

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS MODULARES PARA DISMINUIR LOS
TIEMPOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SALAS ELÉCTRICAS EN UNA
EMPRESA METALMECÁNICA-ELÉCTRICA DE LIMA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO

AUTOR
ERICK MARTIN MANRIQUE ROBLES

ASESOR
MSC. ING. PABLO MAMANI CALLA

LINEA DE INVESTIGACIÓN: SISTEMA DE CONTROL DE LA
PRODUCCIÓN

Callao, 2023
PERÚ

Document Information

Analyzed document	Informe Final de Tesis - MANRIQUE ROBLES.docx (D176684515)
Submitted	10/23/2023 7:48:00 PM
Submitted by	
Submitter email	investigacion.fime@unac.pe
Similarity	1%
Analysis address	investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Proyecto de grado Nayra Telleria.pdf Document Proyecto de grado Nayra Telleria.pdf (D135954978)	 2
W	URL: https://blog.structuralia.com/memoria-calculo-estructural#:~:text=Una%20memoria%20de%20c%C3%A1... Fetched: 10/23/2023 7:48:00 PM	 1
SA	TSP_CARRANZA CARRANZA JORGE MANUEL_v1.docx Document TSP_CARRANZA CARRANZA JORGE MANUEL_v1.docx (D108986791)	 1
SA	TESIS -OBREGÓN ORTIZ KATIA FÁTIMA.pdf Document TESIS -OBREGÓN ORTIZ KATIA FÁTIMA.pdf (D77299543)	 2

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
"IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS MODULARES PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SALAS ELÉCTRICAS EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA-ELÉCTRICA DE LIMA" TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO
AUTOR:
ERICK MARTIN MANRIQUE ROBLES ASESOR:
MSC. ING. PABLO MAMANI CALLA CIP. 32638
PABLO MAMANI CALLA
LINEA DE INVESTIGACIÓN: SISTEMA DE CONTROL DE LA PRODUCCIÓN Callao,2023
ERICK MANRIQUE ROBLES PERU
INFORMACIÓN BÁSICA FACULTAD: Ingeniería mecánica y de energía
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:
FIME UNAC
TÍTULO:
"implementación de sistemas modulares para disminución los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica-eléctrica de lima"
AUTOR/ CODIGO ORCID /DNI :

**ACTA N° 144 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

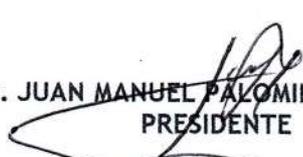
**LIBRO 001 FOLIO N° 170 ACTA N° 144 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO
TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO.**

A los 28 días del mes de octubre, del año 2023, siendo las 10:00 horas, se reunieron, en el auditorio "Ausberto Rojas Saldaña", el **JURADO EVALUADOR del I CICLO TALLER DE TESIS 2023** designado con RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD N° 163-2023-CF-FIME.- CALLAO, 14 DE AGOSTO DE 2023, para la obtención del **TÍTULO** profesional de **INGENIERO MECÁNICO** de la **Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

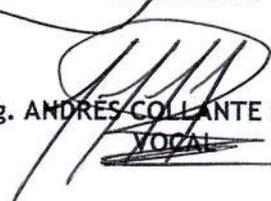
- | | | |
|-----------------------------------|---|------------|
| ▪ Dr. JUAN MANUEL PALOMINO CORREA | : | Presidente |
| ▪ Mg. JUAN CARLOS HUAMÁN ALFARO | : | Secretario |
| ▪ Mg. ANDRÉS COLLANTE HUANTO | : | Vocal |
| ▪ Dr. PABLO MAMANI CALLA | : | Asesor |

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **MANRIQUE ROBLES ERICK MARTIN**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, sustenta la tesis titulada **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS MODULARES PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SALAS ELÉCTRICAS EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA - ELÉCTRICA DE LIMA**", cumpliendo con la sustentación en acto público de acuerdo al Artículo 56° de la RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO N° 150-2023-CU.- CALLAO, 15 DE JUNIO DE 2023.

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **BUENO** en la escala de calificación cualitativa y con calificación cuantitativa de **15 (QUINCE)**, conforme a lo dispuesto en el Artículo 24° del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO N° 150-2023-CU.- CALLAO, 15 DE JUNIO DE 2023.


Dr. JUAN MANUEL PALOMINO CORREA
PRESIDENTE


Mg. JUAN CARLOS HUAMÁN ALFARO
SECRETARIO


Mg. ANDRÉS COLLANTE HUANTO
VOCAL


Dr. PABLO MAMANI CALLA
ASESOR

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD:

Ingeniería mecánica y de energía

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

FIME UNAC

TÍTULO:

“Implementación de sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica-eléctrica de Lima”

AUTOR/ CÓDIGO ORCID /DNI:

Erick Martin Manrique Robles / ORCID: 0009-0004-0319-9745 / DNI:45847244.

ASESOR Y COASESOR/ CODIGO ORCID /DNI:

Asesor: Pablo Mamani Calla / ORCID:0000-0002-6835-0213 / DNI:258113662

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Empresa del sector metalmecánico-eléctrico de Lima.

UNIDAD DE ANÁLISIS:

Salas Eléctricas

TIPO/ENFOQUE/ DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

Aplicada / Cuantitativo / Experimental

TEMA OCDE:

Ingeniería, Tecnología – Ingeniería Mecánica

DEDICATORIA

A mis padres, por todo el gran sacrificio y apoyo incondicional, además de ser el motivo principal de mis fuerzas para ser un buen profesional y mejor persona cada día

ÍNDICE

ÍNDICE	1
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ECUACIONES	11
INDICE DE ABREVIATURAS	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Descripción de la realidad problemática	18
1.2. Formulación del problema	21
1.2.1. Problema General	21
1.2.2. Problemas Específicos	21
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo General	21
1.3.2. Objetivos Específicos	22
1.4. Justificación	22
1.5. Delimitantes de la investigación	23
1.5.1. Delimitación Teórica:	23
1.5.2. Delimitación Temporal:	23
1.5.3. Delimitación Espacial:	24
II. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes	25
2.1.1. Antecedentes internacionales	25

2.1.2.	Antecedentes nacionales	27
2.2.	Bases teóricas	29
2.2.1.	Resistencia de materiales	29
2.2.2.	Mecánica de estructuras	31
2.2.3.	Método LRFD	31
2.2.4.	Software aplicado	33
2.2.5.	Normativas	34
2.2.6.	Tipos de cargas	35
2.2.7.	Combinaciones de cargas	46
2.2.8.	Diseño según AISC 360	48
2.3.	Marco Conceptual	56
2.3.1.	Diseño Estructural	56
2.3.2.	Sistemas modulares	58
2.3.1.	Salas Eléctricas	62
2.3.1.	Tiempo de fabricación y montaje	64
2.4.	Definición de términos básicos	67
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	69
3.1.	Hipótesis	69
3.1.1	Operacionalización de variable	71
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO	72
4.1	Diseño metodológico	72
4.1.1	Enfoque de investigación	72
4.1.2	Tipo de investigación	72
4.1.3	Nivel de investigación	73
4.1.4	Diseño de investigación	73
4.2	Método de investigación	74

