



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

NOMBRE DE PROYECTO

MODELACIÓN REVIT INTERFACES CASA DE MÁQUINAS

OPCIÓN QUE CORRESPONDA

REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA CIVIL

PRESENTA:

ANTHONI BAUTISTA FLORES

NOMBRE DEL ASESOR:

MIGUEL ÁNGEL DAZA MERINO

APIZACO, TLAX., NOVIEMBRE DEL 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



Instituto Tecnológico de Apizaco
Ciencias de la Tierra

Apizaco, Tlaxcala, **15/Octubre/2025**

Oficio No. C.T./463/2025

Asunto: Liberación de Proyecto
para Titulación integral

CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del Egresado:	ANTHONI BAUTISTA FLORES
Carrera:	Ingeniería Civil
No. de Control:	19370208
NOMBRE DEL PROYECTO:	"MODELACION REVIT INTERFACES CASA DE MAQUINAS".
Producto:	Titulación Integral Informe de Residencia Profesional.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar

EDUARDO CUATIANQUIZ LIMA
JEFE DEL DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
CIENCIAS DE LA TIERRA

M.I. MIGUEL ANGEL DAZA MERINO
ASESOR

ccp. División de Estudios Profesionales (Comuníquese al interesado)
Servicios Escolares
Archivo

U/LMH



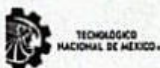
2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241)
4172010 Ext. 117, e-mail: ctierra@apizaco.tecnm.mx tecnm.mx |





Educación
Secretaría de Educación Pública



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, **24/Noviembre/2025**

ANTHONI BAUTISTA FLORES
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
CON NÚMERO DE CONTROL 19370208.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: "**MODELACIÓN REVIT INTERFACES CASA DE MÁQUINAS**", conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gsc*



Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) por brindarme la oportunidad de desarrollar mi residencia profesional dentro de la Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos, en el marco del proyecto de Equipamiento Hidroeléctrico de la Presa Amata, Sinaloa. Esta experiencia representó una valiosa oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos durante mi formación académica, así como para desarrollar nuevas habilidades.

Extiendo un agradecimiento especial a mi Asesor externo y al Ingeniero Jorge Alcala por su orientación, apoyo técnico y acompañamiento durante cada etapa del proyecto. Su experiencia y disposición fueron fundamentales para el logro de los objetivos del proyecto y para mi crecimiento profesional.

Finalmente, mi mayor agradecimiento es para mis padres que durante mis 25 años que tengo, siempre me han ofrecido lo mejor, me han enseñado valores, me han dado los mejores consejos, y siempre han buscado lo mejor para mi persona.

Índice

Introducción	13
Descripción de la empresa y del puesto.....	16
Problemas a resolver.....	21
Objetivos.....	22
Justificación	23
Capítulo 1. Marco teórico	24
1.1 BIM	24
1.2 Ventajas de BIM.....	24
1.3 Uso de BIM.....	24
1.4 Proceso BIM	25
1.4.1 Planificación.....	25
1.4.2 Diseño	25
1.4.3 Construcción.....	25
1.4.4 Operaciones	25
1.5 Dimensiones BIM	26
1.5.1 1D BIM (La idea)	26
1.5.2 2D BIM (El boceto)	26
1.5.3 3D BIM (El modelado)	26
1.5.4 4D BIM (El tiempo).....	26

1.5.5 5D BIM (El costo)	27
1.5.6 6D BIM (La Sostenibilidad)	27
1.5.7 7D BIM (El Mantenimiento)	27
1.6 Niveles de desarrollo	27
1.6.1 LOD 100.....	28
1.6.2 LOD 200.....	28
1.6.3 LOD 300.....	28
1.6.4 LOD 400.....	28
1.6.5 LOD 500.....	28
1.7 Etapas BIM	29
1.7.1 Pre-BIM.....	29
1.7.2 Modelamiento	29
1.7.3 Colaboración basada en el modelo	29
1.7.4 Integración de disciplinas	30
1.8 Revit como Software BIM.....	30
1.9 Central Hidroeléctrica	31
1.9.1 Casa de Máquinas	31
1.10 Estructuras de acero.....	33
Capítulo 2. Desarrollo.....	34
2.1 Software utilizado	34
2.2 Localización de Proyecto.....	35
2.2.1 Condiciones de operación	36

2.4 Modelado de Superficie.....	36
2.4.1 Vinculación de modelo topográfico de Revit a modelo actual.....	37
2.5 Modelado Estructural	38
2.5.1 Importación de Archivo CAD	38
2.5.3 Niveles de modelo	39
2.5.4 Modelado de Placas Base y anclajes.....	40
2.5.5 Modelado de Columnas	41
2.5.5.1 Columnas Principales	41
2.5.5.2 Columnas Secundarias.....	42
2.5.6 Modelado de Trabes.....	42
2.5.7 Modelado de armadura (Triditrabe).....	44
2.5.8 Modelado de Armadura (Triditrabe secundaria)	48
2.5.9 Modelado de largueros en cubierta y largueros de fachada	50
2.6 Modelado Arquitectónico	52
2.6.1 Modelado de panel Multytecho para cubierta	52
2.6.2 Modelado de panel Multymuro	54
2.6.3 Muros Interiores	55
2.6.4 Accesos.....	56
2.6.5 Puertas.....	57
2.6.6 Ventanas	60
2.7 Calculo estructural de modelo	62
2.7.1 Preparación de modelo analítico.....	62
2.7.2 Exportación de Revit a Robot	63

2.7.3 Colocación de apoyos	64
2.7.4 Normatividad	65
2.7.5 Introducción de cargas consideradas en el modelo.....	65
2.7.6 Simulación de cargas por viento.....	66
2.7.7 Combinaciones de carga	67
2.7.8 Análisis estructural de modelo.....	68
2.7.9 Resultados	69
2.7.10 Dimensionamiento de acero	71
2.7.11 Exportación a Revit.....	73
2.8 Modelado de Contravientos en marcos	74
2.9 Fases de Modelado	77
Capítulo 3. Resultados	78
3.1 Ilustraciones de modelo final 3D	78
3.2 Tablas de cantidades de perfiles de acero	84
3.3 Resultado de Renders	87
3.4 Mejoras o propuestas que surgieron durante el proyecto	89
3.5 Planos	90
Conclusiones	103
Recomendaciones	104
Competencias desarrolladas	105

Fuentes de información.....	106
Anexos	107

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Fase de Diseño (Autodesk).	25
Ilustración 2. Fase de Construcción (Autodesk).	25
Ilustración 3. Fase de Operaciones (Autodesk).	25
Ilustración 4. Fase de Planificación (Autodesk).	26
Ilustración 5. Central Hidroeléctrica La Yesca, Nayarit.	31
Ilustración 6. Casa de Máquinas a cielo abierto, de la Central Hidroeléctrica Ixtapantongo, Edo. de México.	32
Ilustración 7. Casa de Máquinas en caverna, de la Central Hidroeléctrica La Yesca, Nayarit.	33
Ilustración 8. Localización de Estado y Municipio (elaboración propia).	35
Ilustración 9. Ubicación general de proyecto (Google Earth).	35
Ilustración 10. Sección de planta de excavación de casa de máquinas y canal de desfogue (Disciplina de Estructuras).	36
Ilustración 11. Modelo de topografía y subestructura (Área de topografía).	37
Ilustración 12. Plano 2D sembrado de columnas mediante Autocad (Disciplina de Estructuras).	38
Ilustración 13. Niveles de Casa de Máquinas (elaboración propia).	39
Ilustración 14. 3D de placa base y anclajes principales (elaboración propia).	40
Ilustración 15. 3D de placa base y anclajes secundarios (elaboración propia).	40
Ilustración 16. Columnas principales W 610X241 (elaboración propia).	41
Ilustración 17. Columnas secundarias HP 410X211 (elaboración propia).	42
Ilustración 18. 3D columna secundaria (elaboración propia).	42
Ilustración 19. 3D columna principal (elaboración propia).	42
Ilustración 20. Modelado de trabes (elaboración propia).	43

Ilustración 21. Placas de termino y soportes de armadura vista 3D (elaboración propia).	44
Ilustración 22. Plano 2D Casa de Máquinas (Disciplina de Estructuras).....	45
Ilustración 23. Modelado de líneas de modelo por boceto (elaboración propia).....	45
Ilustración 24. Modelado de cuerda inferior y superior (elaboración propia).	46
Ilustración 25. Modelado de triditrabe vista en planta (elaboración propia).....	47
Ilustración 26. Modelo final de triditrabe vista 3D (elaboración propia).....	47
Ilustración 27. Modelado de triditrabe secundaria (elaboración propia).	48
Ilustración 28. Modelado de triditrabe secundaria (elaboración propia).	49
Ilustración 29. Modelo final de Triditrabes (elaboración propia).	49
Ilustración 30. Largueros en cubierta (elaboración propia).....	50
Ilustración 31. Largueros de fachada (elaboración propia).	51
Ilustración 32. Perfil métrico de Multytecho (elaboración propia).....	52
Ilustración 33. Familia creada de Multytecho (elaboración propia).	53
Ilustración 34. Barrido de boceto (elaboración propia).....	53
Ilustración 35. Colocacion de Multytecho (elaboración propia).	53
Ilustración 36. Vista en planta Multytecho (elaboración propia).....	54
Ilustración 37. Detalle Multymuro (Disciplina de Estructuras).....	54
Ilustración 38. Multymuro (elaboración propia).....	55
Ilustración 39. Vista 3D de muros interiores (elaboración propia).	56
Ilustración 40. Acceso principal y acceso caseta de ventilación (elaboración propia).	57
Ilustración 41. Acceso a cuarto de transformadores y tableros de transmisión (elaboración propia).	57
Ilustración 42. Acceso a cuarto de baterías.	57

Ilustración 43. Puerta elevada de acceso principal (elaboración propia).	58
Ilustración 44. Puerta de cuarto de transformadores y cuarto de baterías (elaboración propia).	58
Ilustración 45. Puerta de caseta de ventilación (elaboración propia).	59
Ilustración 46. Puerta de cuarto de tableros, almacén y taller electromecánico (elaboración propia).	59
Ilustración 47. Puerta de oficina y cuarto de control (elaboración propia).	60
Ilustración 48. Ventanas a base de muros cortina (elaboración propia).	61
Ilustración 49. Ventanas a base de muros cortina (elaboración propia).	61
Ilustración 50. Creación de modelo analítico en Revit (elaboración propia).	63
Ilustración 51. Modelo exportado en Robot Structural Analysis (elaboración propia).	64
Ilustración 52. Definición de apoyos (elaboración propia)	64
Ilustración 53. Casos de carga (elaboración propia).	65
Ilustración 54. Simulación de viento en 8 direcciones (elaboración propia).	66
Ilustración 55. Mapas de presión en túnel de viento virtual en dirección X+ (elaboración propia).	67
Ilustración 56. Combinación de cargas manuales (elaboración propia).	67
Ilustración 57. Procesos de cálculo en Robot (elaboración propia).	68
Ilustración 58. Deformación exacta de modelo sin contravientos (elaboración propia).	69
Ilustración 59. Incorporación de contravientos en modelo (elaboración propia).	70
Ilustración 60. Deformación exacta de modelo con contravientos (elaboración propia).	71
Ilustración 61. Ventana cálculo de dimensionamiento (elaboración propia).	71
Ilustración 62. Verificación de barra (elaboración propia).	72
Ilustración 63. Mapa de Barras verificadas (elaboración propia).	73

Ilustración 64. Modelo estructural final en Robot Structural Analysis (elaboración propia).....	73
Ilustración 65. Contravientos en X y X en dos niveles (elaboración propia).	75
Ilustración 66. Vista 3D contravientos (elaboración propia).	75
Ilustración 67. Fases del proyecto (elaboración propia).	77
Ilustración 68. Modelo estructural completo vista 3D (elaboración propia).....	78
Ilustración 69. Modelo Estructural completo vista 3D (elaboración propia).	79
Ilustración 70. Modelo Arquitectónico completo vista 3D (elaboración propia).	80
Ilustración 71. Corte de modelo final vista 3D (elaboración propia).....	81
Ilustración 72. Incorporación de modelo topográfico vinculado vista 3D, perspectiva 1 (elaboración propia).	82
Ilustración 73. Incorporación de modelo topográfico vinculado vista 3D, perspectiva 2 (elaboración propia).	83
Ilustración 74. Render 1 (elaboración propia).	87
Ilustración 75. Render 2 (elaboración propia).	87
Ilustración 76. Render 3 (elaboración propia).	88
Ilustración 77. Render 4 (elaboración propia).	88

Resumen

El presente trabajo de residencia profesional se desarrolló en la empresa de Comisión Federal de Electricidad, en el marco del Proyecto de Equipamiento Hidroeléctrico de la Presa Amata, Sinaloa, enfocado en la modelación virtual y coordinación de interfases de la Casa de Máquinas, una de las estructuras principales de una Central Hidroeléctrica, con el objetivo de generar un modelo BIM preciso que permitiera representar la geometría y accesos para el alojamiento de los equipos, facilitando el análisis estructural y el flujo de trabajo colaborativo con otras disciplinas.

La modelación se realizó en Autodesk Revit, utilizando niveles de desarrollo LOD 300, e incluyó elementos estructurales como columnas, vigas, placas base, armaduras tridimensionales y contravientos. Posteriormente, el modelo fue vinculado con Autodesk Robot Structural Analysis Professional para su análisis estructural, considerando cargas permanentes, variables y de viento, y verificando el comportamiento bajo la normatividad vigente. Durante el proceso se aplicaron métodos de coordinación BIM, gestionando interfases entre disciplinas mediante herramientas de vinculación, exportación y control de versiones. El modelo permitió detectar interferencias, optimizar tiempos de diseño, análisis estructural y generar documentación técnica más precisa. El resultado fue un modelo estructural validado, exportable e interoperable, que fortalece la eficiencia del proyecto general garantizando un diseño seguro y normativamente correcto.

Introducción

El presente proyecto de residencia profesional corresponde al desarrollo en el marco del proyecto de Equipamiento Hidroeléctrico de la Presa Amata, Sinaloa, llevado a cabo en el Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), dentro de la disciplina de estructuras.

Durante este proceso se modeló y diseñó la Casa de Máquinas destinada a la Central Hidroeléctrica Amata, estructura clave donde se alojan los equipos electromecánicos e hidroeléctricos responsables de transformar la energía hidráulica en energía eléctrica. Para ello, se aplicó un entorno BIM (Building Information Modeling), empleando Autodesk Revit como herramienta principal, partiendo de un predimensionamiento. Mediante las interfases e interoperabilidad, se llevó a cabo el análisis estructural del modelo en Autodesk Robot Structural Analysis Professional, para luego llevar los resultados, información y dimensionamiento estructural a Revit.

Se realizó la importación y adaptación de planos 2D generados en AutoCAD por el contratista, hasta la creación de un modelo detallado con niveles de desarrollo (LOD 300), incorporación de elementos como armaduras tridimensionales (triditrabes), placas base, contravientos, cubiertas tipo Multytecho, etc. Además, se desarrolló un modelo analítico estructural que permitió evaluar la estructura bajo distintas combinaciones de carga, incluyendo viento, con validación según los criterios de diseño establecidos por la normatividad vigente.

A través de esta experiencia se fortalecieron competencias técnicas clave en diseño estructural, modelado paramétrico, análisis estructural de modelos complejos, documentación

técnica y colaboración interdisciplinaria en entornos BIM. Los resultados obtenidos no solo mejoraron la calidad del diseño, sino que también contribuyeron a la eficiencia, reducción de tiempos de diseño y coordinación del proyecto dentro de una de las principales obras de infraestructura energética del país de México.

Descripción de la empresa y del puesto

Empresa o dependencia:

Comisión Federal de Electricidad (CFE)

Empresa pública con carácter social, encargada de proveer el servicio de energía eléctrica, un recurso esencial para el desarrollo económico y social del país. Se trata de una empresa productiva del Estado, propiedad exclusiva del Gobierno Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Opera con autonomía técnica, operativa y de gestión, conforme a lo establecido por la Ley de la Comisión Federal de Electricidad.

Historia:

La generación de energía eléctrica en México se remonta a finales del siglo XIX. La primera planta generadora fue instalada en 1879 en León, Guanajuato, para abastecer a la fábrica textil La Americana. Pronto, la electricidad se incorporó en la industria minera y, de forma limitada, en la iluminación pública y residencial.

Para 1937, el país tenía una población de aproximadamente 18.3 millones de habitantes, de los cuales solo siete millones contaban con suministro eléctrico, ofrecido por tres compañías privadas que operaban con múltiples deficiencias:

- The Mexican Light and Power Company (origen canadiense), en el centro del país.
- The American and Foreign Power Company, en el Norte.
- Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente.

Estas empresas poseían las concesiones de la mayoría de las plantas generadoras, aunque operaban únicamente a nivel regional. En ese contexto, eran comunes las interrupciones del servicio y las tarifas resultaban excesivamente elevadas.

El Gobierno Federal creó el 14 de agosto de 1937 la Comisión Federal de Electricidad, para establecer y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Este sistema se basaría en principios técnicos y económicos, sin fines de lucro, buscando el máximo aprovechamiento al menor costo posible, en beneficio del interés público y del desarrollo nacional.

Panorama Actual:

Actualmente, la CFE opera en todo el territorio nacional con más de 93,184 trabajadores activos, de los que unos 71.000 están afiliados al Sindicato Único de Trabajadores Electricistas de la República Mexicana (SUTERM). Su estructura organizativa se divide en cuatro procesos fundamentales:

- Generación
- Transmisión
- Distribución
- Suministro de servicios básicos

La empresa atiende a más de 46 millones de clientes y cada año incorpora cerca de un millón de nuevos usuarios. El nivel de electrificación en el país alcanza el 98.95% de la población.

En términos de electrificación rural, se realizaron:

- 1,587 obras en 2019
- 1,528 obras en 2020
- 3,466 obras en 2021

Al mes de enero de 2022, la infraestructura de la CFE comprendía:

- 110,347.18 km de líneas de transmisión
- 882,715.32 km de líneas de distribución
- 2,275 subestaciones de potencia
- 50,808 km de red de comunicaciones con fibra óptica
- 16 gerencias Divisionales de Distribución
- 1,269 centros de Atención a Clientes

La CFE es internacionalmente reconocida como una de las mayores empresas eléctricas del mundo, y su misión principal es asegurar el suministro de energía eléctrica segura, eficiente y accesible para la población mexicana.

Misión:

Suministrar insumos y bienes energéticos requeridos para el desarrollo productivo y social del país de forma eficiente, sustentable, económica e incluyente, mediante una política que priorice la seguridad y la soberanía energética nacional y fortalezca el servicio público de electricidad.

Visión:

Consolidarnos como la empresa de energía líder en México, con solvencia técnica y financiera, que procura el fortalecimiento de nuestro capital humano y garantiza el servicio de energía eléctrica con calidad y sentido social a nuestros clientes en todos los segmentos del mercado, para contribuir al desarrollo sustentable del país, generando valor económico y rentabilidad al Estado Mexicano.

Tipos de proyectos que desarrolla:

La CFE desarrolla una amplia gama de proyectos de ingeniería civil, enfocados en la construcción y modernización de infraestructura eléctrica. Estos proyectos incluyen líneas de transmisión, subestaciones hidroeléctricas, plantas de generación y distribución de energía, así como proyectos de energía renovable.

Respecto a los proyectos hidroeléctricos que será inaugurados y que ya está en funcionamiento desde octubre 2024, se encuentran la planta de Zimapán, Hidalgo, que generará 12 mw; mientras que este año se pondrán en marcha las plantas en Sinaloa: Santa María (30 mw) en julio; Picachos (6.4 mw) y Amata (10 mw) en diciembre; en Michoacán: la Villita en mayo e Infiernillo en noviembre; en Guerrero la plata Caracol (30 mw) en diciembre; en Puebla: Portezuelos I y II (1.2 MW) en marzo y en Veracruz: Encanto (7.0 mw) en abril y Minas (3.0 mw) en febrero 25.

Puesto o área del residente:

- Disciplina de Estructuras

Departamento donde trabajaste:

- Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos / Subgerencia de Diseños Hidroeléctricos

Funciones específicas asignadas:

- Crear proyectos estructurales y arquitectónicos
- Modificar elementos de Revit
- Diseñar y editar componentes BIM
- Trabajar con Revit y Robot estructural

Rol dentro del proyecto:

- Crear, modelar y calcular el modelo estructural y arquitectónico de la Casa de Maquinas destinada a la Central Hidroeléctrica Amata, en el estado de Sinaloa.

Problemas a resolver

- Detección de interferencias entre los componentes estructurales y el equipamiento hidroeléctrico, tales como turbinas, generadores, grúa viajera e instalaciones diversas.
- Errores de coordinación en entornos BIM, derivados de la integración de las distintas disciplinas involucradas en el proyecto, como estructuras, mecánica, hidráulica e instalaciones eléctricas.
- Ubicación o montaje incorrecto de perfiles de acero en la estructura de la Casa de Máquinas, lo que puede comprometer la integridad del diseño y afectar la ejecución en obra.
- Tiempos de diseño y revisión de estructuras durante el proyecto.

Objetivos

Objetivo General:

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y modelar la Casa de Máquinas a cielo abierto utilizando Revit como software principal, cuya finalidad de dicha superestructura es realizar la conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica y tenga como función alojar turbinas y generadores para la producción de electricidad, controlar el flujo de agua a través de las válvulas y compuertas.

Objetivos Específicos:

- Crear un modelo 3D detallado de la estructura donde se incluirán las dimensiones reales, materiales y propiedades físicas de cada elemento.
- Evaluar el modelo 3D mediante un cálculo estructural en Autodesk Robot Structural Analysis.
- Generar automáticamente planos de planta, cortes, vistas, detalles constructivos y listas de materiales.
- Optimizar el uso de materiales, costos, tiempos de montajes de construcción antes de la obra.

Justificación

La importancia de este proyecto radica en garantizar un correcto modelado de manera eficiente, ya que en una Casa de Máquinas se albergan los equipos electromecánicos encargados de la conversión de energía hidráulica en energía eléctrica, esencial en una central hidroeléctrica. Su modelación y diseño debe cumplir con altos estándares técnicos, normativos y de coordinación interdisciplinaria, dado que cualquier error estructural o de integración puede comprometer la funcionalidad y seguridad del sistema de generación.

El proyecto contaba únicamente con planos 2D desarrollados en AutoCAD, lo cual limitaba la visualización, análisis y coordinación entre disciplinas. Ante esta situación, se identificó la necesidad de generar un modelo estructural y arquitectónico de manera precisa, integrado en un entorno BIM, lo que permitió mejorar la interpretación del modelo, facilitar el análisis estructural y optimizar soluciones a los métodos tradicionales.

Mediante el uso de Autodesk Revit y Robot Structural Analysis Professional, fue posible vincular el modelado arquitectónico y estructural con el análisis estructural, garantizando que la superestructura modelada fuera capaz de resistir las combinaciones de carga más críticas, incluyendo los efectos del viento y las solicitaciones propias del equipamiento. Además, el flujo de trabajo bidireccional entre ambos programas permitió actualizar la información sin necesidad de realizar retrabajos.

Revit facilitó la generación automática de planos, detalles constructivos, vistas en 3D, tablas de cuantificación de perfiles de acero, flujos de trabajo con otros programas y la documentación técnica, lo que mejora la gestión integral del proyecto.

Capítulo 1. Marco teórico

1.1 BIM

BIM (Building Information Modeling) es una nueva forma de gestionar proyectos de construcción que comienza con la creación de un modelo tridimensional del diseño. Este modelo permite una documentación más eficiente, así como una mejor coordinación, simulación y visualización del proyecto. BIM ayuda a los distintos participantes y proveedores de servicios a mejorar la planificación, modelado, diseño, construcción y administración de superestructuras. Además, este modelo se actualiza constantemente, lo que reduce la pérdida de información y la repetición de tareas. BIM resuelve muchos de los retos que enfrentan arquitectos, ingenieros, profesionales de la construcción y propietarios, al mejorar el acceso a la información desde las primeras etapas del diseño y la construcción, permitiéndoles tomar decisiones más informadas y acertadas.

1.2 Ventajas de BIM

Flujos de trabajo, la conexión de equipos, costos, mantenimiento y datos durante todo el ciclo de vida de un proyecto, desde el diseño, la modelación y la ingeniería hasta la construcción y las operaciones, para descubrir formas de trabajo más eficaces y obtener mejores resultados en la construcción (Autodesk, 2025).

1.3 Uso de BIM

BIM se utiliza para crear y administrar información de datos durante el proceso de modelación, diseño, construcción y operaciones. BIM integra datos multidisciplinarios para crear representaciones digitales detalladas que se administran en una plataforma abierta en la nube a fin

de permitir la colaboración en tiempo real. BIM le proporciona mayor visibilidad, una mejor toma de decisiones, opciones más sostenibles y ahorro en los costes de los proyectos.

1.4 Proceso BIM

1.4.1 Planificación Informa al equipo de planificación de proyectos mediante la combinación de datos del mundo real, con herramientas de captura de la realidad para generar modelos en contexto del entorno construido y natural.	
1.4.2 Diseño Durante esta fase tienen lugar el diseño conceptual, el análisis, el detallado y la documentación. El proceso previo a la construcción empieza a utilizar datos de BIM para orientar al equipo de programación y logística.	 <i>Ilustración 1. Fase de Diseño (Autodesk).</i>
1.4.3 Construcción Durante esta fase, el equipo de fabricación comienza a utilizar las especificaciones de BIM. Los datos logísticos de construcción del proyecto se comparten con los profesionales y contratistas para garantizar una eficiencia y unos plazos óptimos.	 <i>Ilustración 2. Fase de Construcción (Autodesk).</i>
1.4.4 Operaciones Los datos de BIM se transfieren al equipo de operaciones y mantenimiento de los componentes finalizados. Los datos de BIM se pueden utilizar más adelante para hacer una rehabilitación económica o desmontar una construcción eficazmente.	 <i>Ilustración 3. Fase de Operaciones (Autodesk).</i>

1.5 Dimensiones BIM

1.5.1 1D BIM (La idea)

Aquí se inicia una idea del proyecto, donde se piensa como se realizará y como se tomarán las decisiones preliminares, como los primeros croquis, primeros planos, estimaciones, con los que se crearán las bases para dicho proyecto.

1.5.2 2D BIM (El boceto)

En esta dimensión se empieza a poner en marcha la idea del proyecto, donde se realizan los estudios realizados, mediante los cálculos, diseños, pre/dimensionamientos del proyecto.

1.5.3 3D BIM (El modelado)

Modelo construido con objetos geométricos y volumétricos del proyecto que de acuerdo con el nivel de detalle incluirá características específicas más allá del material

1.5.4 4D BIM (El tiempo)

Sumado a lo anterior, en esta dimensión se incluye la variable tiempo lo que significa que a cada elemento se le atribuye una secuencia de construcción que permite realizar simulaciones

1.5.5 5D BIM (El costo)

Adicionalmente, en este punto se compilan los aspectos económicos inherentes al proyecto a partir de la definición de las cantidades, materiales a emplear y costos de producción.

1.5.6 6D BIM (La Sostenibilidad)

En esta dimensión se relaciona con la sostenibilidad del proyecto que se desarrolla a partir del análisis pre-construcción de factores tales como la ubicación, orientación, los materiales, el sistema de ventilación y todas aquellas variables que permitan reducir el consumo energético.

1.5.7 7D BIM (El Mantenimiento)

El nivel más alto de aprovechamiento del modelo, esta dimensión permite conocer el estado real de las instalaciones del proyecto, especificaciones, mantenimiento, manuales de uso y garantías de los productos

1.6 Niveles de desarrollo

Con base en lo anterior y entendiendo el alcance que supone la implementación de BIM una cuestión importante a tener en cuenta a la hora de realizar un proyecto, es la necesidad de decidir lo que se va a modelar y lo que no para determinar las necesidades y objetivos que se tengan.

Los niveles de desarrollo LOD son los siguientes:

1.6.1 LOD 100

Nivel inicial de desarrollo, los elementos en el modelo suelen ser representados por objetos genéricos sin que esto involucre necesariamente figuras geométricas.

1.6.2 LOD 200

Nivel de especificación gráfica de los elementos en el cual se analiza el funcionamiento respecto a las directrices del proyecto en variables iniciales no gráficas relativas a costos y tiempo.

1.6.3 LOD 300

En este nivel se precisan las características gráficas de los elementos añadiendo valores de pertenencia asociados a la materialidad, sistema constructivo, uso, ubicación, orientación, entre otros.

