análisis de esfuerzos.

Esta metodología permite una exploración detallada de las respuestas estructurales del edificio, facilitando la identificación precisa del centro de gravedad en cada nivel. La herramienta provee, tras este análisis, coordenadas que señalan la ubicación del centro de gravedad en la planta. Este dato es de vital importancia para el diseño estructural, ya que ofrece información crítica sobre la distribución de masas y cómo estas afectan la estabilidad y el comportamiento global del edificio bajo las fuerzas gravitatorias y laterales.

Ilustración 44/ centro de gravedad.



Nota: En esta ilustración se muestra cómo se determina mediante coordenadas el centro de gravedad.

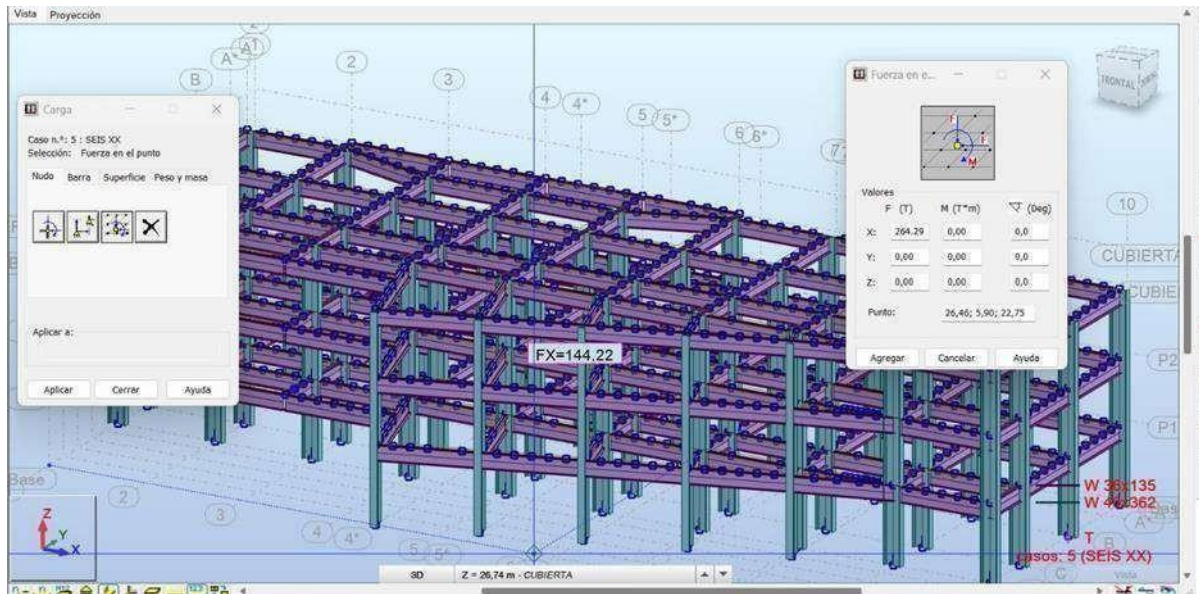
Fuentes: Joseph vera 2024.

determinadas las coordenadas del centro de gravedad mediante el software de análisis estructural, se convierten en un elemento crucial para la aplicación precisa de fuerzas horizontales en los entrepisos, derivadas del cálculo previo del cortante basal. Para incorporar eficazmente estas fuerzas en el modelo estructural, se procederá dentro del software a la creación de dos nuevos casos de carga, denominados respectivamente como "Sismo XX" y "Sismo YY". Estos casos están diseñados para facilitar la asignación de las fuerzas laterales en las direcciones X e Y, replicando las condiciones sísmicas que el edificio podría enfrentar.

La metodología de asignación de estas fuerzas laterales se asemeja al proceso utilizado para la aplicación de cargas muertas y vivas; sin embargo, difiere significativamente en que las fuerzas se ubicarán en puntos específicos. Estos puntos no son otros que las coordenadas del

centro de gravedad identificadas previamente, en los ejes Y y X, respectivamente. Este enfoque garantiza que las fuerzas sísmicas se apliquen de manera coherente con la distribución de masa del edificio, mejorando la precisión del análisis estructural.

Ilustración 45/ fuerzas laterales.



Nota: En esta ilustración se muestra las fuerzas laterales en x; y en el programa. Fuentes: Joseph vera 2024.

Una vez concluido el proceso preliminar, se avanza hacia la etapa de cálculo estructural utilizando la herramienta computacional específica del programa de diseño. Este paso es esencial para el modelado preciso de la edificación bajo estudio. La ejecución del análisis a través de esta herramienta permite una evaluación detallada de las cargas aplicadas, asegurando su correcta distribución y aplicación en los ejes predeterminados. Esta verificación se realiza mediante la revisión exhaustiva de la tabla de cargas generada por el software, lo que garantiza la fidelidad del modelo respecto a las fuerzas externas actuantes.

Después, se enfoca la atención en los desplazamientos observados en la estructura por las cargas aplicadas. Este análisis es fundamental para comprender la respuesta dinámica del edificio ante eventos sísmicos. Se realizan los cálculos bidimensionales necesarios para el análisis sísmico, incluyendo la determinación de las rigideces de los elementos estructurales. Estos datos son indispensables para la formulación del cálculo matricial modal, un componente crítico del análisis estructural que permite evaluar las posibles respuestas del edificio frente a distintos modos de vibración sísmica.

La rigidez de los elementos estructurales es calculada tomando en cuenta la geometría, los materiales de construcción y las condiciones de soporte de la edificación.

Tabla 23/ tabla de las cargas sísmica.

Caso	Tipo de carga	Lista															
2.C.MUER	(EF) uniforme	336A355 357A	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.68	global	no proyectada	absolutos	Limitaciones	MEMO:							
3.C.VIVAS	(EF) uniforme	336A355 357A	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.56	global	no proyectada	absolutos	Limitaciones	MEMO:							
1 DL1	peso propio	1 2 5A51 60A7	Parte de la est	Z	Coef=1.00	Secuencial	MEMO:										
5-SEIS XX	(EF) fuerza en el punto		FX=144.22	FY=0.0	FZ=0.0	CX=0.0	CY=0.0	CZ=0.0	AL=0.0	BE=0.0	GA=0.0	X=26.47	Y=5.90	Z=18.82	MEMO:		
6-SEIS XX	(EF) fuerza en el punto		FX=264.29	FY=0.0	FZ=0.0	CX=0.0	CY=0.0	CZ=0.0	AL=0.0	BE=0.0	GA=0.0	X=26.46	Y=5.90	Z=22.75	MEMO:		
6-SEIS XX	(EF) fuerza en el punto		FX=385.56	FY=0.0	FZ=0.0	CX=0.0	CY=0.0	CZ=0.0	AL=0.0	BE=0.0	GA=0.0	X=26.46	Y=5.90	Z=26.65	MEMO:		
6-SEIS YY	(EF) fuerza en el punto		FX=0.0	FY=385.56	FZ=0.0	CX=0.0	CY=0.0	CZ=0.0	AL=0.0	BE=0.0	GA=0.0	X=26.46	Y=5.90	Z=26.65	MEMO:		
6-SEIS YY	(EF) fuerza en el punto		FX=0.0	FY=264.29	FZ=0.0	CX=0.0	CY=0.0	CZ=0.0	AL=0.0	BE=0.0	GA=0.0	X=26.46	Y=5.90	Z=22.75	MEMO:		
6-SEIS YY	(EF) fuerza en el punto		FX=0.0	FY=144.22	FZ=0.0	CX=0.0	CY=0.0	CZ=0.0	AL=0.0	BE=0.0	GA=0.0	X=26.47	Y=5.90	Z=18.82	MEMO:		

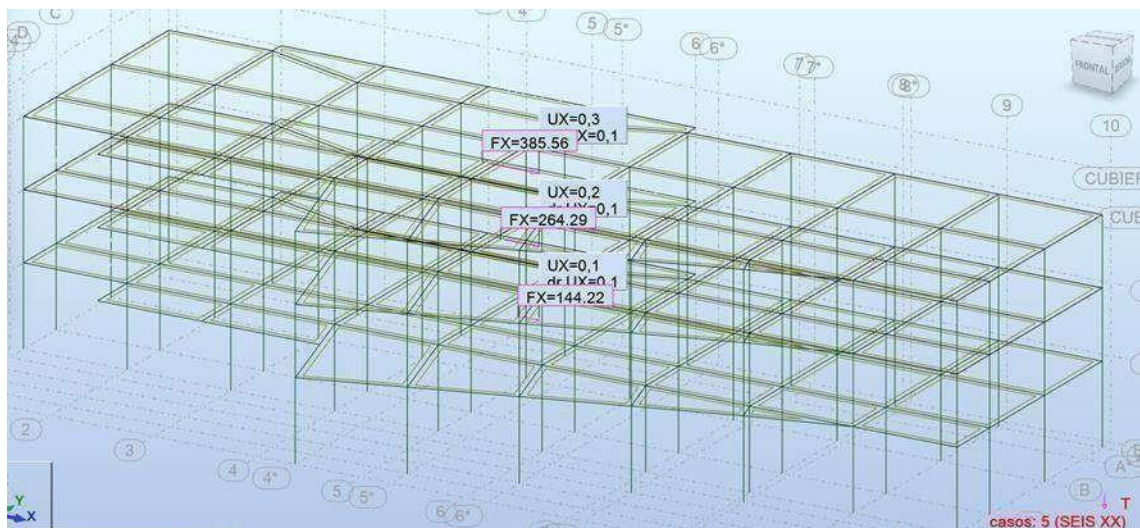
Nota: En esta tabla se indica las cargas sísmicas en los ejes correspondiente. Fuentes: Joseph vera 2024.

En el marco del análisis sísmico de estructuras, la determinación de las rigideces en las distintas plantas del edificio se revela como un requisito indispensable para la ejecución precisa del cálculo matricial asociado al espectro modal. Este proceso se facilita significativamente con software especializado en análisis estructural, equipado con herramientas avanzadas para simular y predecir el comportamiento de la edificación ante cargas sísmicas. Una de estas herramientas, dedicada específicamente a la evaluación de las deformaciones que sufre el edificio bajo acción

sísmica, permite a los ingenieros obtener datos críticos sobre los desplazamientos en los ejes X e Y, expresados en centímetros.

El conocimiento de estos desplazamientos es fundamental para el cálculo de las rigideces por planta, puesto que proporciona una base sólida para la modelización de la respuesta estructural del edificio a las fuerzas sísmicas. Con la aplicación de principios de mecánica estructural y dinámica, se realiza el cálculo matricial sísmico, técnica que permite evaluar con precisión las respuestas modales de la estructura.

Ilustración 46/ desplazamiento en el edificio.



Nota: En esta ilustración se muestra el desplazamiento que sufre la estructuras por las fuerzas laterales.

Fuentes: Joseph vera 2024.

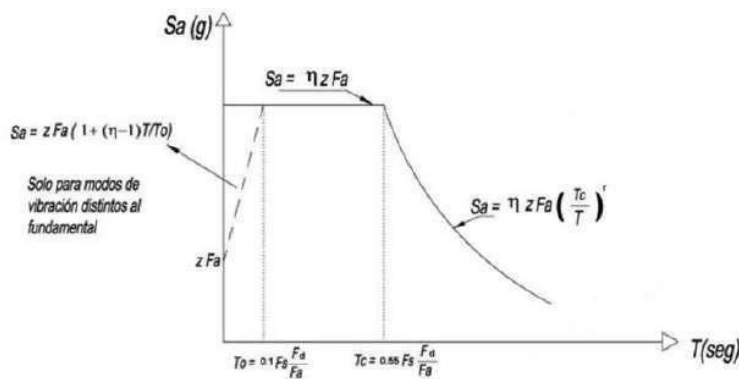
17.1.3 Análisis estático con espectro estático.

Ahora lo que se necesita es el análisis con espectro del análisis estático, para esto nos dirigimos a los cálculos que tenemos anteriormente del cortante basal para realizar el espectro de NEC 15, de diseño sísmico resistente, Los espectros sísmicos desempeñan un papel fundamental en la fase de diseño estructural, al facilitar la estimación precisa de la máxima tensión o

deformación que podría experimentar una construcción en caso de un sismo específico. Esta capacidad de predicción es crucial para asegurar la integridad y el desempeño adecuado de la estructura frente a eventos sísmicos. Las directrices para el diseño sísmico, dictadas por las normativas vigentes, prescriben la utilización de espectros de respuesta adaptados a las particularidades del suelo y a las características intrínsecas de la edificación en cuestión.

Por ello se realiza los siguientes cálculos básico a utilizar para el espectro y el diagrama de este mismo.

Ilustración 47/Espectro elástico horizontal.



Dónde:

η	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_v	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura
T_0	Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
T_c	Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Nota: En la ilustración, se nos explica la función de espectro elástico horizontal que se utiliza para el análisis estático y dinámico. Fuentes: NEC-SE-DS, SEC 3.3.1. (diciembre 2014).

Cálculo del Coeficiente Sísmico:

Ecuación 32/coeficiente sísmico.

$$C_s = S_a(T)/g$$

$S_a(T)$ es la aceleración espectral para un periodo de vibración T , y g es la aceleración debido a la gravedad.

Ecuación de Periodo Fundamental de Vibración (para edificaciones):

Ecuación 33/ periodo fundamental.

$$T: C_t * H^n$$

Donde T es el periodo fundamental de vibración, H es la altura de la edificación, C_t y n son constantes que dependen del tipo de estructura.

Tabla 24/ espectro análisis estático.

ESPECTRO PARA ANÁLISIS ESTÁTICO		
	Elástico	Reducido
T	S_a	S_a
seg.	(g)	(g)
0.001	0.720	0.141
0.100	0.720	0.141
0.300	0.720	0.141
0.400	0.720	0.141
0.500	0.594	0.116
0.600	0.495	0.097
0.700	0.424	0.083
0.800	0.371	0.073
0.900	0.330	0.065
1.000	0.297	0.058

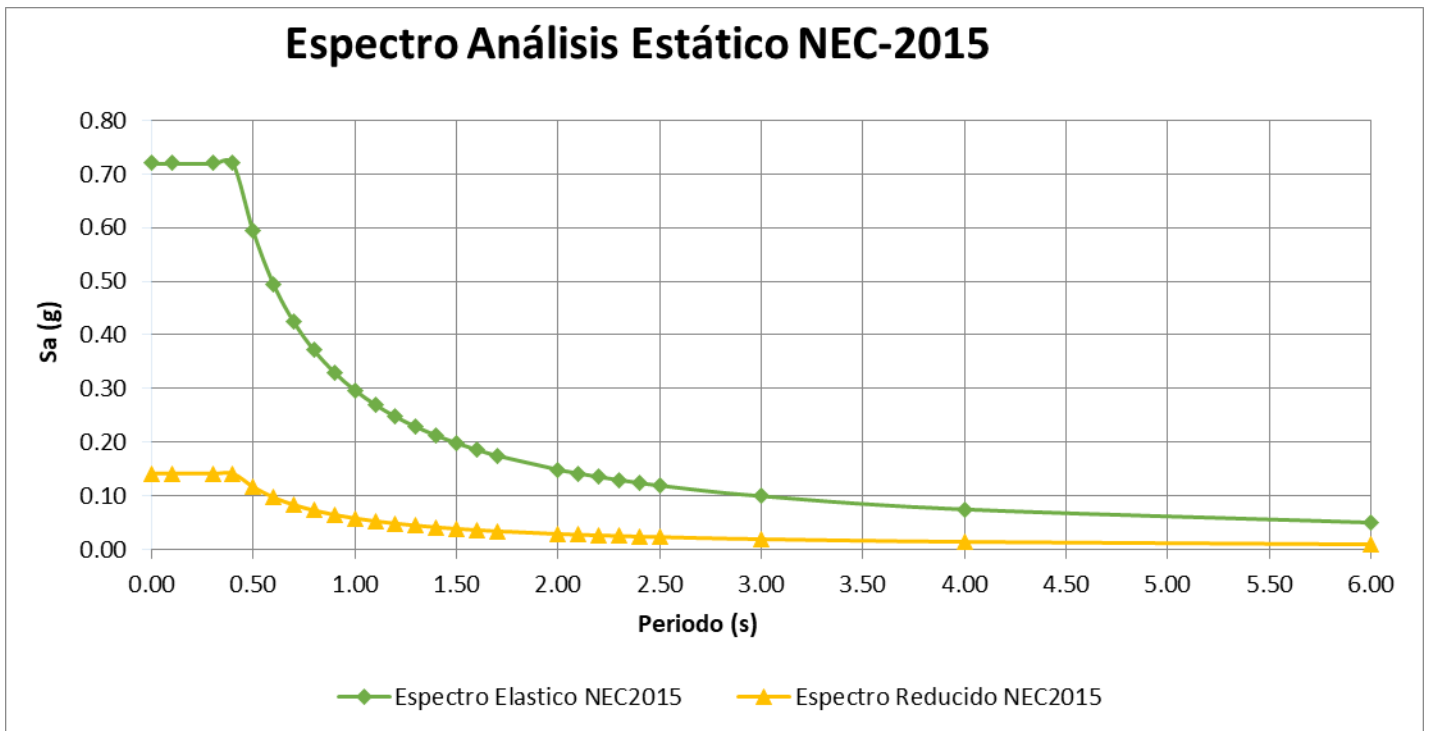
1.100	0.270	0.053
1.200	0.248	0.049
1.300	0.228	0.045
1.400	0.212	0.042
1.500	0.198	0.039
1.600	0.186	0.036
1.700	0.175	0.034
2.000	0.149	0.029
2.100	0.141	0.028
2.200	0.135	0.026
2.300	0.129	0.025
2.400	0.124	0.024
2.500	0.119	0.023
3.000	0.099	0.019
4.000	0.074	0.015
6.000	0.050	0.010

17.1.4 Diagrama del espectro estático

El diagrama del espectro estático, también conocido como espectro de respuesta estática, es una herramienta fundamental en el análisis sísmico de estructuras. Este diagrama tiene múltiples propósitos en la ingeniería estructural y sísmica, especialmente en la evaluación del comportamiento de estructuras bajo la acción de terremotos.