4.3	Población y muestra.....	75
4.3.1	Población.....	75
4.3.2	Muestra	75
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	75
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de información	76
4.5.1.	Técnica para la recolección de la información.....	77
4.5.2.	Instrumentos de recolección de información	77
4.6	Análisis y procesamiento de datos.....	78
4.6.1.	Desarrollo del trabajo de investigación	78
4.7	Aspectos Éticos en Investigación.....	172
V.	RESULTADOS.....	173
5.1	Resultados descriptivos	173
-	Diseño Estructural Funcional	173
-	Fabricación	174
-	Montaje.....	175
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	177
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	177
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	185
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes	188
VII.	CONCLUSIONES	189
VIII.	RECOMENDACIONES	192
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	193
X.	ANEXOS	199
	Anexo 1. Matriz de consistencia.....	199
	Anexo 2. Instrumento	202
	Anexo 3. Instrumentos validados	203

Anexo 4. Base de datos	206
- Detalles de diseño de perfiles más exigidos en izaje	206
- Desplazamientos de nodos en condición de izaje	212
- Detalles de diseño de perfiles más exigidos en operación	215
- Desplazamientos de nodos en condición de operación.....	222
- Reacciones en los nodos	227
Anexo 5. Directiva N 010-2005.....	232

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Etapas principales para el análisis de estructuras	31
Tabla 2-2 Tipos de techos	36
Tabla 2-3 Factor de zona.....	39
Tabla 2-4 Factor de suelo	41
Tabla 2-5 Tabla de períodos.....	41
Tabla 2-6 Tabla de categoría de las edificaciones	43
Tabla 2-7 Tabla de sistemas estructurales.....	44
Tabla 3-1 Operacionalización de variable	71
Tabla 4-1 Composición del sistema de aislamiento.	84
Tabla 4-2 Peso sistema de aislamiento techo.....	84
Tabla 4-3 Dimensiones tubo rectangular de 3"x2"	87
Tabla 4-4 Dimensiones de tubo 4"x4"	91
Tabla 4-5 Composición de vigas secundarias.....	93
Tabla 4-6 Cargas de aislamiento térmico.	93
Tabla 4-7 Pesos de equipamiento	98
Tabla 4-8 Tabla Periodos.....	100
Tabla 4-9 Mapa eólico de Perú.....	104
Tabla 4-10 Factores de forma.....	105
Tabla 4-11 Combinaciones de cargas en operación	107
Tabla 4-12 Reacciones durante izaje	115
Tabla 4-13 Límites para la distorsión del entrepiso.....	126
Tabla 4-14 Desplazamientos de cumbrera con carga de sismo.	127
Tabla 4-15 Resumen de Tracción y corte.....	128
Tabla 4-16 Personal mecánico	132
Tabla 4-17 Modulo izquierdo.	139
Tabla 4-18 Modulo derecho	139
Tabla 4-19 Módulo izquierdo techo	143
Tabla 4-20 Módulo derecho techo.	144
Tabla 4-21 Colocación de techo modulo izquierdo.	148
Tabla 4-22 Unión de módulos.....	160
Tabla 4-23 Materiales metálicos de sala eléctrica.....	162

Tabla 4-24 Paredes de sala eléctrica	163
Tabla 4-25 Techo de sala eléctrica.....	164
Tabla 4-26 Otros gastos de sala eléctrica	165
Tabla 4-27 Manos de obra.....	166
Tabla 4-28 Equipos y herramientas.....	167
Tabla 4-29 Protección Superficial - Pintura	167
Tabla 4-30 Servicios terceros.	168
Tabla 4-31 Resumen costo de estructura.....	169
Tabla 4-32 Resumen de costo total.....	170
Tabla 6-1 Cálculo de derivas para dirección X e Y	181
Tabla 6-2 Días trabajados en el proceso de fabricación	182
Tabla 6-3 Tabla de resumen de días trabajos de fabricación.	182
Tabla 6-4 Tabla de resumen de tiempos de construcción de sala.....	183
Tabla 6-5 Días trabajados.....	184
Tabla 6-6 Porcentaje de reducción de tiempo.....	184
Tabla 6-7 Fabricación y montaje	184
Tabla 6-8 Porcentaje de reducción de tiempo.....	185
Tabla 10-1 Matriz de consistencia	199
Tabla 10-2 Ficha de registro de campo.....	202

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Fuerzas externas e internas de un cuerpo sólido	30
Figura 2-2 SAP 2000	33
Figura 2-3 Mapa de zonificación sísmica	38
Figura 2-4 Módulo de acero.....	60
Figura 2-5 Módulo prefabricado de hormigón	61
Figura 2-6 Módulos de madera.....	62
Figura 4-1 Esquema del diseño de investigación.....	74
Figura 4-2 Área de planta de fabricación.....	76
Figura 4-3 Ubicación de la planta de fabricación	76
Figura 4-4 Análisis y procesamiento de datos.....	78
Figura 4-5 Vista isométrica y lateral de diseño.....	79
Figura 4-6 Cargas a la que está sometido el perfil.....	81
Figura 4-7 Diagrama de momentos sobre perfil.	81
Figura 4-8 Vista isométrica y lateral de la estructura de techo interno	83
Figura 4-9 Detalle de sistema de aislamiento de techo.....	83
Figura 4-10 Cargas a la que está sometido el perfil.....	86
Figura 4-11 Diagrama de momentos sobre perfil.	86
Figura 4-12 Pre-dimensionamiento de perfil para apoyo de cargas internas en el techo.....	88
Figura 4-13 Cargas a la que está sometido el perfil peso de correas.....	90
Figura 4-14 Diagrama de momentos sobre el perfil.	90
Figura 4-15 Sistema de aislamiento en plataforma base.	92
Figura 4-16 Cargas a la que está sometido las vigas secundarias.....	95
Figura 4-17 Diagrama de momento sobre perfil vigas secundarias.....	95
Figura 4-18 Combinaciones de carga.....	96
Figura 4-19 Zona sísmica	99
Figura 4-20 Factor de suelo "S"	100
Figura 4-21 Velocidad de diseño de viento.	106
Figura 4-22 Casos y combinaciones de cargas.	106
Figura 4-23 Definición de combinaciones.....	107
Figura 4-24 Carga muerta de equipos.....	109