1.6.4 LOD 400

Nivel de definición geométrica en el que se detallan aspectos como dimensión, posición y cantidad, con información precisa referente a detalles constructivos y fabricación.

1.6.5 LOD 500

Nivel de desarrollo acorde con lo construido tanto en lo relativo a la información gráfica como a la documental. La información asociada debe ser fiel a lo ejecutado, reflejar los cambios producidos en obra, los proveedores involucrados, así como las especificaciones de mantenimiento y garantía.

1.7 Etapas BIM

1.7.1 Pre-BIM

En esta etapa se considera la fase inicial de un proyecto en la cual se recopila la información necesaria y diferentes consideraciones para dar inicio al proceso BIM.

- Definición de objetivos del proyecto
- Recopilación de la información
- Creación de un plan BIM

1.7.2 Modelamiento

En esta etapa se crea un modelo BIM, un modelo virtual del proyecto de construcción que ya contiene información geométrica, de elementos, constructiva y de planificación.

- Definición de la información constructiva
- Creación de modelo geométrico

1.7.3 Colaboración basada en el modelo

En esta etapa se realiza una colaboración entre los diferentes integrantes del proyecto. En esta etapa, se utilizan modelos BIM para compartir información y coordinar el trabajo.

- Compartición de modelos BIM
- Coordinación de trabajo
- Identificación y resolución de conflictos

1.7.4 Integración de disciplinas

En esta etapa se integran diferentes modelos BIM, donde se combinan los modelos BIM de las diferentes áreas de ingeniería para crear un modelo único que represente el proyecto en su totalidad.

- Integración de modelos BIM
- Validación de la información
- Utilización del modelo integrado

1.8 Revit como Software BIM

Revit es un software de diseño inteligente de modelado BIM (Building Information Modeling) para arquitectura e ingeniería, que facilita las tareas de diseño de proyecto y los procesos de trabajo. Lo más importante de este software es que todo lo que se modela es mediante objetos inteligentes (familias paramétricas) que se pueden editar mediante el proyecto avanza (Fatima, 2022).

Revit nos permite crear un modelo virtual de un edificio o estructura que contiene una serie de información geométrica, constructiva, y de planificación. Con este modelo se puede realizar un análisis y la simulación, para identificar y resolver conflictos colaborando con los diferentes integrantes involucrados en el proyecto.

- Diseñar
- Visualizar
- Colaborar

1.9 Central Hidroeléctrica

Una Central Hidroeléctrica transforma la energía potencial del agua almacenada de un embalse en energía cinética para mover el rotor de un generador y transformarla en energía eléctrica. Para obtener la energía hidroeléctrica, se requieren construir distintas obras como: una presa, una conducción a presión, una Casa de Máquinas para instalar los equipos electromecánicos (turbinas, generadores eléctricos, transformadores, piso de excedencias, etc.) y un control para la operación de la central con desfogue para restituir el agua al río. La ilustración 5 muestra la Central Hidroeléctrica “La Yesca” del estado de Nayarit.



Ilustración 5. Central Hidroeléctrica La Yesca, Nayarit.

1.9.1 Casa de Máquinas

Una Casa de Máquinas es una estructura donde se alojan y montan los grupos mecánicos y eléctricos para la producción de la energía eléctrica, elementos de regulación y comando.

Existen dos variantes de Casa de Máquinas para una Central Hidroeléctrica que dependerán de cada diseño estructural.

- Casa de Máquinas al pie de cortina
- Casa de Máquinas a cielo abierto o en caverna.

Dentro de esto se compone:

- Piso de Excitadores
- Piso de Turbinas
- Piso de Generadores
- Desfogue
- Grúa Viajera

En la ilustración 6 muestra la Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica “Ixtapantango” del Estado de México, construida a cielo abierto.

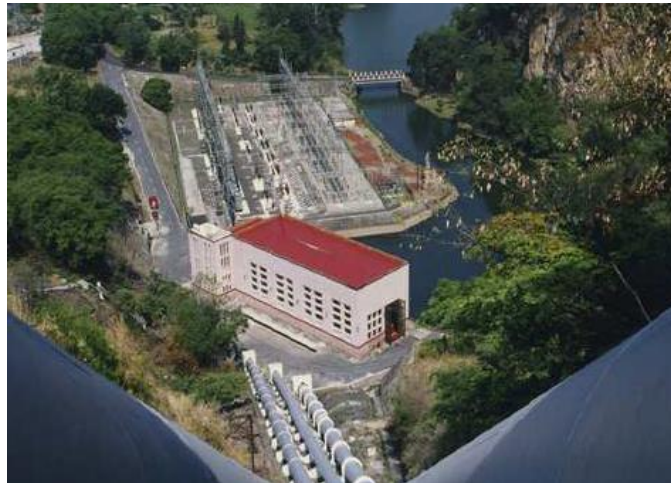


Ilustración 6. Casa de Máquinas a cielo abierto, de la Central Hidroeléctrica Ixtapantongo, Edo. de México.

La ilustración 7 muestra la Casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica “La Yesca” del estado de Nayarit, construida en caverna.



Ilustración 7. Casa de Máquinas en caverna, de la Central Hidroeléctrica La Yesca, Nayarit.

1.10 Estructuras de acero

Las estructuras de acero son un conjunto de elementos que forman la parte resistente de un proyecto. El sistema estructural se basa en marcos o esqueleto de cualquier estructura cuyos componentes en su mayoría son columnas y vigas de acero, estos elementos nos ayudan para soportar las diferentes cargas del techo y paredes del edificio. La versatilidad del acero se basa en la fabricación de las piezas o secciones con la geometría adecuada para resistir las cargas en compresión, tensión o alguna otra solitud, además que el acero se fabrica bajo normas y estándares controlados que no permiten que exista una variedad entre cada pieza.

El tiempo de ejecución en obra se reduce considerablemente, ya que los elementos estructurales son prefabricados en taller y llegan al sitio listos para su montaje. Esto permite una mayor precisión en la fabricación de los perfiles y reduce la necesidad de ajustes durante la instalación, eliminando demoras y minimizando el trabajo en campo (Gerda Corsi, 2020).

Capítulo 2. Desarrollo

En este capítulo se describió el proceso para el proceso de desarrollo del modelado de la Casa de Máquinas destinada para la Central Hidroeléctrica de Amata, Sinaloa. Para ello, se respetó el diseño establecido en los planos 2D proporcionados por el contratista y se creó un modelo virtual en 3D utilizando el software Autodesk Revit. El objetivo es para aprovechar los beneficios y ventajas del modelado 3D, así como facilitar la visualización de la geometría y los detalles, los cuales en AutoCAD requerirían más tiempo para realizar.

Una vez que se obtuvo la estructura del modelo, fue necesario implementar la interoperabilidad, por lo que se realizó el cálculo estructural en Autodesk Robot Structural Analysis. Para ello, se actualizó y verificó el modelo, y luego se devolvió a Revit. Posteriormente, se completó el modelado arquitectónico. Como muestra del trabajo realizado, el modelo se desarrolló en un nivel de LOD 300. Este procedimiento se describe a continuación:

2.1 Software utilizado

Para llevar a cabo la ejecución y desarrollo del proyecto se decidió utilizar los softwares como AutoCAD para importación y visualización de la geometría en 2D de los planos CAD, Autodesk Revit para el modelado 3D y Autodesk Robot Structural Analysis para la verificación y calculo estructural. Esto facilito el uso y aprendizaje de los elementos estructurales utilizados en el modelado.

El uso de los softwares mencionados fue mediante una versión 2025 con licencia de estudiante.

2.2 Localización de Proyecto

El proyecto estará ubicado a cielo abierto destinado a la Central Hidroeléctrica “Amata”, sobre el Río San Lorenzo en el municipio de Cósala, del estado de Sinaloa. En la ilustración 8 y 9 se muestra la ubicación obtenida de Google Earth al igual que las condiciones de operación.



Ilustración 8. Localización de Estado y Municipio (elaboración propia).

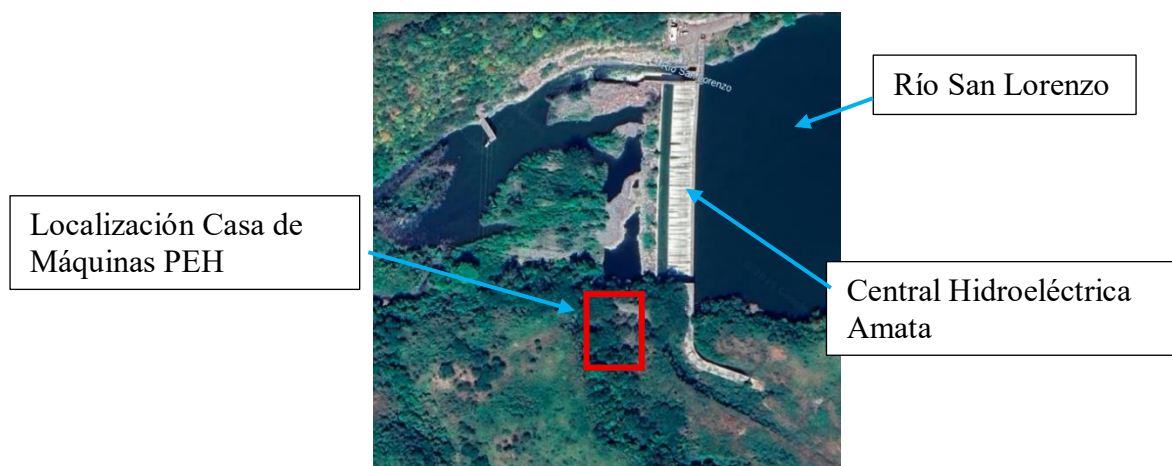


Ilustración 9. Ubicación general de proyecto (Google Earth).

2.2.1 Condiciones de operación

- Localización:	Municipio de Cosalá, Sinaloa.
- Referencia adicional:	Sobre el río San Lorenzo.
- Coordenadas:	24° 30'39.79° N, 106°55'29.86°O.
- Altitud:	Centro (m.s.n.m.) 112.820
- Zona climática:	Cálido subhúmedo
- Aceleración horizontal máxima (g):	0.23
- Coeficiente Sísmico:	0.23
- Temperatura máxima de operación:	40°C
- Humedad relativa:	76.3%

2.4 Modelado de Superficie

La realización del modelado correcto de la Casa de Máquinas con las coordenadas y elevaciones que en los planos de Autocad están proyectadas en la subestructura que se encuentra a una elevación de 107.80 m.s.n.m. a 130.00 m.s.n.m. donde empezó el modelo de la superestructura, que quedo a una elevación aproximada de 150.00 m.s.n.m. (ilustración 10).

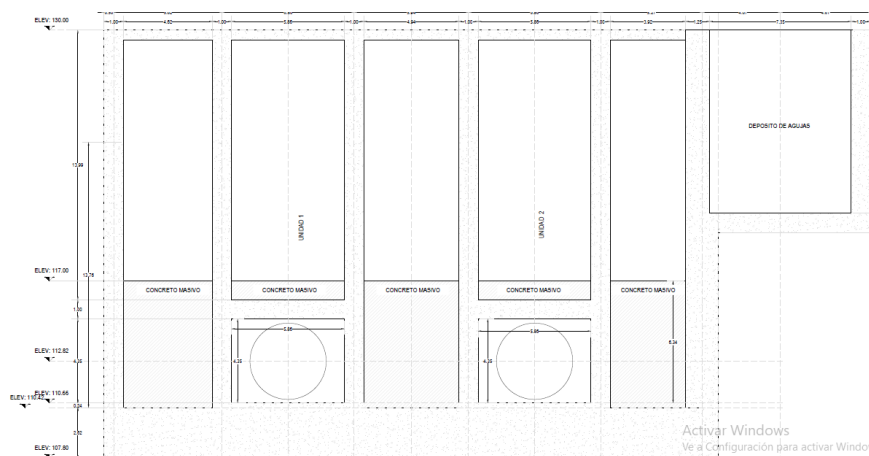


Ilustración 10. Sección de planta de excavación de casa de máquinas y canal de desfogue (Disciplina de Estructuras).

2.4.1 Vinculación de modelo topográfico de Revit a modelo actual

La vinculación de modelos se utiliza principalmente para conectar estructuras independientes, detectar interferencias entre elementos y permitir su modificación. También contribuye a una mejor gestión del almacenamiento, evitando que el modelo sea demasiado pesado.

Siguiendo con este procedimiento se le solicitó al ingeniero del área de topografía la superficie topográfica actualizada de la excavación de la Obra de Toma y planta. Una vez obtenido, el modelo se vinculó al proyecto actual, como se muestra en la ilustración 11, la cual ya incluye las coordenadas y elevaciones reales del proyecto.

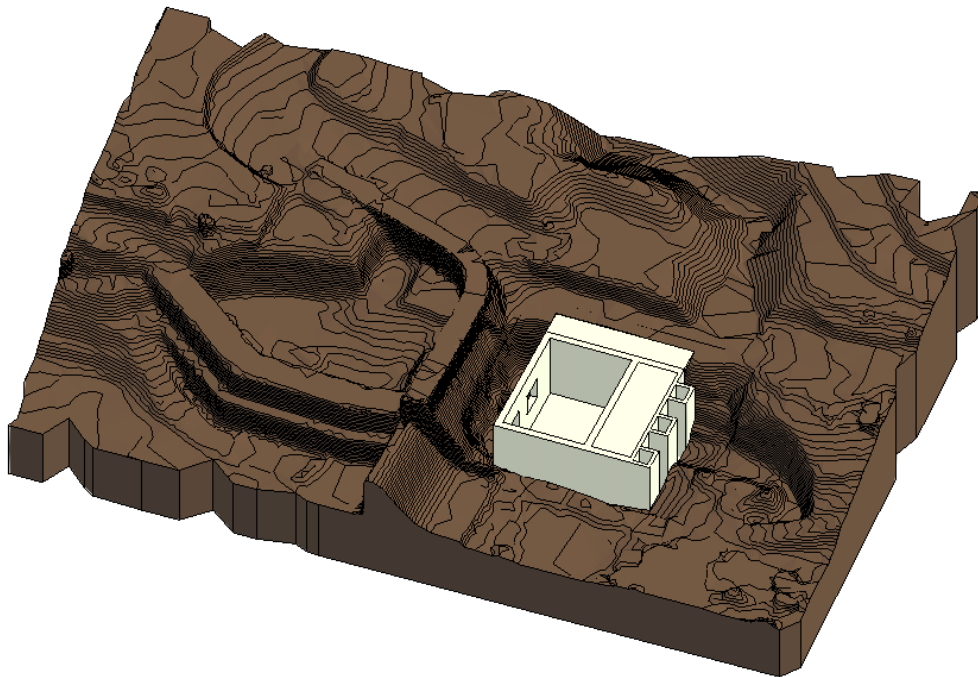


Ilustración 11. Modelo de topografía y subestructura (Área de topografía).

Cabe destacar que la planta de excavación de la subestructura y canal de desfogue solo es se utilizó como boceto por lo que sigue en proceso de diseño y modelado por parte de las disciplinas involucradas en el proyecto de Equipamiento Hidroeléctrico.

2.5 Modelado Estructural

2.5.1 Importación de Archivo CAD

En esta fase se realizó la importación del plano 2D de sembrado de Columnas de AutoCAD (ilustración 12), únicamente para la localización exacta de las columnas primarias y secundarias de la Casa de Maquinas con las respectivas medidas de los elementos. Para el modelado de los elementos se logró desde una vista en planta.

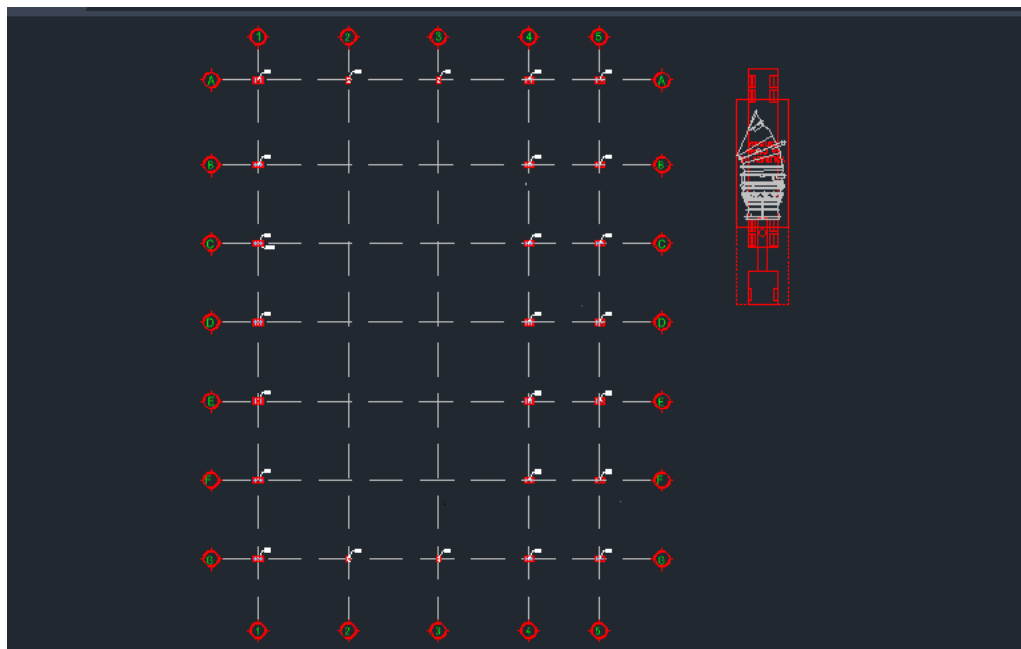


Ilustración 12. Plano 2D sembrado de columnas mediante Autocad (Disciplina de Estructuras).

2.5.3 Niveles de modelo

Se crearon diferentes niveles para cada elevación, con el fin de ubicar adecuadamente columnas, trabes, largueros, armaduras, cubiertas, entre otros elementos estructurales. En la ilustración 13 se muestran los distintos niveles correspondientes a la Casa de Máquinas.

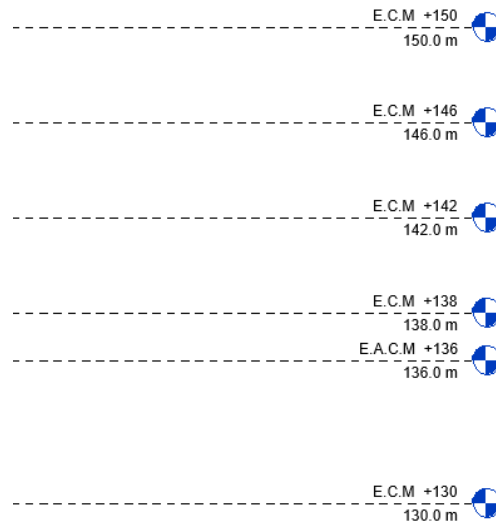
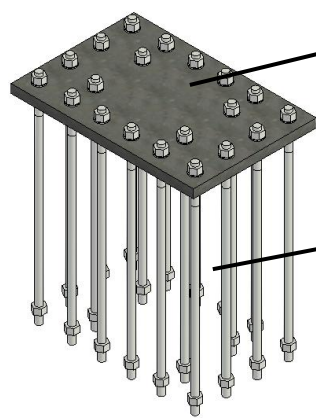


Ilustración 13. Niveles de Casa de Máquinas (elaboración propia).

- E.C.M +150: Elevación máxima de cubierta
- E.C.M +146: Elevación superestructura
- E.C.M +142: Elevación Grúa viajera
- E.C.M +138: Elevación mínima de cubierta
- E.A.C.M +136: Elevación Acceso principal
- E.C.M +130: Elevación base de Superestructura

2.5.4 Modelado de Placas Base y anclajes

La función principal de las placas de anclaje de acero es distribuir y transmitir las cargas de las columnas a la cimentación. Con base en los planos 2D proporcionados por el estructurista, se modelaron 21 placas de acero ASTM A36 de 1¼" con 20 anclajes roscados de 1¼" y 1.12 m de longitud por placa para las columnas principales. Para las columnas secundarias, se crearon 4 placas de acero del mismo tipo y espesor, cada una con 18 anclajes roscados de las mismas dimensiones (ilustración 14 y 15).



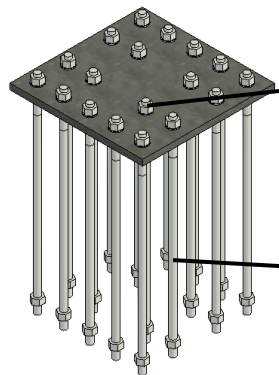
Placa base:

PI 630mm x 935mm x 11/4"

Anclajes:

20 anclajes roscados US 11/4" de 1.12 mts

Ilustración 14. 3D de placa base y anclajes principales (elaboración propia).



Placa base:

PI 708mm x 706mm x 11/4"

Anclajes:

18 anclajes roscados US 11/4" de 1.12 mts

Ilustración 15. 3D de placa base y anclajes secundarios (elaboración propia).

2.5.5 Modelado de Columnas

Las columnas de acero son elementos estructurales fundamentales, encargadas de resistir los esfuerzos axiales de compresión, así como cargas horizontales generadas por fenómenos como el viento o los sismos.

2.5.5.1 Columnas Principales

Para este paso, fue necesario cargar una nueva familia de columnas de acero del catálogo AISC. Se colocaron 21 columnas con perfil W610x241 mm en tres diferentes alturas: 16 m, 12 m y 8 m, como se muestra en la ilustración 16.

Como resultado, se formaron 7 pórticos: 6 de ellos con una separación de 7 m, y un último pórtico en el eje G, entre las columnas ubicadas en los ejes Y y 5, con una separación de 7.5 m, correspondiente al acceso principal de los equipos. El material utilizado fue acero ASTM A36.

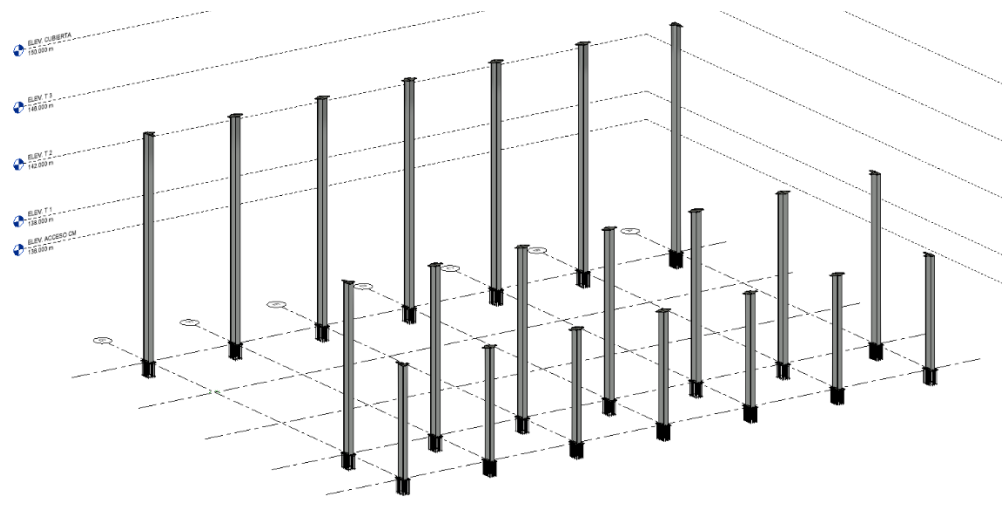


Ilustración 16. Columnas principales W 610X241 (elaboración propia).

2.5.5.2 Columnas Secundarias

Se cargó otra familia de columnas de acero del catálogo AISC. Se colocaron 4 columnas secundarias en los costados, sobre los ejes A y G, con perfil HP410x211 mm y una altura de 16 m. El material utilizado también fue acero ASTM A36, tal y como se muestra en la ilustración 17. En las ilustraciones 18 y 19 muestran las características de la columna principal y secundaria.

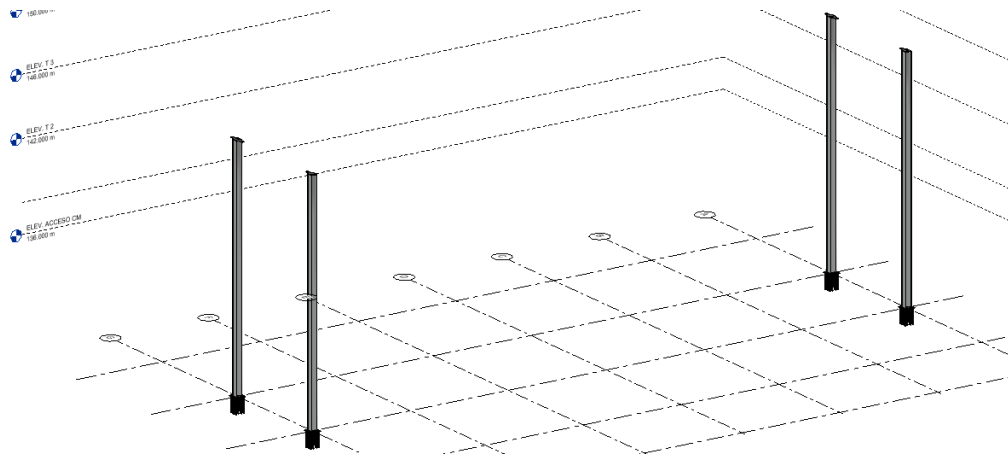
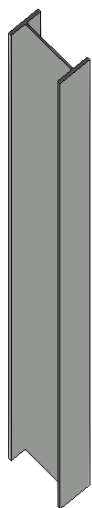


Ilustración 17. Columnas secundarias HP 410X211 (elaboración propia).



Perfil W

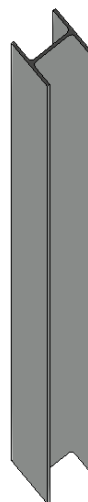
W 610mm x 241mm

Acero: ASTM A36

Catalogo: AISC

Modelado de Traves

Ilustración 19. 3D columna principal (elaboración propia).



Perfil HP

Hp 410mm x 211mm

Acero: ASTM A36

Catalogo: AISC

Ilustración 18. 3D columna secundaria (elaboración propia).

ante conexiones rígidas,

Para este caso, se cargó

una familia de vigas de acero desde la carpeta "Armazón estructural", perteneciente al catálogo AISC, con perfil W410x75 mm. Como se observa en la ilustración 20, las vigas fueron colocadas sobre las rejillas, en los niveles previamente definidos. El material utilizado fue acero ASTM A36.

La conexión entre columna y trabe, siguiendo el diseño del plano estructural proporcionado por el contratista, se realizó mediante soldadura de filete en campo.

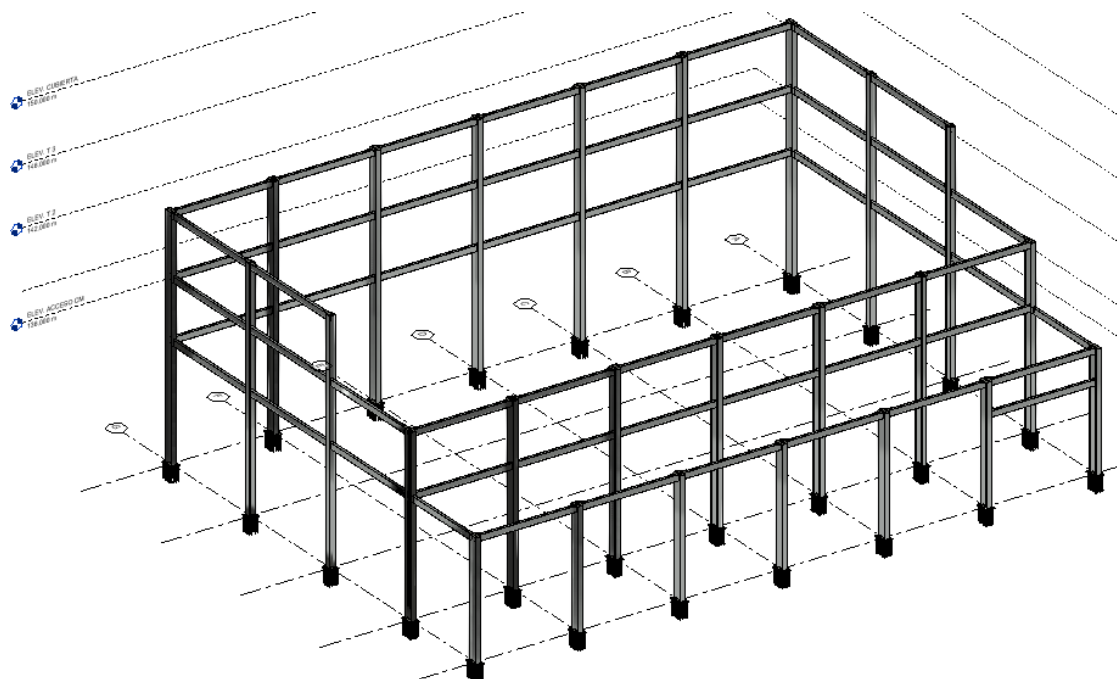


Ilustración 20. Modelado de trabes (elaboración propia).