El espectro estático representa una representación gráfica de la demanda sísmica en cuanto a aceleraciones, velocidades o desplazamientos máximos esperados en la estructura, según su período de vibración natural. Esto permite identificar la intensidad del movimiento sísmico que puede afectar a la estructura.

Ilustración 48/ diagrama espectro estático.



En diagrama se visualiza el espectro de elástico y el de reducido este diagrama es de $S_a(g)$ y $T(segundos)$.

17.2 Análisis sísmico dinámico

En el marco del análisis sísmico de estructuras, la determinación de las rigideces en las distintas plantas del edificio se revela como un requisito indispensable para la ejecución precisa del cálculo matricial asociado al espectro modal. Este proceso se facilita significativamente con software especializado en análisis estructural, equipado con herramientas avanzadas para simular y predecir el comportamiento de la edificación ante cargas sísmicas. Una de estas herramientas, dedicada específicamente a la evaluación de las deformaciones que sufre el edificio bajo acción sísmica, permite a los ingenieros obtener datos críticos sobre los desplazamientos en los ejes X e Y, expresados en centímetros.

El conocimiento de estos desplazamientos es fundamental para el cálculo de las rigideces por planta, puesto que proporciona una base sólida para la modelización de la respuesta estructural del edificio a las fuerzas sísmicas.

17.2.1 Cálculo de rigidez

Con los datos obtenidos anteriormente por el programa, se calculan estas rigideces con la fórmula de fuerza de la ley de Hooke que esta ley describe la relación lineal entre la fuerza aplicada a un material y la deformación elástica resultante, si el material no supera su límite elástico. La Ley de Hooke es esencial para comprender y predecir el comportamiento de los materiales bajo carga, y juega un papel crucial en el diseño y análisis de estructuras, componentes mecánicos, y sistemas de ingeniería.

La Ley de Hooke se expresa comúnmente mediante la ecuación:

Ecuación 34/ ley de Hooke

$$F = k \cdot \Delta x$$

donde:

F es la fuerza aplicada al objeto (en Newtons, N),

k es la constante de proporcionalidad o constante de rigidez del material (en Newtons por metro, N/m),

Δx es la deformación experimentada por el material (en metros, m).

Tabla 25/rigideces.

RIGIDECES			
FACTOR	UNIDAD	CANTIDAD	CONVERSIÓN a ton/m
K1	TON/cm	1,153.74	11.54
K2	TON/cm	1,036.44	10.36
K3	TON/cm	1,117.56	11.18

Por ejemplo, en K1 se tiene que su desplazamiento es de 0.125 *cm* y la fuerza que se ejerce en el centro de gravedad es de *FX*: 144.22 *TON* que esta cantidad se la hallo en el cortan basal, lo que se realiza es desplegar en la ecuación la constante K de rigidez por lo cual quedara $K: \frac{F}{\Delta X}$ con esto se reemplaza los valores y se obtiene lo que se ve en la tabla de cálculos

de Excel, en cada una de las plantas o entre pisos, con esto se realiza el cálculo de matriz de rigidez y matriz de masa.

17.2.2 Matriz de rigidez y de masas

La matriz de rigidez es un componente esencial en el análisis estructural que representa la rigidez de una estructura o componente ante deformaciones. Esta matriz relaciona las fuerzas externas aplicadas a un sistema con los desplazamientos generados en el mismo, a través de una formulación matricial que caracteriza la proporcionalidad entre dichas fuerzas y desplazamientos.

La matriz de masas es otro concepto fundamental, especialmente en el análisis dinámico de estructuras y sistemas mecánicos. Esta matriz representa la distribución de masas dentro de un sistema y su influencia en la respuesta dinámica del mismo bajo cargas externas, como vibraciones o fuerzas sísmicas.

El cálculo que se realiza para este apartado matemático es matriz de 3x3 por que el mismo edificio es uno de tres plantas, que va a tener des desplazamiento, por ende, las incógnitas serán tres en total, así tenemos.

Tabla 26/ Datos del cálculo dinámico.

Pesos (tonf)		Rigideces (tonf/cm)		Alturas (cm)		Masas (tonf-seg ² /cm)	
W1 =	2054.20	K1 =	1153.74	h1 =	460.00	m1 =	2.0940
W2 =	2037.27	K2 =	1036.44	h2 =	390.00	m2 =	2.0767
W3 =	2037.27	K3 =	1117.56	h3 =	390.00	m3 =	2.0767

Los pesos de cada planta en TONF que se determinaron en cortante basal, las alturas que es dato, las rigideces en TONF/CM que es dato que calculamos, también las alturas de las plantas sacada de AutoCAD en cm, y por último las masas en *tonf – seg²/cm* que no es otra cosa que dividir los pesos de cada planta por la misma gravedad en, *cm/seg²*, por ejemplo

$m_1: 2054.20/981.00 = 2.0940$, así mismo con las demás plantas, ahora se los reemplaza en las matrices con sus cálculos matriciales que se tiene que realizar.

Ilustración 49/matrices de masa y rigidez.

$$[M] = \begin{bmatrix} m1 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 \\ 0 & 0 & m3 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} k1 + k2 & -k2 & 0 \\ -k2 & k2 + k3 & -k3 \\ 0 & -k3 & k3 \end{bmatrix}$$

Nota: En esta ilustración se muestra como son las matrices de masa y rigidez. Fuentes: Josué Enríquez (diciembre-2014).

Por lo cual realizando el reemplazo de valores y haciendo los cálculos matriciales de suma y resta obtendremos lo siguientes.

Ecuación 35/ matrices de rigidez y masa.

<u>Matriz de rigidez</u>	<u>Matriz de masa</u>
$\tilde{K} = \begin{pmatrix} 2190.18 & -1036.44 & 0 \\ -1036.44 & 2154 & -1117.56 \\ 0 & -1117.56 & 1117.56 \end{pmatrix}$	$\tilde{M} = \begin{pmatrix} 2.094 & 0 & 0 \\ 0 & 2.077 & 0 \\ 0 & 0 & 2.077 \end{pmatrix}$

Tras la elaboración de la matriz en cuestión, se procede a la determinación de los nodos, los cuales, en este escenario particular, ascienden a tres debido a la estructura tripartita del edificio en estudio.

Estos nodos son fundamentales para decodificar el comportamiento dinámico del edificio ante la influencia de fuerzas laterales, traduciéndose en desplazamientos específicos. Para alcanzar una comprensión detallada y cuantificar este fenómeno mediante un diagrama de desplazamiento, es imperativo llevar a cabo dos cálculos preliminares: la estimación de la frecuencia angular y la determinación del período de vibración.

17.2.3 Formas de modos de vibración.

La metodología para estos cálculos se basa en una operación matricial específica, la ecuación fundamental para obtener los datos pertinentes a los nodos. Este proceso involucra la aplicación de las matrices de rigidez y masa, elementos clave para el análisis estructural en cuestión, la ecuación que se utiliza para esta operación es la siguiente:

Ecuación 36/ formula matricial

$$Det(k - \varphi M) = 0; \varphi: w^2; T: 2\pi/\omega$$

Donde:

k: Es la matriz de rigidiz.

M: Es la matriz de masa.

φ : ω^2 .

m: frecuencia angular.

T: periodo de vibracion.

La presente investigación aborda el análisis de la dinámica estructural mediante una operación matricial específica, la cual constituye un pilar fundamental en la comprensión del comportamiento vibratorio de estructuras. Esta operación se articula a través de la multiplicación de la matriz modal Φ , considerada como una constante, por la matriz de masa M , seguida de la sustracción de la matriz

de rigidez K . Matemáticamente, se formaliza la relación como K

– ΦM , y a esta expresión se le aplica el cálculo de la determinante, estableciendo la condición de que dicha determinante sea igual a cero $\det(K - \Phi M) = 0$.

Esta ecuación característica es esencial para la determinación de las frecuencias naturales del sistema, proporcionando así una base para el análisis modal de estructuras.

Se realiza en procedimiento utilizando el programa para sacar los resultados de las frecuencias angular y periodos de vibración.

$$Det \begin{pmatrix} 2190.18 - 2094\omega^2 & -1036.44 & 0 \\ -1036.44 & 2154 - 2077\omega^2 & -1117.56 \\ 0 & -1117.56 & 117.56 - 2077\omega^2 \end{pmatrix} : 0$$

1680.221	835.674	105.387
0.400	0.520	0.217
-0.512	0.221	0.413
0.241	-0.400	0.513

modo1	modo2	modo3
105.39	835.67	1680.22
0.217	0.520	0.400
0.413	0.221	-0.512
0.513	-0.400	0.241

modo1	modo2	modo3
105.39	835.67	1680.22
0.513	-0.400	0.241
0.413	0.221	-0.512
0.217	0.520	0.400

Por lo que los periodos de vibración y frecuencia regular quedarán así.

$$\omega_1: 10.26 \text{ rad/seg}$$

$$T_1: 0.612 \text{ rad/seg}$$

$$\omega_2: 28.908 \text{ rad/seg}$$

$$T_2: 0.217 \text{ rad/seg}$$

$$\omega_3: 40.990 \text{ rad/seg}$$

$$T_3: 0.153 \text{ rad/seg}$$

Tras la determinación precisa de los periodos y frecuencias naturales del sistema, el siguiente paso en el análisis dinámico estructural implica la ejecución de cálculos matriciales para identificar los modos de vibración. Este proceso metodológico se fundamenta en la ecuación establecida, añadiendo nuevos parámetros: las incógnitas de desplazamiento X1, X2 y X3. Estas variables representan los desplazamientos específicos en cada nivel de la estructura, proporcionando una visión detallada de la respuesta dinámica del edificio a estímulos externos.

La ecuación revisada incorpora estas incógnitas de desplazamiento, ofreciendo un marco de análisis más complejo y detallado. La formulación de esta ecuación permite la evaluación de cómo cada planta del edificio se desplaza en respuesta a las fuerzas aplicadas, reflejando la interacción entre la masa, la rigidez y las propiedades dinámicas de la estructura. Este enfoque avanzado es esencial para la comprensión integral del comportamiento vibratorio de

edificaciones, posibilitando la identificación precisa de las vulnerabilidades estructurales y la implementación de soluciones de diseño más eficientes y seguras.

Ecuación 37/ modo de desplazamiento.

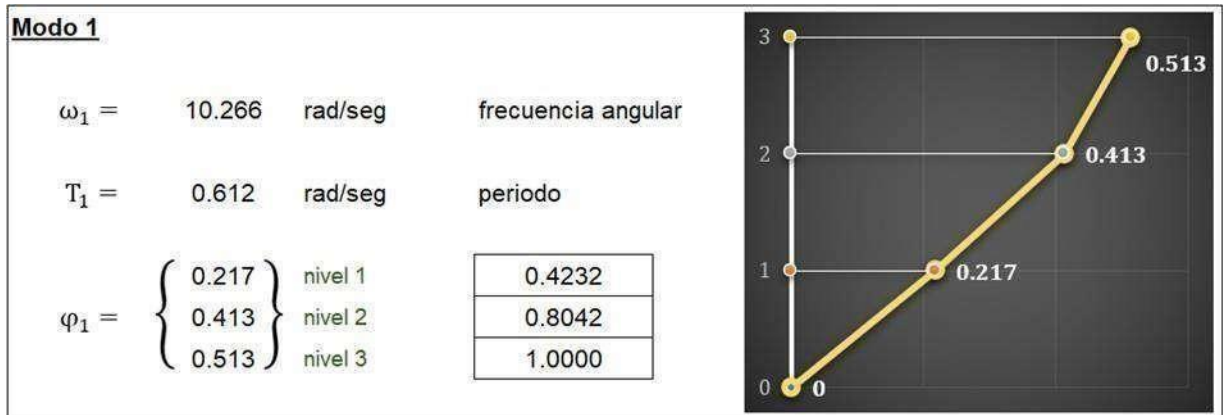
$(K - M * W_1^2) * \theta_1 = \{0\}$, Donde θ es el vector de las incógnitas de desplazamiento.

$$\begin{pmatrix} 2190.18 - 2094\omega^2 & -1036.44 & 0 \\ -1036.44 & 2154 - 2077\omega^2 & -1117.56 \\ 0 & -1117.56 & 117.56 - 2077\omega^2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Donde X1 sería igual a 1.

Esta resolución quedaría de la siguiente manera, X1: 0.217; X2: 0.413; X3: 0.513

Tabla 27/ Modo 1.



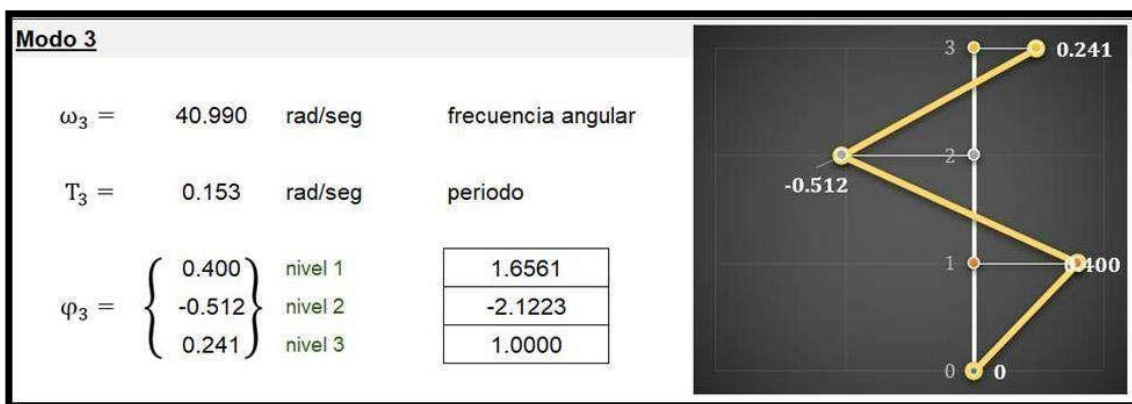
En el análisis dinámico estructural, estos cálculos se replican meticulosamente para cada modo de vibración identificado. Después, se elabora un diagrama matemático que ilustra con precisión los desplazamientos observados en cada nivel de la estructura, según el modo específico. Esta representación gráfica es fundamental para visualizar la respuesta dinámica de la edificación y para identificar patrones de comportamiento que podrían no ser evidentes a través del análisis numérico exclusivamente.

Para realizar estos cálculos complejos se ha usado una herramienta accesible y versátil: una hoja de cálculo de Excel. La inclusión de los datos pertinentes en este software permite la automatización de los cálculos, facilitando así la manipulación de las variables y la interpretación de los resultados. La utilización de Excel como herramienta de análisis ofrece una flexibilidad significativa, permitiendo la rápida adaptación a diferentes escenarios de carga y la exploración de múltiples configuraciones estructurales sin comprometer la precisión del análisis.

Tabla 28/ Modo 2.



Tabla 29/Modo 3.



Después tenemos la matriz generalizada que esto es la matriz con todos los modos de desplazamiento ósea los 3 en una matriz de 3x3.

Ecuación 38/ matriz de modos generalizada.

<u>Matriz de modos generalizada</u>																									
$\varphi_{3 \times 3} =$	<table style="border-collapse: collapse; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;">(</td> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;"><u>Modo 1</u></td> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;"><u>Modo 2</u></td> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;"><u>Modo 3</u></td> <td style="padding: 0 10px;">)</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">0.217</td> <td style="padding: 0 10px;">0.520</td> <td style="padding: 0 10px;">0.400</td> <td style="padding: 0 10px;">0.400</td> <td style="padding: 0 10px;">)</td> <td style="padding: 0 10px;">nivel 1</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">0.413</td> <td style="padding: 0 10px;">0.221</td> <td style="padding: 0 10px;">-0.512</td> <td style="padding: 0 10px;">-0.512</td> <td style="padding: 0 10px;">)</td> <td style="padding: 0 10px;">nivel 2</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">0.513</td> <td style="padding: 0 10px;">-0.400</td> <td style="padding: 0 10px;">0.241</td> <td style="padding: 0 10px;">0.241</td> <td style="padding: 0 10px;">)</td> <td style="padding: 0 10px;">nivel 3</td> </tr> </table>	(<u>Modo 1</u>	<u>Modo 2</u>	<u>Modo 3</u>)		0.217	0.520	0.400	0.400)	nivel 1	0.413	0.221	-0.512	-0.512)	nivel 2	0.513	-0.400	0.241	0.241)	nivel 3
(<u>Modo 1</u>	<u>Modo 2</u>	<u>Modo 3</u>)																					
0.217	0.520	0.400	0.400)	nivel 1																				
0.413	0.221	-0.512	-0.512)	nivel 2																				
0.513	-0.400	0.241	0.241)	nivel 3																				

17.2.4 Comprobación de la normalización de los modos a la matriz de masa

La comprobación de la normalización de los modos a la matriz de masa es un paso crucial en el análisis modal de estructuras. Este proceso garantiza que los modos propios de vibración estén correctamente escalados en relación con la masa de la estructura, facilitando una interpretación física adecuada y la aplicación posterior de las ecuaciones de movimiento. En el contexto de una tesis investigativa, es importante detallar tanto el fundamento teórico como las ecuaciones específicas que intervienen en este proceso.