Figura 4-25 Carga viva	110
Figura 4-26 Carga de sismo	111
Figura 4-27 Masa sísmica.....	111
Figura 4-28 Velocidad de diseño.	112
Figura 4-29 Carga de viento en "x"	112
Figura 4-30 Carga de viento en "Y"	113
Figura 4-31 Diseño estructural de izaje.....	114
Figura 4-32 Diagrama de demanda / capacidad (ratios)en izaje.	114
Figura 4-33 Reacciones durante izaje de modulo.	115
Figura 4-34 Esquema de deflexiones	116
Figura 4-35 Distribución de nodos de izaje.	117
Figura 4-36 Esquema general en condición de operación.....	118
Figura 4-37 Diagrama de demanda/capacidad (ratios)en operación.....	119
Figura 4-38 Diagrama de resultados demanda/capacidad de perfiles de plataforma base	120
Figura 4-39 Esquema de deflexiones	121
Figura 4-40 Distribución de nodos en condición de operación	122
Figura 4-41 Flecha máxima en la viga secundaria.....	122
Figura 4-42 Flecha máxima en la viga principal	122
Figura 4-43 Flecha máxima para elementos estructurales.	124
Figura 4-44 Diseño por rigidez.	125
Figura 4-45 Desplazamiento de cumbrera con carga de viento.....	126
Figura 4-46 Desplazamientos de cumbrera con carga de sismo.	127
Figura 4-47 Resistencia de pernos de unión de módulos.	128
Figura 4-48 Diagrama de proceso de fabricación	132
Figura 4-49 Perfiles tubulares granallados.....	134
Figura 4-50 Perfil viga pintada con pintura base.	134
Figura 4-51 Proceso de fabricación en plataforma base.....	135
Figura 4-52 Viga habilitada.....	136
Figura 4-53 Armado de plataforma base.	137
Figura 4-54 Soldeo de plataforma base.	138
Figura 4-55 Plancha de piso, soldada, resanada y pintada	138

Figura 4-56 Estructura de techo de armado y soldado	140
Figura 4-57 Estructura de techo en proceso de armado y soldado.	141
Figura 4-58 Colocación de fibrosilicato en estructura de techo.	141
Figura 4-59 Planchas de fibrosilicato.....	142
Figura 4-60 Colocación de lana mineral en techo	142
Figura 4-61 Lana mineral.....	143
Figura 4-62 Proceso de colocación de techo	145
Figura 4-63 Colocación de columnas en plataforma base	146
Figura 4-64 Izaje de estructura techo.....	146
Figura 4-65 Izaje de estructura de techo.....	147
Figura 4-66 Izaje de estructura techo.....	147
Figura 4-67 Colocación de techo modulo izquierdo	148
Figura 4-68 Resumen fabricación módulo izquierdo.....	149
Figura 4-69 Resumen fabricación módulo derecho.....	150
Figura 4-70 Diagrama de bloques y montaje	151
Figura 4-71 Unión de módulos / Colocación de cobertura sala eléctrica.....	151
Figura 4-72 Vista de planta de módulos e izaje para unión con grúa.....	153
Figura 4-73 Vista lateral de módulo e izaje para unión con grúa.....	153
Figura 4-74 Módulos unidos	154
Figura 4-75 Colocación de paneles externos.....	155
Figura 4-76 Colocación de paneles externos y soldeo.	156
Figura 4-77 Colocación de lana mineral en paredes.....	156
Figura 4-78 Colocación de lana mineral en paredes.....	157
Figura 4-79 Colocación de fibrosilicato y paneles de cobertura interna (detalle de unión de módulos).....	157
Figura 4-80 Paredes con cobertura incluida interna.....	158
Figura 4-81 Vista externa de sala eléctrica	158
Figura 4-82 Vista externa de sala eléctrica	159
Figura 4-83 Vista interna de sala eléctrica con paredes pintadas.....	159
Figura 4-84 Montaje módulos unidos.	161
Figura 6-1 Diagrama de demanda/capacidad (ratios) en operación.....	178
Figura 6-2 Diagrama de demanda/capacidad (ratios) en izaje.	178

Figura 6-3 Esquema de deflexiones en operación.....	180
Figura 6-4 Esquema de deflexiones.....	180
Figura 10-1 Certificado de validez del instrumento.....	203
Figura 10-2 Certificado de validez del instrumento (continuación).....	204
Figura 10-3 Certificado de validez del instrumento (continuación).....	205
Figura 10-4 Detalle del diseño del perfil W10x26.....	206
Figura 10-5 Detalle del diseño del perfil C10x20.....	207
Figura 10-6 Detalle del diseño del perfil W10x15.....	208
Figura 10-7 Detalle del diseño del perfil tubo HSS 4"x4"x3/16".....	209
Figura 10-8 Detalle de diseño del perfil tubo HSS 6"x4"x3/16".....	210
Figura 10-9 Detalle del diseño del perfil ángulo 3"x3"x1/4".....	211
Figura 10-10 Desplazamiento en los nodos.....	212
Figura 10-11 Desplazamiento en los nodos (continuación).....	213
Figura 10-12 Desplazamiento en los nodos. (continuación).....	214
Figura 10-13 Detalle del diseño del perfil W12x26.....	215
Figura 10-14 Detalle del diseño del perfil W10x22.....	216
Figura 10-15 Detalle del diseño del perfil HSS 4"x4"x3/16.....	217
Figura 10-16 Detalle del diseño del perfil HSS doble 6" 4" x 3/16".....	218
Figura 10-17 Detalle del diseño del perfil HSS doble 4"x4"x3/16".....	219
Figura 10-18 Detalle del diseño del perfil HSS 3"x2"x3/16".....	220
Figura 10-19 Detalle del diseño del perfil HSS 3"x2"x3/16".....	221
Figura 10-20 Desplazamiento de nodos en operación.....	222
Figura 10-21 Desplazamiento de nodos en operación (continuación).....	223
Figura 10-22 Desplazamiento de nodos en operación. (continuación).....	224
Figura 10-23 Desplazamiento de nodos en operación (continuación).....	225
Figura 10-24 Desplazamiento de nodos en operación (continuación).....	226
Figura 10-25 Reacciones en los nodos.....	227
Figura 10-26 Reacciones en los nodos(continuacion).....	228
Figura 10-27 Reacciones en los nodos (continuación).....	229
Figura 10-28 Reacciones en los nodos (continuación).....	230
Figura 10-29 Reacciones en los nodos (continuación).....	231
Figura 10-30 Tabla de dimensionamiento.....	232

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1 Ecuación general de diseño con el metodo LRFD	32
Ecuación 2-2 Ecuación de velocidad diseño de viento	37
Ecuación 2-3 Ecuación de carga exterior de viento	37
Ecuación 2-4 Periodo fundamental de vibración	42
Ecuación 2-5 Factor de ampliación sísmica	43
Ecuación 2-6 Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas	45
Ecuación 2-7 Fuerza cortante en la base	46
Ecuación 2-8 Diseño de compresión	48
Ecuación 2-9 Elementos no esbeltos	49
Ecuación 2-10 Pandeo Inelástico	49
Ecuación 2-11 Pandeo Elástico	49
Ecuación 2-12 Esbeltez de columna	49
Ecuación 2-13 Diseño por flexo compresión	50
Ecuación 2-14 Momento Nominal.....	51
Ecuación 2-15 Momento plástico.....	51
Ecuación 2-16 Resistencia al esfuerzo cortante	52
Ecuación 2-17 Pretensión mínima especificada del tornillo	54
Ecuación 2-18 Resistencia Nominal de los pernos en Tracción (LRFD)	55
Ecuación 2-19 Resistencia Nominal de los pernos en cortante (LRFD)	55
Ecuación 2-20 Interacción tracción / corte.....	55
Ecuación 4-1 Ecuación del momento máximo.	81
Ecuación 4-2 Momento máximo	82
Ecuación 4-3 Modulo plástico	82
Ecuación 4-4 Ecuación de peso de correas	89
Ecuación 4-5 Combinación de carga.....	89
Ecuación 4-6 Ecuación de periodo de vibración	100
Ecuación 4-7 Ecuación 1 de factor de ampliación sísmica	101
Ecuación 4-8 Ecuación 2 de factor de ampliación sísmica.	101
Ecuación 4-9 Ecuación 3 de factor de ampliación sísmica.	101
Ecuación 4-10 Ecuación del coeficiente de reducción	103