Para el montaje de las triditrabes se colocaron columnas circulares de acero del catálogo AISC de perfil HSS 141.3X12.7mm, al igual que placas de termino para la unión con las columnas principales, tal y como se muestra en la ilustración 21.

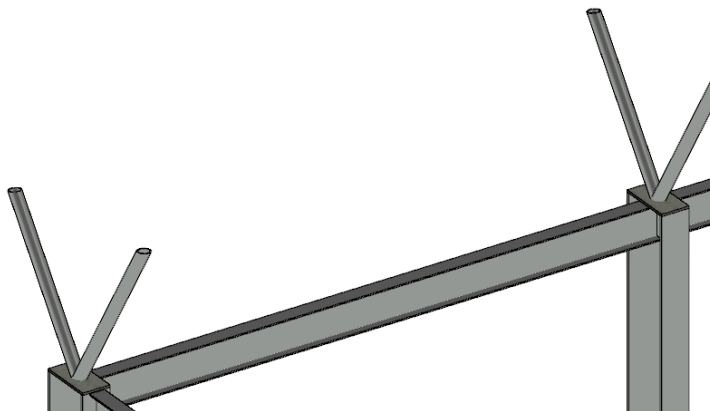


Ilustración 21. Placas de termino y soportes de armadura vista 3D (elaboración propia).

2.5.7 Modelado de armadura (Triditrabe)

Las armaduras están compuestas por barras que forman nudos y trabajan a tracción y compresión, adoptando generalmente formas triangulares o tridimensionales. Este tipo de estructuras presentan la ventaja de adaptarse a diversas formas de soportar cargas. Las armaduras en arco, por ejemplo, son una solución común para cubiertas de grandes claros en naves industriales, dependiendo del diseño estructural y arquitectónico, así como de factores económicos.

La armadura tridimensional (Triditrabe) fue una de las partes más complejas del modelo, debido a su geometría única. Su diseño se realizó a partir del plano 2D de AutoCAD proporcionado por la disciplina de estructuras, como se muestra en la ilustración 22.

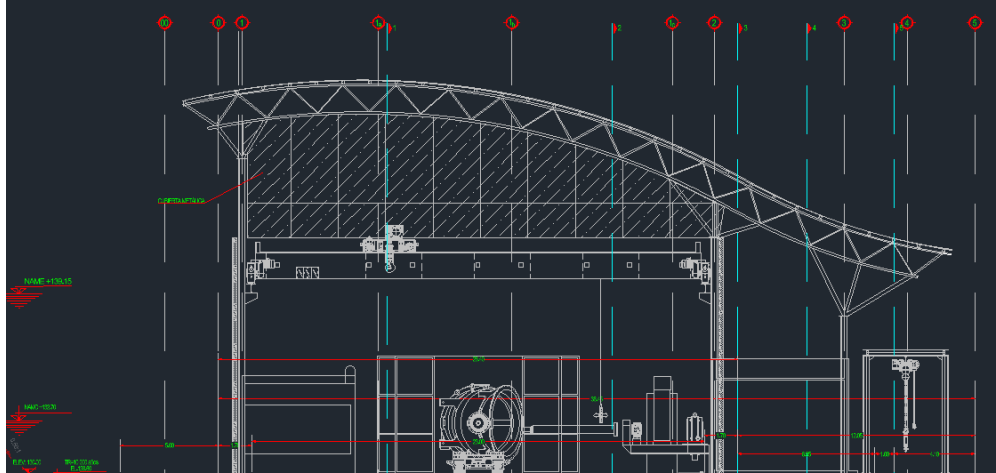


Ilustración 22. Plano 2D Casa de Máquinas (Disciplina de Estructuras).

Como primer paso, se midieron las distancias de la cuerda superior, inferior y las diagonales para obtener con precisión la geometría del plano. Después, se trazaron líneas de modelo en Revit mediante un boceto, como se observa en la ilustración 23.

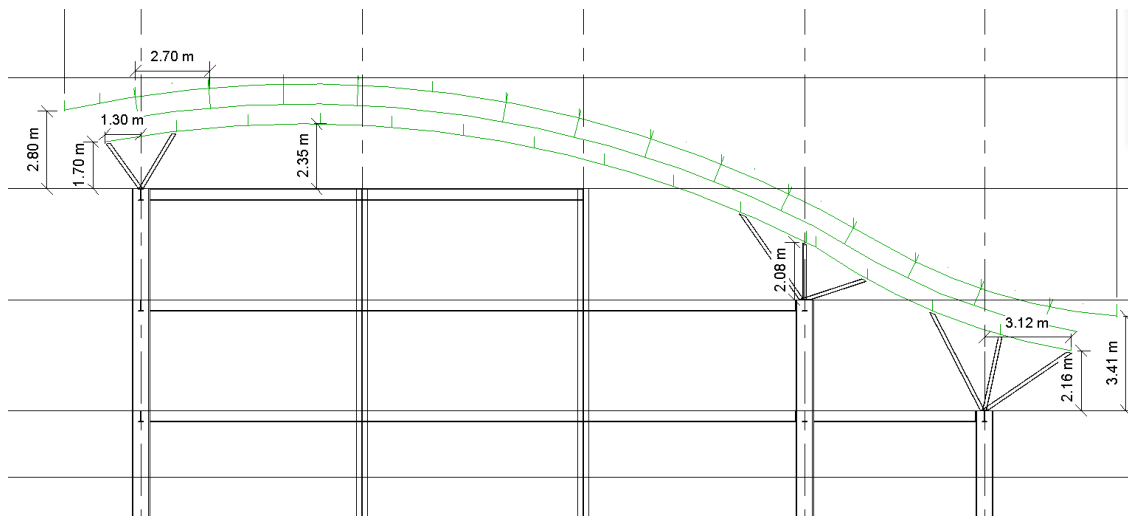


Ilustración 23. Modelado de líneas de modelo por boceto (elaboración propia).

En la siguiente etapa, se cargaron perfiles HSS redondos del catálogo AISC:

- Cuerda inferior HSS 141.3x7.6 mm.
- Cuerda superior HSS 88.9x7.6 mm.
- Diagonales HSS 63.5x6.4 mm.
- Unión de cuerdas superiores HSS 63.5x6.4 mm.

Mediante una vista 2D y la herramienta de selección de líneas, se colocó la cuerda inferior y superior. Luego, en vista en planta, se desplazó la cuerda superior 0.85 m para generar la forma tridimensional. Con los puntos generados se unieron las diagonales, como se muestra en la ilustración 24.

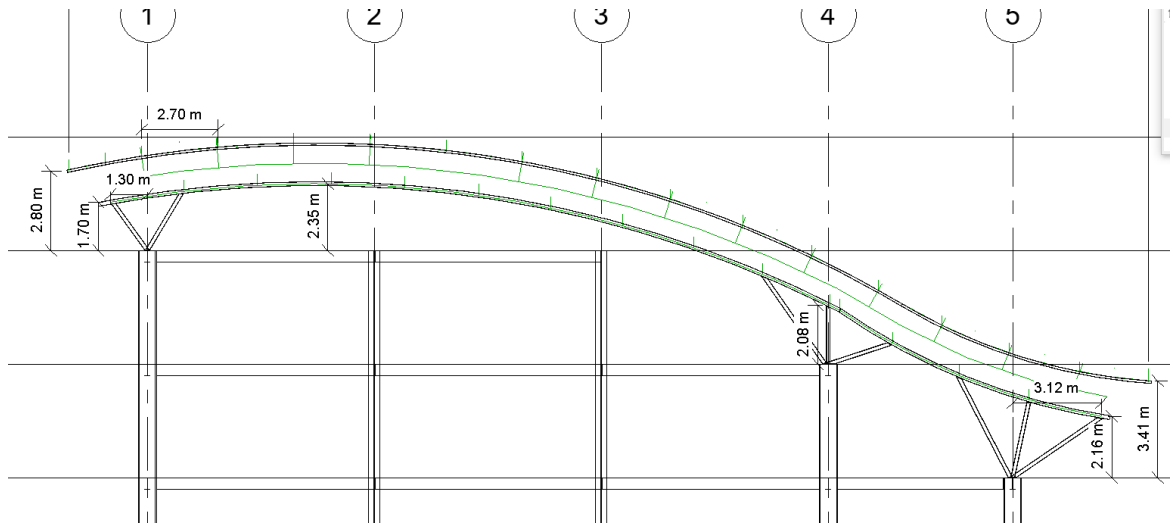


Ilustración 24. Modelado de cuerda inferior y superior (elaboración propia).

En la ilustración 25 y 26 se muestra el modelado final de la triditrabe mediante una vista en planta y una vista 3D.

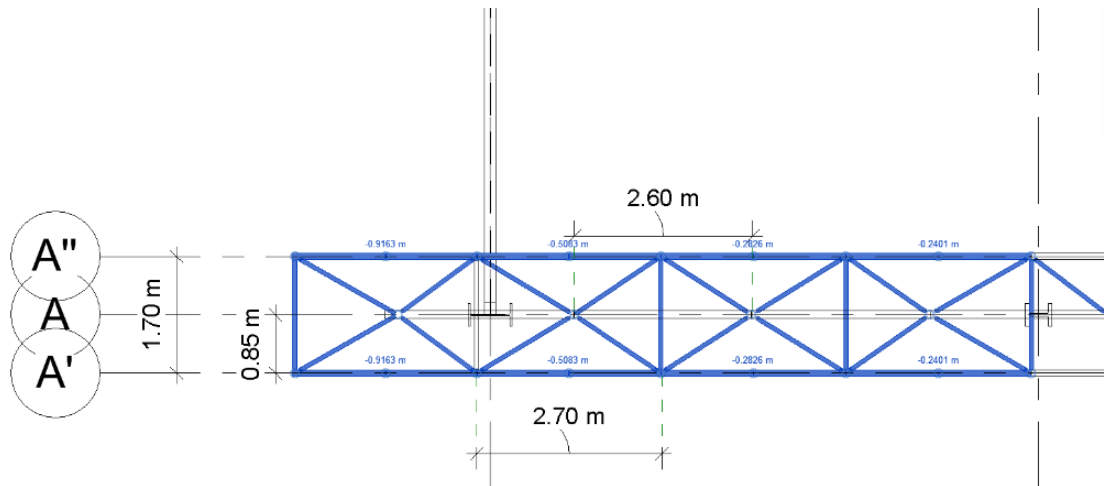


Ilustración 25. Modelado de triditrabe vista en planta (elaboración propia).

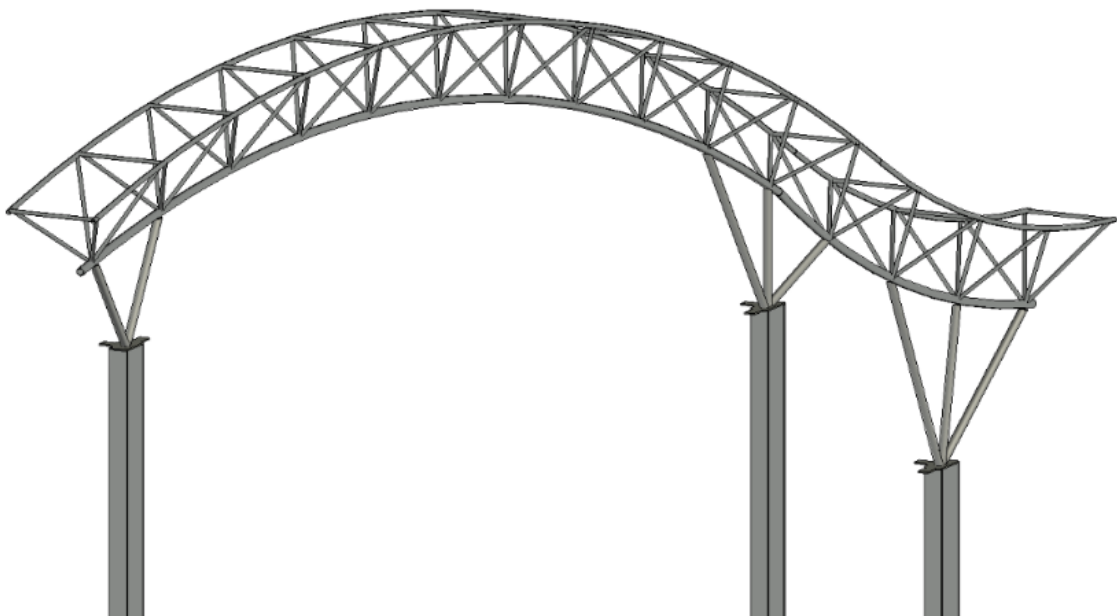


Ilustración 26. Modelo final de triditrabe vista 3D (elaboración propia)

2.5.8 Modelado de Armadura (Triditrabe secundaria)

Las triditrabes secundarias adoptaron la forma de las principales para aumentar la rigidez frente a fuerzas laterales como el viento. Para llevar a cabo el modelado, se crearon planos de referencia que permitieron dividir las cuerdas superior e inferior, como se muestra en la ilustración 27.

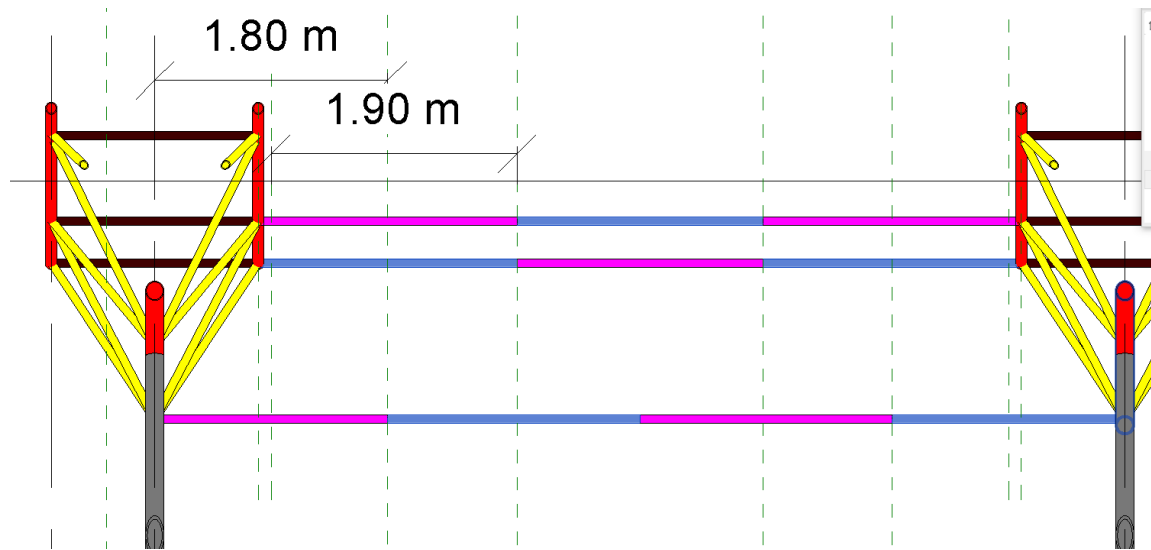


Ilustración 27. Modelado de triditrabe secundaria (elaboración propia).

Estas divisiones generaron puntos de intersección, permitiendo unir las diagonales de perfil HSS 48.3x3.7 mm y formar pirámides invertidas, como se ve en la ilustración 28. La conexión de los elementos facilita el análisis estructural.

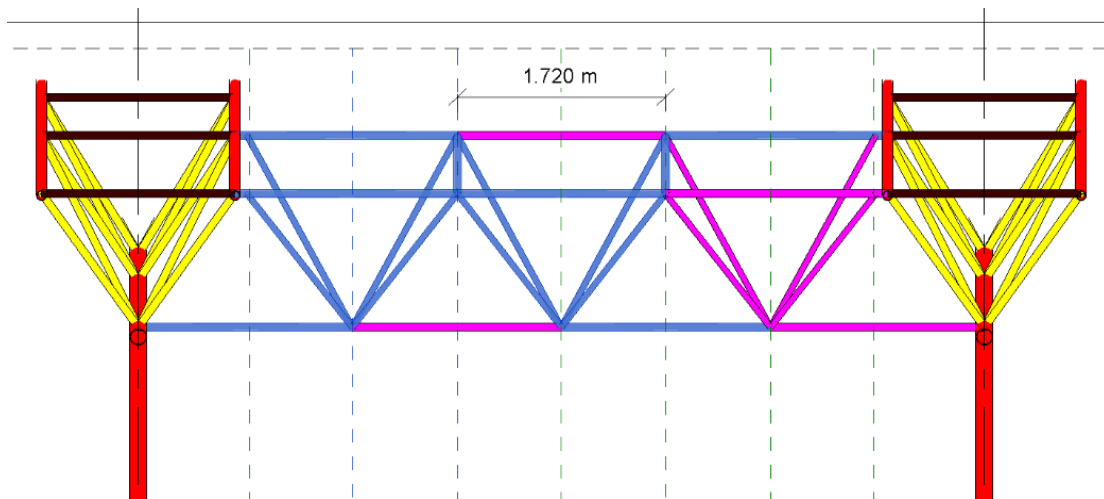


Ilustración 28. Modelado de triditrabe secundaria (elaboración propia).

En la ilustración 29, se puede observar el modelado final de las triditrabes.

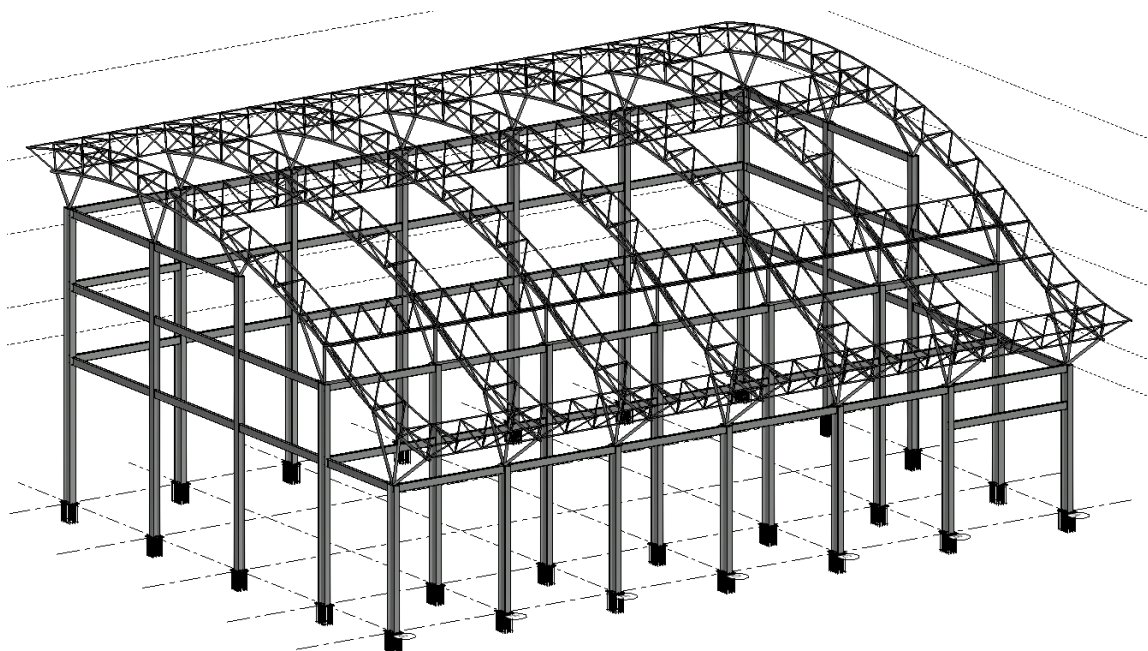


Ilustración 29. Modelo final de Triditrabes (elaboración propia).

2.5.9 Modelado de largueros en cubierta y largueros de fachada

Los largueros funcionan como vigas que cubren los claros entre marcos y transmiten las cargas del sistema de techo. Se utilizan perfiles comerciales de hasta 6.00 m para evitar desperdicios y empalmes.

Para el modelado de estos, se colocaron longitudinalmente sobre las cuerdas superiores. Primero se trazaron líneas de referencia para colocar el primer larguero (perfil C 230x30 mm) de extremo a extremo. Luego, se copiaron de izquierda a derecha ajustando el ángulo de cada elemento, debido a la curvatura de la armadura, obteniendo un total de 31 largueros con una separación de 1.3 m tal y como muestra la ilustración 30.

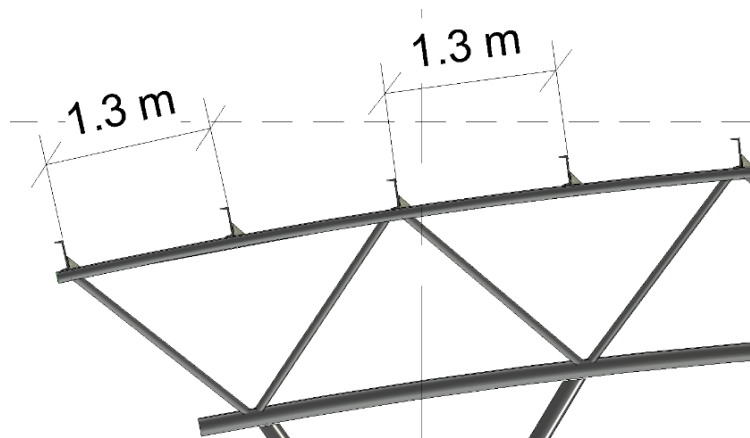


Ilustración 30. Largueros en cubierta (elaboración propia).

Los largueros de fachada transmitirán las cargas generadas por el viento a las columnas. Como primer paso se dividió la altura máxima para que los largueros de perfil C Monten 172 C12, teniendo una separación de 1.33 m, en una vista 2D se crearon planos de trabajo para colocar de manera más precisa los perfiles. Para contrarrestar el pandeo en el plano débil del larguero y darle

una mayor estabilidad, se colocaron perfiles tubulares de perfil HSS 42.2x3.6 mm. Esto se puede observar en la ilustración 31.

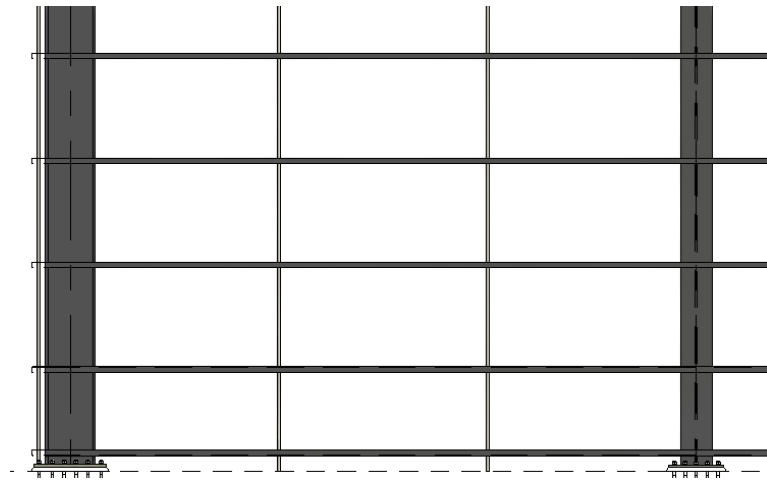


Ilustración 31. Largueros de fachada (elaboración propia).

2.6 Modelado Arquitectónico

En este apartado se describe el modelado de los elementos no estructurales que forman parte del proyecto arquitectónico, tales como la cubierta, los muros, las ventanas, las puertas y los accesos.

2.6.1 Modelado de panel Multytecho para cubierta

La cubierta protege la superestructura de los efectos del clima, funcionando como barrera contra la lluvia, nieve, viento, entre otros. Debido a la geometría de las triditrabes de la estructura donde se colocó el Multytecho, se optó por crear una familia utilizando una plantilla de perfil métrico para el dimensionamiento del panel, como se muestra en la ilustración 32.

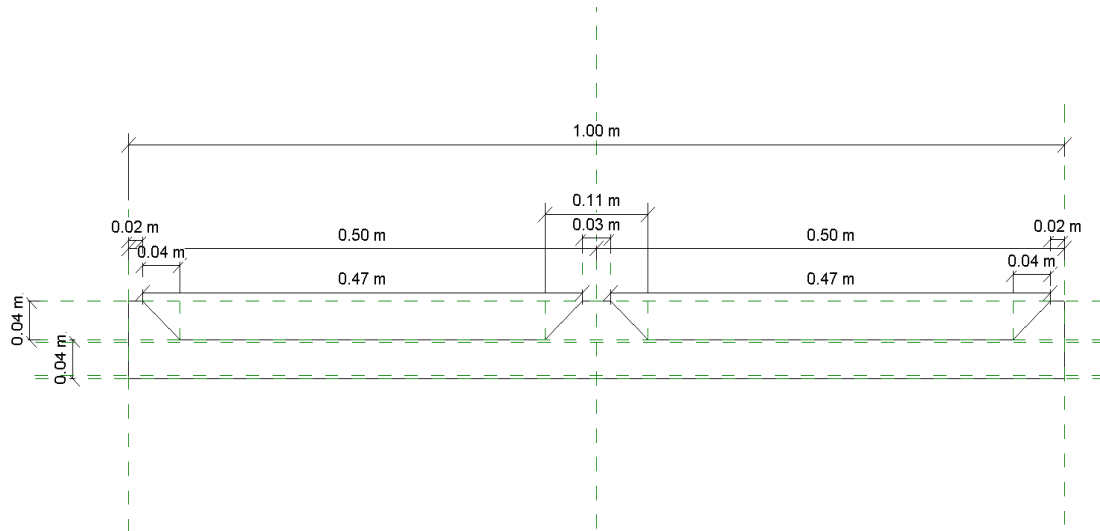


Ilustración 32. Perfil métrico de Multytecho (elaboración propia).

Posteriormente, en la biblioteca de Revit, se cargó una familia de viga de concreto y, mediante un barrido de camino, se cargó el perfil de la lámina. Esto puede observarse en las ilustraciones 33 y 34.

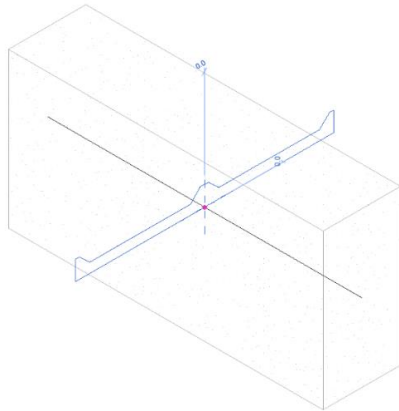


Ilustración 34. Barrido de boceto (elaboración propia).

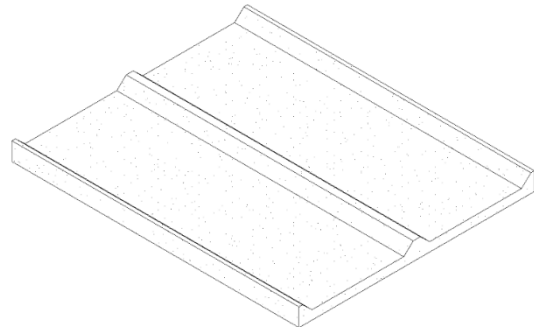


Ilustración 33. Familia creada de Multytecho (elaboración propia).

En una vista 2D, se creó una línea de modelo con la forma de la armadura sobre los largueros. Posteriormente, se insertó la familia de Multytecho y, en la vista en planta, se duplicaron los elementos de izquierda a derecha hasta cubrir toda la estructura. Esto se muestra en las ilustraciones 35 y 36.

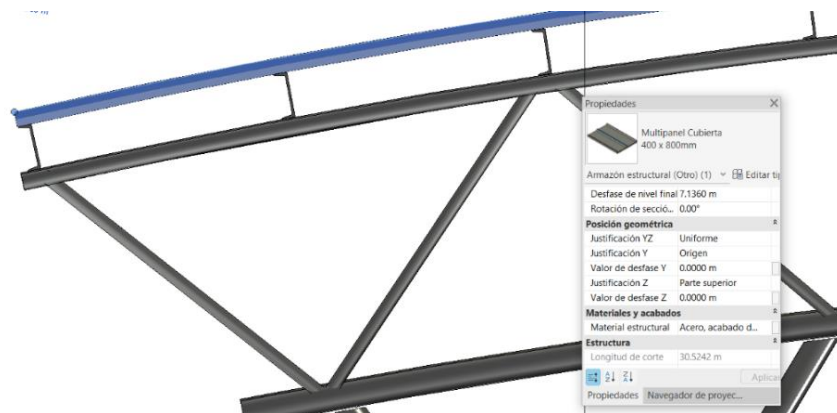


Ilustración 35. Colocacion de Multytecho (elaboración propia).