La normalización de los modos propios respecto a la matriz de masa asegura que los vectores modales sean ortogonales entre sí bajo el producto escalar definido por la matriz de masa. Esto simplifica significativamente el análisis de respuesta dinámica de la estructura, ya que permite desacoplar las ecuaciones de movimiento en los modos principales.

La normalización se verifica mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 39/ comprobación de la normalización.

$$\Phi^T M \Phi = I$$

donde:

Φ es la matriz cuyas columnas son los vectores modales de la estructura.

M es la matriz de masa de la estructura.

I es la matriz identidad, cuyas dimensiones coinciden con el número de modos considerados.

Esta ecuación asegura que los modos propios (Φ) estén normalizados con respecto a la matriz de masa M , de tal manera que el producto de $\Phi^T M \Phi$ resulte en la matriz identidad I . Esto indica que los modos propios son ortogonales entre sí con respecto al producto interno definido por la matriz de masa.

Cálculo de Vectores Propios: Se comienza con el cálculo de los vectores propios de la estructura, los cuales representan los modos de vibración.

Normalización de Vectores: Cada vector propio se normaliza de tal manera que su producto escalar, ponderado por la matriz de masa, con él mismo sea igual a uno.

Matemáticamente, para el i -ésimo modo, esto se expresa como:

$$\Phi_i^T M \Phi_i = 1$$

Verificación de Ortogonalidad: Finalmente, se verifica la ortogonalidad de los modos propios normalizados con respecto a la matriz de masa, asegurando que:

$$\Phi_i^T M \Phi_j = 0, \forall i \neq j.$$

La normalización de los modos a la matriz de masa es fundamental para simplificar la solución de las ecuaciones de movimiento de sistemas multi cuerpo y para realizar análisis de respuesta dinámica precisos. Esta práctica permite tratar las vibraciones de cada modo de forma independiente, facilitando el análisis de estructuras complejas y la predicción de su comportamiento dinámico bajo cargas variables.

El cálculo respectivo de la comprobación es el siguiente.

Comprobación de la normalización de los modos a la matriz de masa

$$\begin{array}{l}
 \varphi_1^T \bar{M} \varphi_1 = \\
 \varphi_1^T \bar{M} \varphi_1 = \\
 \varphi_2^T \bar{M} \varphi_2 = \\
 \varphi_2^T \bar{M} \varphi_2 = \\
 \varphi_2^T \bar{M} \varphi_3 = \\
 \varphi_3^T \bar{M} \varphi_3 =
 \end{array}
 \begin{array}{ccc}
 0.217 & 0.413 & 0.513 \\
 1.000 & & \\
 \left\{ \begin{array}{ccc} 0.520 & 0.221 & -0.400 \end{array} \right\} & & \\
 1.000 & & \\
 \left\{ \begin{array}{ccc} 0.400 & -0.512 & 0.241 \end{array} \right\} & & \\
 1.000 & &
 \end{array}
 \begin{array}{ccc}
 \left(\begin{array}{ccc} 2.094 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 2.077 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 2.077 \end{array} \right) & & \\
 \left(\begin{array}{ccc} 2.094 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 2.077 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 2.077 \end{array} \right) & & \\
 \left(\begin{array}{ccc} 2.094 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 2.077 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 2.077 \end{array} \right) & & \\
 \left(\begin{array}{ccc} 2.094 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 2.077 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 2.077 \end{array} \right) & & \\
 \left(\begin{array}{ccc} 2.094 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 2.077 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 2.077 \end{array} \right) & & \\
 \left(\begin{array}{ccc} 2.094 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 2.077 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 2.077 \end{array} \right) & &
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left\{ \begin{array}{c} 0.217 \\ 0.413 \\ 0.513 \end{array} \right\} \\
 \\
 \left\{ \begin{array}{c} 0.520 \\ 0.221 \\ -0.400 \end{array} \right\} \\
 \\
 \left\{ \begin{array}{c} 0.400 \\ -0.512 \\ 0.241 \end{array} \right\} \\
 \left\{ \begin{array}{c} 0.400 \\ -0.512 \\ 0.241 \end{array} \right\}
 \end{array}$$

17.2.5 Análisis dinámico con espectro dinámico.

En el estudio, se realizará un análisis dinámico de estructuras que, al igual que en el análisis estático considerado, se fundamentará en el uso del espectro de diseño sísmico estipulado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. Este enfoque metodológico implica la generación de un diagrama de respuesta espectral que servirá como base para la evaluación de la respuesta sísmica de estructuras sujetas a cargas dinámicas.

El procedimiento de análisis se iniciará con la definición precisa del espectro de diseño sísmico, siguiendo las directrices y parámetros especificados en la NEC-15. Este espectro se configurará en Robot Structural Analysis Professional, estableciendo un puente entre los criterios normativos y la aplicación práctica en el análisis estructural. A continuación, se modelará la estructura de interés en el software, incorporando todos los detalles relevantes, como la

geometría de la estructura, los materiales, las condiciones de apoyo, y las propiedades de masa y rigidez.

Tabla 30/ espectro análisis dinámico.

ESPECTRO PARA ANÁLISIS DINÁMICO		
T	Elástico	Reducido
	Sa	Sa
seg.	(g)	(g)
0.000	0.400	0.078
0.050	0.613	0.120
0.100	0.720	0.141
0.150	0.720	0.141
0.200	0.720	0.141
0.250	0.720	0.141
0.300	0.720	0.141
0.350	0.720	0.141
0.400	0.720	0.141
0.450	0.660	0.129
0.500	0.594	0.116
0.550	0.540	0.106
0.600	0.495	0.097

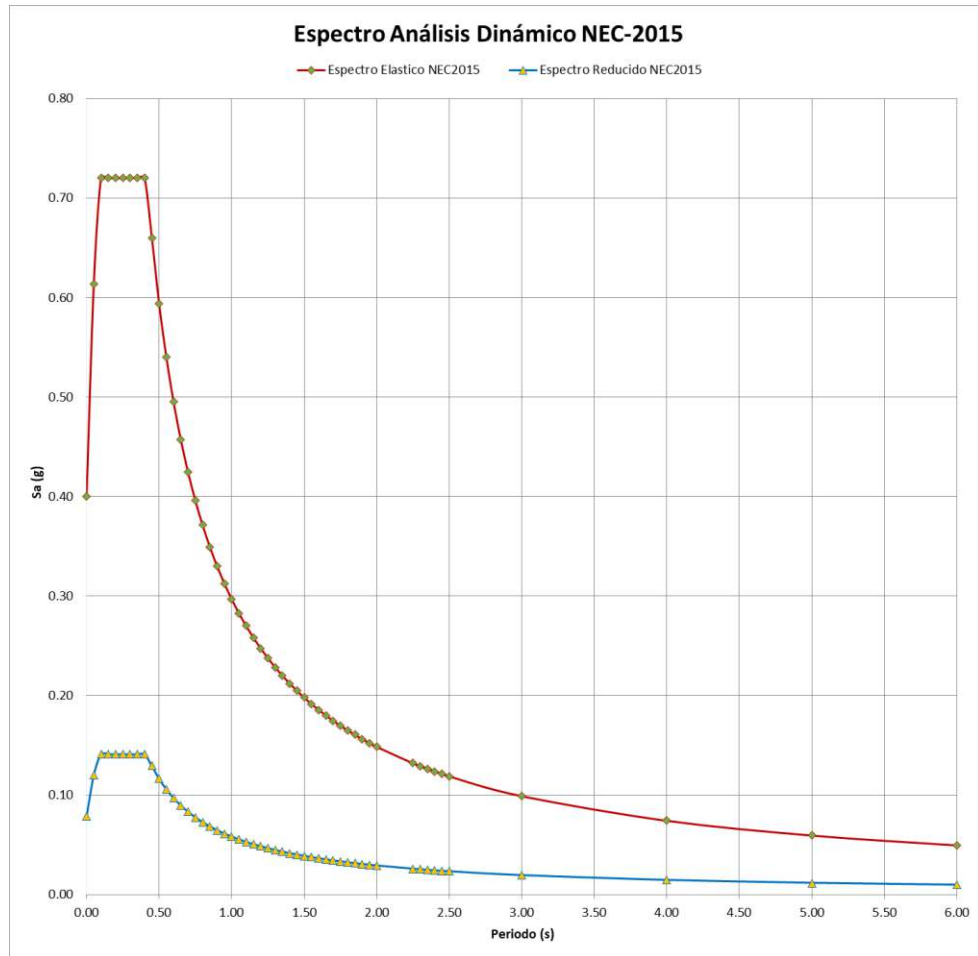
0.650	0.457	0.090
0.700	0.424	0.083
0.750	0.396	0.078
0.800	0.371	0.073
0.850	0.349	0.068
0.900	0.330	0.065
0.950	0.313	0.061
1.000	0.297	0.058
1.050	0.283	0.055
1.100	0.270	0.053
1.150	0.258	0.051
1.200	0.248	0.049
1.250	0.238	0.047
1.300	0.228	0.045
1.350	0.220	0.043
1.400	0.212	0.042
1.450	0.205	0.040
1.500	0.198	0.039
1.550	0.192	0.038
1.600	0.186	0.036
1.650	0.180	0.035

1.700	0.175	0.034
1.750	0.170	0.033
1.800	0.165	0.032
1.850	0.161	0.031
1.900	0.156	0.031
1.950	0.152	0.030
2.000	0.149	0.029
2.250	0.132	0.026
2.300	0.129	0.025
2.350	0.126	0.025
2.400	0.124	0.024
2.450	0.121	0.024
2.500	0.119	0.023
3.000	0.099	0.019
4.000	0.074	0.015
5.000	0.059	0.012
6.000	0.050	0.010

17.2.6 Diagrama del espectro Dinámico

En este apartado se mostrará el resultado obtenido del cálculo matricial, el diagrama espectro de análisis dinámico y los cálculos del programa según la normativa NEC-15.

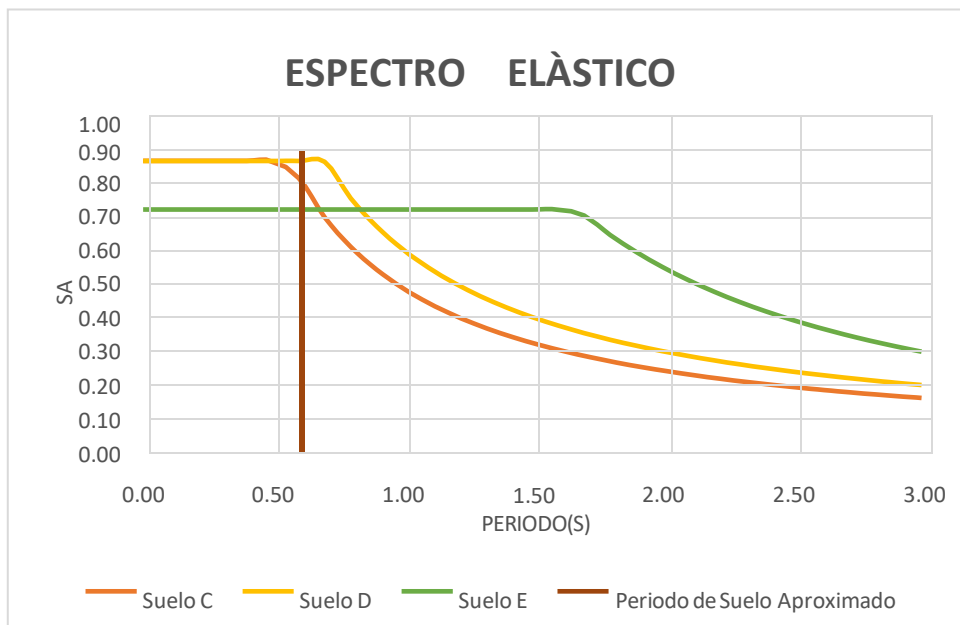
Ilustración 50/ espectro análisis dinámico



En la representación gráfica del espectro dinámico conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015, se observan tanto el espectro reducido como el elástico, a través de la relación $S_a(g)$ frente a $T(\text{segundos})$. Además, se realizó un análisis para generar un espectro

elástico específico para el proyecto, que revela el escenario más desfavorable en cuanto a respuesta sísmica, considerando los perfiles de suelo posibles para la ubicación del edificio. Este análisis detallado de los períodos de vibración aproximados de los suelos demostró que, para el caso del proyecto en cuestión, el escenario más adverso se presenta con un suelo de tipo D.

Ilustración 51/ diagrama de espectro basado en los suelos.



17.2.7 Desplazamientos elásticos máximos de entrepisos

Los desplazamientos elásticos máximos de entrepisos son una métrica crucial en el diseño sísmico de edificaciones, que indica la máxima distancia que un piso puede moverse relativo a otro bajo carga sísmica, sin superar el límite elástico de los materiales de construcción. Este concepto es fundamental para asegurar que las estructuras no solo soporten las fuerzas sísmicas sin colapsar, sino que también mantengan su integridad estructural y funcionalidad después de un evento sísmico.

El cálculo de los desplazamientos elásticos máximos de entrepisos involucra varios principios de la mecánica estructural y la dinámica, esta operación es matriciales también como el cálculo de los modos ya que hablamos de vectores.

Desplazamiento de Piso Debido a Carga Lateral:

Ecuación 41/ desplazamiento de piso.

$$\Delta = FH \cdot h^3 / 3EI$$

donde:

Δ = desplazamiento lateral máximo del piso (en la parte superior de la estructura),

FH = fuerza lateral aplicada en el nivel del piso,

h = altura del piso desde la base,

E = módulo de elasticidad del material,

I = momento de inercia de la sección transversal del elemento estructural.

Desplazamiento Elástico Máximo Utilizando el Espectro de Respuesta:

Ecuación 42/ desplazamiento de espectro máximo.

$$\Delta^*_{\max} = S_d^*(T)$$

donde:

Δ_{\max} = desplazamiento elástico máximo de entrepiso,

$S_d(T)$ = desplazamiento espectral a un periodo T del espectro de respuesta.

El desplazamiento espectral $S_d(T)$ se obtiene directamente del espectro de respuesta sísmica, que es una función de la aceleración del suelo, la amortiguación de la estructura, y el periodo propio de vibración de la estructura.

Ecuación 43/ desplazamiento elástico máximo.

Desplazamientos elásticos máximos de entrepisos

Desplazamientos para el modo 1:

$$u_1 = \Gamma_1 S_{d1}(\varphi_1)$$

$$u_1 = \begin{pmatrix} 2.378 \\ 0.434 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.217 \\ 0.413 \\ 0.513 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{nivel 1} \\ \text{nivel 2} \\ \text{nivel 3} \end{matrix} = \begin{pmatrix} 0.224 \\ 0.426 \\ 0.529 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{nivel 1} \\ \text{nivel 2 (cm)} \\ \text{nivel 3} \end{matrix}$$

Desplazamientos para el modo 2:

$$u_2 = F_2 S_{d2}(\varphi_2)$$

$$u_2 = \begin{pmatrix} 0.718 \\ 0.086 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.520 \\ 0.221 \\ -0.400 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{nivel 1} \\ \text{nivel 2} \\ \text{nivel 3} \end{matrix} = \begin{pmatrix} 0.032 \\ 0.014 \\ -0.025 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{nivel 1} \\ \text{nivel 2 (cm)} \\ \text{nivel 3} \end{matrix}$$

Desplazamientos para el modo 3:

$$u_3 = F_3 S_{d3}(\varphi_3)$$

$$u_3 = \begin{pmatrix} 0.274 \\ 0.043 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.400 \\ -0.512 \\ 0.241 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{nivel 1} \\ \text{nivel 2} \\ \text{nivel 3} \end{matrix} = \begin{pmatrix} 0.005 \\ -0.006 \\ 0.003 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{nivel 1} \\ \text{nivel 2 (cm)} \\ \text{nivel 3} \end{matrix}$$

Combinación cuadrática

$$u_{\max} = \begin{pmatrix} 0.226 \\ 0.426 \\ 0.530 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{nivel 1} \\ \text{nivel 2 (cm)} \\ \text{nivel 3} \end{matrix}$$

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos a través de la aplicación de la combinación cuadrática de las matrices, empleando la fórmula específica diseñada para calcular el mencionado desplazamiento. Este proceso involucra operaciones matriciales que incluyen la multiplicación de la participación modal y el desplazamiento correspondiente a la respuesta máxima, según se determina a partir del espectro dinámico. Es importante destacar que las respuestas máximas fueron establecidas mediante el análisis del espectro dinámico, subrayando la relevancia de este en la evaluación precisa del comportamiento sísmico de las estructuras.