Ecuación 4-11 Ecuación carga exterior de viento.	105
Ecuación 4-12 Carga de servicios para deflexiones en operación.	108
Ecuación 4-13 Combinaciones de carga para diseño en izaje.	108
Ecuación 4-14 Carga de servicio para deflexiones en izaje.....	108
Ecuación 4-15 Ecuación Fuerza cortante basal	110
Ecuación 4-16 Ecuación del área del perno.....	129
Ecuación 4-17 Resistencia de ruptura en tracción.	129
Ecuación 4-18 Resistencia de ruptura en corte.....	129
Ecuación 4-19 Interacción tracción - corte	130
Ecuación 4-20 Resistencia de ruptura en tracción.	130
Ecuación 4-21 Interacción tracción - corte	131

INDICE DE ABREVIATURAS

MTC: Ministerio de transporte y comunicaciones

FRP: Fiber Reinforced Polymer (Plástico reforzado con fibras)

SAC: Sociedad anónima cerrada

PMBOK: Project Management Body of Knowledge (Cuerpo de conocimientos en dirección de proyectos)

LRFD: Load and Resistance Factor Design (Diseño por factores de carga y resistencia)

AISC: American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de Construcción en Acero)

NTP : Norma técnica peruana

ASD: Allowable Stress Desing (Diseño por Tensión Permisible)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)

SMAW: Shielded Metal Arc Welding (Soldadura por Arco con Electrodo Revestido)

GMAW: Gas Metal Arc Welding (Soldadura por Arco con Gas Protector)

RF: Resistencia al Fuego

OMF: Ordinary Moment Frame (Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos)

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

RESUMEN

El propósito del presente trabajo de investigación fue implementar la metodología de trabajo de sistemas modulares en la fabricación de salas eléctricas en una empresa del rubro metalmecánico-eléctrico, con el fin de contar con un proceso de fabricación alternativo para este tipo de estructuras.

Por lo tanto, la importancia de esta implementación radicó en la disminución del tiempo requerido para la fabricación de una sala eléctrica de 22.5 metros de longitud. Esto fue posible al dividir la estructura en dos módulos, lo que permitió trabajar en paralelo en ambas estructuras.

La metodología de la investigación fue de tipo tecnológica, de nivel aplicada, con un enfoque cuantitativo y de diseño experimental. La muestra estuvo compuesta por los tiempos de construcción de cinco salas eléctricas con características similares en dimensiones. La técnica utilizada para la recolección de datos fue documental y se empleó el programa MS Excel como instrumento. Además, el diseño de la estructura se realizó con la ayuda del programa SAP 2000.

Los resultados de la investigación fueron considerados satisfactorios, ya que se logró reducir el tiempo de fabricación de la estructura al dividirla en dos módulos de 11.25 metros de largo cada uno, en comparación con el tiempo que habría tomado fabricar la estructura en un solo módulo de 22.5 metros de largo. Esto se logró en comparación con los tiempos requeridos para fabricar la estructura en un solo módulo

Palabras clave: sistemas modulares, salas eléctricas, módulos

ABSTRACT

The purpose of this research work was to implement the work methodology of modular systems in the manufacture of electrical rooms in a company in the metal-mechanical-electrical sector, to have an alternative manufacturing process for this type of structures.

Therefore, the importance of this implementation lay in the reduction of the time required for the manufacture of a 22.5-meter-long electrical room. This was possible by dividing the structure into two modules, which allowed working in parallel on both structures.

The research methodology was technological, applied level, with a quantitative approach and experimental design. The sample was composed of the manufacturing times of five electrical rooms with similar dimensional characteristics. The technique used for data collection was documentary and the MS Excel program was used as an instrument. In addition, the design of the structure was carried out with the help of the SAP 2000 program.

The results of the investigation were considered satisfactory, since it was possible to reduce the manufacturing time of the structure by dividing it into two modules each 11.25 meters long, compared to the time it would have taken to manufacture the structure in a single module. 22.5 meters long. This was achieved in comparison to the times required to manufacture the structure in a single module.

Keywords: modular systems, electrical rooms, modules.

Keywords: modular systems, electrical rooms, modules.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, Perú ha experimentado un notable aumento en su industria minera, consolidándose como uno de los pilares fundamentales de la economía nacional. Según cita Amchamnews (2023), el sector minero peruano ha experimentado un crecimiento sostenido en este año. Este sector no solo contribuye significativamente a los ingresos del país, sino que también desempeña un papel crucial en su desarrollo económico y social.

Sin embargo, en este sector, la eficiencia en la fabricación y montaje de salas eléctricas es esencial para garantizar la operatividad de las operaciones mineras. Como señala Peter Drucker (2014), "eficiencia es hacer las cosas correctamente y efectividad es hacer lo que es correcto". En este contexto, la implementación de sistemas modulares se vislumbra como una estrategia esencial para abordar estos desafíos.

La eficiencia en la fabricación y montaje de salas eléctricas se erige como un elemento clave para garantizar la operatividad de las operaciones mineras, así como la seguridad de los trabajadores y la sostenibilidad ambiental. La implementación de sistemas modulares se presenta como una solución innovadora para abordar estos retos. Estos sistemas permiten la construcción de salas eléctricas en módulos prefabricados, que pueden ser ensamblados en el sitio de manera más rápida y eficiente que los métodos tradicionales de construcción.

En el presente trabajo, se tuvo como objetivo implementar sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima en el año 2023. Se utilizó una metodología cuantificable mediante la recopilación de datos numéricos en relación con la eficiencia de los sistemas modulares en términos de tiempos de fabricación y montaje.

A lo largo de este trabajo se desarrollarán seis capítulos que abarcarán desde el planteamiento del problema hasta las conclusiones y recomendaciones. La estructura del estudio se basa en una sólida fundamentación teórica, apoyada por la investigación empírica y el análisis de resultados. En cada etapa, se busca aplicar principios de ingeniería que garanticen la fiabilidad y validez de los hallazgos obtenidos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial, se estimó un crecimiento significativo en el consumo de energía eléctrica en el sector minero, y un ejemplo cercano a este fenómeno se observó en Chile. Según la comisión chilena de cobre en proyecciones, se esperaba que el consumo de electricidad en Chile aumentara de 23.5 Tera vatios - hora (TWh) en 2022 a 32.8 TWh en 2033, lo que representaba un incremento del 39.5%. Según Cochilco, esto contrastaba con un aumento del 23.1% en la producción de cobre durante el mismo período. El aumento en el consumo eléctrico se debía principalmente al alto gasto energético en el proceso de concentración, estimándose que para el año 2033, este proceso consumiría 21.7 TWh, equivalente al 66.1% de la electricidad utilizada en el sector. (2023)

En este contexto de creciente demanda de energía eléctrica, es esencial contar con instalaciones adecuadas para albergar y proteger los equipos eléctricos necesarios. Estas instalaciones son conocidas como salas eléctricas, y debido a la creciente cantidad de equipos eléctricos involucrados en estas operaciones, se requieren salas eléctricas de dimensiones cada vez mayores.