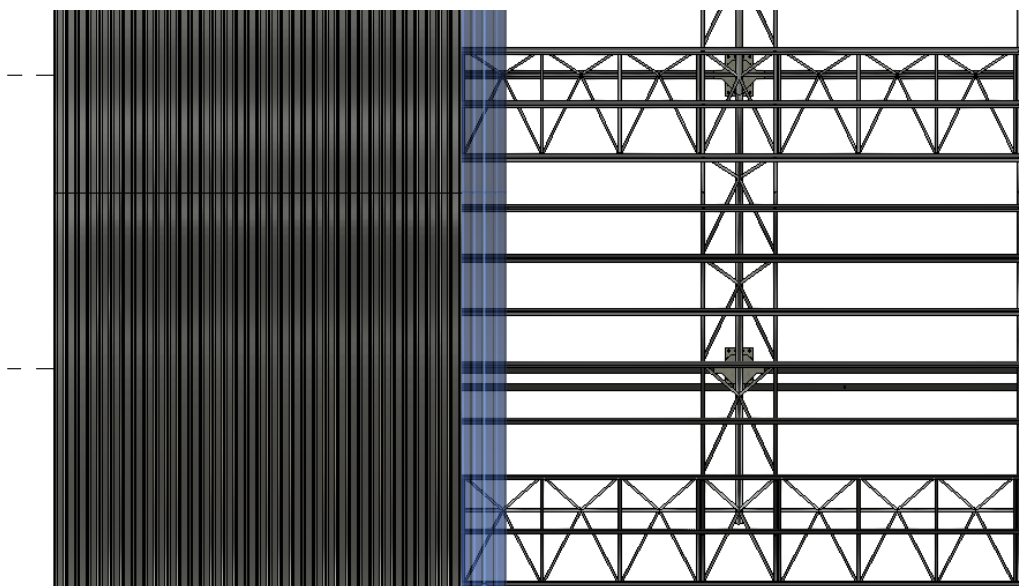


Ilustración 36. Vista en planta Multytecho (elaboración propia).

2.6.2 Modelado de panel Multymuro

Para los cerramientos exteriores de la Casa de Máquinas, se utilizaron paneles aislantes de poliuretano con dos caras de acero, ideales para muros de fachada en este tipo de superestructuras. Este tipo de panel garantiza la protección de los elementos estructurales. En la ilustración 37 se observa el detalle del Multymuro obtenido del plano de AutoCAD.

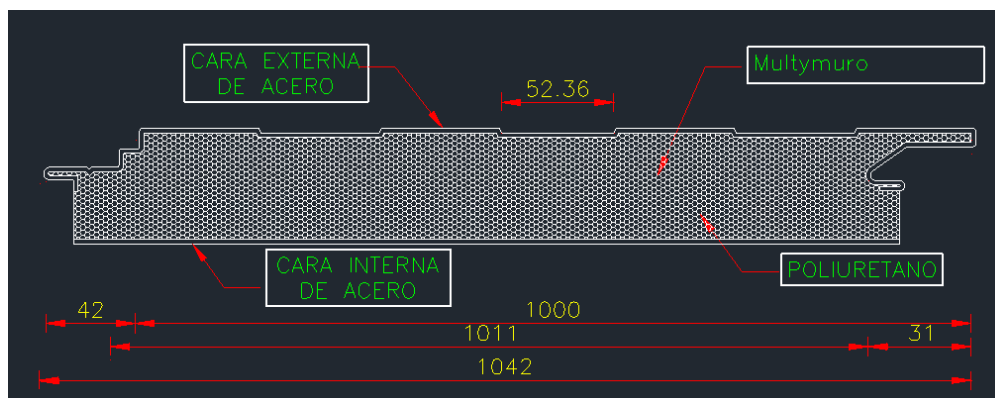


Ilustración 37. Detalle Multymuro (Disciplina de Estructuras).

Mediante vistas en planta y alzados, se colocaron los muros simulando el panel de Multymuro, creando huecos para los diferentes accesos, como se puede observar en la ilustración 38.

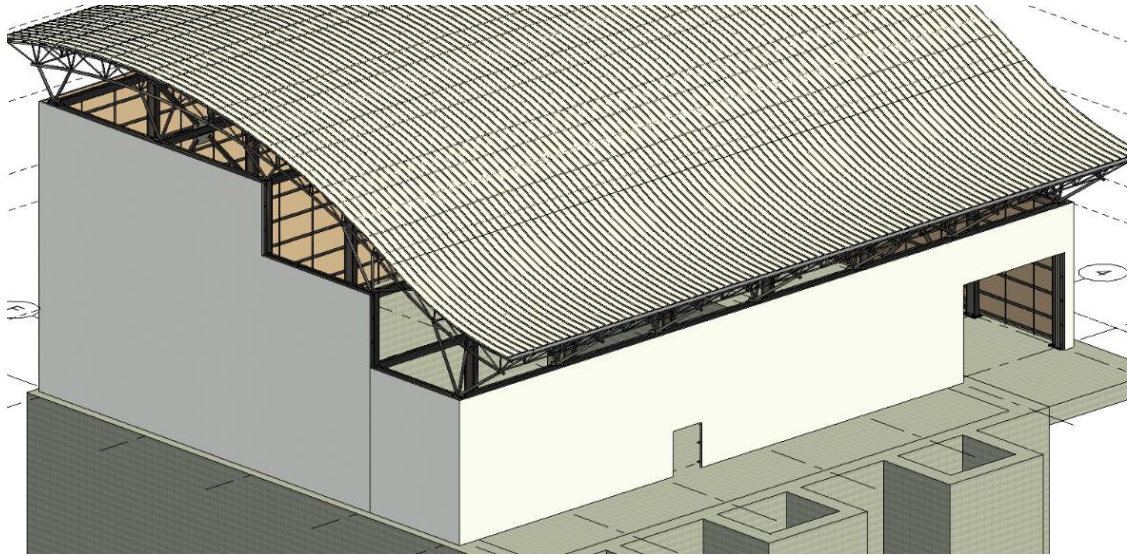


Ilustración 38. Multymuro (elaboración propia).

2.6.3 Muros Interiores

Para los muros interiores se llevó a cabo un procedimiento similar a la colocación de los muros exteriores de Multymuro, y se colocaron muros de mampostería confinada con acabados de yeso y pintura para las oficinas, cuarto de tableros, cuarto de control, caseta de ventilación, taller electromecánico y almacén. Se muestra en la ilustración 39.

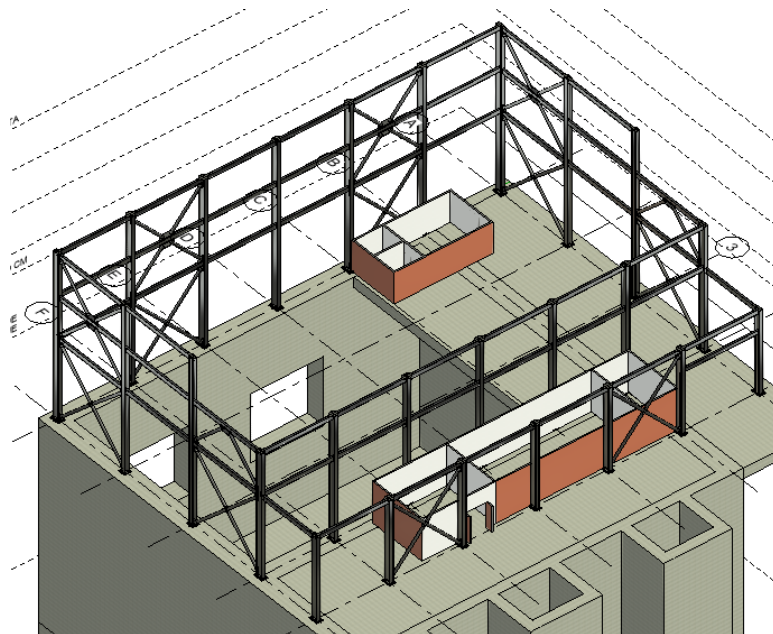


Ilustración 39. Vista 3D de muros interiores (elaboración propia).

2.6.4 Accesos

Para el ingreso de las turbinas y el equipamiento hidroeléctrico, se requiere un acceso mínimo de 6 x 4 m, ya que estos equipos son de gran tamaño. Estos equipos serán alojados en la playa de montaje y serán trasladados mediante una grúa viajera. Para el ingreso al cuarto de transformadores, el cuarto de banco de baterías y la caseta de ventilación, se requieren accesos mínimos de 2 x 2.5 m.

Mediante diversas secciones, se dibujaron líneas de plano de trabajo con cotas sobre el muro. Una vez definidas las dimensiones, se procedió a crear los huecos en los muros, como se muestra en las ilustraciones 40, 41 y 42.

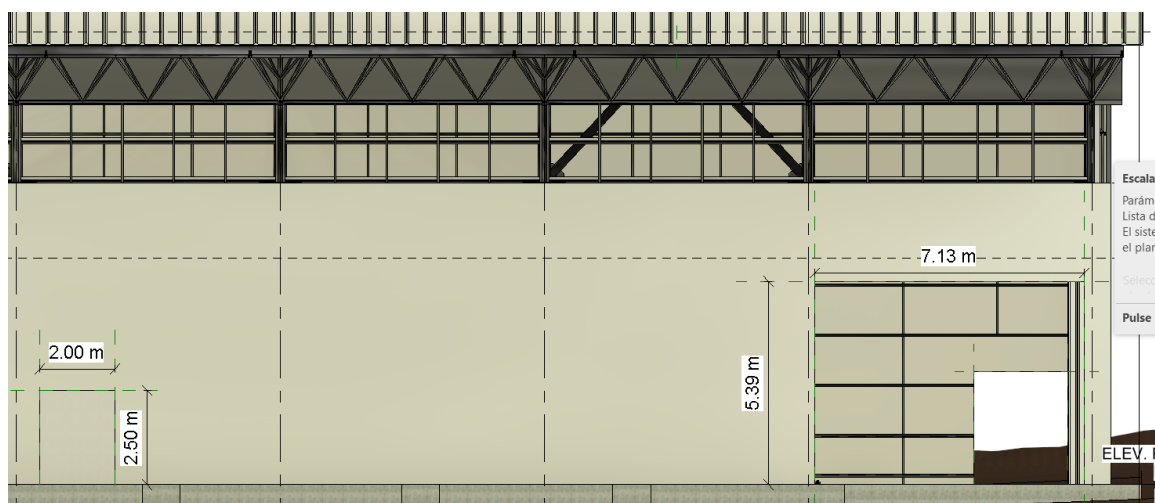


Ilustración 40. Acceso principal y acceso caseta de ventilación (elaboración propia).

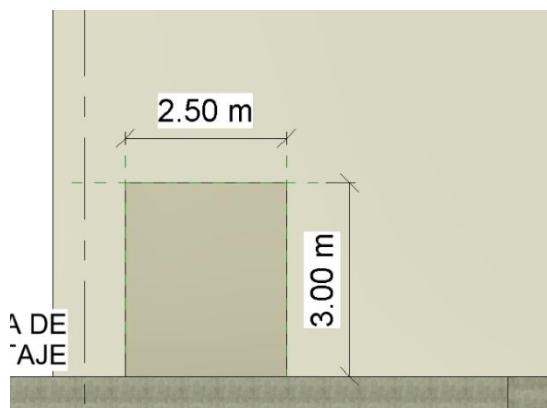


Ilustración 42. Acceso a cuarto de baterías.

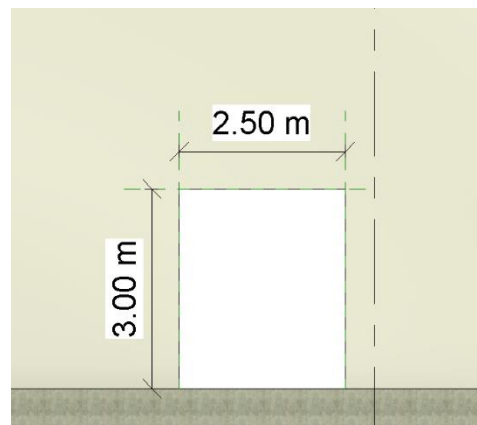


Ilustración 41. Acceso a cuarto de transformadores y tableros de transmisión (elaboración propia).

2.6.5 Puertas

La creación de las puertas, se utilizaron diferentes tipos según el acceso a cada parte de la superestructura. Para el acceso principal, destinado a introducir y extraer tanto las turbinas como

el equipamiento hidroeléctrico, se optó por una puerta elevada de aluminio articulada, con dimensiones de 7.20 x 5.5 m, como se observa en la ilustración 43.

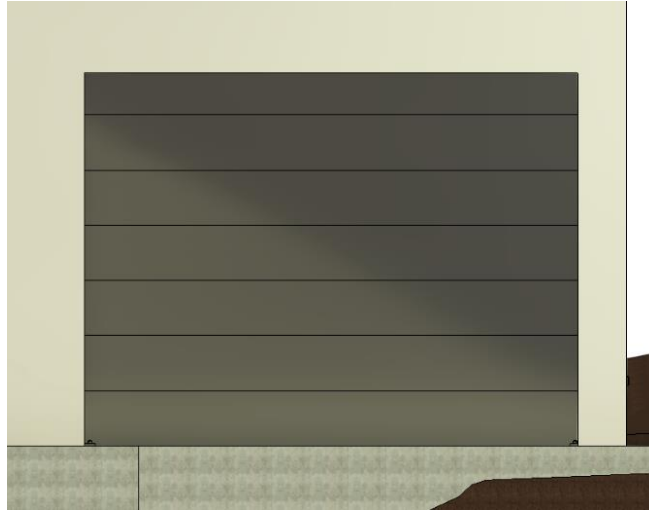


Ilustración 43. Puerta elevada de acceso principal (elaboración propia).

Para el cuarto de transformadores y cuarto de baterías, se instalaron puertas dobles de aluminio para el exterior de 3 x 2.5 m (ilustración 44).

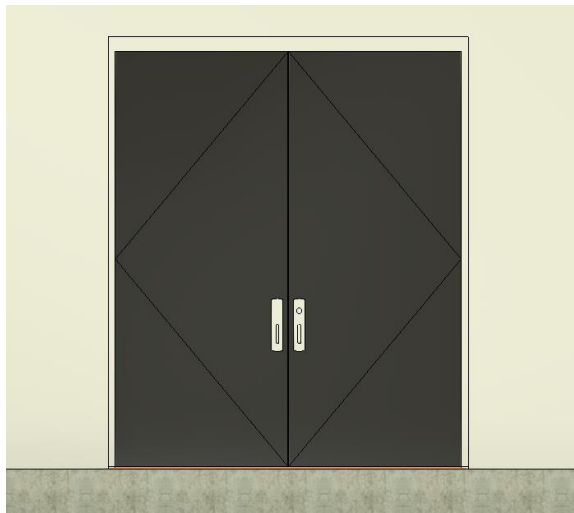


Ilustración 44. Puerta de cuarto de transformadores y cuarto de baterías (elaboración propia).

En la caseta de ventilación se estableció una puerta doble de aluminio de 2 x 2.5 m, como se muestra la ilustración 45.

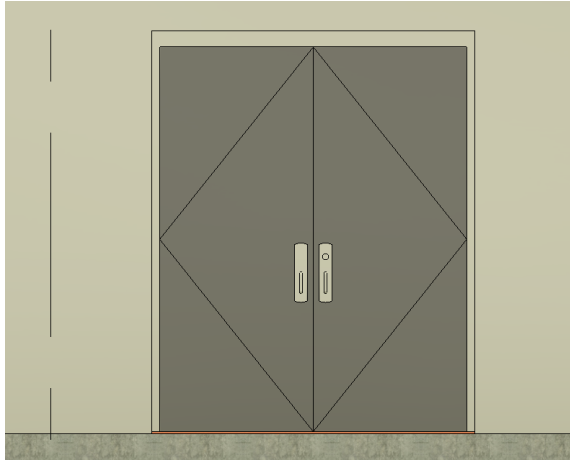


Ilustración 45. Puerta de caseta de ventilación (elaboración propia).

Las puertas interiores para el cuarto de tableros, almacén y el taller electromecánico, se instalaron puertas de paso doble de 2.2 x 2.2 m, como se muestra en la ilustración 46.

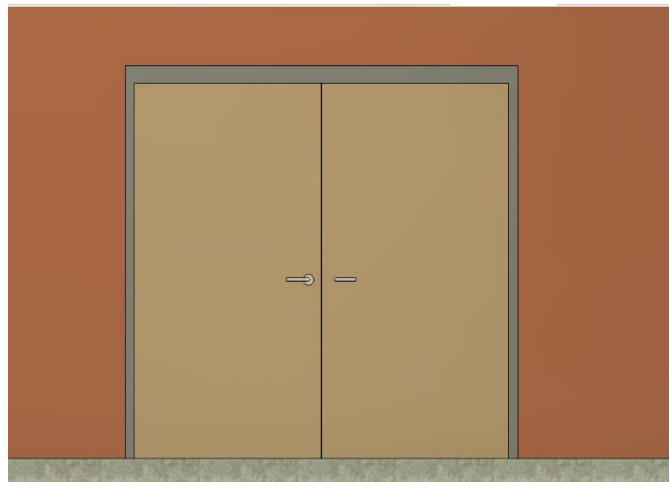


Ilustración 46. Puerta de cuarto de tableros, almacén y taller electromecánico (elaboración propia).

Finalmente, para el cuarto de control y las oficinas, se instalaron puertas de paso simple con ventanas de 1 x 2.3 m, como se muestra en la ilustración 47.

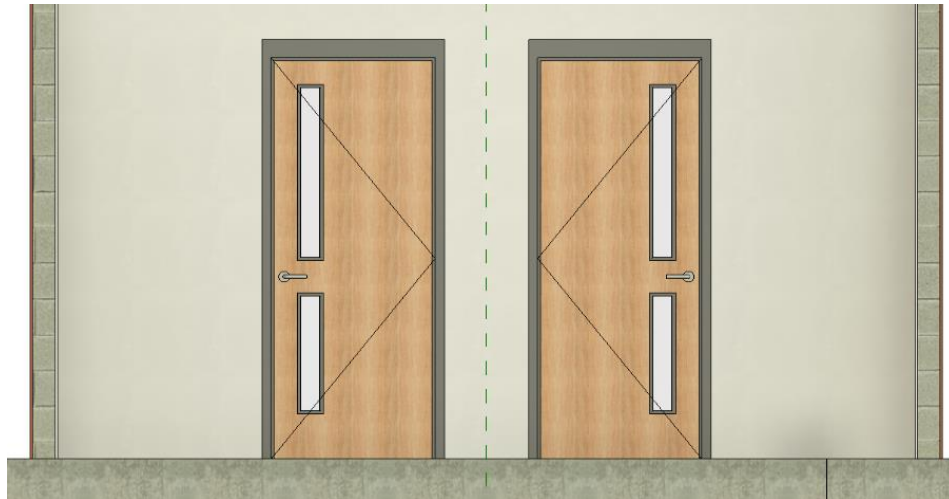


Ilustración 47. Puerta de oficina y cuarto de control (elaboración propia).

2.6.6 Ventanas

Para completar el cerramiento exterior de la superestructura, se colocaron ventanas en los huecos restantes, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética mediante la entrada de luz natural.

El modelado de las ventanas consistió en la creación de muros cortina, con montantes de aluminio tanto verticales como horizontales, con espaciado de 1.4 x 1.5 m, respectivamente. En los huecos creados por los montantes, se colocaron paneles de vidrio. Para adoptar la forma curva de los muros cortina, los paneles se enlazaron con la cuerda inferior de la armadura, tal como se observa en las ilustraciones 48 y 49.

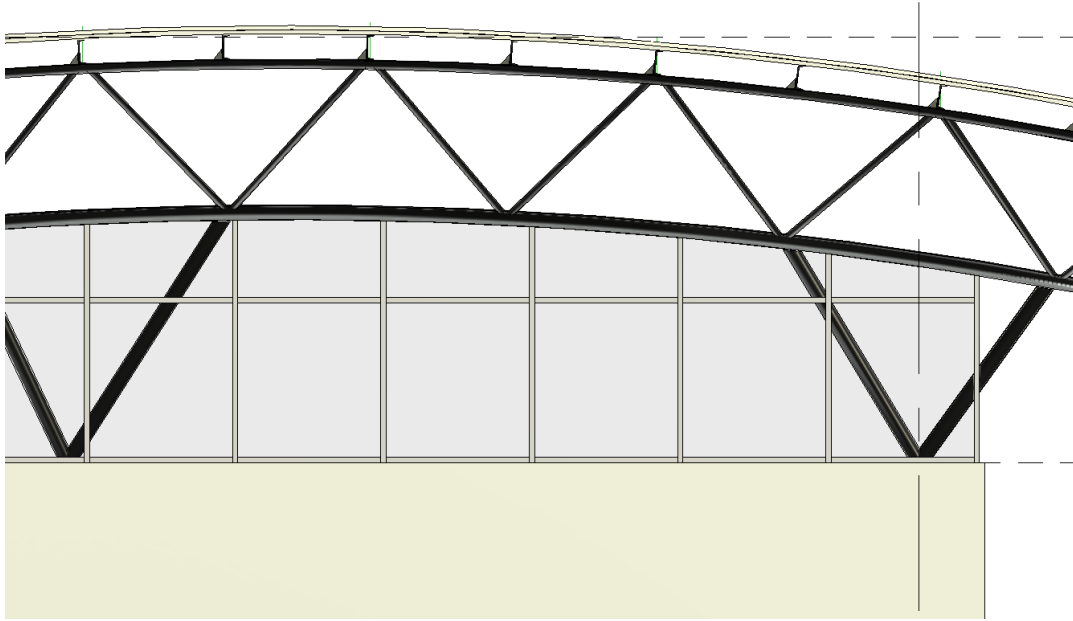


Ilustración 48. Ventanas a base de muros cortina (elaboración propia).

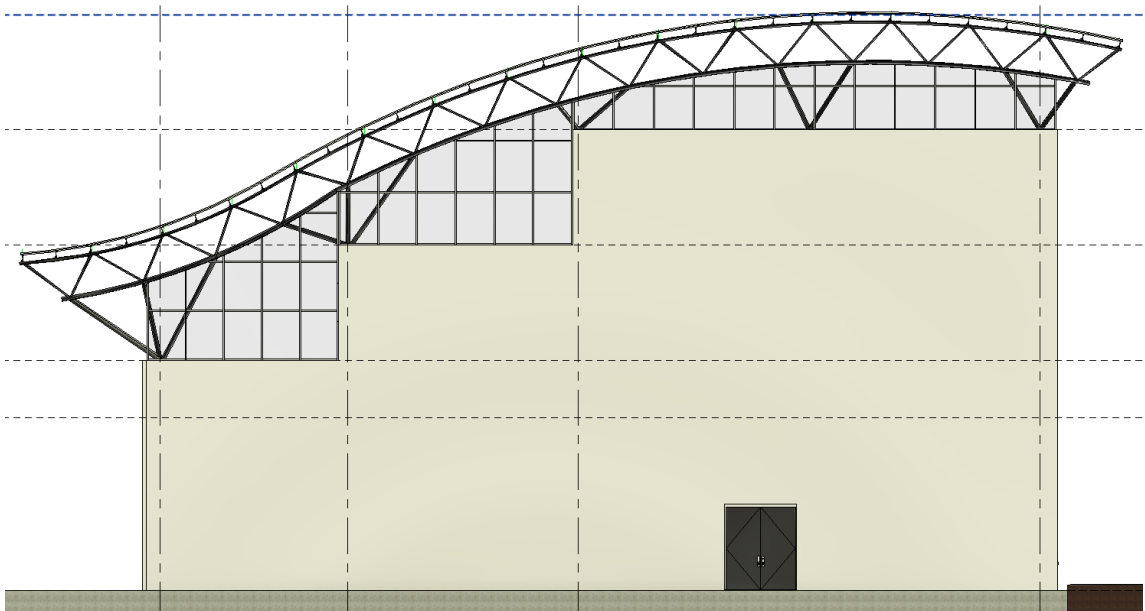


Ilustración 49. Ventanas a base de muros cortina (elaboración propia).

2.7 Calculo estructural de modelo

En atención a la solicitud de la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos, se realizó el cálculo estructural del modelo, lo cual permitió un análisis detallado que optimizó el diseño y garantizó la seguridad estructural conforme a los estándares y normativas. Este proceso se llevó a cabo dentro de un entorno de trabajo BIM eficiente.

Para este fin, se optó por utilizar el programa Robot Structural Analysis, desarrollado por Autodesk, debido a su compatibilidad nativa con Revit. Esta elección facilitó la interoperabilidad entre plataformas, asegurando una transferencia directa y confiable de datos estructurales al estar ambos programas instalados en el mismo equipo, lo que además optimiza el flujo de trabajo cuando se utilizan versiones compatibles.

2.7.1 Preparación de modelo analítico

El modelo analítico está vinculado al modelo físico, heredando las propiedades de la sección, el material y la geometría. Esto asegura que los cambios realizados en el modelo físico se reflejen automáticamente en el modelo analítico, manteniendo la coherencia entre ambos y se pueda utilizar para realizar el análisis estructural de una estructura. Siguiendo con la preparación del modelo, Revit trae por defecto la herramienta de Dynamo lo cual facilito la optimización y creación del modelo analítico a través de una interfaz basada en nodos. Esto se puede observar en la lustración 50.



Ilustración 50. Creación de modelo analítico en Revit (elaboración propia).

2.7.2 Exportación de Revit a Robot

La exportación del modelo analítico se realizó mediante la herramienta de integración directa entre ambos programas. Esto permitió transferir con precisión la geometría, propiedades de los materiales en este caso las secciones de los elementos de acero y el peso propio de la estructura. Tras la transferencia se verificó la correcta importación de los datos, generando un flujo de trabajo bidireccional para devolver las actualizaciones del análisis estructural que se obtuvieron en Robot a Revit. Esto se observa en la ilustración 51.

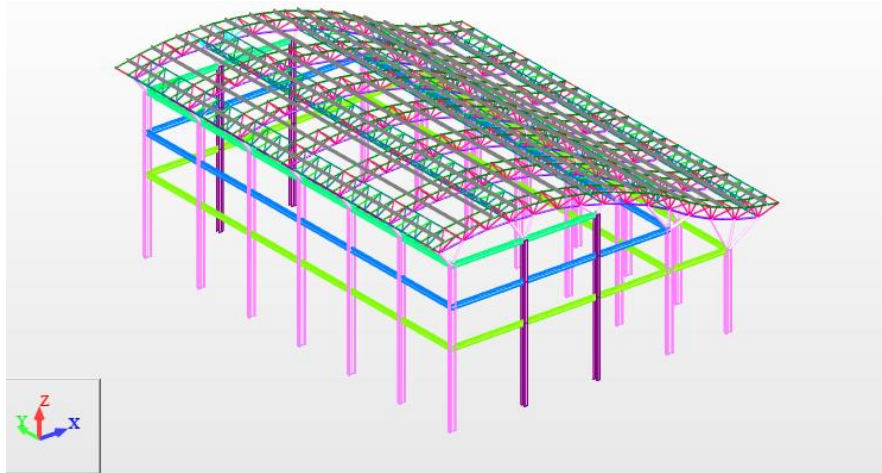


Ilustración 51. Modelo exportado en Robot Structural Analysis (elaboración propia).

2.7.3 Colocación de apoyos

Para obtener resultados precisos durante el análisis, se definieron apoyos empotrados que restringen tanto los desplazamientos como las rotaciones en los nodos, simulando la rigidez de la conexión entre placas base, columnas y muros estructurales. Esto permitió simular la conexión de las columnas con los muros estructurales de la subestructura (ilustración 52).