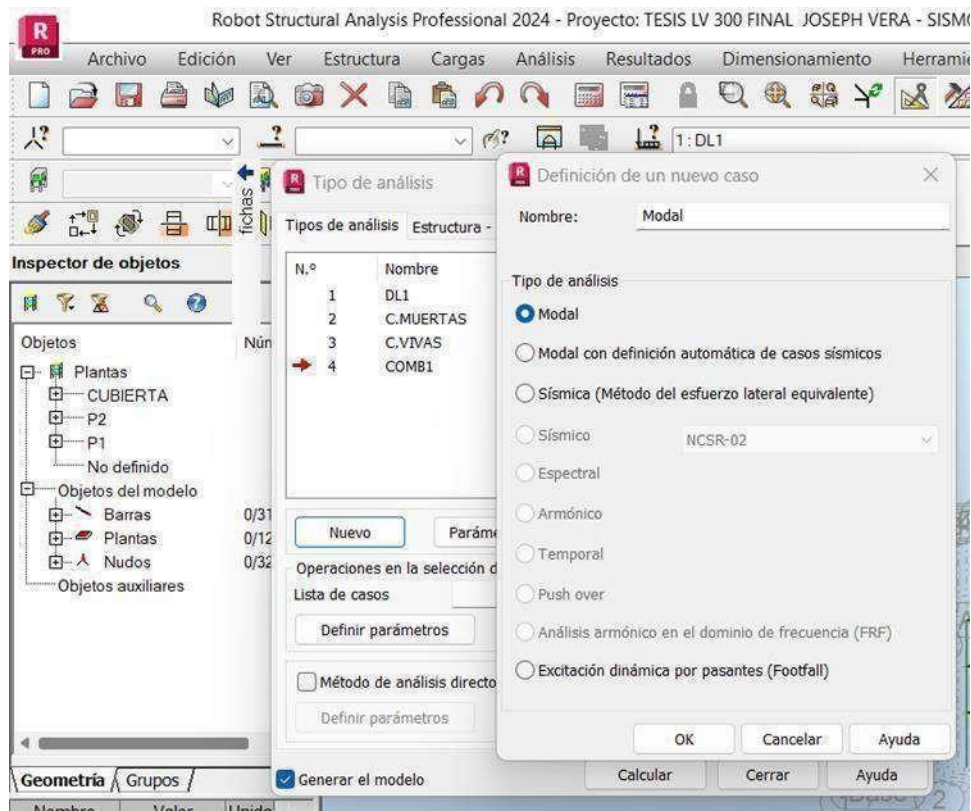
17.2.8 Análisis dinámico con robot

En el desarrollo de la presente investigación, se implementará una metodología detallada y sistemática para la ejecución de cálculos sísmicos dinámicos utilizando un software especializado en análisis estructural. Este proceso se iniciará a partir de una etapa preliminar esencial, que consiste en la preparación de los datos de entrada requeridos para el análisis dinámico. Siguiendo un enfoque riguroso, se realizará una copia del archivo utilizado previamente en el análisis estático. Esta acción pretende establecer una clara distinción entre los dos análisis sísmicos contemplados en este estudio, asegurando una comparación efectiva y organizada de los resultados obtenidos.

diferenciados los archivos correspondientes a cada análisis, se modificarán los parámetros de configuración en el software para adaptar el modelo a un análisis sísmico dinámico. Este ajuste implica la incorporación de cálculos modales que son fundamentales para una evaluación precisa de la respuesta estructural. Los modos de vibración se analizarán para los ejes X y Y, lo que permitirá entender la dinámica de la estructura bajo la influencia de cargas sísmicas.

Además, se integrará al modelo el espectro de diseño sísmico calculado conforme a la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. Este espectro, previamente determinado a partir de un análisis exhaustivo de los requisitos normativos, servirá como base para la aplicación de las cargas sísmicas en el análisis dinámico.

Ilustración 52/ tipo de cálculo modal.

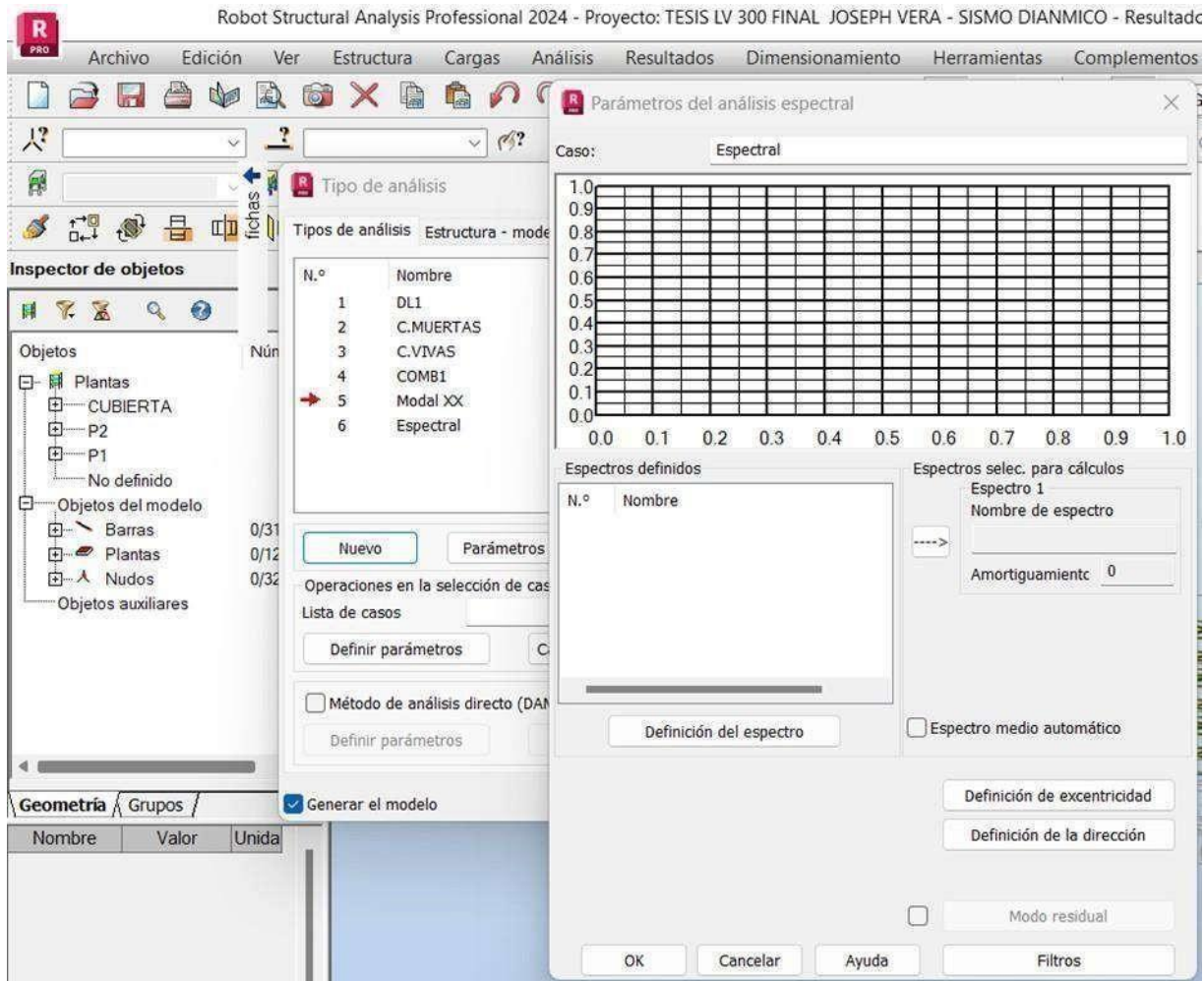


Nota: En la ilustración, se explica cómo se añade un nuevo análisis sísmico. Fuentes: imagen sacada en el robot; Joseph vera (febrero 2024).

Este procedimiento se ejecuta tanto en la dirección X como en la Y. Tras completar esta fase, se incorpora el espectro calculado destinado al análisis modal, aplicándose de manera uniforme en ambas direcciones. Para este proceso, hay que almacenar el espectro en un archivo

de texto. Después, dentro del software se crea un nuevo caso de análisis seleccionando la opción correspondiente al caso espectral y se define un nuevo espectro específicamente para el análisis.

Ilustración 53/ caso de análisis espectral.

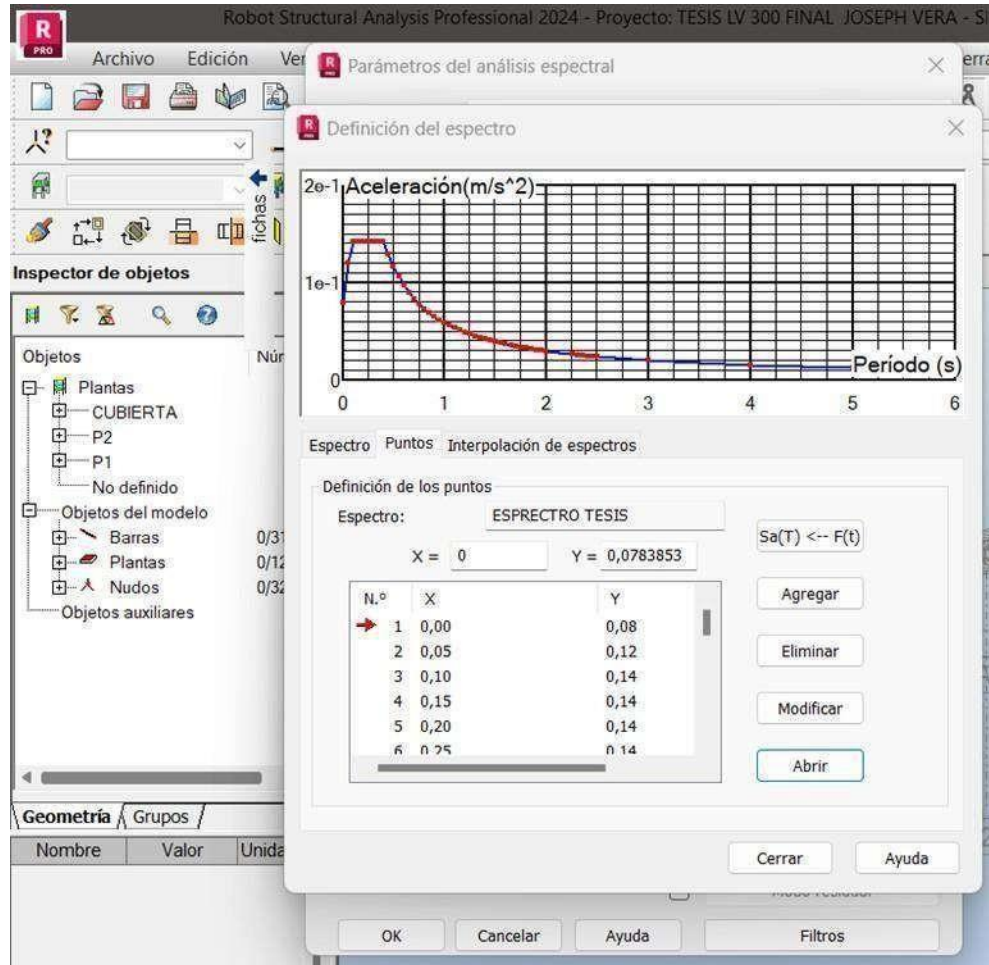


Nota: En la ilustración, se muestra la manera en se ponen los parámetros en el programa con respecto al espectro. Fuente: Imagen sacada del robot, Joseph Vera (febrero 2024).

Una vez completada la definición del espectro y su correspondiente almacenamiento en el análisis, es imperativo verificar que este esté en concordancia con los cálculos previamente realizados y documentados en la hoja de Excel. Esta verificación debe incluir tanto la comparación de los datos numéricos como el análisis del diagrama asociado. Tras confirmar la

exactitud de estos elementos, se procede a guardar los resultados. Posteriormente, se aplica el mismo procedimiento para analizar y verificar la correspondencia del espectro en el eje Y.

Ilustración 54/espectro en el software.



Nota: En esta ilustración, se muestra el espectro ya ingresado al programa. Fuentes:

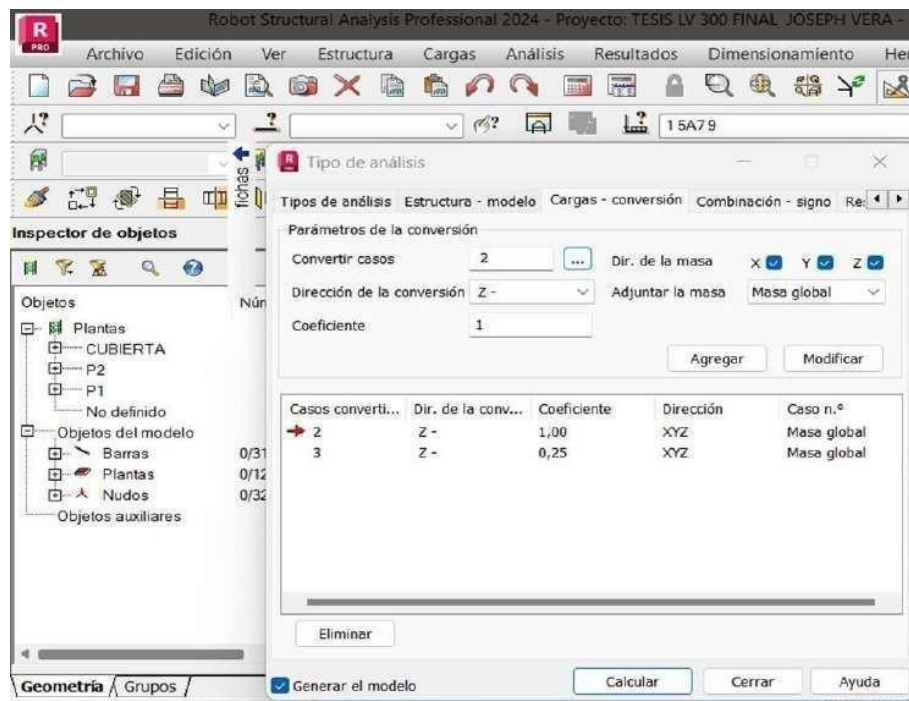
Imagen sacada por el robot (Joseph vera 2024).

Antes de calcular dinámico, se requiere un paso previo esencial: la conversión de las cargas gravitatorias, las cargas verticales, en masas. Dado que el análisis sísmico se basa en el uso de masas y las cargas asignadas originalmente no se presentan en este formato, es necesario

ajustarlas de cargas a masas, aplicable tanto a las cargas vivas como a las muertas. Este ajuste se realiza en el software dentro del menú de "Cargas - Conversiones", específicamente en la sección dedicada al tipo de análisis.

Para las cargas muertas, el factor de conversión se establece en uno, indicando que dichas cargas contribuirán en su totalidad, es decir, un 100% a la masa total considerada en el análisis. En el caso de las cargas vivas, el factor de conversión se ajusta a 0.25, lo que significa que solo un 25% de estas cargas se considerará en el análisis sísmico. Es crucial asegurarse de que esta conversión se aplique uniformemente en todas las direcciones. Este procedimiento es fundamental ya que el análisis se fundamenta en la aplicación de la tercera ley de Newton, principio bajo el cual se desarrolla toda la metodología de cálculo en este contexto.

Ilustración 55/ conversión de cargas.



Nota: En esta ilustración, explicamos como se realiza esta conversión de las cargas.

Fuentes: sacada del robot (Joseph vera febrero 2024).

A continuación del proceso descrito, se procede a la ejecución del cálculo, el cual proporcionará resultados basados en las combinaciones especificadas para los ejes X e Y, así como para los nodos designados dentro del programa para su análisis. Esto incluirá las deformaciones correspondientes. Además, se realiza una comparativa entre estos resultados y los cálculos previamente efectuados en Excel, junto con la revisión de la tabla de deformaciones y esfuerzos generados. Este paso es crucial para validar la precisión y coherencia de los datos obtenidos mediante el software en comparación con los análisis teóricos y manuales.

18. Resultado.

En el marco del análisis sísmico estático, se procede a la generación y evaluación de la gráfica correspondiente al espectro estático. Dicha gráfica revela las curvas de comportamiento elástico y las modificadas según lo establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15). Estas curvas se definen en función de la aceleración espectral ajustada (SA) versus el período (T), conforme a lo especificado en la sección 3.3.1 de la mencionada normativa, que presenta la relación entre SA(g) y T(segundos). Seguidamente, se presentará el diagrama acompañado de la tabla generada por el software Robot Structural Analysis, la cual detalla los resultados obtenidos del análisis sísmico estático. Entre estos resultados se incluyen los desplazamientos registrados y las derivas calculadas tanto en el eje X como en el Y, elementos

que constituyen la base esencial para la realización y precisión del subsiguiente cálculo dinámico modal.

Esto es un resumen de los cálculos explicados anteriormente, como el cortante basal, el periodo del cortante basal NEC, entre otros.

Tabla 31/ resumen del cálculo de cortante basal.