Dependiendo de la etapa del proyecto minero en curso, se requerirán equipos de diferentes funciones, tales como fuerza, control o protección. En este contexto, las salas eléctricas desempeñan un papel esencial al proporcionar el alojamiento necesario para estos equipos eléctricos. En ocasiones, la demanda de equipos eléctricos es tan significativa que las dimensiones de las salas eléctricas deben ser considerablemente amplias.

En Perú, se anticipa una inversión significativa de US\$6920 millones entre 2023 y 2024, impulsada por la implementación de seis nuevos proyectos mineros, según Vera en datos del Ministerio de Energía y Minas. Este crecimiento en la industria conlleva la necesidad imperante de asegurar un suministro energético adecuado en las ubicaciones específicas donde se llevarán a cabo estas actividades. (2023)

Se sabe que la electricidad desempeña un papel de suma importancia en todas las facetas de la industria minera, como lo menciona la Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y el Diagnóstico Energético del Ministerio de Energía y Minas, de acuerdo con el Balance Nacional de Energía Útil, indica que el consumo de energía eléctrica constituye un 67% del total de fuentes de energía empleadas en el sector minero. (Ministerio de Energía y Minas, 2023)

Siendo así, la responsabilidad de fabricar estas estructuras de salas eléctricas y la implementación de los equipos recae en empresas especializadas en el ámbito metalmecánico - eléctrico. Estas empresas suelen estar ubicadas a cierta distancia de los proyectos mineros, lo que les obliga a cumplir con directrices que establecen las dimensiones máximas permitidas para el transporte de estructuras por las carreteras de Perú, según lo establecido por el MTC (Ministerio de Transporte y comunicaciones, 2005)

Sin embargo, surge un desafío cuando la fabricación estándar de las salas eléctricas implica la construcción de estructuras de un solo cuerpo. Para abordar este desafío y competir de manera efectiva en este entorno, es fundamental que estas empresas mejoren su eficiencia operativa. Sorprendentemente, muchas de ellas aún no han adoptado sistemas modulares en su proceso de fabricación de salas eléctricas, en parte debido a la falta de conocimiento sobre los beneficios que conlleva esta metodología. En este proyecto, el problema radicó en la falta de implementación de sistemas modulares para la fabricación de salas eléctricas en las empresas

del rubro metalmecánico - eléctrico en Lima. La empresa ganó la licitación para la fabricación e implementación de equipos por parte de la unidad minera El Brocal, la cual requirió la fabricación de una sala eléctrica de 22.5m de largo por 3.8m de ancho, para cumplir con dichos requerimientos hoy en día se emplea fabricación de un solo cuerpo lo cual genera tiempos de fabricación prolongados, limita la adaptabilidad de las estructuras lo que puede resultar en problemas de calidad y peso excesivo además de que existen normativas de transporte que impiden llevar estructuras con las medidas solicitadas. Esta situación representa un desafío significativo para la competitividad de la empresa, especialmente ante la demanda de entregas rápidas y eficientes por parte de los clientes.

Las causas de esta problemática incluyen el desconocimiento de los beneficios y aplicaciones de los sistemas modulares, así como la resistencia al cambio por parte del personal involucrado en los procesos de fabricación de salas eléctricas.

En un entorno donde los tiempos de entrega de proyectos son cada vez más reducidos, es esencial abordar estas causas y adoptar enfoques más eficientes, las consecuencias de no implementar sistemas modulares incluyen tiempos de fabricación prolongados, lo que retrasa la entrega de proyectos y afecta la satisfacción del cliente. Además, se requiere más tiempo y esfuerzo para realizar tareas posteriores, lo cual puede generar disminuir la eficiencia en general, resultando en una desventaja competitiva para la empresa.

La adopción de sistemas modulares en la fabricación de salas eléctricas puede brindar ventajas significativas, como la reducción de los tiempos de producción. En un entorno competitivo como este, es crucial que las empresas reconozcan la importancia de implementar procesos más eficientes para asegurar su éxito en la licitación de proyectos de salas eléctricas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo implementar sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cómo realizar un diseño estructural funcional que permita iniciar la implementación de sistemas modulares para la disminución de los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima?

¿Cómo seleccionar los procesos de fabricación de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima?

¿Cómo establecer el montaje de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

1.3.2. Objetivos Específicos

Realizar un diseño estructural funcional que permita iniciar la implementación de sistemas modulares para la disminución de los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima

Seleccionar los procesos de fabricación de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

Establecer el montaje de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

1.4. Justificación

De acuerdo con Fidias, indica que un estudio se respalda con justificación práctica cuando su avance colabora en la resolución de un problema o, al menos, propone estrategias cuya implementación puede contribuir a solucionarlo (2012, pág. 42).

En ese sentido la justificación de esta tesis se basa en la necesidad de abordar los desafíos la implementación de sistemas modulares en la fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa del sector metalmecánico - eléctrico de Lima. Al elegir esta empresa como caso de estudio, se busca obtener información relevante y aplicable a la realidad específica del sector. La implementación de sistemas modulares en esta empresa permitirá mejorar su eficiencia, competitividad y adaptabilidad, satisfaciendo las demandas del mercado. Además, los resultados de esta investigación contribuirán a enriquecer el conocimiento en el ámbito de los sistemas modulares en el sector metalmecánico-eléctrico de Lima.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Delimitación Teórica:

Según Carrasco la delimitación teórica se refiere a organizar en secuencia lógica los temas que forman parte del marco teórico, así como las variables del problema (2012, pág. 4).

En esta perspectiva, la investigación se basará en el marco conceptual y teórico relacionado con los sistemas modulares, diseño, fabricación y montaje de salas eléctricas, además de conceptos relacionados. Se tomarán en cuenta teorías y enfoques relevantes para analizar la implementación de sistemas modulares en el contexto específico de una empresa del sector metalmecánico-eléctrico en Lima. En cuanto a los cálculos estructurales estos no abarcan los cálculos de anclaje de la sala a los pilotes de concreto pues esto es responsabilidad del área civil del proyecto minero, así mismo tampoco a los anclaje de equipos dentro y fuera de la sala puesto que estos no aportan información relevante en el estudio de mejoras de tiempo en la fabricación y montaje de la estructura de la sala eléctrica, ya que los trabajos de instalación de equipos internos y externos están bajo responsabilidad del contratista de electro-montaje y no del área de producción mecánica.