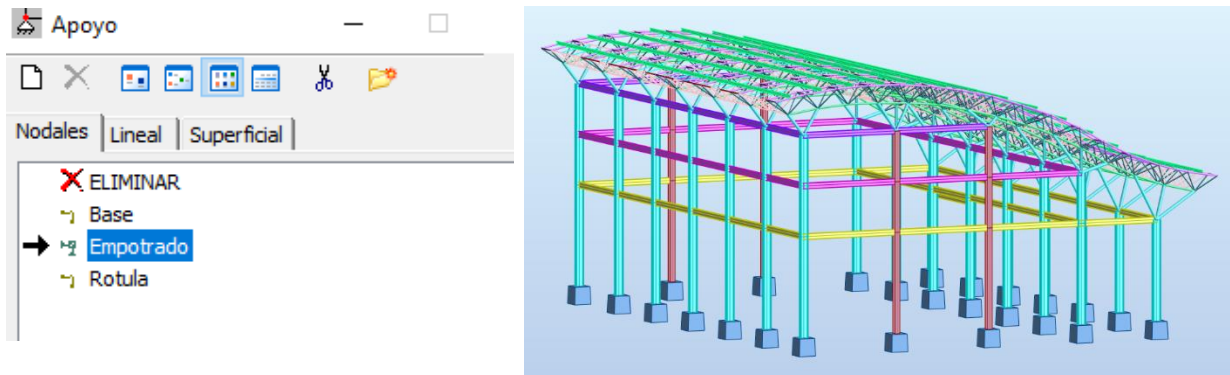


Ilustración 52. Definición de apoyos (elaboración propia)

2.7.4 Normatividad

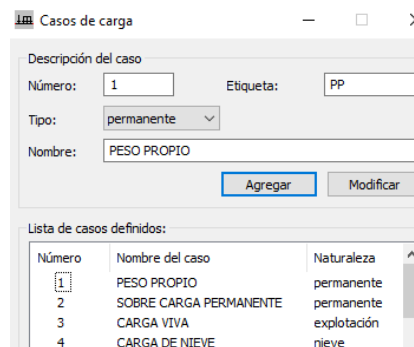
El cálculo estructural del modelo consideró las siguientes normativas para evaluar el comportamiento de la estructura frente a las cargas de viento:

- Manual de Construcción en Acero del American Institute of Steel Construction (“AISC”) en su versión LRFD (Load Resistant Factor Design).
- Reglamento de construcciones de la Ciudad de México.
- Manual de Obras Civiles Diseño por Viento de la Comisión Federal de Electricidad 2020.

2.7.5 Introducción de cargas consideradas en el modelo

De acuerdo con los reglamentos anteriores, se contemplaron los siguientes tipos de carga (ilustración 53):

- Cargas permanentes (peso propio, elementos no estructurales).
- Cargas variables (carga viva).
- Carga de nieve.



Número	Nombre del caso	Naturaleza
1	PESO PROPIO	permanente
2	SOBRE CARGA PERMANENTE	permanente
3	CARGA VIVA	explotación
4	CARGA DE NIEVE	nieve

Ilustración 53. Casos de carga (elaboración propia).

Nota: No se incluyeron condiciones dinámicas por sismo para este análisis.

2.7.6 Simulación de cargas por viento

Debido a la geometría de la estructura, se utilizó la función de simulación de viento en Robot Structural, que opera como un túnel de viento virtual. Esta herramienta generó mapas de presión sobre la superestructura, permitiendo una visualización gráfica de los efectos del viento y la aplicación automática de cargas en ocho direcciones. (Ilustraciones 54 y 55).

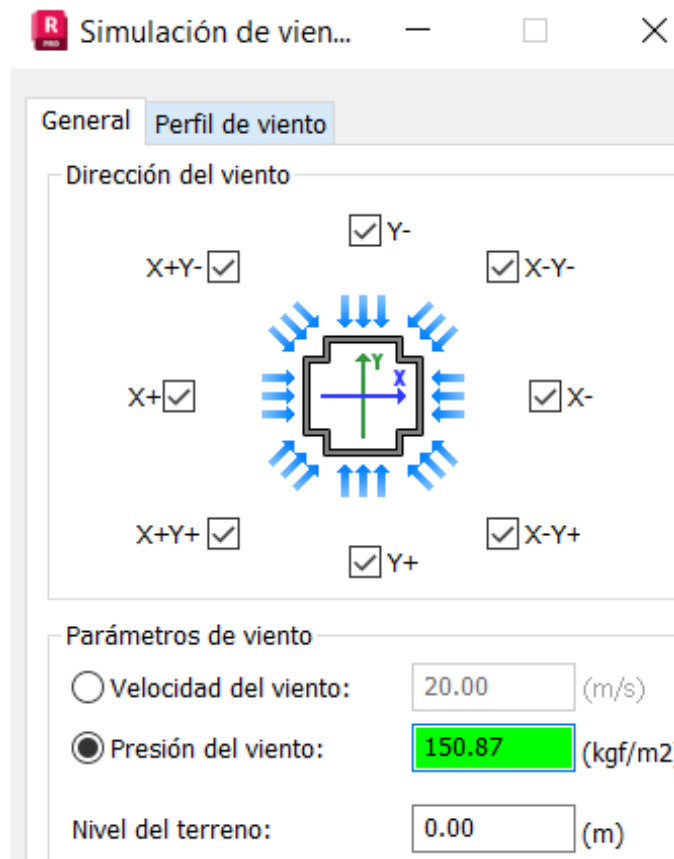


Ilustración 54. Simulación de viento en 8 direcciones (elaboración propia).

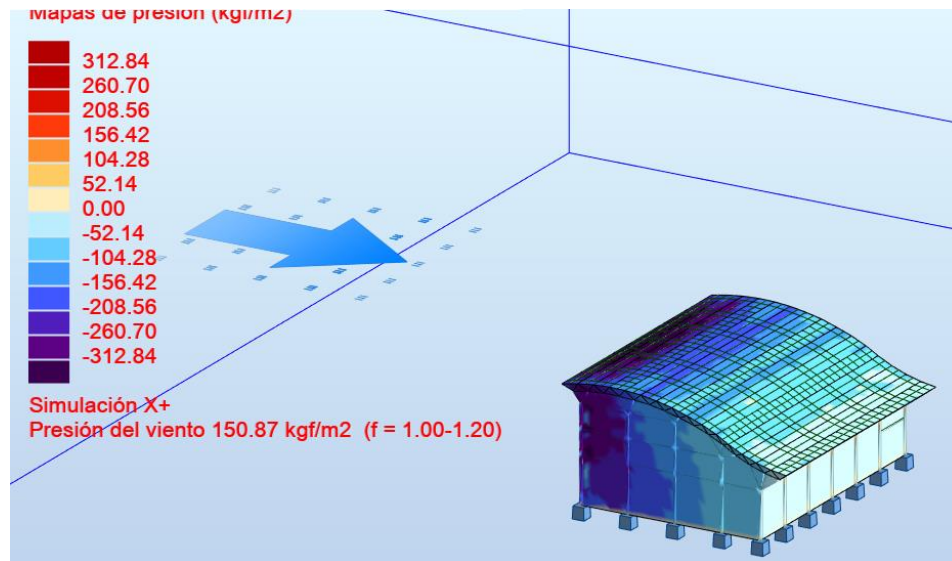


Ilustración 55. Mapas de presión en túnel de viento virtual en dirección X+ (elaboración propia).

2.7.7 Combinaciones de carga

Una vez definidos los casos de carga, se generaron manualmente las combinaciones en Robot, como muestra la ilustración 56, conforme a los lineamientos de la normativa ASCE 7-16 bajo el método LRFD.

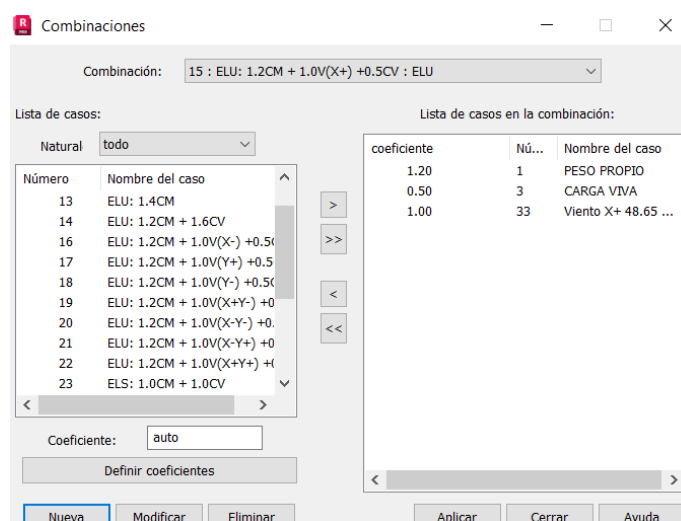


Ilustración 56. Combinación de cargas manuales (elaboración propia).

2.7.8 Análisis estructural de modelo

Con los casos de carga y sus respectivas combinaciones correctamente definidos, se procedió a ejecutar el análisis estructural, incorporando el efecto P-Delta para obtener resultados más precisos. Para el diseño de los elementos de acero, Robot Structural Analysis utilizó el código AISC 360-16, asegurando el cumplimiento normativo vigente.

En la Ilustración 57 se presenta la ventana del software correspondiente al proceso de cálculo, donde se configuran los parámetros de análisis y se visualizan los resultados obtenidos.

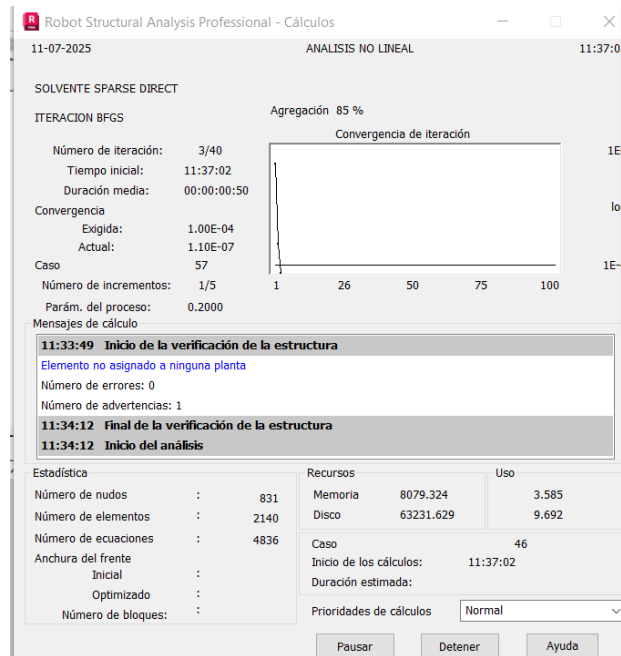


Ilustración 57. Procesos de cálculo en Robot (elaboración propia).

2.7.9 Resultados

Finalizado el proceso de cálculo en Robot Structural Analysis, se obtuvo una única advertencia que no comprometió significativamente la integridad del análisis, permitiendo la obtención de resultados confiables.

El software generó una amplia gama de resultados numéricos y gráficos, incluyendo:

- Esfuerzos internos (axiales, cortantes y momentos flectores)
- Diagramas de cortante y momento
- Deformaciones exactas

Los resultados permitieron identificar el comportamiento estructural ante las combinaciones de carga más desfavorables, en especial aquellas asociadas a las distintas direcciones del viento consideradas en el análisis. En la Ilustración 58 se observa una representación gráfica de la deformación exacta que presentó el modelo bajo dichas condiciones de carga.

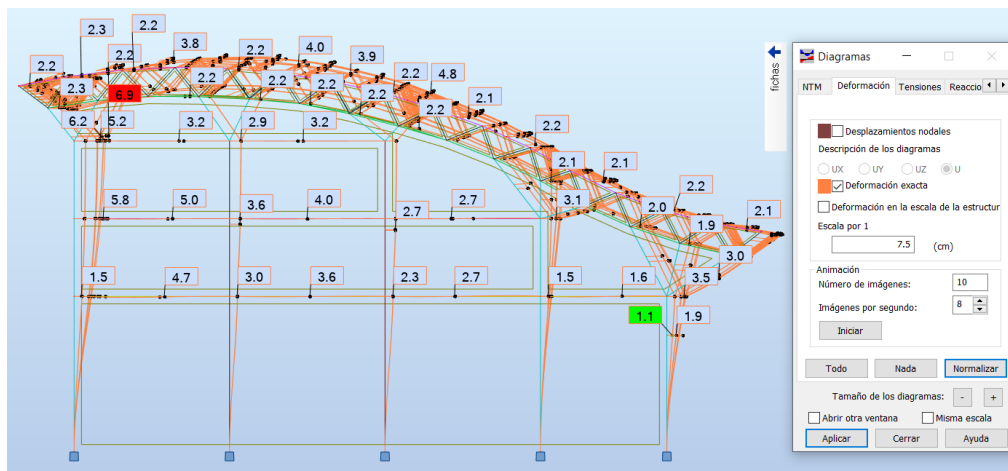


Ilustración 58. Deformación exacta de modelo sin contravientos (elaboración propia).

Se incorporaron contravientos en los marcos, los cuales desempeñaron un papel fundamental en el incremento de la rigidez lateral de la superestructura. Esto permitió reducir significativamente las deformaciones laterales provocadas por cargas horizontales, tales como la acción del viento y los efectos dinámicos generados por la operación de vigas grúa.

En la ilustración 59 muestra la ubicación de los contravientos incorporados en el modelo.

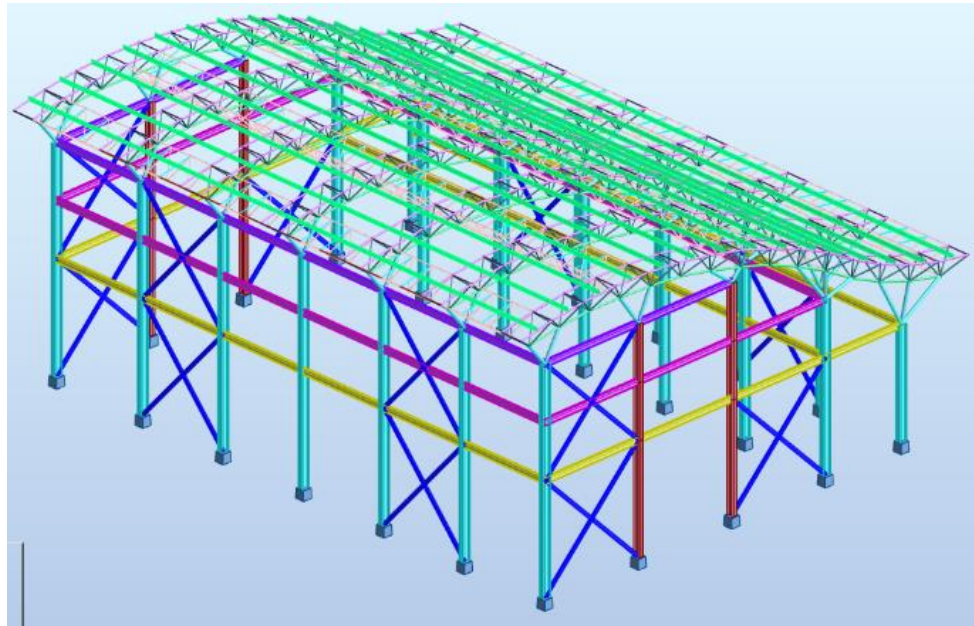


Ilustración 59. Incorporación de contravientos en modelo (elaboración propia).

Después de haber colocado los contravientos en el modelo, se volvió a realizar el cálculo estructural. Una vez finalizado el cálculo, se obtuvieron mejores resultados ya que se presentaron disminuciones en las deformaciones laterales como se muestra en la ilustración 60, cumpliendo con el objetivo de los contravientos.

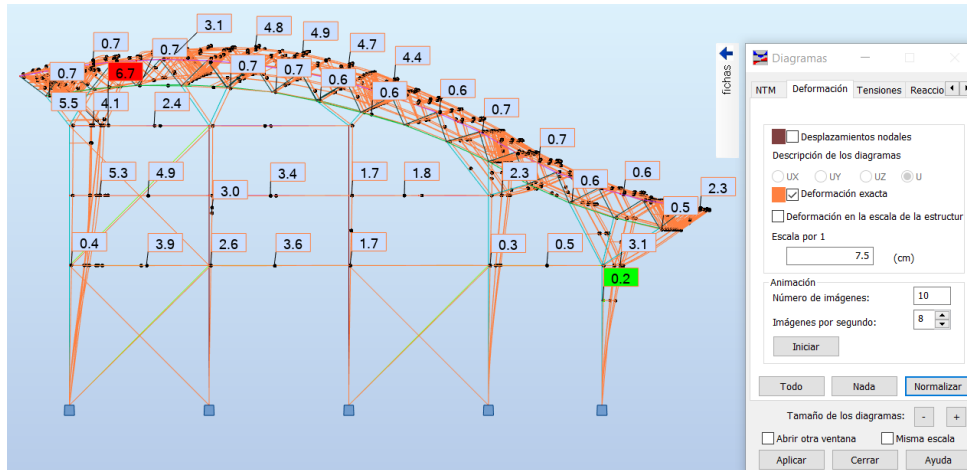


Ilustración 60. Deformación exacta de modelo con contravientos (elaboración propia).

2.7.10 Dimensionamiento de acero

Una vez finalizado el análisis estructural, se procedió al dimensionamiento de los elementos estructurales conforme a los lineamientos establecidos en el código ANSI/AISC 360-16. En esta etapa, se evaluó si los perfiles asignados durante el predimensionamiento inicial en Revit eran adecuados para resistir las combinaciones de carga más desfavorables, tanto en los Estados Límite Últimos (ELU) como en los Estados Límite de Servicio (ELS). Esto se puede observar en la ilustración 61.

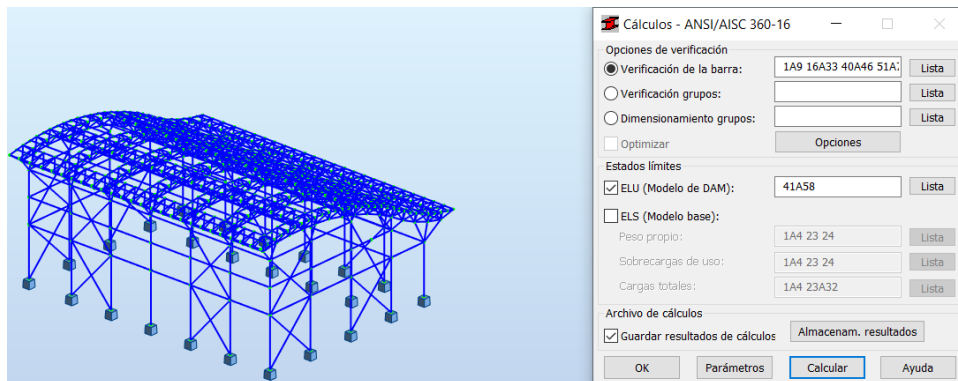


Ilustración 61. Ventana cálculo de dimensionamiento (elaboración propia).

Posteriormente al proceso de dimensionamiento, se realizó la verificación de los elementos estructurales considerando la combinación de carga más desfavorable. Con base en los resultados obtenidos, se concluyó que la mayoría de las barras trabajan a un 60% cumpliendo con los requisitos de resistencia establecidos por la normativa, lo que indica que son estructuralmente válidas para las condiciones de carga analizadas. Este resultado se muestra en la Ilustración 62.

ANSI/AISC 360-16 - Verificación de las barras (ELU) 1A8 16A33 40A46 51A74 77A1632 16

Resultados		Mensajes					
Barra	Pe	Material	Lay	Laz	Solicit	Caso	
1511 RevitBeam_	OK	STEEL A36	96.30	96.30	0.47	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1743 RevitColGra	OK	STEEL A36	47.62	47.62	0.48	58 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1861 Viga_1861	OK	STEEL A36	17.27	94.02	0.48	58 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
6 RevitBeam_6	OK	STEEL A36	42.00	184.96	0.48	53 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(Y)	
872 RevitBeam_	OK	STEEL A36	76.86	76.86	0.48	55 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1727 RevitColGra	OK	STEEL A36	47.62	47.62	0.48	55 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
338 RevitBeam_	OK	STEEL A36	72.90	72.90	0.48	58 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1038 RevitBeam_	OK	STEEL A36	81.38	81.38	0.48	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
653 RevitBeam_	OK	STEEL A36	72.92	72.92	0.48	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
452 RevitBeam_	OK	STEEL A36	80.53	80.53	0.48	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1873 Viga_1873	OK	STEEL A36	17.27	94.02	0.48	55 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
2177 Pilar_2177	OK	STEEL A36	30.25	102.82	0.48	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1457 RevitBeam_	OK	STEEL A36	85.91	85.91	0.48	52 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
607 RevitBeam_	OK	STEEL A36	69.98	69.98	0.48	58 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
31 RevitBeam_3	OK	STEEL A36	36.75	161.84	0.48	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
556 RevitBeam_	OK	STEEL A36	80.53	80.53	0.48	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
30 RevitBeam_3	OK	STEEL A36	36.75	161.84	0.48	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1356 RevitBeam_	OK	STEEL A36	81.38	81.38	0.49	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
446 RevitBeam_	OK	STEEL A36	72.87	72.87	0.49	55 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
704 RevitBeam_	OK	STEEL A36	72.87	72.87	0.49	51 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
44 RevitBeam_4	OK	STEEL A36	42.00	184.96	0.49	54 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(Y)	
1716 RevitColGra	OK	STEEL A36	25.51	25.51	0.49	55 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1748 RevitColGra	OK	STEEL A36	25.51	25.51	0.49	58 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
709 RevitBeam_	OK	STEEL A36	72.87	72.87	0.49	58 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
1979 Viga_1979	!	STEEL A36	53.84	293.14	0.50	48 DAM - ELU: 1.2CM + 1.6CV	
1834 Viga_1834	OK	STEEL A36	17.27	94.02	0.50	55 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	
135 RevitBeam_	OK	STEEL A36	72.87	72.87	0.50	55 DAM - ELU: 1.2CM + 1.0V(X)	

Ilustración 62. Verificación de barra (elaboración propia).

En la Ilustración 63 se presenta el mapa de barras validadas, el cual muestra gráficamente el cumplimiento de los elementos estructurales conforme a las solicitaciones exigidas por la normativa.

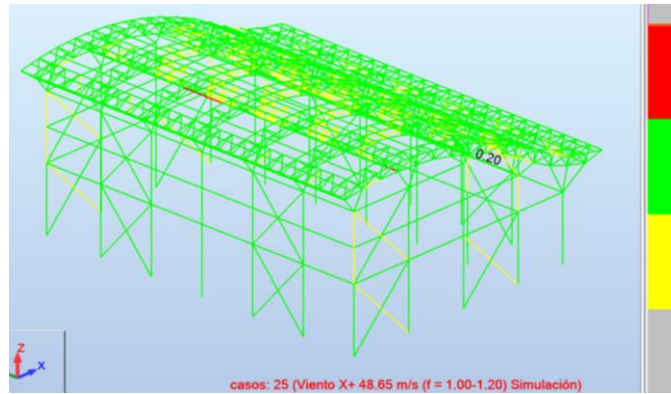


Ilustración 63. Mapa de Barras verificadas (elaboración propia).

2.7.11 Exportación a Revit

Una vez finalizado el análisis estructural y el dimensionamiento de todos los elementos conforme a la normativa aplicable, se generó el modelo estructural definitivo en Robot Structural Analysis.

Este modelo, que incluye perfiles validados, secciones asignadas y condiciones de carga, fue exportado nuevamente a Revit para su integración dentro del entorno BIM y para su coordinación con otras disciplinas del proyecto. En la ilustración 64 se muestra el modelo final.

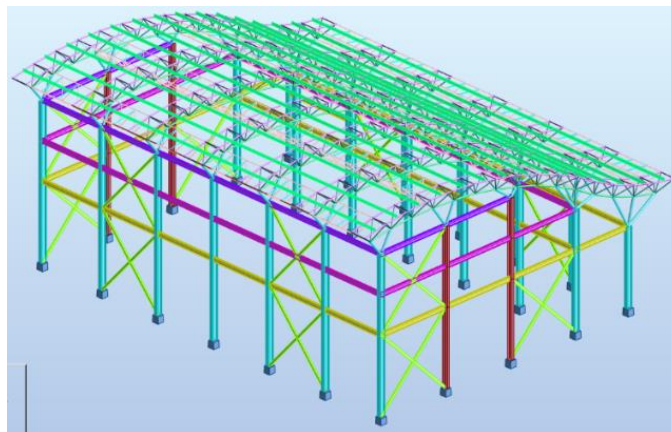


Ilustración 64. Modelo estructural final en Robot Structural Analysis (elaboración propia).

2.8 Modelado de Contravientos en marcos

Los contravientos son elementos estructurales fundamentales para incrementar la rigidez lateral de una estructura, ya que limitan las deformaciones producidas por cargas horizontales, tales como acciones de viento o efectos inducidos por la operación de vigas grúa.

Los marcos estructurales con contraviento se clasifican principalmente en dos tipos:

- Marcos con contravientos concéntricos, donde los elementos de arriostramiento se conectan en un punto común.
- Marcos con contravientos excéntricos, donde el punto de intersección no coincide, generando una zona de disipación de energía.

Una vez finalizado el dimensionamiento estructural en Robot Structural Analysis, se procedió a exportar el modelo a Revit con los contravientos definidos en el análisis. Utilizando vistas en planta (2D) y líneas de plano de trabajo, se modelaron dos configuraciones de contraviento concéntrico de acuerdo con los requerimientos estructurales:

- Contraviento en forma de “X”.
- Contraviento en “X” de dos niveles.

Los perfiles utilizados fueron de tipo HSS rectangular $228.6 \times 127 \times 9.5$ mm, seleccionados del catálogo AISC. (Ver Ilustraciones 69 y 70).

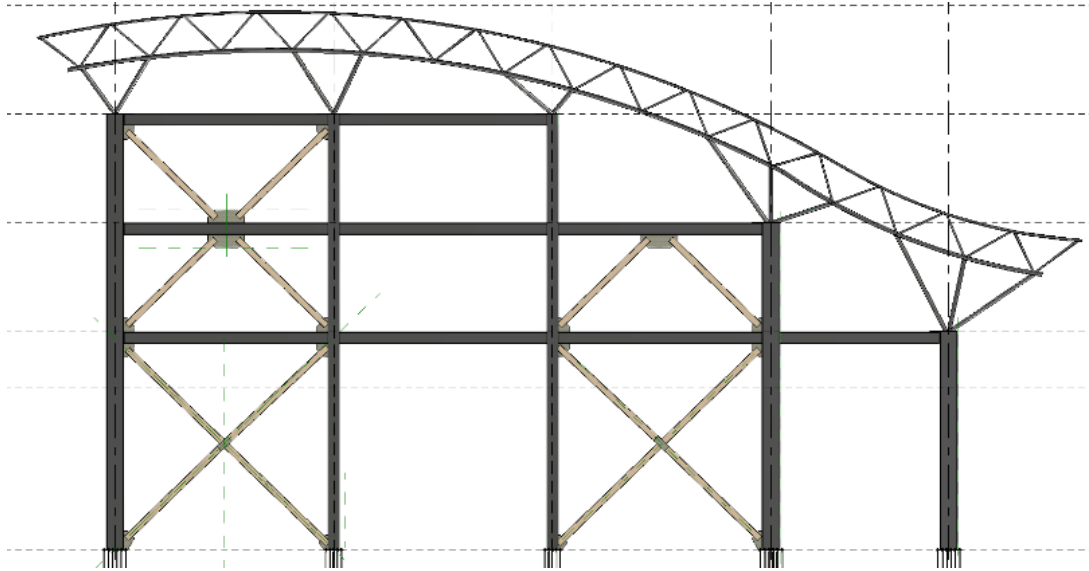


Ilustración 65. Contravientos en X y X en dos niveles (elaboración propia).

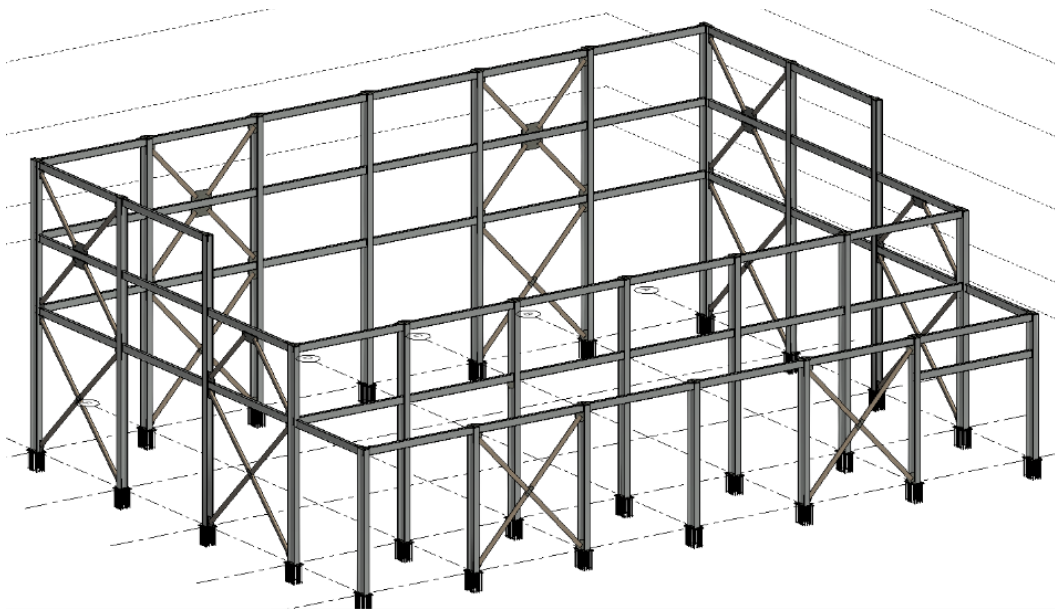


Ilustración 66. Vista 3D contravientos (elaboración propia).