			Capitulo	Pagina
Factor de importancia	$I=$	1.000	4.1	39
Categoría Sísmica	Zona Sísmica=	V	3.1.1	27
Valor de factor	$Z=$	0.400	3.1.1	27
Perfil del Suelo	Suelo Tipo=	C	3.2.1	29
Coef. Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	$Fa=$	1.000	3.2.2 a)	31
Coef. Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	$Fd=$	1.000	3.2.2 b)	31
Comportamiento no lineal de los suelo	$Fs=$	0.750	3.2.2 c)	32
Factor usado en el espectro de diseño elástico	$r=$	1.000	3.3.1	34
relación de amplificación espectral	$\eta=$	1.800	3.3.1	34
Altura de la edificación en metro	$hn=$	16.170		
Tipo Estructura	De Acero con arriostramientos			
Coefficiente que depende del tipo de edificio	$Ct=$	0.073	6.3.3	62
	$\alpha=$	0.750	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo	Ta CODIGO=	0.589	6.3.3 a)	62
Periodo de Vibracion Metodo	$1.3 * Ta$ Codig	0.765	6.3.3 b)	63
Periodo Límite de Vibración	$To=$	0.075	3.3	35
Periodo de Vibración	$Ta=$	0.589	6.3.3 a)	62
Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	$Tc=$	0.413	3.3.1	34
Coefficiente relacionado con el períodode vibración de la estructura T	$k=$	1.044	6.3.5	67
Aceleracion Espectra	$Sa(Ta)=$	0.505	3.3.1	34
Coefficiente de Reduccion de Respuesta Estructural	$R=$	7	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	$\Phi P=$	0.810	5.2	48-52
Irregularidad en elevacion	$\Phi E=$	0.900	5.2	48-52
	$V=$	0.099	6.3.2	61

Cotante	Basal	Período NE	Cotante	Basal	Período Máximo	Cotante	Basal	Período Software
T		0.5886	Tmax (1.3T)		0.765	Tmodal (s)		0.750
Sa (T)		0.5045	Sa (Tmax)		0.3881	Sa (Tmodal)		0.3960
V		0.5045	V (Tmax)		0.0761	V (Tmodal)		0.078
k		1.044	k(max)		1.133	k(modal)		1.125

18.1 Resultado del análisis estático.

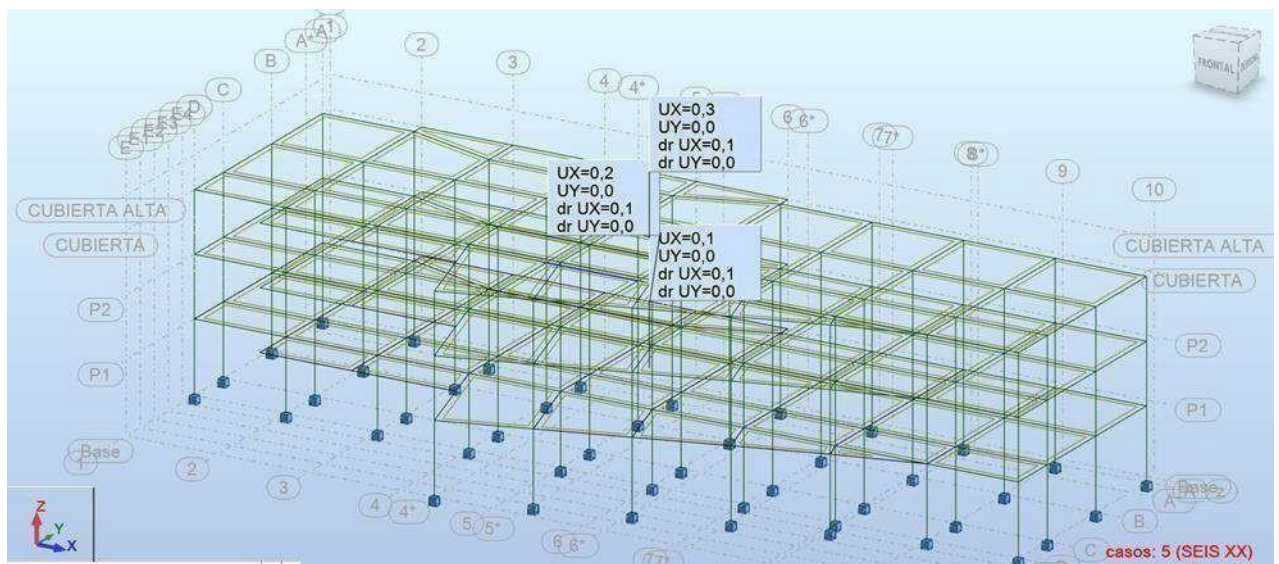
Ahora se muestra la tabla de desplazamiento del programa y sus derivas en sus receptivos ejes.

Tabla 32/ tabla de desplazamiento del eje X.

	UX (cm)	UY (cm)	UZ (cm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MAX	1,5	0,1	5587,9	69,923	317,911	0,004
Nudo	1130	1119	1135	1119	1130	1131
Caso	5	5	5	5	5	5
MIN	0,0	-0,1	-13193,6	-66,981	-90,260	-0,004
Nudo	1	1134	1120	1121	1135	1129
Caso	5	5	5	5	5	5

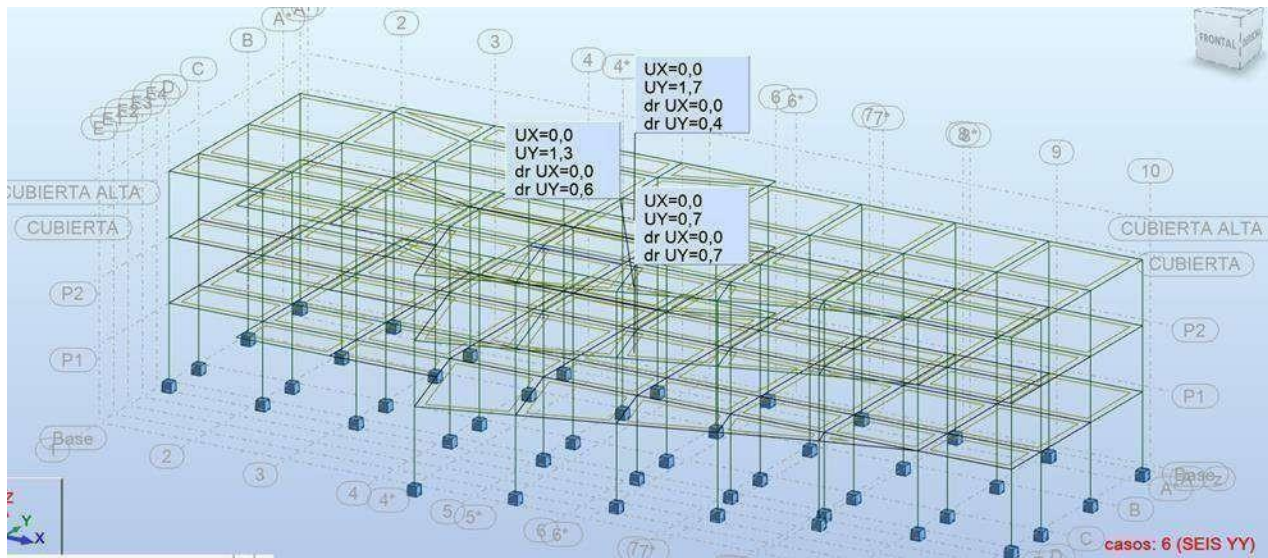
Nota: esto es un resumen global, también llamado extremos globales que el programa lo denota así el programa. Fuente: tabla realizada por Joseph vera (febrero 2024).

Ilustración 56/ desplazamiento del eje de las X



Se puede visualizar el desplazamiento que sufre el edificio por pisos, en el centro de gravedad con respecto al eje de la X con sus derivas. Ahora pasamos al eje de las Y.

Ilustración 57/ desplazamiento del eje de la Y



Ahora la tabla de resumen de los desplazamientos global que sufrió todo el edificio.

Tabla 33/ resumen de los desplazamientos en el eje Y.

	UX (cm)	UY (cm)	UZ (cm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MAX	0,1	3,9	7823,8	76,459	66,637	0,004
Nudo	4115	1130	1131	1123	1134	1120
Caso	6	6	6	6	6	6
MIN	-0,2	0,0	-10427,5	-305,680	-53,614	-0,004
Nudo	103	1	1129	1130	1119	1135
Caso	6	6	6	6	6	6

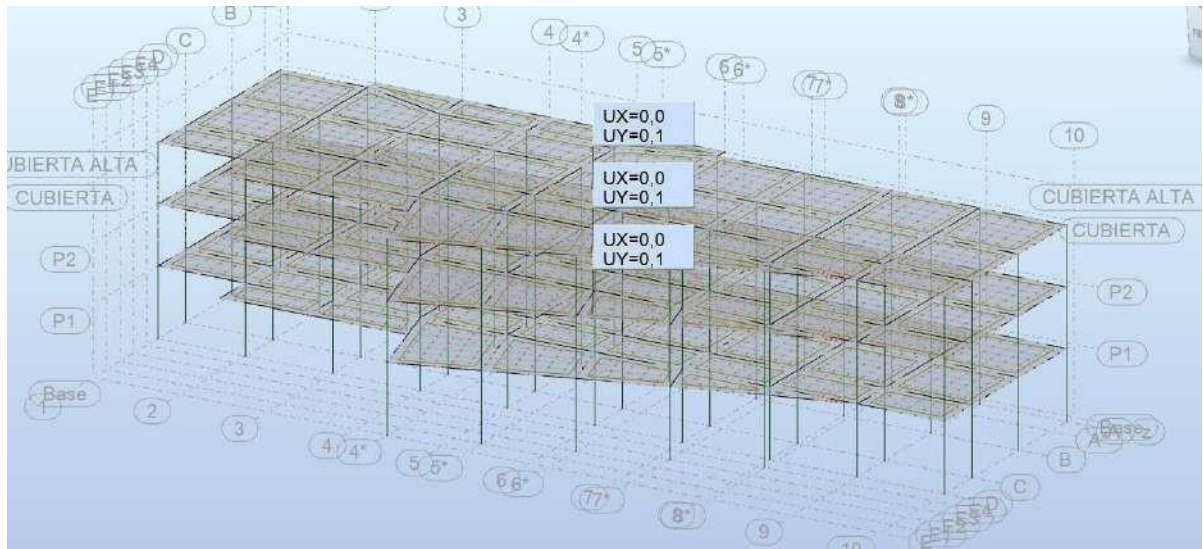
18.1.1 Respuesta de análisis dinámico

En este apartado se exhibe la tabla correspondiente al cálculo de la respuesta dinámica obtenida con el software, relacionada con el espectro de respuesta en los ejes X e Y, incluyendo derivas y desplazamientos observados en los distintos modos del programa. De particular relevancia son los periodos de vibración, expresados en segundos, así como los porcentajes de participación de masa asignados a cada modo. Estos últimos reflejan la conversión realizada a partir de las cargas verticales, proceso esencial para adecuar las cargas a un análisis dinámico conforme a los requerimientos del espectro sísmico evaluado.

Tabla 34/ respuesta dinámica.

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (kg)	Total masas UY (kg)	Total masas UZ (kg)
9/ 1	1.34	0.75	0.0	77.56	0.0	0.0	77.56	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 2	1.63	0.61	0.0	89.94	0.0	0.0	12.38	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 3	2.81	0.36	0.0	89.94	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 4	3.60	0.28	0.0	93.63	0.0	0.0	3.68	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 5	4.05	0.25	0.0	93.91	0.0	0.0	0.28	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 6	4.29	0.23	0.0	97.13	0.0	0.0	3.23	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 7	4.82	0.21	0.0	98.20	0.0	0.0	1.06	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 8	5.18	0.19	0.0	98.75	0.0	0.0	0.55	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 9	5.33	0.19	0.0	98.75	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	8525034.81	0.0
9/ 10	5.81	0.17	0.0	98.90	0.0	0.0	0.15	0.0	0.0	8525034.81	0.0

Ilustración 58/ desplazamiento y derivas del eje Y.

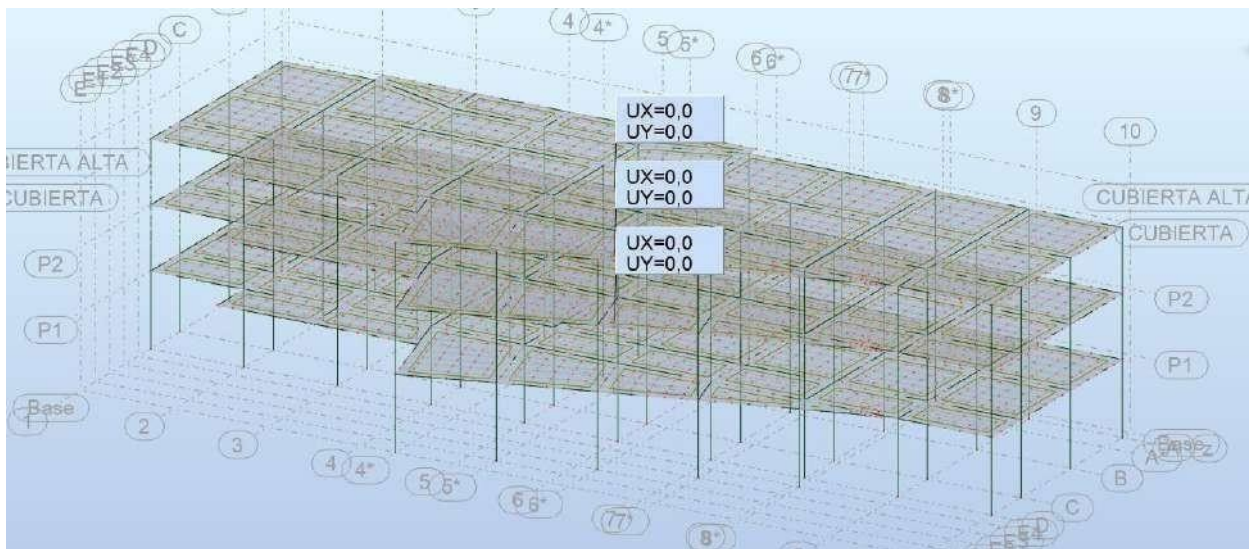


Ahora sacar el mismo dato con respectó al eje de la X, la tabla y las deformaciones

Tabla 35/ tabla de la reacción dinámico con respecto X

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (kg)	Total masas UY (kg)	Total masas UZ (kg)
6/ 1	3,20	0,31	87,12	0,0	0,0	87,12	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 2	4,13	0,24	87,33	0,0	0,0	0,20	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 3	7,62	0,13	87,33	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 4	7,91	0,13	87,40	0,0	0,0	0,08	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 5	8,16	0,12	91,62	0,0	0,0	4,22	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 6	8,87	0,11	96,57	0,0	0,0	4,95	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 7	9,21	0,11	96,57	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 8	9,54	0,10	96,83	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 9	10,20	0,10	96,94	0,0	0,0	0,12	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0
6/ 10	10,52	0,10	97,01	0,0	0,0	0,07	0,0	0,0	8525034,81	0,0	0,0

Ilustración 59/ Desplazamiento y derivas con respecto al eje X.



Ahora se calculan las derivas y se explica como resultado, Las derivas inelásticas máximas son cruciales en el análisis de la respuesta de estructuras sometidas a cargas sísmicas, especialmente en el contexto del diseño basado en el desempeño sísmico. La deriva inelástica, también conocida como deriva plástica o de daño, se refiere al desplazamiento relativo entre dos puntos de una estructura dividido por la distancia vertical entre esos puntos, después de que la estructura ha experimentado deformaciones más allá del límite elástico. Este indicador es fundamental para evaluar el daño potencial en los elementos estructurales y no estructurales durante y después de un terremoto.

Las derivas inelásticas máximas son un aspecto crucial en el análisis de la respuesta de estructuras sometidas a cargas sísmicas, particularmente en el contexto del diseño basado en el desempeño sísmico. La deriva inelástica, también conocida como deriva plástica o de daño, se refiere al desplazamiento relativo entre dos puntos de una estructura dividido por la distancia vertical entre esos puntos, después de que la estructura ha experimentado deformaciones más allá del límite elástico. Este indicador es fundamental para evaluar el daño potencial en los elementos estructurales y no estructurales durante y después de un terremoto.

Derivas inelásticas máximas

Derivas para el modo 1: $\Delta_1 = 0.75R(u_i^1 - u_{i-1}^1)/h_i$

$$\Delta_1 = \begin{cases} 0.0019 & \text{nivel 1} \\ 0.0020 & \text{nivel 2} \\ 0.0010 & \text{nivel 3} \end{cases}$$

Derivas para el modo 2: $\Delta_2 = 0.75R(u_i^2 - u_{i-1}^2)/h_i$

$$\Delta_2 = \begin{cases} 0.0003 & \text{nivel 1} \\ 0.0002 & \text{nivel 2} \\ 0.0004 & \text{nivel 3} \end{cases}$$

Derivas para el modo 3: $\Delta_3 = 0.75R(u_i^3 - u_{i-1}^3)/h_i$

$$\Delta_3 = \begin{cases} 0.0000 & \text{nivel 1} \\ 0.0001 & \text{nivel 2} \\ 0.0001 & \text{nivel 3} \end{cases}$$

Combinación cuadrática

$$\Delta_{\text{máx}} = \begin{cases} 0.0019 & \text{nivel 1} & \rightarrow & \sqrt{[(0.0019)^2+(0.0003)^2+(0)^2]} \\ 0.0020 & \text{nivel 2} & \rightarrow & \sqrt{[(0.002)^2+(0.0002)^2+(0.0001)^2]} \\ 0.0011 & \text{nivel 3} & \rightarrow & \sqrt{[(0.001)^2+(0.0004)^2+(0.0001)^2]} \end{cases}$$

18.1.2 Resumen de los resultados obtenidos

Tabla 36/ tabla de resumen de resultado

tabla de resumen de resultado		
analisis estatico.		
Desplazamientos.		
	eje X (cm)	eje Y (cm)
Planta 3	0.30	1.70
planta 2	0.20	1.30
planta 1	0.10	0.70
Derivas.		
	eje X (cm)	eje Y (cm)
Planta 3	0.10	0.40
planta 2	0.10	0.70
planta 1	0.10	0.60