1.5.2. Delimitación Temporal:

Basado en Alfaro la delimitación temporal se refiere a la especificación o restricción de un periodo de tiempo dentro del cual se llevará a cabo el estudio. (2018, pág. 37)

En ese contexto, la delimitante temporal de esta investigación abarca el periodo comprendido entre 2021 al 2023. Durante este lapso, se recopilará y analizará información relevante sobre los tiempos de fabricación de salas eléctricas. Esta delimitación temporal permitirá examinar las condiciones y

desafíos específicos que afectaron los tiempos de fabricación en ese período, brindando así un contexto preciso para el estudio. Al centrarse en este rango temporal, se podrá realizar un análisis más detallado y pertinente de los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas en relación con los tiempos de fabricación de salas eléctricas en la empresa del sector metalmecánico-eléctrico en Lima.

1.5.3. Delimitación Espacial:

Según Gómez la delimitación espacial es utilizado en investigación y planificación para establecer límites o fronteras geográficas de un estudio o proyecto (2016, pág. 67)

Basado en lo anterior, la investigación se llevará a cabo en una empresa del sector metalmecánico-eléctrico ubicada en Lima, Perú. Se considerarán las particularidades de la industria en esta ubicación geográfica, así como las delimitaciones y oportunidades que pueden surgir en ese contexto específico. El análisis y las recomendaciones estarán centrados en el ámbito de la empresa y su entorno en Lima.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En esta investigación, se emplearon tanto estudios a nivel nacional como internacional como fuentes de referencia para respaldar la fundamentación teórica. A partir de diversas investigaciones, se obtuvieron conocimientos valiosos que sirvieron como guía en los aspectos relacionados con los temas de interés.

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Ignacio (2019) en su tesis **“Módulos adaptables para la industria y el trabajador minero”**, tuvo como objetivo generar construcciones modulares adaptables que se adecuen a las distintas fases del ciclo minero, funcionando como campamentos pioneros y también como complemento existente de campamentos de construcción y operación, aportando un espacio flexible en el tiempo, que posibilite distintos programas y configuraciones según cada campamento o usuario lo requiera.
- Sánchez (2021), en su tesis **“Diseño de un sistema estructural ligero prefabricable, modulable y desmontable para el soporte de una vivienda sustentable”**, para obtener el grado de maestría en ciencias de estructuras en la universidad autónoma de Querétaro, cuyo objetivo fundamental fue desarrollar un sistema que cumpliera con características clave, como ser ligero, prefabricable, modulable y desmontable, centrándose en unidades modulares individuales. Para el desarrollo de este trabajo se utilizó unidades modulares que permiten una construcción rápida debido al fácil montaje y desmontaje de unidades, la muestra utilizada para el desarrollo de este trabajo es el diseño de un sistema estructural de acero tipo vivienda sustentable de dos plantas compuesta

por un conjunto de 14 unidades modulares soportadas por columnas de esquina, los instrumentos para su validación son laptop personal, software para diseño y simulación, los resultados obtenidos respaldaron la factibilidad de crear y fabricar un sistema estructural en acero para el soporte de viviendas sustentables mediante el uso de unidades modulares individuales.

- Ravanal (2021), en su tesis “**Evaluación técnico económica para la construcción de sala eléctrica prefabricada en elementos de plástico reforzado con fibras**”, para obtener el título de ingeniero civil en la universidad de Chile, cuyo objetivo principal fue analizar la aplicabilidad, en la construcción de salas para equipamiento eléctrico, del uso de perfiles de plástico reforzado con fibras, para el desarrollo de esta comparativa se utiliza una estructura de acero destinada a conformar una sala eléctrica, la base de este diseño homólogo utilizando perfiles FRP tomando en cuenta las consideraciones originales, los instrumentos para su validación son laptop personal, software para diseño y simulación, los resultados, además de las condiciones revisadas para el diseño de sala en perfiles FRP, es una solución factible de analizar en condiciones especiales.

- Sunghoon Nam (2020), en su estudio titulado “**Optimization of prefabricated components in housing modular construction**” la investigación abordó el reto de optimizar el proceso de fabricación de componentes prefabricados en la construcción modular de viviendas. A través del análisis de diversas etapas del proceso y la identificación de relaciones entre ellas, se logró estandarizar el proceso de producción de módulos.

El estudio demostró que la incorporación de componentes prefabricados en la construcción modular no solo aumenta la eficiencia en la línea de producción, sino que también reduce los obstáculos y facilita una gestión más eficaz de la mano de obra en el lugar de trabajo

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Herrera (2022), en su tesis “**Generación del plan y control de calidad en la fabricación de salas eléctricas para proyecto Quellaveco**”, para optar el título de ingeniero mecánico en la universidad continental – Perú, cuyo objetivo fundamental fue cumplir con los requerimientos del cliente a su vez generar un plan y control de calidad en la fabricación de salas eléctricas para proyecto Quellaveco y presentar una estructura organizada de las actividades del control de la calidad en la fabricación. El diseño de la investigación será de tipo aplicativo; la muestra: la fabricación de salas eléctricas en Quellaveco; los instrumentos para su validación fueron contrato de obra, planos contractuales, lineamientos de calidad, seguridad, salud ocupacional y un plan de calidad. Los resultados obtenidos fueron las coordinaciones de actividades de control de calidad, ya que están basadas en el plan de calidad y el plan de puntos de inspección, que sirven para realizar el seguimiento por actividad constructiva durante el proyecto. Todos los procesos fueron realizados según normas y procedimientos que fueron aprobados por el cliente. Los registros de control de calidad sirvieron para garantizar y marcar cada hito de los requerimientos solicitados por el cliente.
- Berna (2022) , en su tesis “**Integración de sala eléctrica 2830 – ER-002 Anglo American Quellaveco**”, para obtener el título profesional de ingeniero electricista en la universidad continental – Perú, cuyo objetivo es desarrollar las actividades programadas en la integración de sala eléctrica 2830, cumpliendo satisfactoriamente con las exigencias en construcción, ingeniería y re ingeniería en los tiempos estimados, el diseño de la investigación será de tipo aplicativo, la muestra es la sala eléctrica 2830 – ER – 002, los resultados obtenidos fueron una sala diseñada para operar a una elevación de 3600 msnm, donde las condiciones climáticas son extremas.

- Melgar (2016), en su tesis **“Producción, transporte y montaje de edificaciones modulares para campamentos mineros”** para obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería Lima – Perú, cuyo objetivo fue el de mostrar los cálculos de estructura para el sistema en estudio. El autor concluyó que el uso de un sistema modular se presenta como una opción rápida y eficiente, ya que permite construir un edificio de 1384.95m² en tan solo 38 días laborables. Además, este enfoque reduce significativamente la necesidad de mano de obra en el sitio de construcción, utilizando solo 4360 horas hombre en el montaje, lo que equivale a una ratio de 3.76 hh/m². En contraste, si se empleara el sistema convencional para construir un edificio de la misma área, se requerirían aproximadamente 28700 horas hombre de trabajo en campo, con una ratio de 27.00 hh/m²

- Sucuytan (2016), **“Modelo de gestión de operaciones, para mejorar los procesos productivos de fabricación de salas eléctricas en la empresa Técnicas Metálicas Ingenieros SAC- 2015”** para optar el título de Administrador de empresas en la Universidad Tecnológica de Lima – Sur, cuyo objetivo es el de diseñar un modelo de gestión de la operaciones para mejorar los procesos productivos de la empresa Técnicas Metálicas ingenieros, el presente trabajo de investigación ha sido aplicado a la fabricación de una sala eléctrica, los instrumentos para su validación están comprendidas en un cuaderno de apuntes, observación directa, ante los incumplimientos con los plazos de entrega de los proyectos en la empresa Técnicas Metálicas Ingenieros SAC al llevar a cabo un modelo de gestión de fabricación en base al PMBOK se obtuvieron resultados satisfactorios, contando con un 2% de utilidades a favor con respecto a un proyecto de sala eléctrica de similares características.