Para asegurar la correcta transferencia de esfuerzos entre los contravientos y los elementos principales de la estructura (columnas y vigas), se incorporaron placas de conexión tipo Gusset fabricadas en acero estructural. Estas placas tienen la función de reforzar la articulación y garantizar un comportamiento estructural adecuado bajo cargas laterales.

Las placas pueden ser unidas mediante tornillería de alta resistencia o soldadura; en este caso, se optó por conexiones soldadas, lo que proporciona una mayor rigidez y continuidad estructural en los puntos de enlace entre los contravientos y la estructura principal.

2.9 Fases de Modelado

Revit permitió la organización del proyecto mediante la herramienta de fases de proyecto, que facilitó el control y seguimiento del avance constructivo y la colaboración entre equipos.

A través de la barra de propiedades en vistas 3D, se asignaron fases específicas a elementos estructurales y arquitectónicos.

El sistema de fases también permite visualizar etapas específicas del proyecto, facilitando futuras modificaciones sin comprometer el modelo completo (ilustración 67).

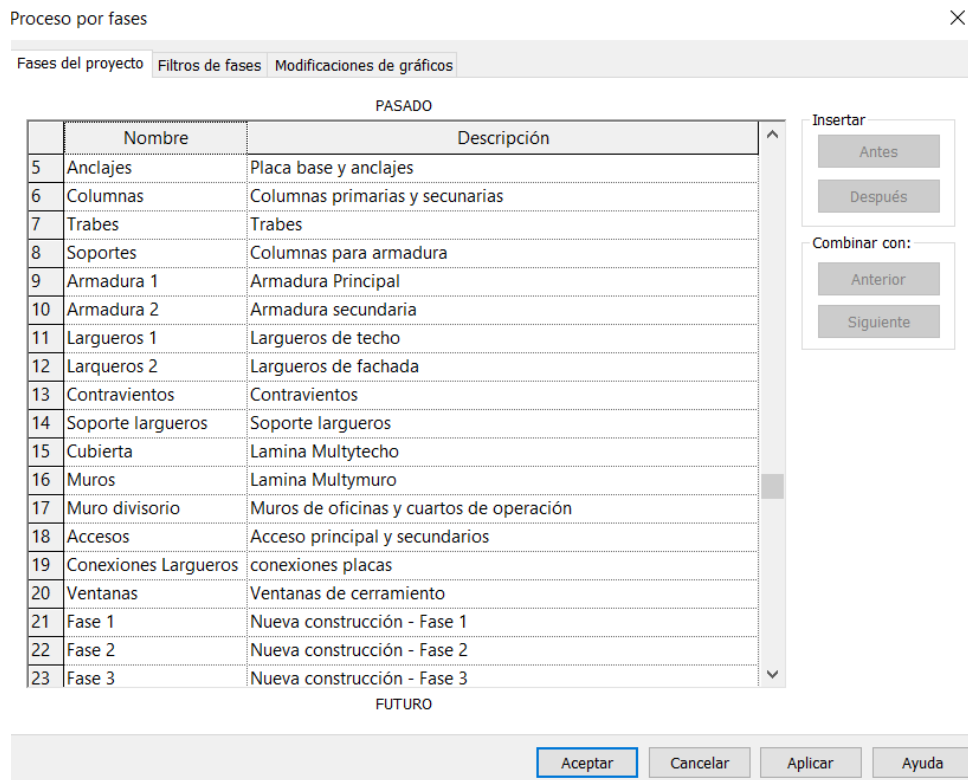


Ilustración 67. Fases del proyecto (elaboración propia).

Capítulo 3. Resultados

Las siguientes ilustraciones muestran el modelo 3D final de la superestructura, el cual fue entregado y revisado por la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos. Este modelo tiene como propósito fortalecer el flujo de trabajo colaborativo, facilitando la vinculación, exportación y gestión de información entre las diferentes disciplinas involucradas en el proyecto de Equipamiento Hidroeléctrico de la Casa de Máquinas en Amata, Sinaloa.

La integración del modelo dentro del entorno BIM garantizara una coordinación eficiente y precisa, promoviendo la interoperabilidad entre las áreas de ingeniería estructural, mecánica, eléctrica y arquitectura.

3.1 Ilustraciones de modelo final 3D

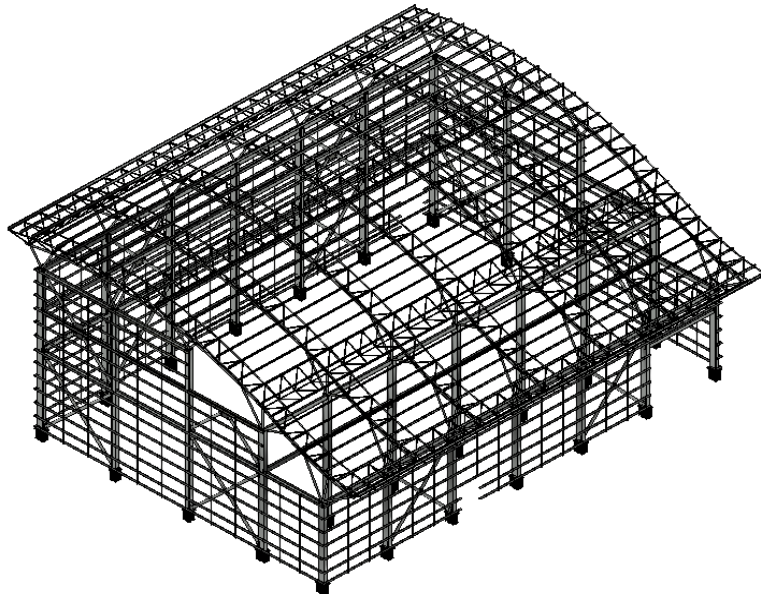


Ilustración 68. Modelo estructural completo vista 3D (elaboración propia).

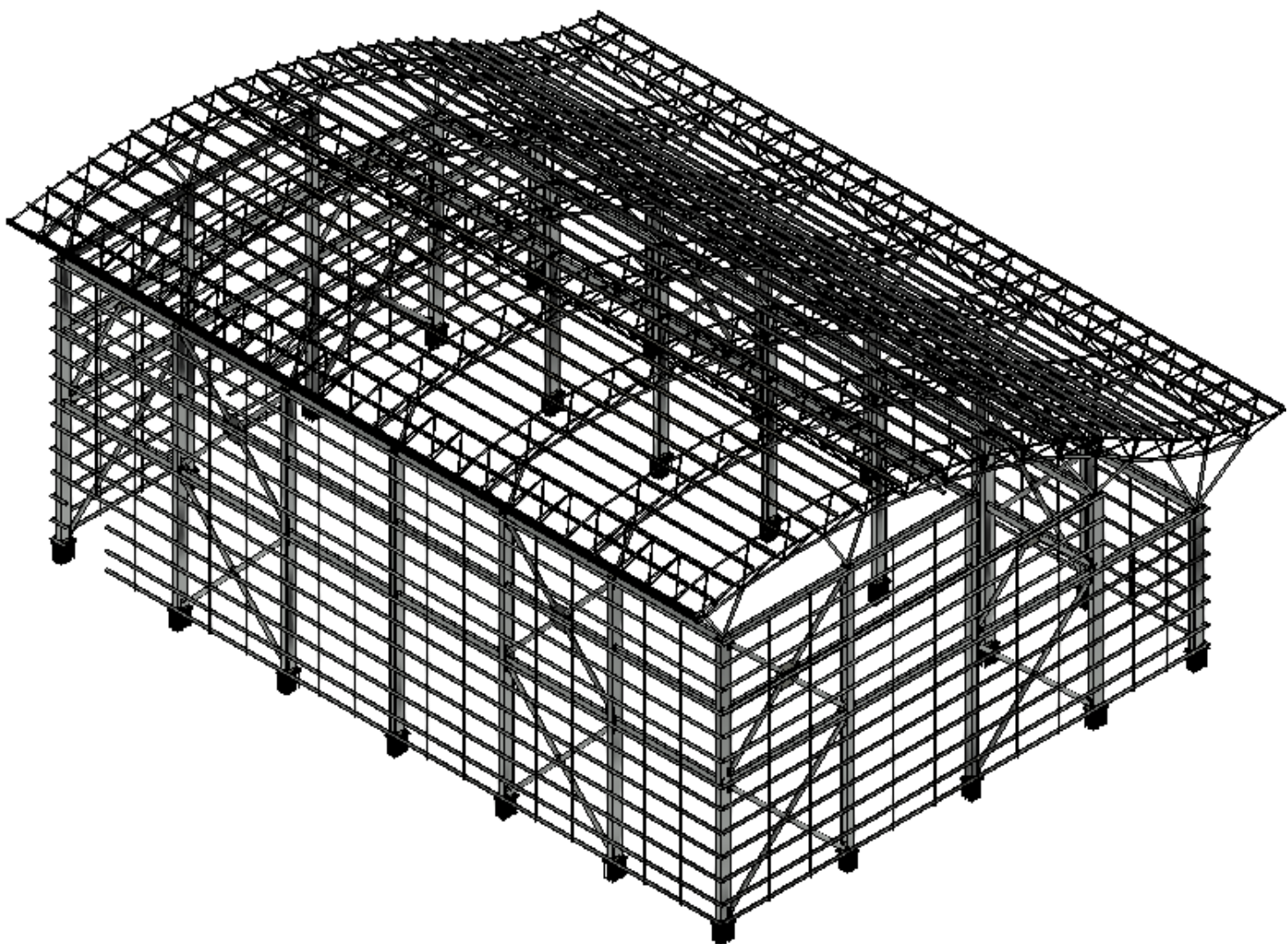


Ilustración 69. Modelo Estructural completo vista 3D (elaboración propia).

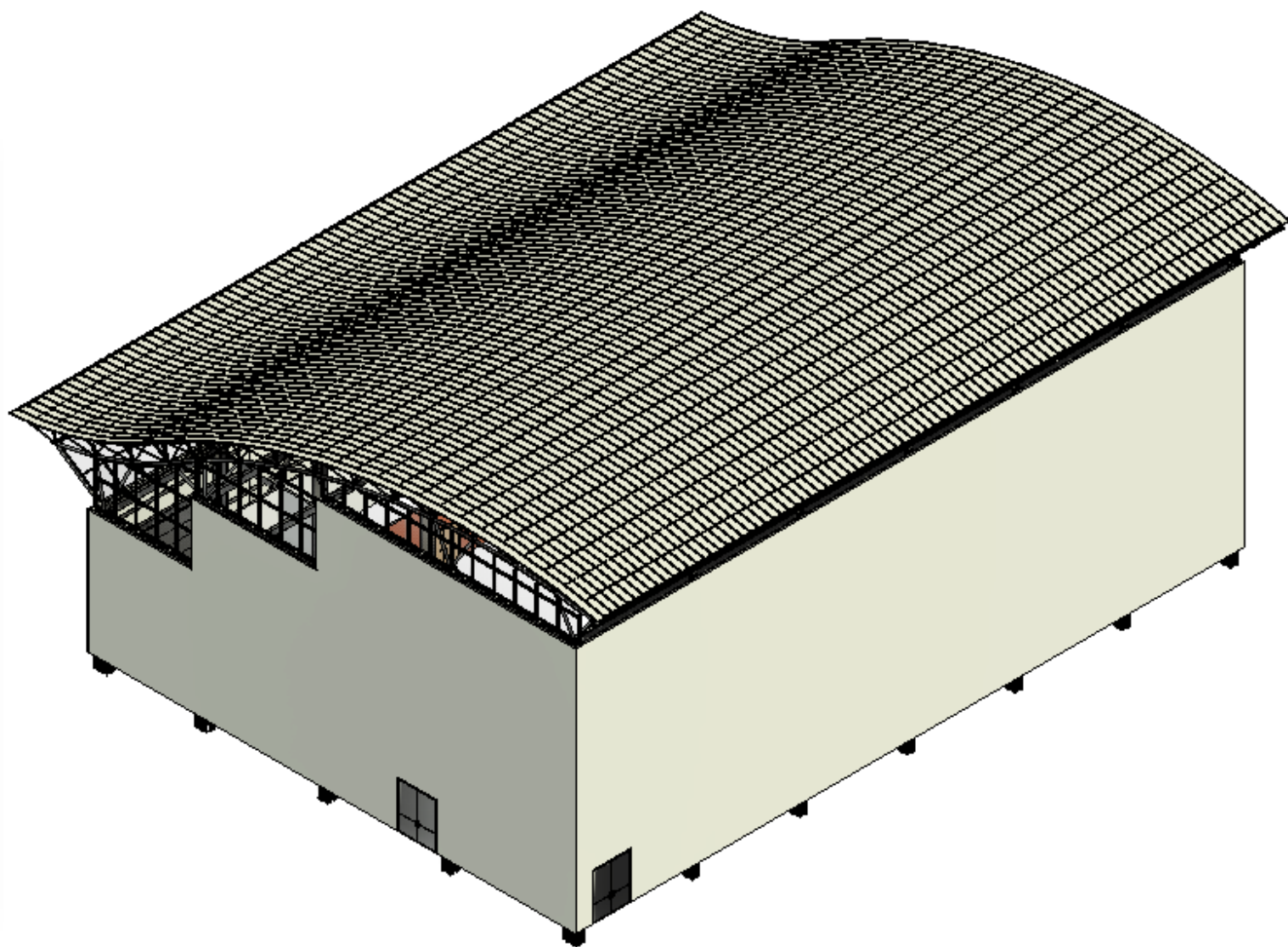


Ilustración 70. Modelo Arquitectónico completo vista 3D (elaboración propia).

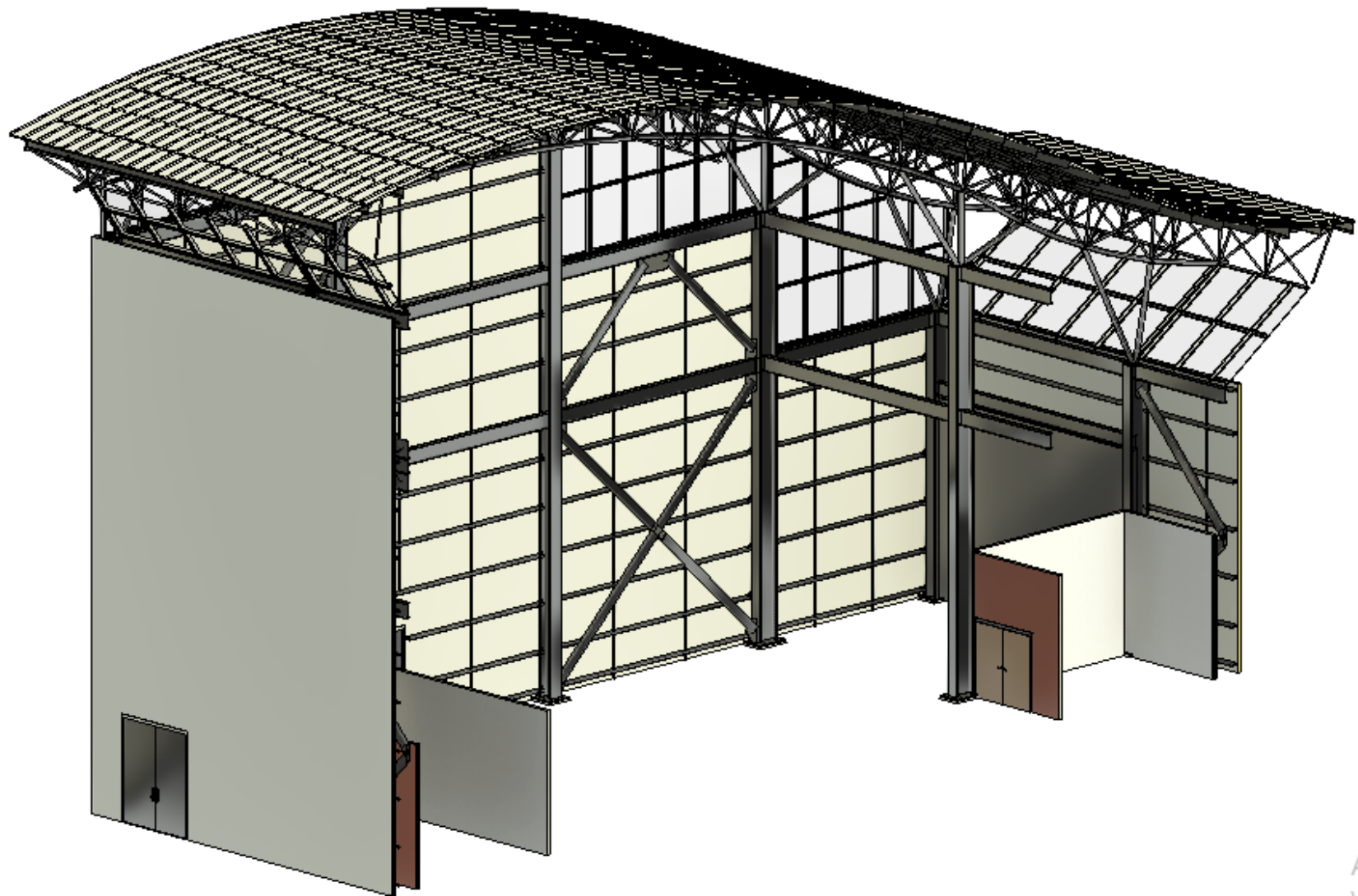


Ilustración 71. Corte de modelo final vista 3D (elaboración propia).

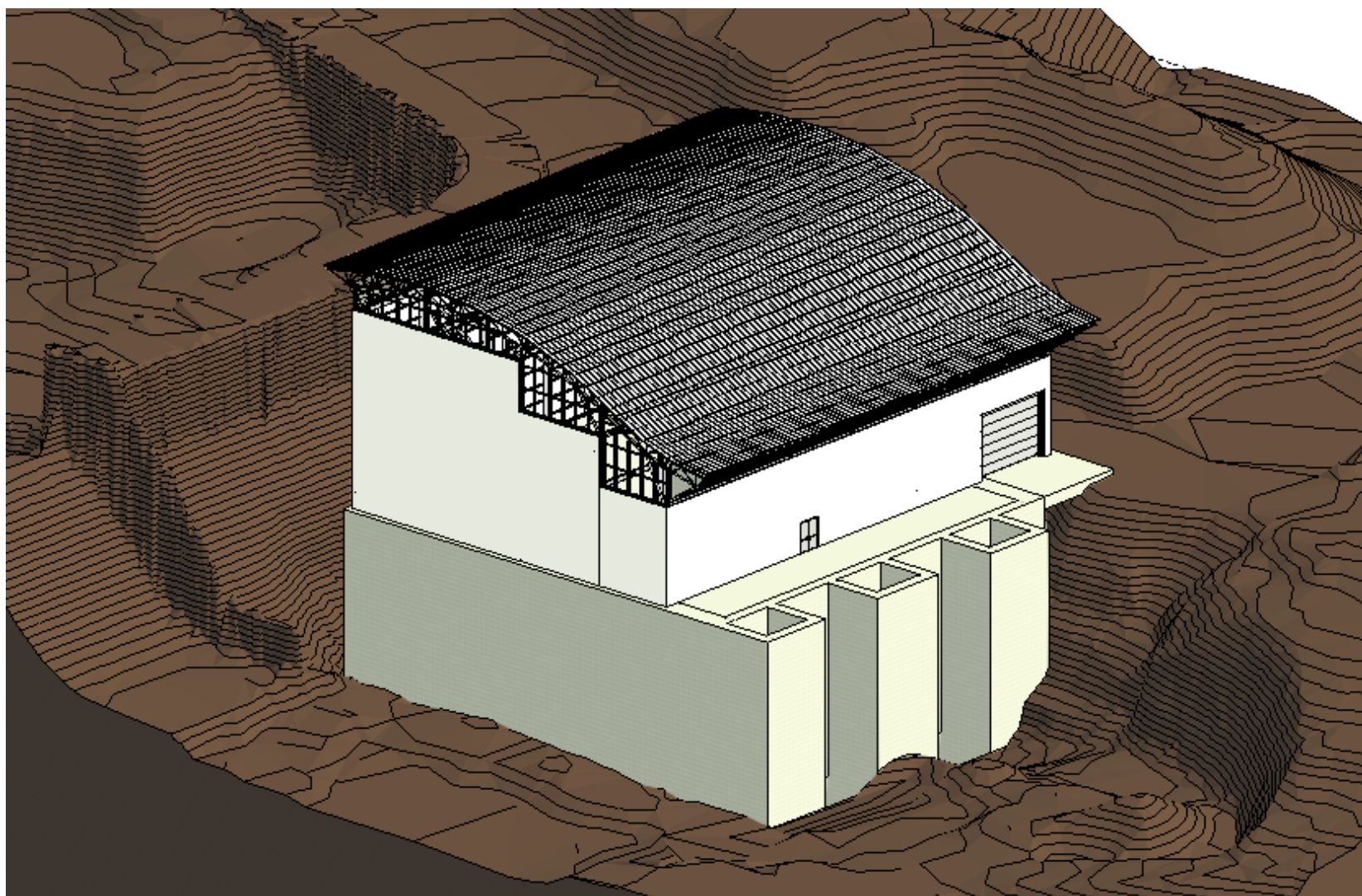


Ilustración 72. Incorporación de modelo topográfico vinculado vista 3D, perspectiva 1 (elaboración propia).

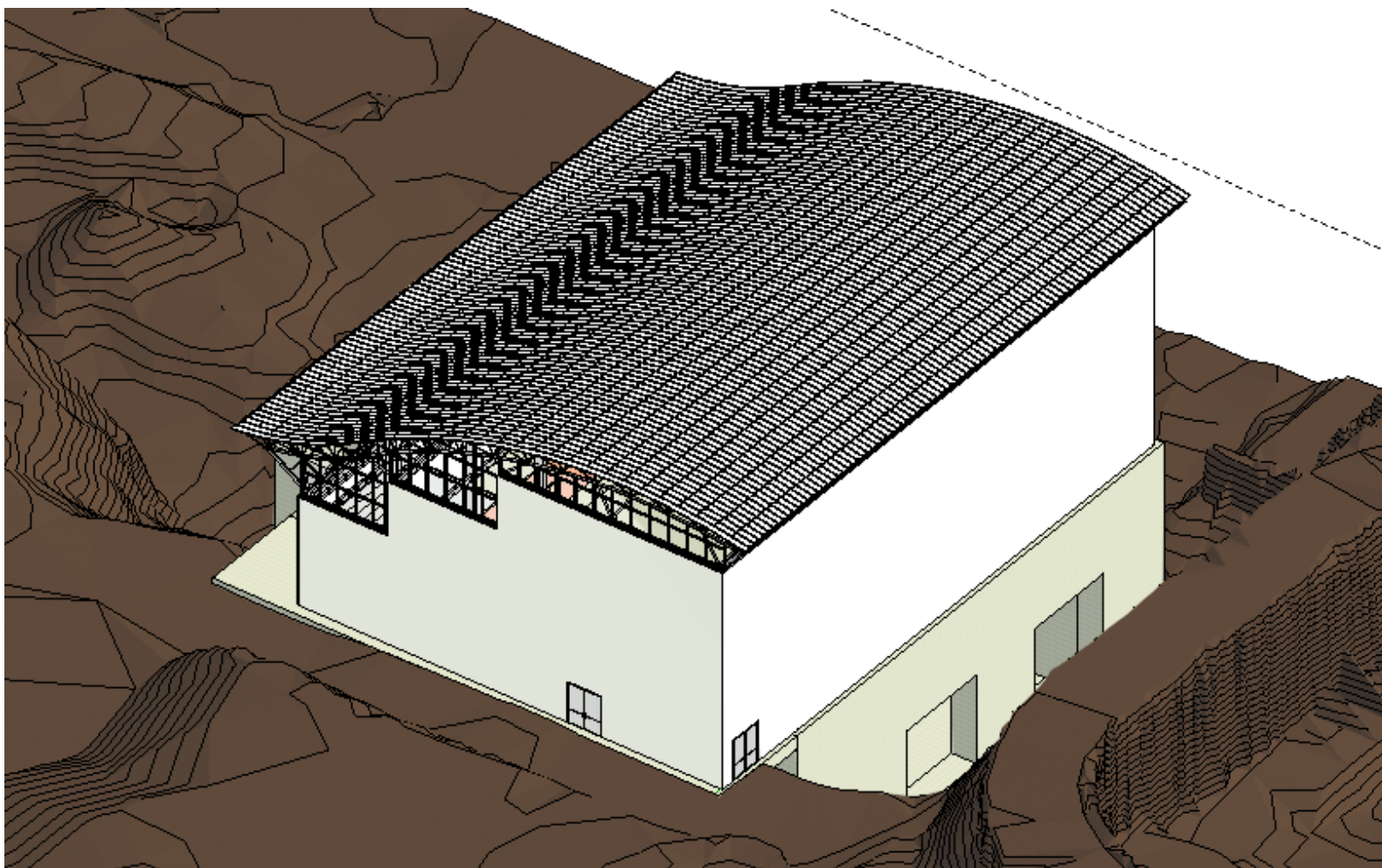


Ilustración 73. Incorporación de modelo topográfico vinculado vista 3D, perspectiva 2 (elaboración propia).