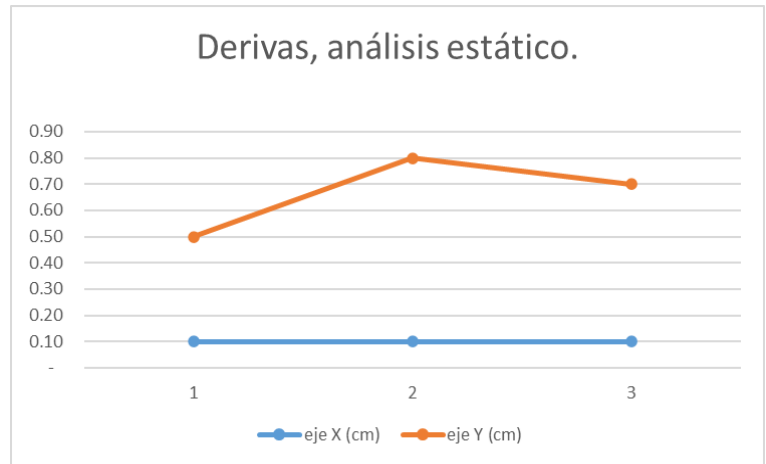
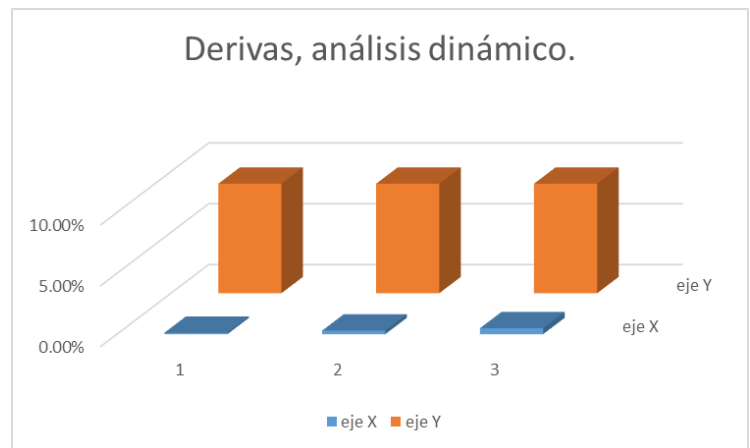


Tabla de resumen de resultado						
Analisis dinamico.						
Desplazamiento						
	software		calculo matricial		dif %	
	eje X (cm)	eje Y (cm)	eje X (cm)	eje Y (cm)	eje X	eje Y
Planta 3	0.02	0.1	0.23	0.10	20.20%	0.00%
planta 2	0.04	0.1	0.43	0.10	39.10%	0.00%
planta 1	0.05	0.1	0.53	0.10	48.50%	0.00%
Derivas.						
	eje X (cm)	eje Y (cm)	eje X (cm)	eje Y (cm)	eje X	eje Y
Planta 3	0.003	0.10	0.0019	0.01	0.11%	9.00%
planta 2	0.005	0.10	0.0021	0.01	0.29%	9.00%
planta 1	0.006	0.10	0.0011	0.01	0.49%	9.00%



PROPIEDADES DINAMICAS	
FRECUENCIAS	PERIODOS
ω_1 : 10.26 rad/seg	T1: 0.612 rad/seg
ω_2 : 28.908 rad/seg	T2: 0.217 rad/seg
ω_3 : 40.990 rad/seg	T3: 0.153 rad/seg

19. Conclusión

El diseño del edificio de tres niveles con estructura metálica en Guayaquil, utilizando programas de elementos finitos para el análisis del comportamiento dinámico ante cargas sísmicas, ha demostrado la eficacia de estas herramientas en la ingeniería estructural moderna. Los resultados obtenidos corroboran la capacidad del diseño para soportar las exigencias sísmicas establecidas por la normativa ecuatoriana de construcción vigente, asegurando no solo la integridad estructural sino también la seguridad de sus ocupantes. Este proyecto resalta la importancia de la integración de tecnologías avanzadas en el proceso de diseño, permitiendo una optimización en el cumplimiento de estándares de seguridad y eficiencia en la construcción.

La revisión exhaustiva de la literatura científica realizada para este trabajo de investigación ha permitido consolidar una base de datos de alta calidad sobre el diseño de estructuras de acero, destacando la importancia de las investigaciones previas, metodologías y avances en el campo. Este proceso riguroso de exploración y análisis de la literatura académica relacionada no solo ha enriquecido el conocimiento teórico del proyecto, sino que también ha establecido un marco sólido para futuras investigaciones, asegurando así una contribución significativa al desarrollo y optimización del diseño de estructuras de acero.

La determinación de la configuración estructural del proyecto "LV 300", a través de la creación de un modelo estructural que integra perfiles y uniones de acero, ha permitido una evaluación precisa del desempeño dinámico de la estructura, alineándose con las exigencias de la normativa de construcción de Ecuador. Este enfoque ha garantizado no solo la viabilidad técnica del proyecto, sino también su conformidad con los estándares de seguridad y calidad requeridos, demostrando la efectividad de combinar diseños arquitectónicos detallados con análisis estructurales avanzados para lograr resultados óptimos y seguros en la ingeniería civil.

La comparación de las propiedades dinámicas de la estructura mediante análisis matricial y el uso de software de análisis por elementos finitos ha evidenciado una concordancia significativa entre los resultados manuales y aquellos generados por el programa Robot. Este proceso ha subrayado la fiabilidad y precisión del software en la simulación del comportamiento estructural, proporcionando una validación robusta de los métodos de cálculo manual. Asimismo, ha destacado la importancia de integrar herramientas computacionales avanzadas en el análisis estructural para mejorar la eficiencia y exactitud en la evaluación de desempeño dinámico de estructuras.

El desarrollo de los planos estructurales de acero, con un meticuloso detalle en las dimensiones, ubicaciones y conexiones de cada elemento estructural, ha sido fundamental para asegurar una construcción eficiente. Este enfoque ha permitido no solo la optimización de recursos y tiempo, sino también la prevención de posibles errores constructivos, garantizando así la integridad y la seguridad de la estructura. Este proceso refleja la importancia de una planificación y diseño detallados en la fase inicial de cualquier proyecto de construcción, subrayando el compromiso con la calidad y la eficacia en la ingeniería estructural

20. Recomendaciones

Para diseñar un edificio de tres niveles con estructura metálica en Guayaquil, analizando el comportamiento dinámico de la estructura ante cargas sísmicas y asegurando que se cumpla la normativa ecuatoriana de construcción, se recomienda adoptar un enfoque integral que abarque tanto la innovación tecnológica como la rigurosidad normativa. Primero, es esencial realizar una evaluación geotécnica detallada del sitio de construcción para entender las condiciones específicas del suelo, lo que permitirá ajustar el diseño estructural a las características sísmicas locales. Además, se sugiere seleccionar materiales de alta calidad que cumplan con los estándares internacionales de resistencia y durabilidad, así como implementar tecnologías avanzadas de aislamiento sísmico y disipadores de energía para mejorar la capacidad de la estructura de absorber y disipar las fuerzas sísmicas.

La modelación detallada del edificio utilizando software de elementos finitos debe complementarse con la revisión de expertos en ingeniería sísmica, para validar los resultados obtenidos y asegurar una interpretación adecuada de los datos. Es crucial mantener una comunicación efectiva con las autoridades locales de construcción y cumplir meticulosamente con todas las disposiciones de la normativa ecuatoriana, incluyendo las actualizaciones más recientes en materia de seguridad sísmica.

Se recomienda también considerar la sostenibilidad ambiental en el diseño, optando por soluciones que minimicen el impacto ecológico y promuevan la eficiencia energética. La capacitación continua del equipo de diseño y construcción en las últimas tendencias y tecnologías en ingeniería estructural y construcción sostenible es fundamental para el éxito del proyecto.

Finalmente, se aconseja establecer un plan de monitoreo y mantenimiento post-construcción para evaluar el comportamiento real de la estructura bajo condiciones sísmicas, permitiendo ajustes o refuerzos estructurales si fuera necesario. Este enfoque proactivo no solo garantizará la seguridad y durabilidad del edificio, sino que también proporcionará valiosos aprendizajes para futuros proyectos de construcción en zonas sísmicas. En resumen, la combinación de un diseño innovador, el cumplimiento normativo, la sostenibilidad y un enfoque proactivo en el mantenimiento son clave para el desarrollo exitoso de estructuras metálicas resilientes a sismos en Guayaquil.

21. Referencias

(S/f-b). Edu.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2744/1/Maestría%20E.S.R.%2061%20-%20Navarro%20Peñaherrera%20Carlos%20Patricio.pdf>

(S/f-a). Edu.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10922/1/CD-6341.pdf>

(S/f-a). Edu.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10922/1/CD-6341.pdf>

de Posgrado, C. D. E. E. (s/f). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. Edu.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2744/1/Maestr%C3%ADa%20E.S.R.%2061%20-%20Navarro%20Pe%C3%B1aherrera%20Carlos%20Patricio.pdf>

Losa Colaborante. (s/f). DIPAC. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://dipacmanta.com/producto/techos/losa-colaborante/dipanel-losa/losa-colaborante/>

Dlubal Software. (s/f). Propiedades y análisis de secciones transversales. Dlubal.com. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://www.dlubal.com/es/propiedades-de-la-seccion-transversal/series-w-aisc-15>

Dlubal Software. (s/f). Propiedades y análisis de secciones transversales. Dlubal.com. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://www.dlubal.com/es/propiedades-de-la-seccion-transversal/series-w-aisc-15>

(S/f-d). Upc.edu. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28500/MIS56.pdf>

(S/f-e). Gob.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf

(S/f-f). Gob.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>

de la Construcción NEC, de C. C. la N. E. (s/f). Guía práctica para el diseño de estructuras de acero. Gob.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/GUIA-3-ACERO.pdf>

(S/f-g). Edu.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34736>

(S/f-h). Ingangelmanrique.com. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://www.ingangelmanrique.com/attachments/Dise%C3%B1o-Simplificado-en-Acero-Estructural.pdf>

Montajes, Bogotá, I. y. C. M., & Colombia. (s/f). tipos de arriostramiento para estructuras metálicas. Montajes, Ingeniería y Construcción. MIC SAS. Bogotá, Colombia. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/construcciones-metalicas/arriostramiento-marcos-estructurales-arriostrados-o-riostros>

Steel, L. (2022, abril 25). Acero A36 vs. A572: comparación de grado. Leecosteel.com. <https://www.leecosteel.com/es/news/post/astm-a36-vs-astm-a572-grade-comparison/>

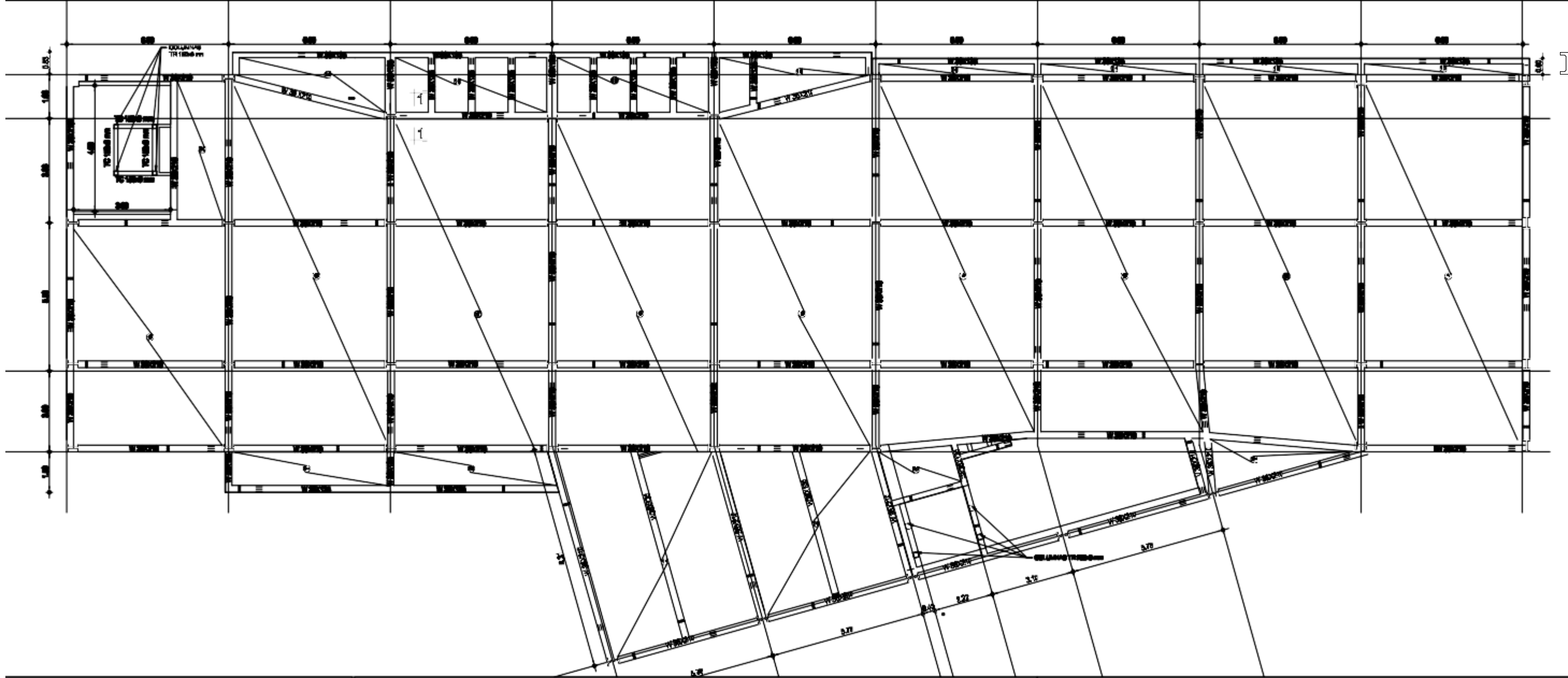
Sistema de arriostramiento de estructuras de acero, edificio de estructura metálica rígida. (2021, junio 18). Havitsteelstructure.com. [https://havitsteelstructure.com/es/sistema-de-arriostramiento-de-estructuras-de-acero/Steel deck - Metaldeck losa liviana, limpia y rápida.](https://havitsteelstructure.com/es/sistema-de-arriostramiento-de-estructuras-de-acero/Steel%20deck%20-%20Metaldeck%20losa%20liviana,%20limpia%20y%20r%C3%A1pida.) (2018). Construyendo.co. <https://construyendo.co/losas/steelDeck.php>

Tipos de acero laminado estructural. (s/f). E-struc.com. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://e-struc.com/2019/04/02/tipos-acero-laminado-estructural/>

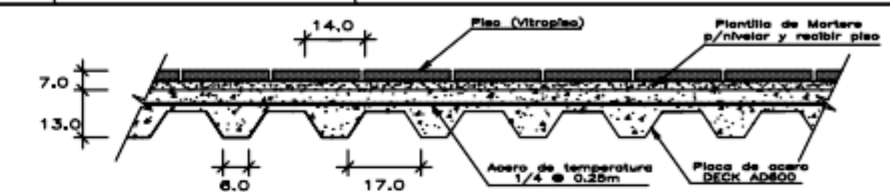
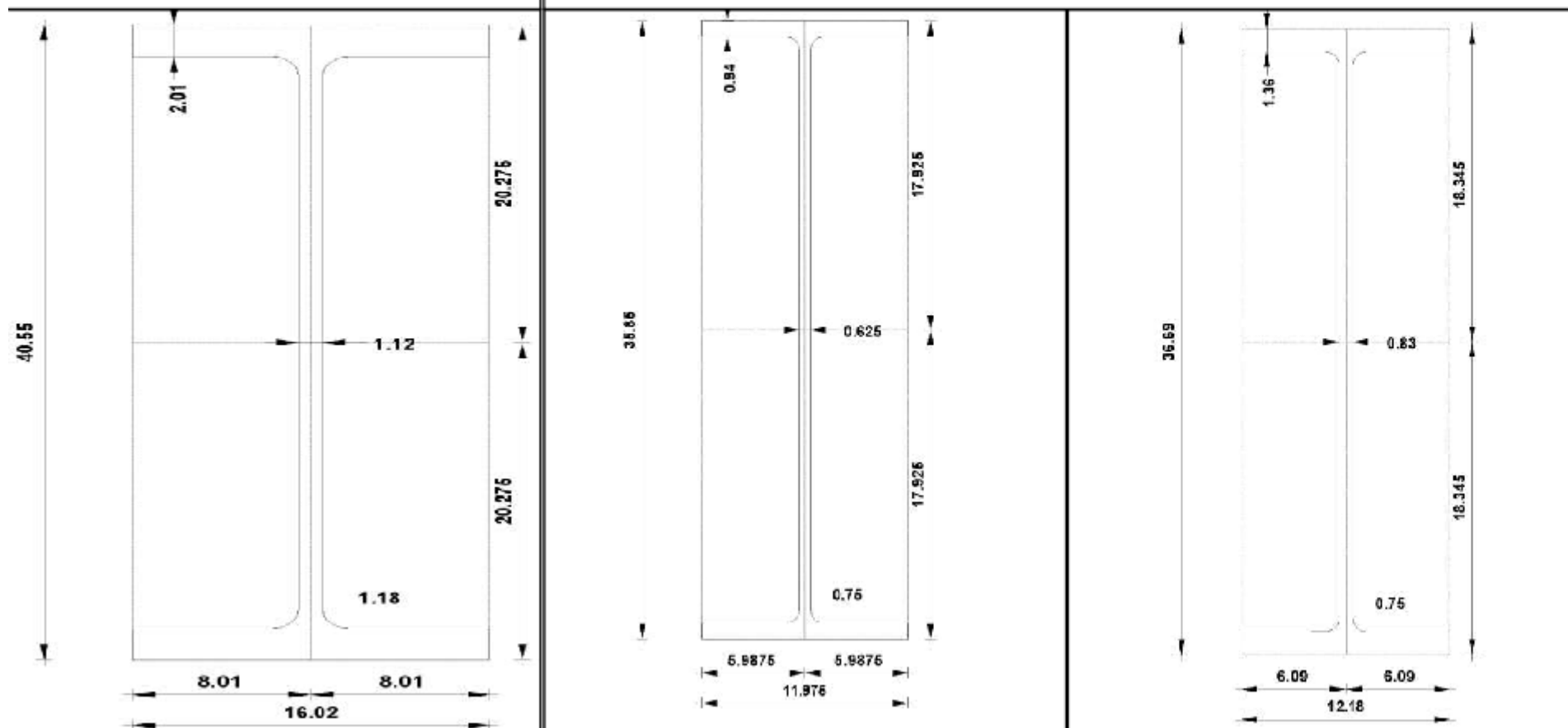
De hormigón armado para uso educativo, “importancia del Análisis Por Desempeño en el Proceso de Diseño de un Edificio, & de Cuenca-Ecuador.”, U. en la C. (s/f). ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GERENCIA EN CONSTRUCCIONES. Edu.ec. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10541/1/16130.pdf>

de Madrid., E. T. S. de I. I. (s/f). MASTER EN INGENIERIA SÍSMICA: DINÁMICA DE SUELOS Y ESTRUCTURAS. Upm.es. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de https://oa.upm.es/39684/1/TFM_SERGIO_RODRIGUEZ_MORALES.pdf