- Aspilcueta (2021), en su tesis **“Plan de mejora en la optimización de recursos en el proceso de fabricación salas eléctricas para el proyecto ampliación Southern Toquepala”**, para obtener el título de

ingeniero industrial en la Universidad Católica de Santa María, cuyo objetivo principal es realizar una propuesta para la optimización de tiempos y establecer una estandarización en las actividades de fabricación de las estructuras metálicas , cerramientos y sistemas pluviales, se obtuvo como conclusión que al estandarizar las actividades de proceso de fabricación se ha logrado establecer una reducción de tiempos de entrega en 233 días de la sala eléctrica como la optimización de recursos utilizados en el proyecto; donde reorganizando el personal se obtiene el 77% de optimización en tiempos de trabajo.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Resistencia de materiales

La resistencia de materiales es muy importante en la ingeniería mecánica ya que se enfoca en el análisis y diseño de estructuras capaces de soportar distintos tipos de cargas y fuerzas externas evitando su deformación, según Cervera se encarga de determinar las tensiones y deformaciones que son reacciones a materiales bajo la influencia de fuerzas aplicadas (2015).

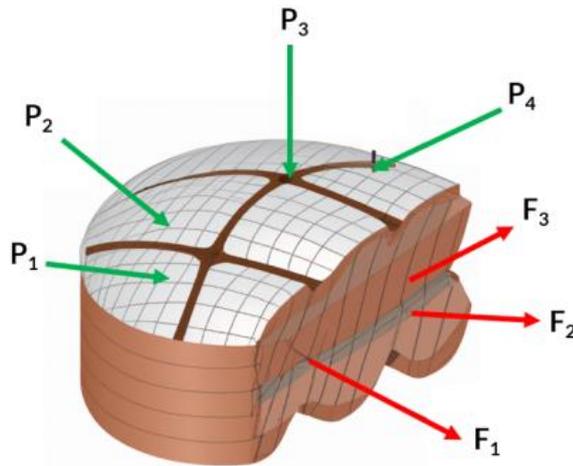
– Esfuerzo

Los esfuerzos en un elemento estructural se refieren a las fuerzas internas que experimenta el elemento cuando está sometido a cargas externas, pueden ser clasificadas por esfuerzos de tracción, compresión o flexión y afectan al material, ya que deforman o fracturan el elemento estructural.

Estas fuerzas son el resultado de las cargas externas que actúan sobre el cuerpo sólido (P_1) y las fuerzas internas (F_1) como menciona Guillermo que influyen sobre la fuerza normal como se representa en la siguiente Figura 2.1. Fuerzas externas e internas de un cuerpo sólido (2023).

El análisis de las fuerzas internas es fundamental para el diseño y la construcción, ya que con ello podemos determinar si la estructura es lo suficientemente fuerte y resistente para soportar cargas externas a las que se encuentra expuesta.

Figura II-1 Fuerzas externas e internas de un cuerpo sólido



Fuente: Tomada de “Esfuerzo”, por Guillermo.2023, p.10

– Deformación

Las deformaciones en estructuras son cambios en la forma o tamaño de un objeto que son afectadas por fuerzas, estas deformaciones se conocen como desplazamientos y deflexiones. Según Guillermo la deformación puede ser temporal o permanente, dependiendo de si desaparece después de la eliminación de las fuerzas aplicadas. (2023, pág. 55)

Entonces, Morales menciona que las cargas que afectan a un elemento estructural pueden causar deformaciones en magnitud y sentido, que dependen de la fuerza que los origina. (2020, pág. 89)

2.2.2. Mecánica de estructuras

La mecánica de estructuras se enfoca en el análisis y diseño de estructuras, tanto en el comportamiento estático como en el comportamiento dinámico, determinar los estados de tensión y deformación a los que la estructura está sometida.

Por lo que, la mecánica de estructuras se encarga de validar el comportamiento mecánico, determinar los estados de tensión son necesarios para satisfacer los criterios de resistencia en las que se aplica normativas con el fin de garantizar la seguridad de las estructuras.

A continuación, se presenta la tabla 2.1 de las etapas principales para el análisis de estructuras. (Cervera, 2015, p. 18)

Tabla II-1 Etapas principales para el análisis de estructuras

Proyecto	Validar y evaluar las distintas alternativas planteadas, ya sea en cuanto a tipología estructural, materiales.
Construcción	Validar y evaluar los distintos métodos de construcción
Vida Útil	Asegurar las mejores condiciones de funcionalidad, mantenimiento y reciclaje.

Fuente: (Cervera, 2015)

2.2.3. Método LRFD

El método LRFD (Diseño por Factores de Carga y Resistencia) según Zamudio es una metodología en la cual se utiliza cargas y resistencias de diseño para implementarlas y garantizar un nivel de seguridad, resistencia al material. Es un método utilizado principalmente en Estados Unidos para el diseño de puentes, edificios, estructuras de acero, concreto y madera. (2013, pág. 146)

Este método consiste en determinar las cargas o momentos críticas de una estructura bajo el efecto de fuerzas externas, en general las cargas se obtienen multiplicando las cargas de trabajo por un factor de carga, como se muestra a continuación en la ecuación 2.1.

Ecuación II-1 Ecuación general de diseño con el metodo LRFD

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (1)$$

Donde:

Q_i = Efecto de las acciones calculado (M, V, P) bajo cargas de servicio D (carga muerta), L (carga viva), S (sismo), W (viento).

γ_i = Factor de carga, depende del tipo y combinación de carga.

R_n = Resistencia nominal

ϕ = Factor de resistencia menor que la unidad

En margen de seguridad se incorpora en dos factores de carga y reducción de la resistencia (γ y ϕ) y es necesario aplicar en ambos lados de la ecuación de diseño.

LRFD brinda un margen de seguridad confiable bajo diferentes condiciones de carga, es más preciso para diferentes tipos de carga.

Las resistencias nominales, se presentan como fuerzas y proporciona un mejor comportamiento estructural.