3.2 Tablas de cantidades de perfiles de acero

T1 CANTIDADES DE COLUMNAS PRINCIPALES						
SECCIÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)	PESO (TON)
W610X241	C1	Acero ASTM A36	7	0.49	15.97	3.87
			TOTAL =	3.43	111.79	27.09
W610X241	C1	Acero ASTM A36	7	0.37	11.97	2.90
			TOTAL =	2.59	83.79	20.30
W610X241	C1	Acero ASTM A36	7	0.24	7.97	1.93
			TOTAL =	1.68	55.79	13.52
			TOTAL =	7.7	251.37	60.90

T2 CANTIDADES DE COLUMNAS SECUNDARIAS						
SECCIÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)	PESO (TON)
HP410X211	C2	Acero ASTM A36	4	0.42	15.97	3.37
			TOTAL =	1.68	63.88	13.49

T3 CANTIDADES DE SOPORTES PARA TRIDITRAEE					
SECCIÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	2	0.01	1.1
			TOTAL =	0.02	2.2
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	14	0.01	2.1
			TOTAL =	0.14	29.4
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	2	0.01	2.2
			TOTAL =	0.02	4.4
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	7	0.01	2.3
			TOTAL =	0.07	16.1
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	7	0.01	2.4
			TOTAL =	0.07	16.8
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	2	0.01	2.5
			TOTAL =	0.02	5
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	9	0.01	2.8
			TOTAL =	0.09	25.2
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	14	0.02	3.8
			TOTAL =	0.28	53.2
HSS141.3X12.7	SE-1	Acero ASTM A36	7	0.02	4
			TOTAL =	0.14	28
			TOTAL =	0.85	180.3

T4 CANTIDADES DE TRABES					
SECCÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)
W410X75	TE-1	Acero ASTM A36	2	0.06	6.5
			TOTAL =	0.12	13
W410X75	TE-1	Acero ASTM A36	30	0.07	7
			TOTAL =	2.1	210
W410X75	TE-1	Acero ASTM A36	6	0.07	7.5
			TOTAL =	0.42	45
W410X75	TE-1	Acero ASTM A36	16	0.08	8
			TOTAL =	1.28	128
			TOTAL =	3.92	396

T5 CANTIDADES DE PERFILES PARA TRIDITRABE PRIMARIA						
SECCÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)	PESO (TON)
HSS141.3X10	CI-1	Acero ASTM A36	14	0.15	36.4	0.76
			TOTAL =	2.1	509.6	10.60
HSS88.9X7.6	CS-1	Acero ASTM A36	30	0.08	39.7	0.57
			TOTAL =	2.4	1191	17.06
HSS63.5X6.4	DI-1	Acero ASTM A36	14	0.002	1.9	0.02
			TOTAL =	0.028	26.6	0.22
HSS63.5X6.4	DI-1	Acero ASTM A36	112	0.002	2	0.02
			TOTAL =	0.224	224	1.90
HSS63.5X6.4	DI-1	Acero ASTM A36	268	0.002	2.1	0.02
			TOTAL =	0.536	562.8	4.77
HSS63.5X6.4	DI-1	Acero ASTM A36	28	0.003	2.2	0.02
			TOTAL =	0.084	61.6	0.50
			TOTAL =	0.872	875	7.40
HSS63.5X6.4	HO-1	Acero ASTM A36	112	0.002	1.6	0.01
			TOTAL =	0.224	179.2	1.50

T6 CANTIDADES DE PERFILES PARA TRIDITRABE SECUNDARIA						
SECCÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)	PESO (TON)
HSS63.5X6.4	CI-2	Acero ASTM A36	20	0.008	6.9	0.06
HSS63.5X6.4	CI-2	Acero ASTM A36	4	0.008	7.4	0.06
			TOTAL =	4.168	167.6	1.50
HSS63.5X6.4	CS-2	Acero ASTM A36	40	0.008	6.9	0.06
HSS63.5X6.4	CS-2	Acero ASTM A36	8	0.008	7.4	0.06
			TOTAL =	8.328	335.2	2.99
HSS48.3X3.7	DI-2	Acero ASTM A36	120	0.002	1.8	0.02
HSS48.3X3.7	DI-2	Acero ASTM A36	24	0.003	2	0.02
			TOTAL =	0.24	216	1.80
HSS63.5X6.4	HO-2	Acero ASTM A36	48	0.003	2.5	0.02
			TOTAL =	0.144	120	1.02

T7 CANTIDADES DE LARGUEROS DE TECHO						
SECCÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)	PESO (TON)
C230X30	MC-1	Acero ASTM A36	33	0.168	44.1	1.31
			TOTAL =	5.544	1455.3	43.23

T8 CANTIDADES DE LARGUEROS DE FACHADA					
SECCÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)
172 C26	MC-2	Acero ASTM A36	60	1.212	1497
			TOTAL =	1.212	1497

T9 CANTIDADES DE PLACAS ESTRUCTURALES						
SECCIÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	AREA (M2)	PESO (TON)
PLACAS BASE						
PL 630mmX935mmX1/34"	PB-1	Acero ASTM A36	21	0.026	0.589	0.21
TOTAL =				0.546	12.369	4.41
PL 708mmX706mmX11/4"	PB-2	Acero ASTM A36	4	0.016	0.5	0.12
TOTAL =				0.064	2	0.48
PLACAS CONEXIÓN						
PL 1"	PC-1	Acero ASTM A36	16	0.0057	0.226	0.05
TOTAL =				0.0912	3.616	0.80
PL 1"	PC-2	Acero ASTM A36	8	0.0049	0.192	0.04
TOTAL =				0.0392	1.536	0.32
PL 1"	PC-3	Acero ASTM A36	10	0.0042	0.166	0.03
TOTAL =				0.042	1.66	0.30
PL 1"	PC-4	Acero ASTM A36	10	0.0068	0.268	0.05
TOTAL =				0.068	2.68	0.50
PL 1"	PC-5	Acero ASTM A36	4	0.0046	0.182	0.04
TOTAL =				0.0184	0.728	0.16
PL 1"	PC-6	Acero ASTM A36	4	0.0058	0.227	0.03
TOTAL =				0.0232	0.908	0.12
PL 1"	PC-7	Acero ASTM A36	10	0.0148	0.584	0.12
TOTAL =				0.148	5.84	1.20
PL 550mmX220mmX1/2"	PC-8	Acero ASTM A36	10	0.0016	0.127	0.01
TOTAL =				0.016	1.27	0.10
PLACAS DE TERMINO						
PL 635mmX330mmX1"	PT-1	Acero ASTM A36	21	0.0053	0.21	0.04
TOTAL =				0.1113	4.41	0.84
PL 406mmX406mmX1"	PT-2	Acero ASTM A36	4	0.0042	0.165	0.03
TOTAL =				0.0168	0.66	0.12
TOTAL =				1.1841	23.308	9.35

T10 CANTIDADES DE CONTRAMIENTOS						
SECCIÓN	CLAVE	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTO	VOLUMEN (M3)	LONGITUD (M)	PESO (TON)
HSSR228.6mmX127mmX9.5mm	CV-1	Acero ASTM A36	8	0.027	4.35	0.20
TOTAL =				0.216	34.8	1.60
HSSR228.6mmX127mmX9.5mm	CV-1	Acero ASTM A36	12	0.028	4.5	0.21
TOTAL =				0.336	54	2.52
HSSR228.6mmX127mmX9.5mm	CV-1	Acero ASTM A36	4	0.03	4.7	0.21
TOTAL =				0.12	18.8	0.84
HSSR228.6mmX127mmX9.5mm	CV-1	Acero ASTM A36	4	0.03	4.8	0.22
TOTAL =				0.1236	19.2	0.88
HSSR228.6mmX127mmX9.5mm	CV-1	Acero ASTM A36	4	0.0312	4.9	0.22
TOTAL =				0.1248	19.6	0.88
HSSR228.6mmX127mmX9.5mm	CV-1	Acero ASTM A36	4	0.0325	5.1	0.23
TOTAL =				0.13	20.4	0.92
HSSR228.6mmX127mmX9.5mm	CV-1	Acero ASTM A36	4	0.063	9.8	0.45
TOTAL =				0.252	39.2	1.80
HSSR228.6mmX127mmX9.5mm	CV-1	Acero ASTM A36	4	0.066	10.2	0.47
TOTAL =				0.2632	40.8	1.88
TOTAL =				1.5656	246.8	11.32

T11 CANTIDADES DE ANCLAJES					
TIPO	CALIDAD	MATERIAL ESTRUCTURAL	No. ELEMENTOS	DIAMETRO (M)	LONGITUD (M)
Anclajes redondo liso	10.9	Acero ASTM A36	77	1 1/4"	1.1
TOTAL =				#1 VALOR	84.7

3.3 Resultado de Renders



Ilustración 74. Render 1 (elaboración propia).

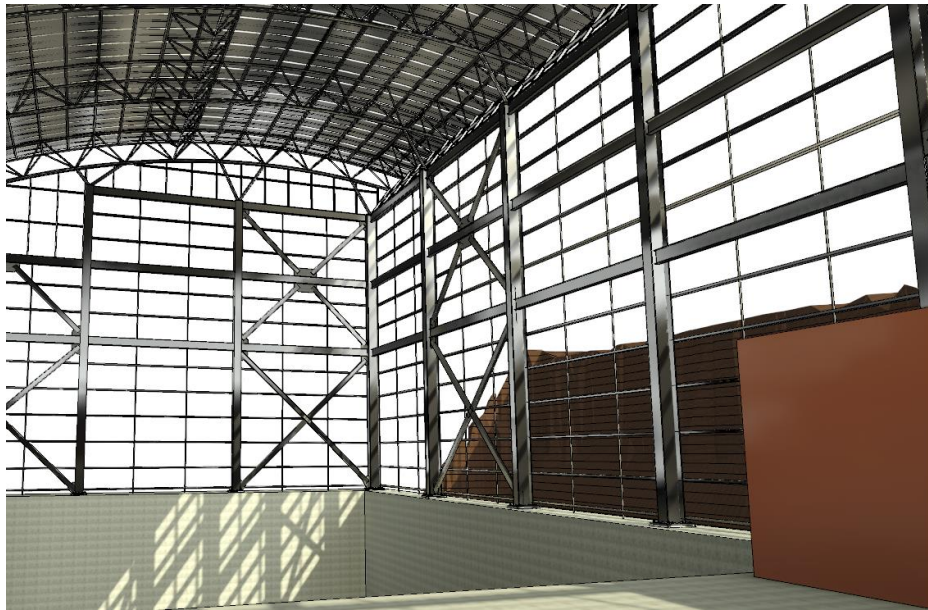


Ilustración 75. Render 2 (elaboración propia).

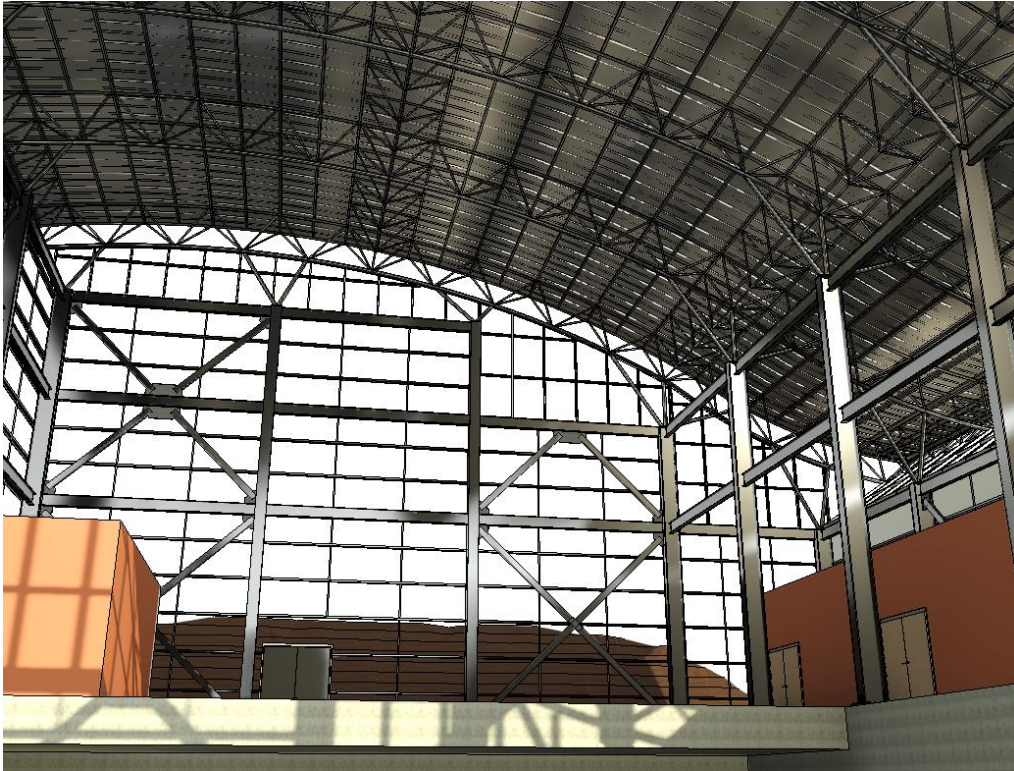


Ilustración 76. Render 3 (elaboración propia).

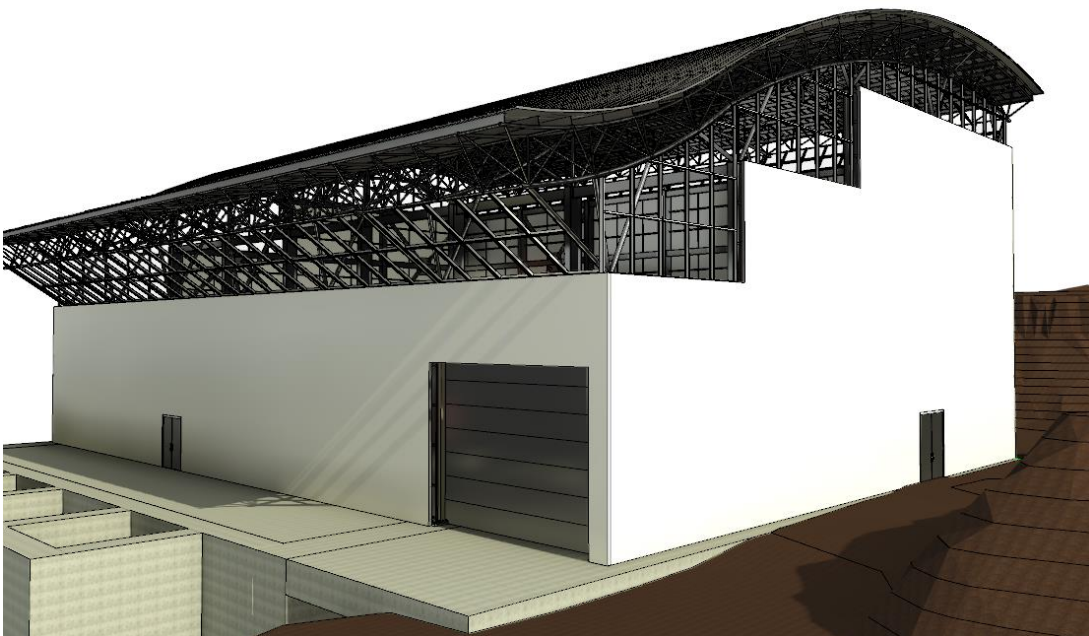


Ilustración 77. Render 4 (elaboración propia).

3.4 Mejoras o propuestas que surgieron durante el proyecto

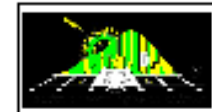
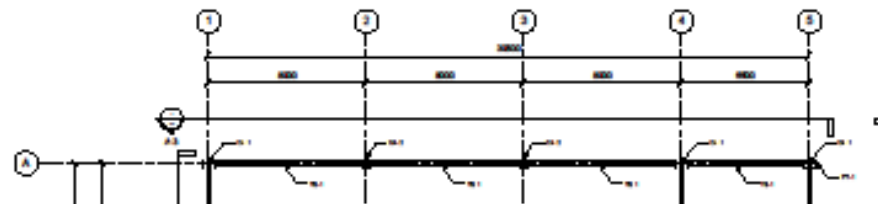
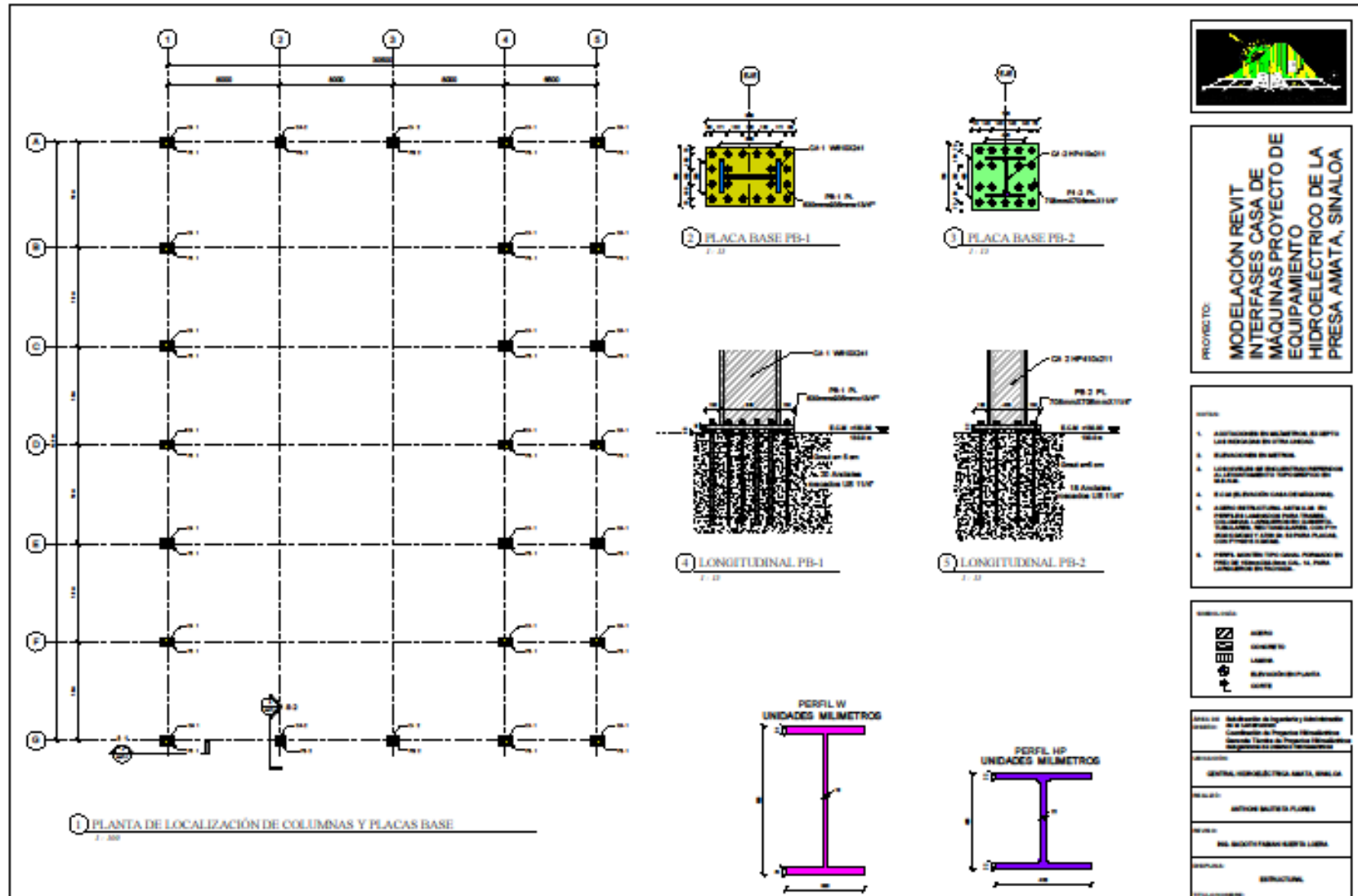
Previo al inicio del modelado en Revit, se contaba únicamente con planos CAD 2D preliminares proporcionados por el contratista, elaborados en AutoCAD. Ante esta situación, se identificó la necesidad de generar un modelo tridimensional en Revit, que posteriormente sería exportado a Robot Structural Analysis, programa especializado en el análisis de estructuras complejas.

A partir del modelado, se obtuvieron las siguientes mejoras y propuestas:

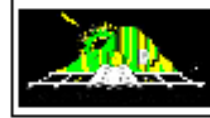
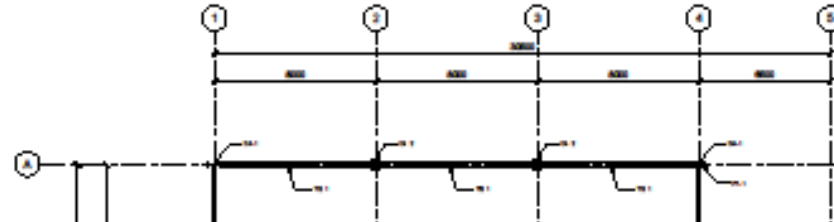
- Mejoras en los planos iniciales proporcionados por el contratista en forma tradicional empleando dibujos y detalles en 2D de AutoCAD. Esto generó información y documentación más precisa y detallada.
- Visualización tridimensional realista y precisa de los componentes estructurales, lo cual facilitó la toma de decisiones técnicas en el diseño estructural.
- Mayor capacidad para detectar interferencias o conflictos geométricos con otras disciplinas (arquitectura, instalaciones, etc.), mejorando la coordinación general del proyecto.
- Establecimiento de un flujo de trabajo bidireccional entre Revit y Robot Structural, permitiendo mantener la coherencia de datos entre el modelado y el análisis estructural.
- Reducción de tiempos de trabajo mediante automatización de cambios dentro del modelo, lo que minimizó tareas repetitivas y errores propios del proceso manual.

Estas mejoras no solo elevaron la calidad técnica del proyecto, sino que también promovieron una metodología de trabajo más eficiente, colaborativa y alineada con los principios del diseño integrado en entornos BIM.

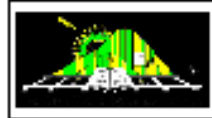
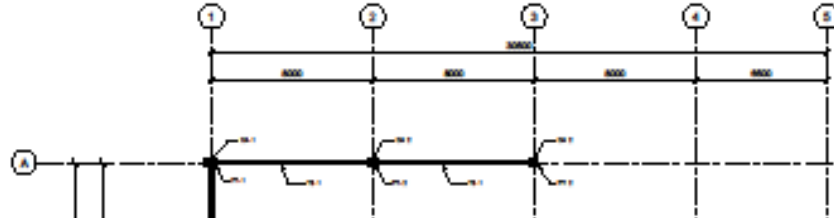
3.5 Planos



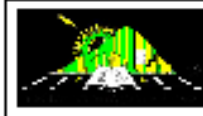
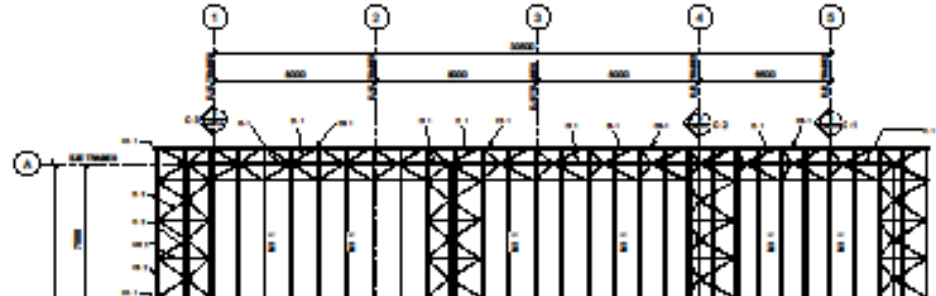
REVIT
SA DE
ECTO DE
O DE LA
INALOA



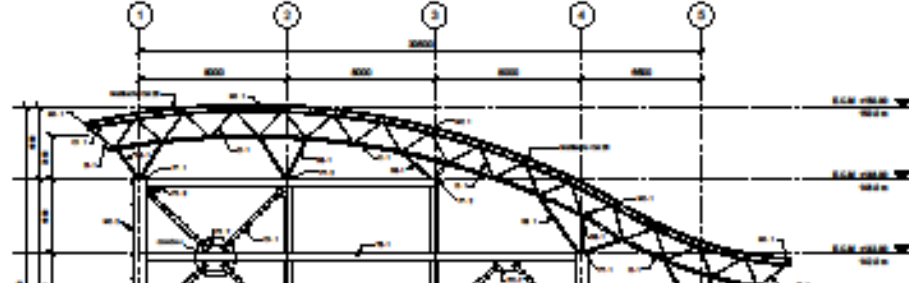
REVIT
CASA DE
PROYECTO DE
TO
RICO DE LA
A, SINALOA



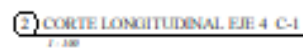
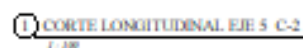
REVIT
CASA DE
PROYECTO DE
LA FAMILIA
RICO DE LA
A, SINALOA



IN REVIT
 S CASA DE
 PROYECTO DE
 NTO
 TRICO DE LA
 TA, SINALOA



I REVIT
 CASA DE
 PROYECTO DE
 TO
 RICO DE LA
 A, SINALOA



MODELACIÓN REVIT
INTERFACES CASA DE
MAQUINAS PROYECTO DE
EQUIPAMIENTO
HIDROELÉCTRICO DE LA
PRESA AMATA, SINALOA

- [illegible]



Área: **Subdirección de Ingeniería Submarina**
Unidad: **Coordinación de Proyectos Hidrográficos**
Gerente Técnico de Proyectos Hidrográficos
Subgerente de Proyectos Hidrográficos

CENTRAL ELECTRICITY BOARD, 1991-92

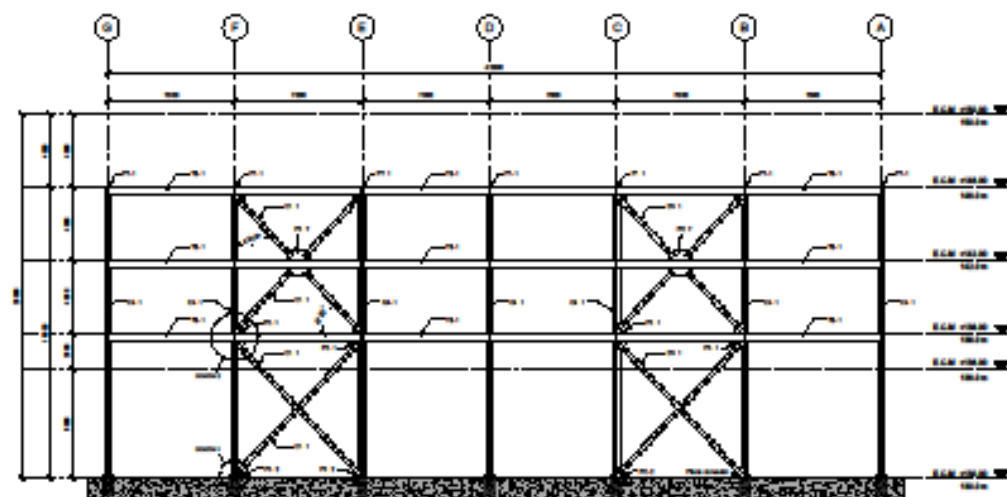
ANTHROPIC QUALITIES TO PLANNING

194. [Buckley, P. J. 2001. The Economics of Biodiversity: An Introduction. London.](#)

CONCEPTUAL	STRUCTURAL
------------	------------

[illegible]

1. QUESTION: 2. ANSWER:	3. QUESTION: 4. ANSWER:
--	--



1 CORTE LONGITUDINAL EJE 1 C-3
1 / 100

PROYECTO:

MODELACIÓN REVIT
INTERFASES CASA DE
MÁQUINAS PROYECTO DE
EQUIPAMIENTO
HIDROELECTRICO DE LA
PRESA AMATA, SINALOA

NOTAS:

1. Ajustar los niveles de las plantas, de acuerdo a las mediciones de campo.
2. Substituir los muros.
3. Las columnas de concreto reforzado se colocarán en los puntos de apoyo de las vigas.
4. Se debe considerar la carga de las plantas.
5. Ajustar las dimensiones de las plantas de acuerdo a las mediciones de campo.
6. Plantas de concreto reforzado se colocarán en los puntos de apoyo de las vigas.