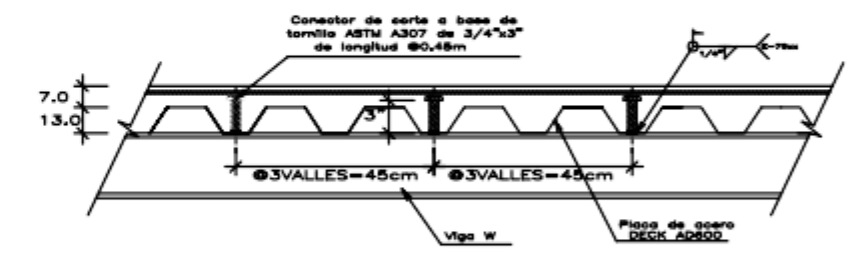
22. Anexo: planos



Dimensiones de las columnas

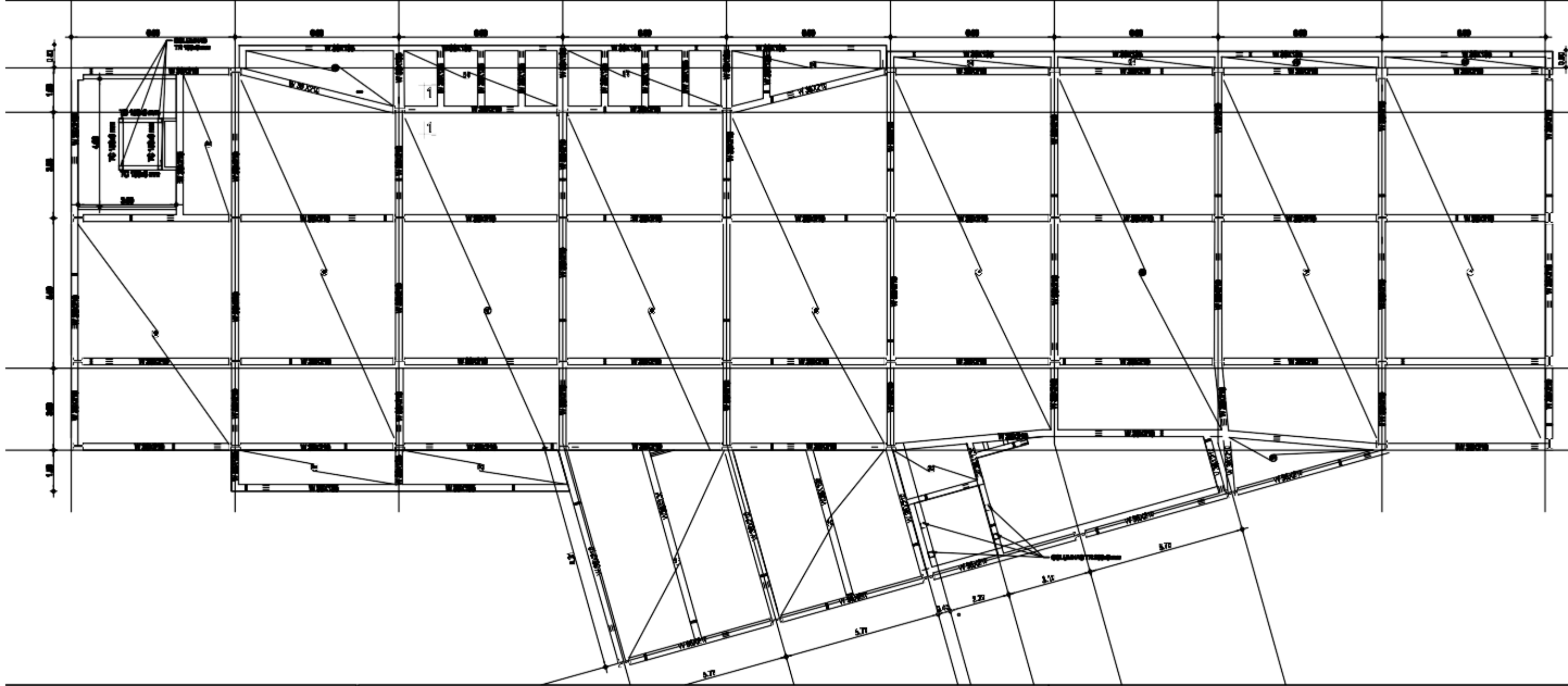


Detalle de Losa Colaborante
ESC : 1 / 20

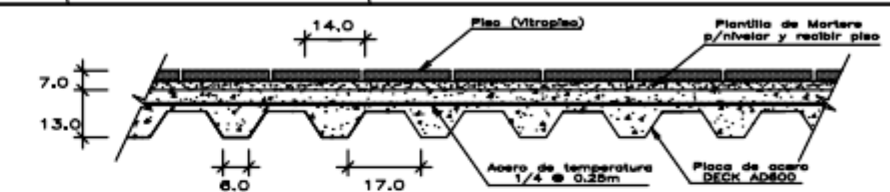
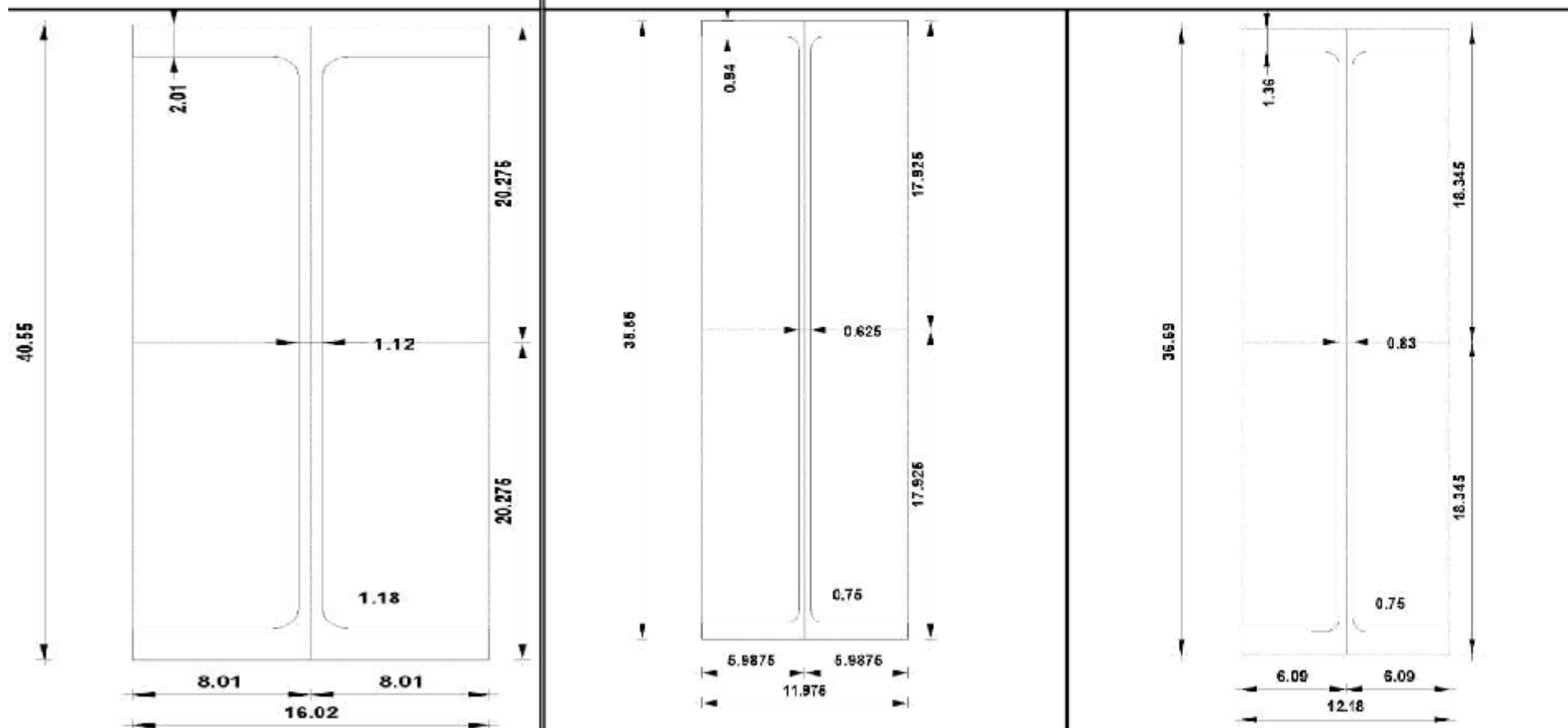


Detalle de Conectores de Corte
ESC : 1 / 20

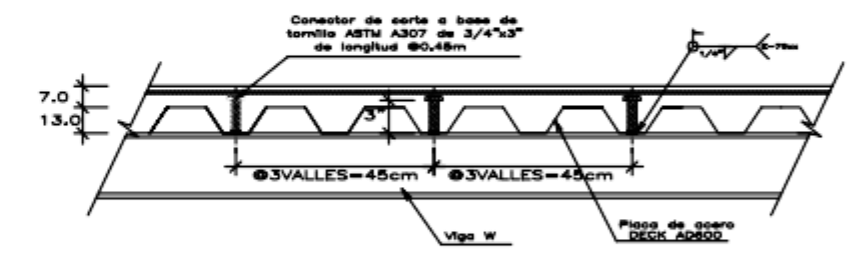
FerNAN Civil LIBRE Ingenieria CIVIL	
DISEÑO DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS NIVELES EMPLEANDO ACERO ESTRUCTURAL	
ESTRUCTURAS - PRIMERA PLANTA	
FerNAN Civil LIBRE Ingenieria CIVIL	ESCALA: PLANO INDICADA
E-01	



Dimensiones de las columnas

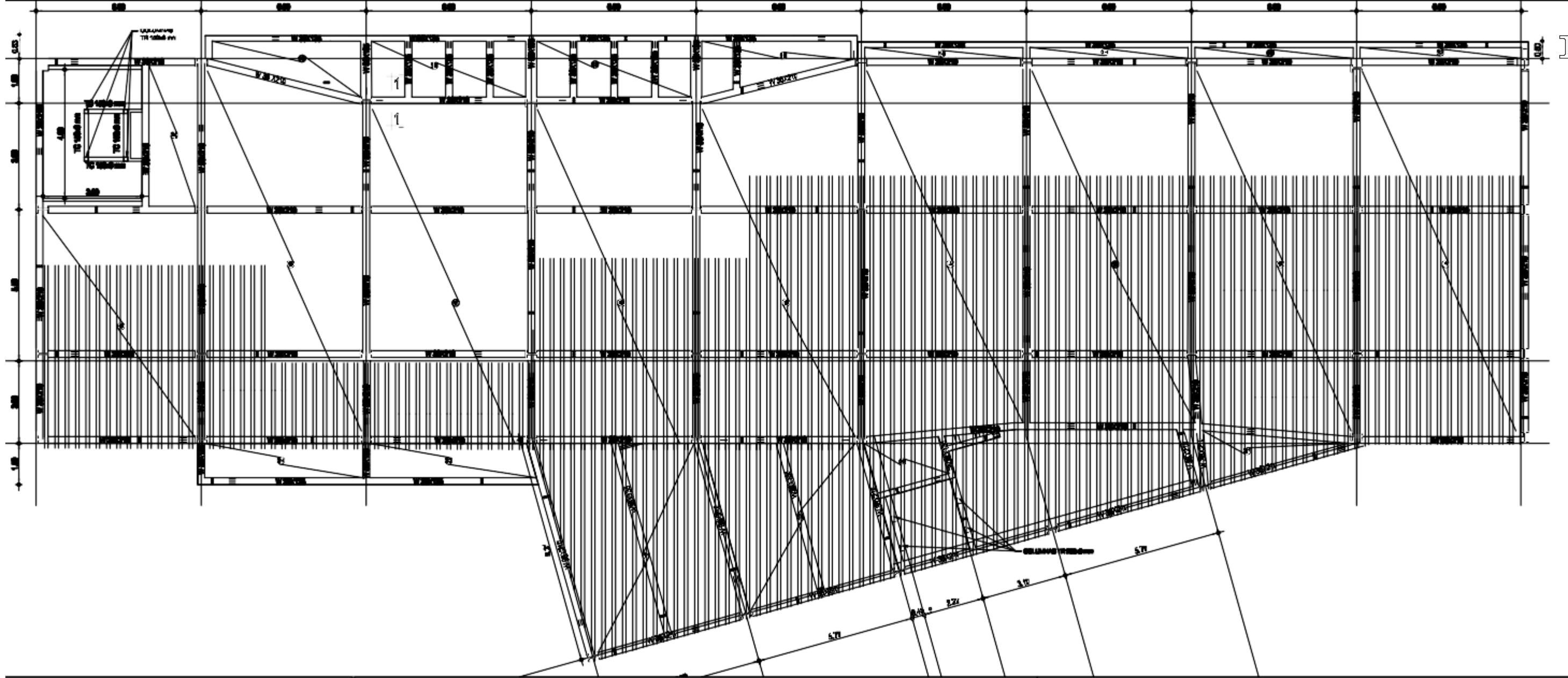


Detalle de Losa Colaborante
ESC : 1 / 20

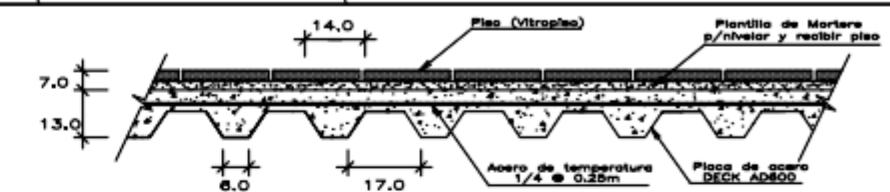
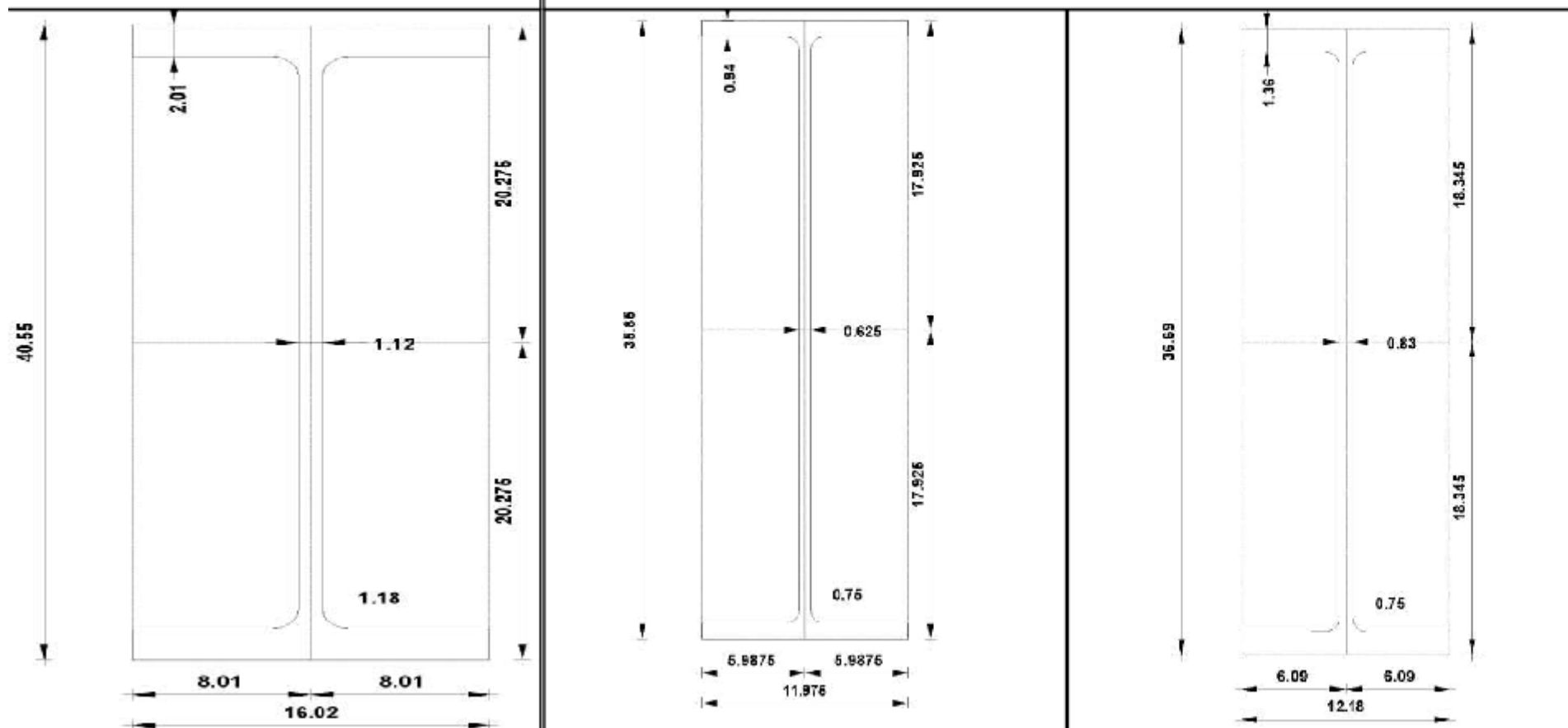


Detalle de Conectores de Corte
ESC : 1 / 20

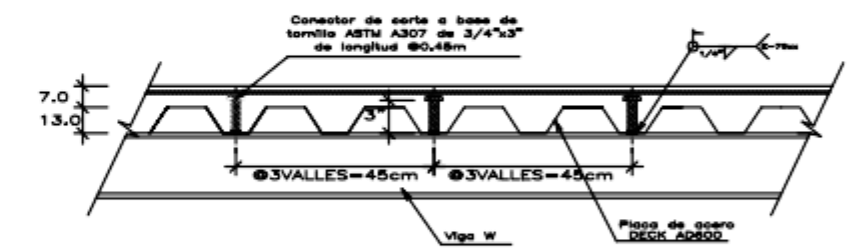
FerNAN Civil LIBRE Ingenieria CIVIL	
TESIS LV 300 FINAL JOSEPH VERA	
ESTRUCTURAS - SEGUNDA PLANTA	
FerNAN Civil LIBRE Ingenieria CIVIL	ESCALA: PLANO:
INDICADA	E-02



Dimensiones de las columnas



Detalle de Losa Colaborante
ESC : 1 / 20



Detalle de Conectores de Corte
ESC : 1 / 20

FerNAN Civil LIBRE Ingenieria CIVIL	
PROYECTO:	TESIS LV 300 FINAL JOSEPH VERA
PLANO:	ESTRUCTURAS - TERCERA PLANTA
DEPARTAMENTO:	Joseph Aaron Vera Yanez
PROYECTA:	LIBRE Ingenieria CIVIL
DESENHA:	FECHA:
INDICADA	E-03

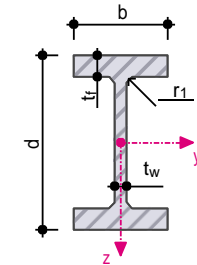


W

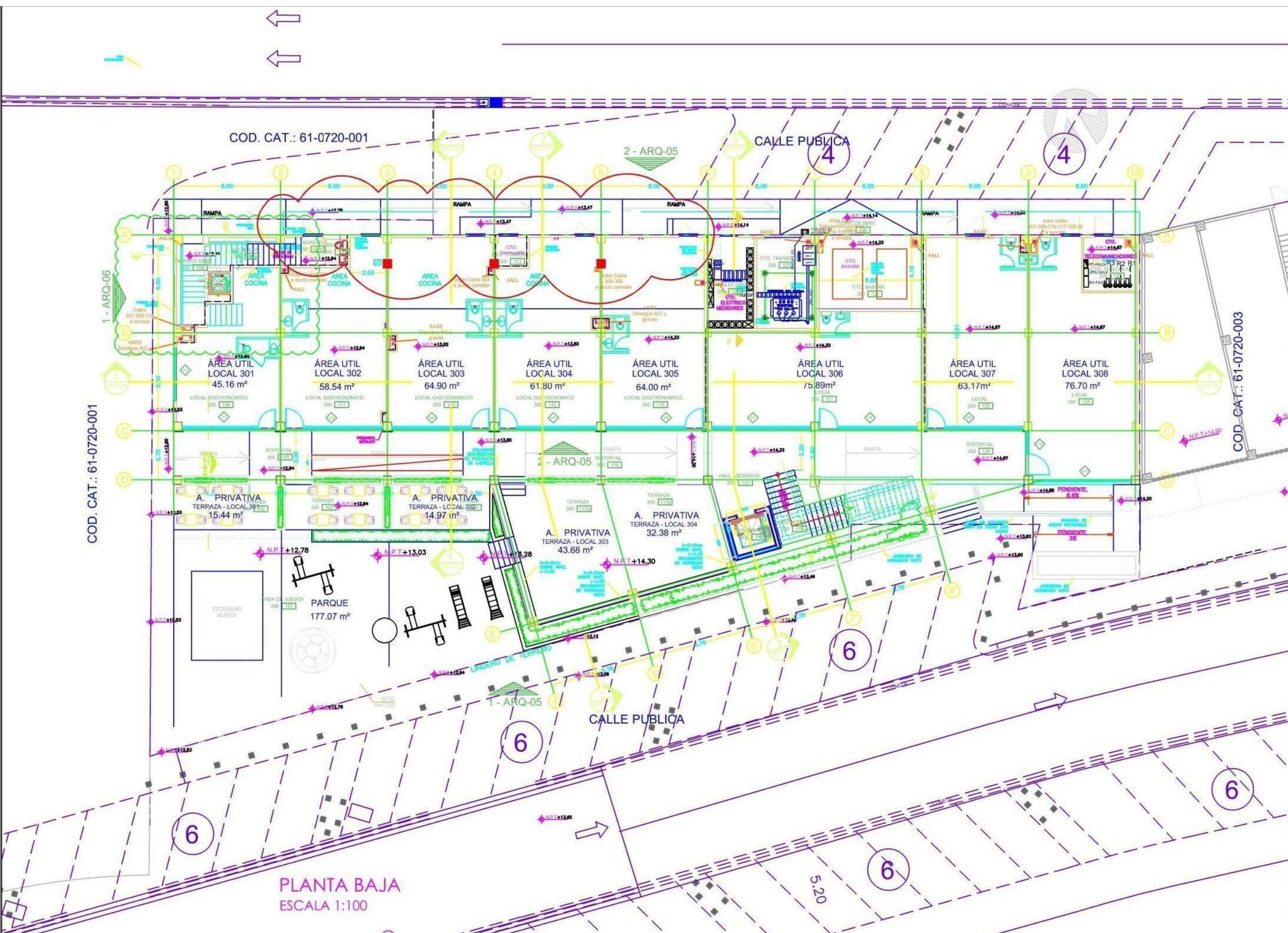
- AISC 15
- --

W

W Shapes



Section	Geometry										Sectional Area	Bending
	h [mm]	b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	h _i [mm]	r ₁ [mm]	d [mm]	k _{des} [mm]	k _{det} [mm]	k ₁ [mm]	A [cm ²]	I _y [cm ⁴]
W 40x362	1031.2	406.4	28.4	51.1	929.1	31.5	869.2	81.0	82.5	44.4	683.87	1202908.82
W 36x210	932.2	309.9	21.1	34.5	863.1	32.1	825.0	53.6	66.7	41.3	399.35	549425.48
W 36x170	919.5	304.8	17.3	27.9	863.6	32.4	825.5	47.0	60.3	39.7	322.58	437043.00



COD. CAT.: 61-0720-001

CALLE PUBLICA

UBICACIÓN

EDIFICIO 300

NOTA:
TODAS LAS DIMENSIONES Y NIVELES SE CONSIDERAN COMO MEDIDAS TERMINADAS.

LAS COTAS PREVALECE SOBRE LOS GRAFICOS.

REVISION	FECHA	REVISION	FECHA

SEÑALES MANIPULADAS

PROYECTO:
LA VISTA DE SAN EDUARDO
"EDIFICIO 300"

PROMOTORA:

PROPIETARIO:

CONTENIDO:
PLANTA BAJA

RESPONSABLE TECNICO 1:

DISEÑO ARQUITECTONICO:

ASISTENTE: FECHA: 06/07-2022

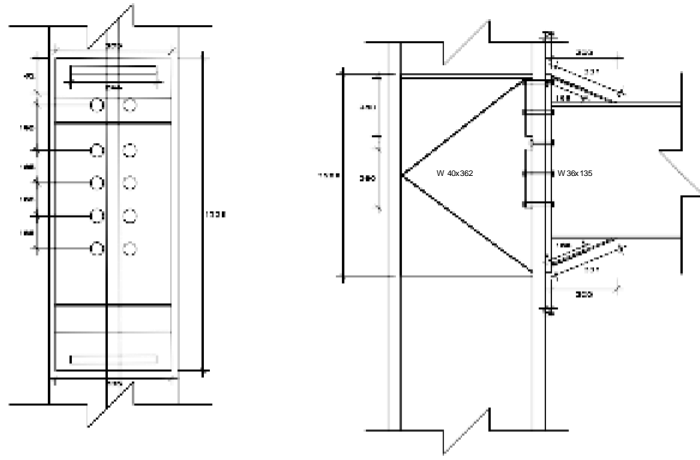
PROBLEADOR: DISEÑO: LAMA:

ESCALA: MEDIDA: ARQ-01

PLANTA BAJA
ESCALA 1:100

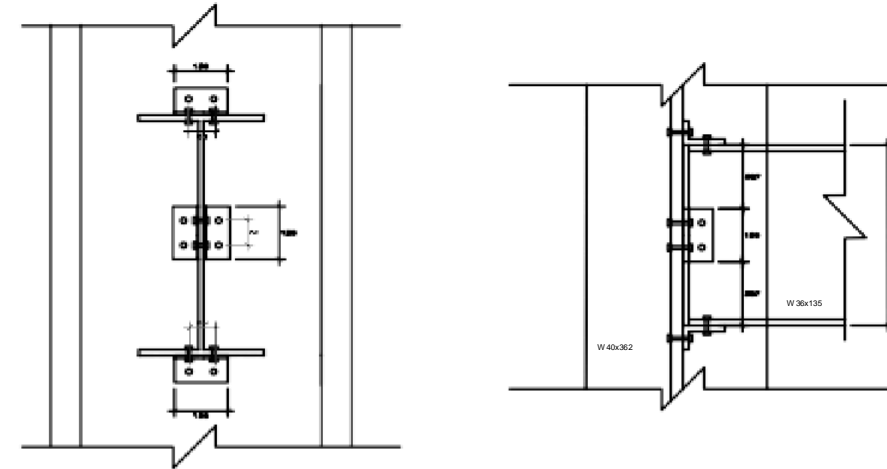
EDIFICIO 300- "PLANTA BAJA"
ESCALA 1:100

Pilar - viga



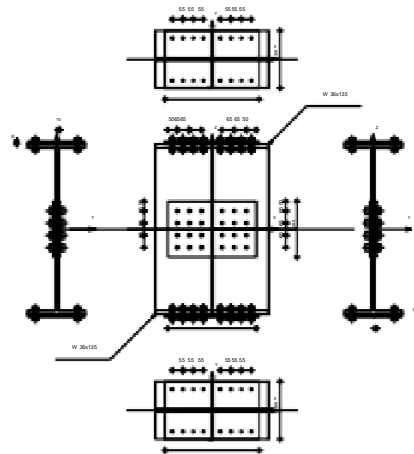
Corte 3-3
Escala 1:10

Pilar - viga (alma)



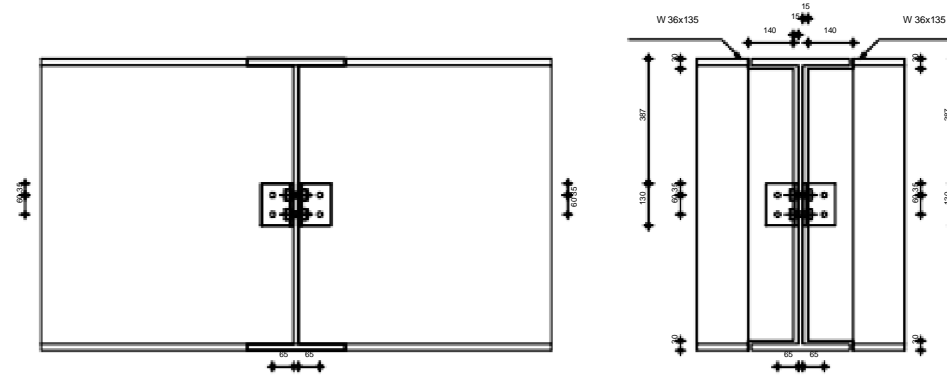
Corte 2-2
Escala 1:10

Unión de empalme de viga



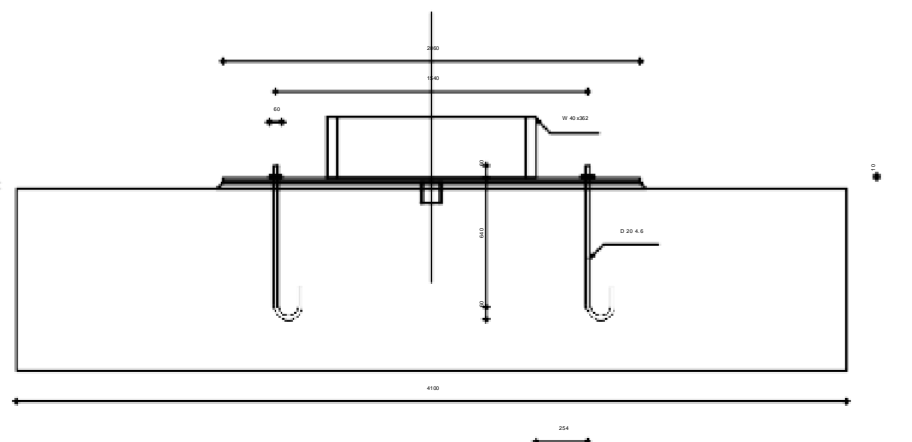
Corte A-A*
Escala 1:10

viga - viga (alma)



Corte E-D
Escala 1:10

Pie de pilar engastado



Tipo	Número	Longitud (m)	Peso propio (kg/m)	Peso de la correa (kg)	Peso total (kg)	Superficie (m ²)
ACERO						
W20x15	2.00	0.70	200.15	111.02	312.00	2.80
W20x15	1.00	0.73	200.15	117.57	188.00	3.15
W20x15	1.00	2.37	200.15	118.09	118.00	7.60
W30x12	3.00	2.42	200.15	482.15	1405.00	21.34
W30x12	2.00	2.30	200.15	320.50	1051.00	15.42
W30x12	10.00	2.91	200.15	592.18	5922.00	85.28
W30x12	3.00	3.48	200.15	703.47	2110.00	30.06
W30x12	1.00	4.08	200.15	514.86	815.00	11.86
W30x12	34.00	4.97	200.15	1004.57	34108.00	500.84
W30x12	1.00	5.08	200.15	1012.05	1013.00	14.05
W30x12	10.00	5.10	200.15	1030.35	10303.00	151.19
W30x12	2.00	5.34	200.15	1073.42	2147.00	21.48
W30x12	1.00	5.37	200.15	1088.51	1088.00	15.80
W30x12	9.00	5.38	200.15	1037.50	9338.00	143.54
W30x12	1.00	5.40	200.15	1051.58	1052.00	15.01
W30x12	1.00	5.50	200.15	1150.00	1150.00	16.87
W30x12	5.00	5.70	200.15	1182.24	5761.00	84.19
W30x12	1.00	5.54	200.15	1222.21	1222.00	16.59
W30x12	1.00	7.32	200.15	1495.75	1496.00	21.79
W30x20	4.00	0.50	315.04	191.00	407.00	0.95
W30x20	2.00	0.73	315.04	238.00	456.00	1.42
W30x20	2.00	2.37	315.04	743.25	1486.00	14.26
W30x20	8.00	2.10	315.04	752.85	6018.00	45.80
W30x20	4.00	2.00	315.04	515.09	2022.00	21.59
W30x20	20.00	2.00	315.04	623.19	12464.00	114.49
W30x20	5.00	3.48	315.04	1021.35	5048.00	63.25
W30x20	2.00	4.08	315.04	1263.43	2526.00	24.41
W30x20	68.00	4.97	315.04	1998.82	16998.00	1629.73
W30x20	2.00	5.00	315.04	1571.17	3142.00	30.35
W30x20	20.00	5.10	315.04	1859.54	37190.00	370.87
W30x20	4.00	5.34	315.04	1965.15	7861.00	64.24
W30x20	2.00	5.37	315.04	1834.26	3668.00	32.50
W30x20	16.00	5.38	315.04	1877.12	30076.00	313.34
W30x20	2.00	5.40	315.04	1873.47	3747.00	32.71
W30x20	12.00	5.39	315.04	1694.62	20335.00	200.54
W30x20	2.00	5.54	315.04	2050.35	4101.00	30.52
W30x20	2.00	7.32	315.04	2305.30	4610.00	44.50
W30x20	45.00	12.41	330.28	9884.35	299405.00	1890.13
TUBO						
W30x12	85.00	402.82	200.15	81294.36	81294.00	1150.00
W30x20	170.00	816.50	315.04	252110.05	252110.00	1409.00
W30x20	45.00	858.46	530.08	26698.72	26698.00	802.12
TOTAL					603315.00	2631.82

FerNAN Civil LIBRE Ingeniería CIVIL			
PROYECTO:		TESIS LV 300 FINAL JOSEPH VERA	
PLANO:		ESTRUCTURAS - UNIONES ESTRUCTURALES	
PROYECTADO:	ALABO:	Joseph Aaron Vera Yanez	
DISEÑADO:	ASESOR:	LIBRE Ingeniería CIVIL	
REVISADO:	FECHA:		
			INDICADA E-04