LEGENDA:



ELABORADO POR: Subdirector de Ingeniería y Mantenimiento de la Infraestructura

COORDINADO POR: Coordinador de Proyectos de Infraestructura

REVISADO POR: Revisor de Proyectos de Infraestructura

APROBADO POR: Aprobador de Proyectos de Infraestructura

FECHA DE ELABORACIÓN: 10/01/2010

FECHA DE REVISIÓN: 10/01/2010

FECHA DE APROBACIÓN: 10/01/2010

FECHA DE EJECUCIÓN: 10/01/2010

FECHA DE CANCELACIÓN: 10/01/2010

FECHA DE ARCHIVO: 10/01/2010

FECHA DE ENTREGA: 10/01/2010

FECHA DE RECEPCIÓN: 10/01/2010

FECHA DE CANCELACIÓN: 10/01/2010

FECHA DE ARCHIVO: 10/01/2010

FECHA DE ENTREGA: 10/01/2010

FECHA DE RECEPCIÓN: 10/01/2010

FECHA DE CANCELACIÓN: 10/01/2010

FECHA DE ARCHIVO: 10/01/2010

FECHA DE ENTREGA: 10/01/2010

FECHA DE RECEPCIÓN: 10/01/2010

FECHA DE CANCELACIÓN: 10/01/2010

FECHA DE ARCHIVO: 10/01/2010

FECHA DE ENTREGA: 10/01/2010

FECHA DE RECEPCIÓN: 10/01/2010

FECHA DE CANCELACIÓN: 10/01/2010

FECHA DE ARCHIVO: 10/01/2010

FECHA DE ENTREGA: 10/01/2010

FECHA DE RECEPCIÓN: 10/01/2010

FECHA DE CANCELACIÓN: 10/01/2010

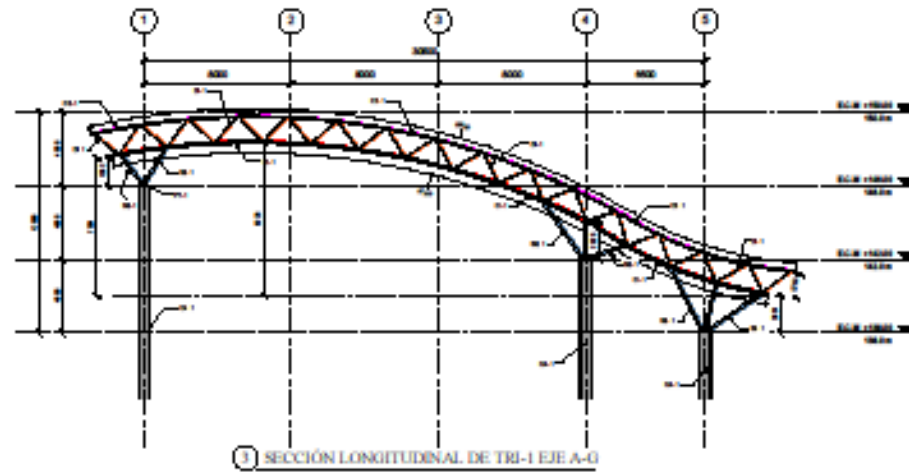
FECHA DE ARCHIVO: 10/01/2010

FECHA DE ENTREGA: 10/01/2010

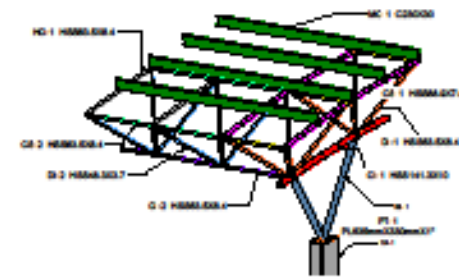
FECHA DE RECEPCIÓN: 10/01/2010

FECHA DE CANCELACIÓN: 10/01/2010

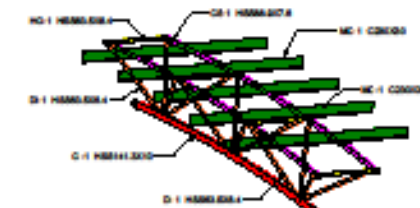
FECHA DE ARCHIVO: 10/01/2010



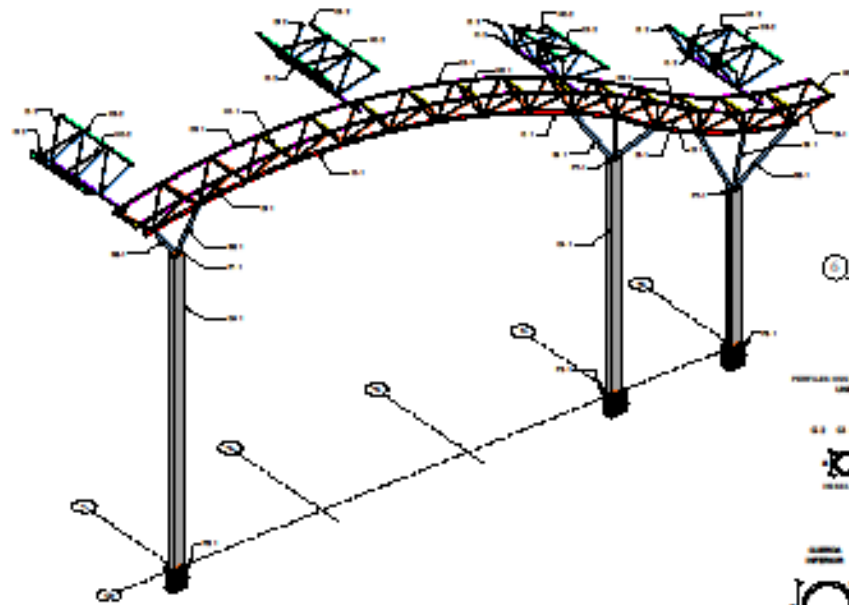
3 SECCIÓN LONGITUDINAL DE TRI-1 EJE A-O
1 / 20



01 Triditrame G-1



02 Triditrame B-3



1 ISOMETRICO TRIDITRABES

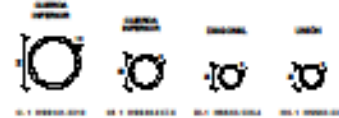
6 SECCIÓN TRANSVERSAL DE TRI-1
1 / 20

7 SECCIÓN TRANSVERSAL DE TRI-2
1 / 20

PERFILES CON RESERVA PARA TRIDITRABES 2
UNIDADES ALUMINIO



PERFILES CON RESERVA PARA TRIDITRABES 1
UNIDADES ALUMINIO



PERFIL W
UNIDADES MILIMETROS

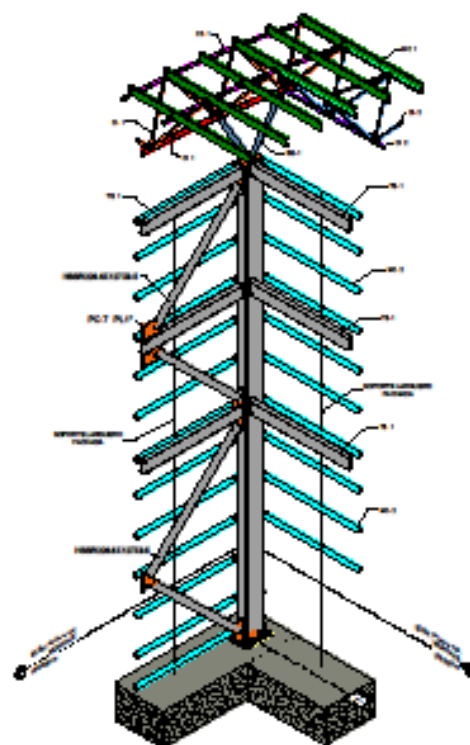


PROYECTO:
**MODELACIÓN REVIT
INTERFASE CASA DE
MAQUINAS PROYECTO DE
EQUIPAMIENTO
HIDROELECTRICO DE LA
PRESA AMATA, SINALOA**

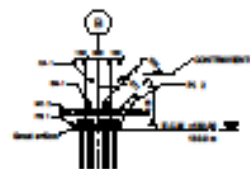
- NOTAS:
1. APLICACIONES DE MATERIAL ALIADO LAS RESERVAS EN OTROS LUGARES.
 2. ESTRUCTURAS DE MATERIAL.
 3. LUGARES DE APLICACIONES DE MATERIAL EN LAS RESERVAS EN OTROS LUGARES.
 4. APLICACIONES DE MATERIAL EN LAS RESERVAS EN OTROS LUGARES.
 5. APLICACIONES DE MATERIAL EN LAS RESERVAS EN OTROS LUGARES.
 6. APLICACIONES DE MATERIAL EN LAS RESERVAS EN OTROS LUGARES.

LEGENDA
ALUMINIO
ACERO
ACERO INOX
ALUMINIO PLACA
ALUMINIO

PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas
PROYECTO:	Modelación de la interfase y construcción de la casa de máquinas



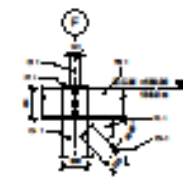
8 Columna Isométrica



1 CONEXIÓN 1



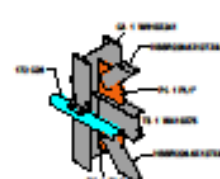
3 CONEXIÓN 2



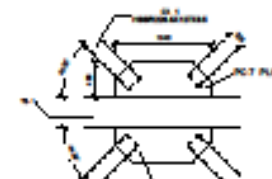
7 CONEXIÓN 3



2 SD CONEXIÓN 1



17 SD CONEXIÓN 2



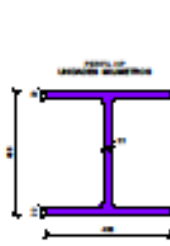
5 CORTE A-A



6 SD CONEXIÓN 3

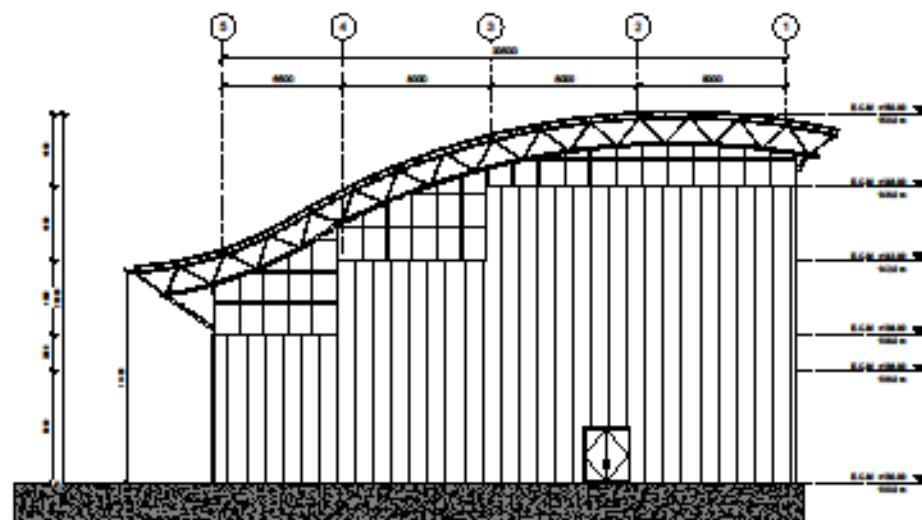


RC 1 INTERMEDIARIA

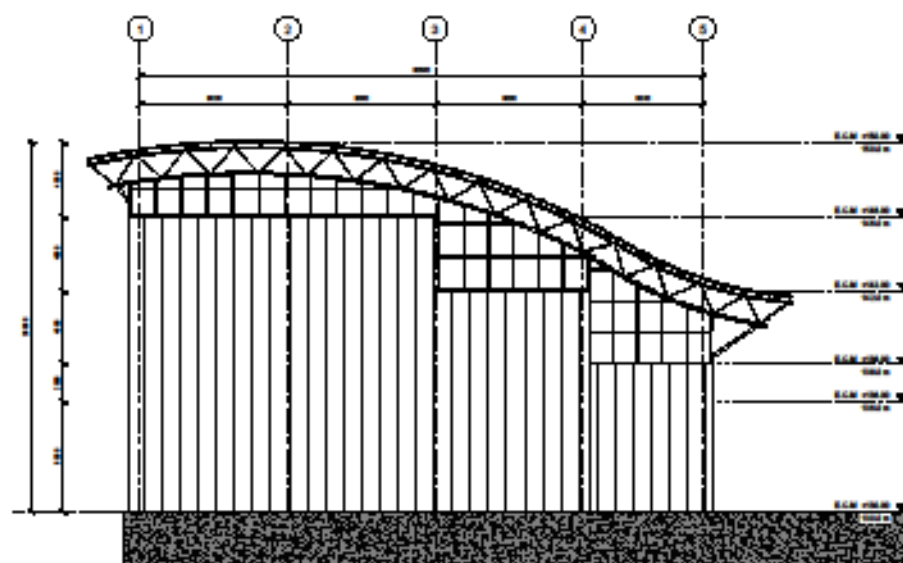


RC 2 INTERMEDIARIA





1) ALZADO VERTICAL NORTE A-3
1:100



2) ALZADO VERTICAL SUR A-4
1:100

PROYECTO:

MODELACIÓN REVIT
INTERFACES CASA DE
MAQUINAS PROYECTO DE
EQUIPAMIENTO
HIDROELECTRICO DE LA
PRESA AMATA, SINALOA

NOTAS:

1. ASISTENTE DE MAQUINARIA, ASISTENTE DE MAQUINARIA EN OTRO LUGAR.
2. MAQUINARIA EN MAQUINARIA.
3. MAQUINARIA EN MAQUINARIA.
4. MAQUINARIA EN MAQUINARIA.
5. MAQUINARIA EN MAQUINARIA.
6. MAQUINARIA EN MAQUINARIA.
7. MAQUINARIA EN MAQUINARIA.

LEGENDA:



PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

PROYECTO: Modelación de Equipamiento y Maquinaria en la Casa de Maquinaria

CUBIERTA MULTITECHO

LARGUEROS DE TECHO

ESTRUCTURA DE TRIDIRABES

ESTRUCTURA CASA DE MÁQUINAS

PLACAS BASE Y ANCLAJES

1) 3D EXPLOTADO

PROYECTO:

MODELACIÓN REVIT
INTERFASES CASA DE
MÁQUINAS PROYECTO DE
EQUIPAMIENTO
HIDROELECTRICO DE LA
PRESA AMATA, SINALOA

NOTAS:

1. APLICACIÓN DE MATERIAL EN EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.
2. ESTRUCTURAS DE CONCRETO.
3. LUGARES DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.
4. ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.
5. ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.
6. ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

LEGENDA:



Elaborado por: Subdirector de Ingeniería y Construcción de la Presa Amata

Revisado por: Coordinador de Proyecto Hidroeléctrico de la Presa Amata

Elaborado por: Subdirector de Ingeniería y Construcción de la Presa Amata

Revisado por: Coordinador de Proyecto Hidroeléctrico de la Presa Amata

Elaborado por: Subdirector de Ingeniería y Construcción de la Presa Amata

Revisado por: Coordinador de Proyecto Hidroeléctrico de la Presa Amata

Elaborado por: Subdirector de Ingeniería y Construcción de la Presa Amata

Revisado por: Coordinador de Proyecto Hidroeléctrico de la Presa Amata

Elaborado por: Subdirector de Ingeniería y Construcción de la Presa Amata

Revisado por: Coordinador de Proyecto Hidroeléctrico de la Presa Amata

Elaborado por: Subdirector de Ingeniería y Construcción de la Presa Amata

Revisado por: Coordinador de Proyecto Hidroeléctrico de la Presa Amata

Conclusiones

El desarrollo del presente proyecto de residencia profesional permitió aplicar de manera integral los conocimientos adquiridos durante la formación académica al igual que los adquiridos por parte de la empresa en el ámbito del modelado tridimensional y análisis estructural de estructuras de gran escala e importancia.

Por otra parte, se concluyó que el uso de programas como AutoCAD, Autodesk Revit y Robot Structural Analysis Professional, se logró modelar con precisión a los elementos estructurales de la Casa de Máquinas y detectar posibles interferencias con otras disciplinas, generando un entorno de trabajo BIM que facilitara la interoperabilidad con otras disciplinas, mejorando la calidad del diseño y modelado, permitiendo realizar simulaciones estructurales bajo diversas combinaciones de carga y las acciones provocadas por el viento.

Cabe destacar que también se obtuvieron mejores resultados en la realización de la documentación BIM del modelo, lo que permitió soluciones a las limitantes de métodos tradicionales como en AutoCAD.

Este proyecto no solo responde a las necesidades técnicas del proyecto, sino que representa una oportunidad formativa clave, permitiendo aplicar conocimientos adquiridos durante la carrera en un contexto profesional, fortaleciendo las habilidades en modelación avanzada, el análisis estructural, y contribuir en el ámbito laboral con una visión moderna, colaborativa y orientada a la innovación.

Recomendaciones

Para lograr una implementación exitosa de BIM, es indispensable contar con el liderazgo solido por parte de la organización. Resulta fundamental definir una visión clara y asegurar que todos los miembros del equipo se encuentren alineados con los objetivos establecidos del proyecto. Asimismo, es necesario adoptar y cumplir con los estándares y protocolos BIM, a fin de garantizar la coherencia, la calidad y la interoperabilidad de los diferentes modelos en los diferentes proyectos. Finalmente, la adhesión a los estándares nacionales e internacionales fortalece la integración de BIM en la industria, favoreciendo procesos más eficientes y colaborativos.

Es indispensable establecer lineamientos claros sobre nomenclaturas, unidades de trabajo, familias y niveles de detalle antes de iniciar la modelación. Esto garantiza uniformidad en el modelo y reduce la posibilidad de inconsistencias o retrabajos durante el desarrollo del proyecto. Revisar y validar la correcta correspondencia entre el modelo físico en Revit y el modelo analítico exportado a Robot Structural Analysis. Esto asegura que las propiedades geométricas y de materiales se transfieran adecuadamente, evitando discrepancias en el cálculo estructural.

Competencias desarrolladas

Habilidades:

- Se logró tener un mejor manejo en el trabajo colaborativo, la importación, vinculación, exportación y la gestión de información del proyecto con otras disciplinas involucradas en un entorno profesional.
- Crear y modificar diferentes tipos de familias de elementos estructurales y cumplir con los requerimientos normativos y específicos que demanda este tipo de proyectos, permitiendo una mayor precisión en el modelado.
- Se obtuvo experiencia en la modelación de elementos estructurales de acero como columnas, trabes, armaduras tridimensionales, placas de acero y conexiones, con la información y propiedades físicas.
- Se adquirió la capacidad de generar vistas 3D, cortes, listas de materiales y detalles constructivos para optimizar los tiempos y errores.
- Se desarrollo criterio para poder identificar mejoras en el diseño, reduciendo los costos de acero y procesos constructivos.
- Se desarrollaron competencias para organizar un modelo, el uso de fases, visibilidad de elementos, manejo de la información y la documentación para una presentación profesional del proyecto.
- Preparación y verificación de modelos analíticos y aplicar un cálculo estructural en programas de análisis estructural asegurando que la estructura sea estable y confiable.

Fuentes de información

Jan, R.T. (2024). *Nivel de desarrollo Especificación LOD Parte I*. BIMForum: BIMForum.

Edgar, T.H. (2019). *Uso de contravientos de acero*. México: Gerdau Corsa.

Javier, C.J, (2017). *Tridilosa. Mis apuntes de trabajo*. Ciudad de México: UNAM.

AISC. (2016). *Manual de Construcción en Acero (American Institute of Steel Construction “AISC”)*. Chicago: Instituto Americano de Construcción en Acero.

Comisión Federal de Electricidad, C. (2020). *Manual De Obras Civiles. Diseño por viento*. México: Instituto de investigaciones eléctricas.

Autodesk, Inc. (2025). *Ventajas de BIM. ¿Por qué usar BIM?*

México, C.D. (2020). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero con comentarios*. Ciudad de México.

Autodesk, Inc. (2018). *Manual de introducción a BIM para Ingeniería Civil*.

Gerdau Corsa. (2020). *¿Qué son las estructuras de acero?* México: Gerdau Corsa.

Fatima. (2022). *Revit definición*. Autodesk, Inc.

Anexos

Anexo A. Carta de Aceptación de la empresa



Dirección Corporativa de Administración
Coordinación de Recursos Humanos
Gerencia de Capacitación
Subgerencia de Administración de la Capacitación
Oficio N° GCA/SAC/0237/2025
Ciudad de México, a 14 de marzo de 2025
Asunto: Aceptación de Residencias Profesionales

María Valeria Montiel Márquez
Jefa del Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación
Instituto Tecnológico de Apizaco

Me permito informar a usted, que esta gerencia ha otorgado un período de 4 meses para realizar RESIDENCIAS PROFESIONALES en los términos que a continuación se indican:

NOMBRE:	Anthoni Bautista Flores.
CARRERA:	Ingeniería Civil.
ESCUELA:	Instituto Tecnológico de Apizaco.
No. CONTROL:	19370208.
PERÍODO:	4 meses, comprendidos del 17/03/2025 al 21/07/2025.
ÁREA ASIGNADA:	Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos / Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos.
HORARIO:	09:00 a 14:30 hrs., de lunes a viernes.
TOTAL DE HORAS:	500 Horas.
ACTIVIDADES:	-Apoyo para crear proyectos arquitectónicos completos en el Programa REVIT. -Apoyo en la modificación de elementos mediante el programa REVIT. -Apoyo para diseñar y editar componentes BIM -Apoyo para trabajar con masa paramétricas; de acuerdo con el proyecto: "Modelación REVIT Interfaces casa de máquinas".

Atentamente

Lic. J. Jesús Mosqueda Sánchez
Subgerente



C.c.p. L.E. Isabel Cristina González Martínez, Encargada del Departamento de Normatividad y Apoyos a la Formación. Copia electrónica. Expediente.
AAGI/RBA/CGM/IJMS



Av. Cuauhtémoc 536, 1er. Piso, Col. Narvarte Poniente, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03020, Ciudad de México, Tel. (55)5229-44-00 Extensión: 83766

Anexo B. Reportes mensuales de actividades de Residencias Profesionales



Gobierno de
México



Dirección Corporativa de Administración
Coordinación de Recursos Humanos
Gerencia de Capacitación



Reporte mensual de actividades de Prácticas Profesionales, Servicio Social, Residencias o Estadías Profesionales

Reporte Número: 1 de 4

Expediente No. 09 / RP-25

Del 17 de marzo al 11 de abril de 2025

Nombre: Anthoni Bautista Flores.

Profesión: Ingeniería Civil.

Escuela: Instituto Tecnológico de Apizaco.

Matrícula: 19370208.

Periodo: 4 meses, comprendidos del 17/03/2025 al 21/07/2025

Área asignada: Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos / Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos

Horario: 9:00 a 14:30 hrs., de lunes a viernes

Total de horas: 110 Horas

Actividades:

- Realizar un análisis estructural de una losa plana de concreto reforzado con huecos.
- Analizar los requerimientos para dicho análisis en el reglamento ACI-318, en su última edición.
- Aprender a modelar y analizar estructuras en los programas Revit y Robot.
- Leer el Manual de Diseño de Obras Civiles de CFE (Diseño por Viento).

9

Jefe Inmediato


Nombre, puesto y firma

Dr. Sadoth Fabian Huerta Loera

Dr. Sadoth Fabian Huerta Loera

R.P.E. 89522

c.c.p. Delegado Sindical.
Estudiante.



Prestador del Servicio Social


Nombre y firma

P-1008-002-R03-GC4-02-C



Gobierno de
México

CFE



Dirección Corporativa de Administración
Coordinación de Recursos Humanos
Gerencia de Capacitación



**Reporte mensual de actividades de Prácticas Profesionales, Servicio Social,
Residencias o Estadías Profesionales**

Reporte Número: 2 de 4

Expediente No. 09 / RP-25

Del 21 de abril al 16 de mayo de 2025

Nombre: Anthoni Bautista Flores.

Profesión: Ingeniería Civil.

Escuela: Instituto Tecnológico de Apizaco.

Matrícula: 19370208.

Periodo: 4 meses, comprendidos del 17/03/2025 al 21/07/2025

Área asignada: Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos / Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos

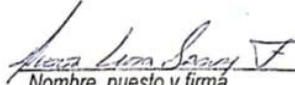
Horario: 9:00 a 14:30 hrs., de lunes a viernes

Total de horas: 214 1/2 Horas

Actividades:

- Realizar modelos de prueba y error para obtener el modelo analítico correcto.
- Generación de paneles para la cubierta.
- Cambio de secciones en los perfiles de acero.
- Exportación de modelo analítico al programa Robot Estructural.
- Generación de cargas, parámetros y condiciones de la Casa de Maquinas.

Jefe Inmediato


Nombre, puesto y firma

ENC. DEPARTAMENTO INGEN. CIVIL

Dr. Sadoth Fabian Huerta Loera

R.P.E. 89522

c.c.p. Delegado Sindical.
Estudiante.



Prestador del Servicio Social


Anthoni Bautista Flores
Nombre y firma



**Reporte mensual de actividades de Prácticas Profesionales, Servicio Social,
Residencias o Estadías Profesionales**

Reporte Número: 3 de 4
Del 19 de mayo al 16 de junio de 2025

Expediente No. 09 / RP-25

Nombre: Anthoni Bautista Flores.

Profesión: Ingeniería Civil.

Escuela: Instituto Tecnológico de Apizaco.

Matrícula: 19370208.

Periodo: 4 meses, comprendidos del 17/03/2025 al 21/07/2025

Área asignada: Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos / Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos

Horario: 9:00 a 14:30 hrs., de lunes a viernes

Total de horas: 330 Horas

Actividades:

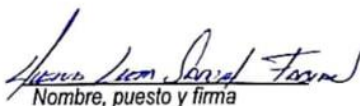
- Analizar el modelo con y sin efecto p-delta mediante Robot Structural.
- Creación de nuevas familias.
- Importación de topografía del terreno de CAD a Revit.
- Colocación de accesos y conexiones estructurales en Revit.

Dr. Sadoth Fabian Huerta Loera

R.P.E. 89522

Jefe Inmediato

Prestador del Servicio Social


Nombre, puesto y firma

Jefe Departamento Ingeniería
Civil

Nombre y firma

c.c.p. Delegado Sindical.
Estudiante.

P-1008-002-R03-GC4-02-C



**Reporte mensual de actividades de Prácticas Profesionales, Servicio Social,
Residencias o Estadías Profesionales**

Reporte Número: 4 de 4

Expediente No. 09 / RP-25

Del 17 de junio al 21 de julio de 2025

Nombre: Anthoni Bautista Flores.

Profesión: Ingeniería Civil.

Escuela: Instituto Tecnológico de Apizaco.

Matrícula: 19370208.

Periodo: 4 meses, comprendidos del 17/03/2025 al 21/07/2025

Área asignada: Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos / Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos

Horario: 9:00 a 14:30 hrs., de lunes a viernes

Total de horas: 500 Horas

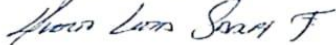
Actividades:

- Revisión de perfiles mediante cálculos manuales comprobando los resultados del programa Autodesk Robot Structural.
- Vinculación de modelo de emplazamiento a proyecto actual.
- Creación de detalles de los elementos estructurales mediante Revit.
- Documentación BIM de vistas, secciones y planos finales.

Dr. Sadoth Fabian Huerta Loera

R.P.E. 89522

Jefe Inmediato




Nombre, puesto y firma



c.c.p. Delegado Sindical.
Estudiante

Prestador del Servicio Social


Nombre y firma

Anexo C. Carta de Termino de la empresa



Dirección de Administración
Subdirección de Recursos Humanos
Coordinación de Desarrollo del Capital Humano
Subgerencia de Administración de la Capacitación
Oficio N° CDCH /SAC/0158/2025
Ciudad de México, a 24 de julio de 2025
Asunto: Terminación Residencias Profesionales

MARÍA VALERIA MONTIEL MÁRQUEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
PRESENTE

Por medio del presente hago de su conocimiento que el estudiante, cuyos datos aparecen al calce, ha terminado sus actividades de RESIDENCIAS PROFESIONALES en forma satisfactoria en esta institución:

NOMBRE:	Anthoni Bautista Flores.
CARRERA:	Ingeniería Civil.
ESCUELA:	Instituto Tecnológico de Apizaco.
No. CONTROL:	19370208.
PERÍODO:	4 meses, comprendidos del 17/03/2025 al 21/07/2025.
ÁREA ASIGNADA:	Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos / Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos.
HORARIO:	09:00 a 14:30 hrs., de lunes a viernes.
TOTAL DE HORAS:	500 Horas.
ACTIVIDADES:	-Apoyo para crear proyectos arquitectónicos completos en el Programa REVIT. -Apoyo en la modificación de elementos mediante el programa REVIT. -Apoyo para diseñar y editar componentes BIM -Apoyo para trabajar con masa paramétricas; de acuerdo con el proyecto: "Modelación REVIT Interfaces casa de máquinas".

Aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

LIC. J. JESÚS MOSQUEDA SÁNCHEZ
SUBGERENTE DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACITACIÓN



Copia digital para: LAE. Isabel Cristina González Martínez, Encargada del Departamento de Normatividad y Apoyos a la Formación.

AAGI/RBA/CGM/JJMS



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Cuauhtémoc 536, 1er. Piso, Col. Narvarte Poniente, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03020,
Ciudad de México, Tel. (55)5229-44-00 Extensión: 83766

1/1

Anexo D. Carta de no inconveniencia



Dirección de Administración
Subdirección de Recursos Humanos
Coordinación de Desarrollo del Capital Humano
Subgerencia de Administración de la Capacitación
Oficio N° CDCH/SAC/0328/2025
Ciudad de México, a 04 de septiembre de 2025
Asunto: Carta de no inconveniencia

MARÍA VALERIA MONTIEL MÁRQUEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
PRESENTE

Por medio de la presente, se hace constar que el C. Bautista Flores Anthoni, alumno del Instituto Tecnológico de Apizaco, de la carrera de Ingeniería Civil y con número de control 19370208, ha concluido satisfactoriamente su Proyecto de Residencia Profesional y aspira a obtener el título profesional presentando el informe del proyecto denominado "Modelación REVIT Interfaces casa de máquinas", que realizó en esta empresa, en la Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos, de la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos, en el período comprendido del 17 de marzo de 2025 al 21 de julio de 2025.

Se extiende la presente Carta de No Inconveniencia, para que el informe del proyecto de residencia profesional "Modelación REVIT Interfaces casa de máquinas" sea utilizado por el C. Anthoni Bautista, únicamente ante el Instituto Tecnológico de Apizaco y para los fines de titulación antes mencionados.

Aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

LIC. J. JESÚS MOSQUEDA SÁNCHEZ
SUBGERENTE DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACITACIÓN
Comisión Federal de Electricidad®
COORDINACIÓN DE DESARROLLO
DEL CAPITAL HUMANO



Copia digital para: LAF. Isabel Cristina González Martínez, Encargada del Departamento de Normatividad y Apoyos a la Formación.

AAGI/RBA/CGHA/CGM/JJMS

1/1



Av. Cuauhtémoc 536, 1er. Piso, Col. Narvarte Poniente, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03020,
Ciudad de México, Tel. (55)5229-44-00 Extensión: 83766