2.2.4. Software aplicado

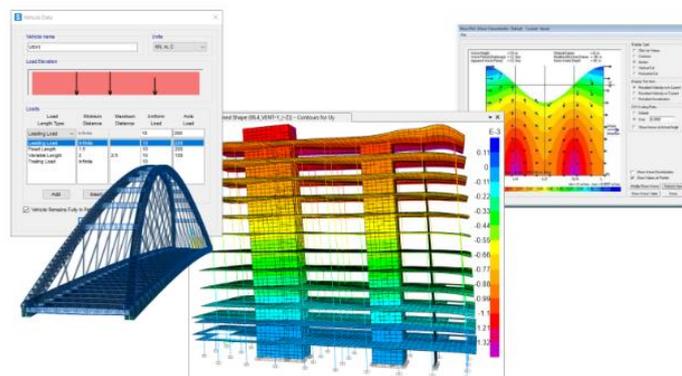
- SAP 2000

SAP 2000 es un software de análisis estructural con interfaz 3D orientado a objetos, permite el cálculo por la fiabilidad de los resultados, está diseñado para integrar la modelación, análisis y dimensionamiento de una amplia gama de problemas de ingeniería estructural. (2023, pág. 8)

SAP2000 es ampliamente reconocido por su potencia de cálculo y la confiabilidad de sus resultados. Además, se destaca por su capacidad de adaptarse a diversos tipos de estructuras, lo que lo convierte en una herramienta versátil para el dimensionamiento de puentes, edificios, estadios, presas, estructuras industriales, estructuras marítimas y cualquier otro tipo de infraestructura que requiera análisis y dimensionamiento.

Una de las ventajas adicionales de SAP2000 es su capacidad para generar automáticamente cargas sísmicas, de viento y de vehículos. Esto facilita el proceso de dimensionamiento y permite la verificación automática de estructuras de hormigón armado, perfiles metálicos, aluminio y conformados en frío, cumpliendo con normativas de diferentes países.

Figura II-2 SAP 2000



Fuente: Tomada de "Software SAP", por SAP 2023, p8.

2.2.5. Normativas

- Normativa AISC 360

La normativa AISC 360 tiene como objetivo proporcionar fundamentos teóricos y prácticos necesarios para el diseño estructural de acero utilizados en edificios, puentes y otras aplicaciones.

La norma se actualiza periódicamente para los avances de estructuras de acero y para reflejar las prácticas más actuales de la industria. (2020)

- Normativa NTP E.020

Esta normativa especifica los parámetros a seguir para cargas, menciona la clasificación a tomar en tipos de cargas y las condiciones mínimas para garantizar un buen funcionamiento.

Las edificaciones deben ser capaces de resistir cargas, esta norma se complementa con la NTP E 0.30. (2020)

- Norma NTP E.30

Esta normativa para diseño sismorresistente establece condiciones mínimas para edificaciones diseñadas tengan un comportamiento sísmico (Muñoz, 2020).

La norma de diseño sismorresistente contiene procedimientos para estimar la demanda sísmica y la respuesta estructural estableciendo resistencia y rigidez, ubicación sistema estructura. Los procedimientos de diseño para lograr que las edificaciones tengan resistencia y ductilidad necesarios.

- Norma NTP E.090

Esta normativa establece condiciones en estructuras metálicas, desde su fabricación y montaje para edificaciones.

Esta norma de diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas para edificaciones acepta criterios de métodos de carga y resistencia.

2.2.6. Tipos de cargas

- Carga muerta

La carga muerta es una carga constante para el cálculo de la estabilidad y el comportamiento de la estructura, son importantes dentro del diseño para dimensionar adecuadamente y verificar si la estructura resiste su propio peso y cargas adicionales.

En el presente caso, las cargas muertas son las que representan los equipos eléctricos a los que daremos albergue.

- Carga viva de techo

La carga viva de techo, son consideradas como fuerzas adicionales que actúan sobre el techo debido a la presencia temporal de cargas externas como pueden ser personas, equipos o maquinaria, para el diseño de los techos se considera las cargas vivas, sismo, viento.

Tabla II-2 Tipos de techos

Techos	Cantidad
Inclinación hasta 3° con respecto a la horizontal	1,0 kPa (100 kgf/m ²)
Inclinación mayor 3° con respecto a la horizontal	1,0 kPa (100 kgf/m ²)
Curvos	0,50 kPa (50 kgf/m ²)
Coberturas livianas de planchas onduladas	0,30 kPa (30 kgf/m ²)

Fuente: (Norma E.030, 2020)

– Carga de viento

Las cargas de viento son una categoría variable que son causadas por la fuerza del viento sobre una estructura, generan presiones y succiones sobre la estructura y pueden afectar a diferentes partes de la construcción, depende de la velocidad de viento, forma y altura de estructura, orientación de la estructura, obstrucciones cercanas, para lo cual se utilizan normativas.

El diseño adecuado con cargas de viento es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura bajo condiciones de vientos fuertes. Las técnicas de análisis estructural y simulación computacional se utilizan para evaluar el comportamiento de la estructura y asegurar que sea capaz de resistir las cargas de viento

Las directrices para cargas de viento las obtendremos de acuerdo con los lineamientos de la NTP.020.

– Velocidad diseño de viento

La velocidad de diseño adecuada para edificaciones de 10 metros de altura se recomienda que sea menor a 75km/h, la cual se obtiene con la siguiente ecuación.

Ecuación II-2 Ecuación de velocidad diseño de viento

$$V_h = V(h/10)^{0.22} \quad (2)$$

Donde:

V_h = es la velocidad de diseño en la altura h en km/h

V = es la velocidad de diseño hasta 10m de altura en km/h

h = es la altura sobre el terreno en metros

– Carga exterior de viento

La carga exterior ejercida por el viento se supondrá estática y perpendicular a la superficie sobre la cual se actúa. Se calculará mediante la expresión:

Ecuación II-3 Ecuación de carga exterior de viento

$$P_h = 0.005 C V_h^2 \quad (3)$$

Donde:

P_h = presión o succión del viento a una altura h en Kg/m^2

C = factor de forma adimensional

V_h = velocidad de diseño a la altura h, km/h

– Carga Sísmica

La carga sísmica es una medida que se utiliza en ingeniería estructural para evaluar la fuerza o carga que un edificio, estructura o infraestructura debe soportar durante un evento sísmico, como un terremoto. Se refiere a las fuerzas dinámicas generadas por el movimiento del suelo durante un terremoto y que se transmiten a las edificaciones.

La carga sísmica se determina teniendo en cuenta diversos factores, como la ubicación geográfica del lugar donde se construirá la estructura, el tipo de suelo y la intensidad esperada del terremoto en esa región.

Las directrices para cargas sísmicas las obtendremos de acuerdo con los lineamientos de la NTP.030.

El país se encuentra dividido en cuatro áreas geográficas, tal como se ilustra en la imagen adjunta. Esta división está fundamentada en el análisis de la actividad sísmica registrada en diferentes lugares, las características generales de los movimientos telúricos y cómo disminuyen en intensidad conforme se alejan del epicentro, además de la información sobre la tectónica reciente. (Norma E.030, 2020)

Figura II-3 Mapa de zonificación sísmica



Fuente: Tomada de "NPT E.0.30", por NPT, p.20

– Factor de zona

Esta variable se entiende como la máxima aceleración horizontal en un terreno firme, con una probabilidad del 10 % de superarse en un período de 50 años. El factor Z se representa como una fracción de la aceleración de la gravedad (Norma E.030, 2020).

Tabla II-3 Factor de zona

Factores de zona "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: (Norma E.030, 2020)

Factor de suelo (S)

Existen cinco tipos de perfiles de suelos según la norma NTP E.030:

- Perfil Tipo S0: Roca Dura

Esta categoría incluye rocas intactas con una velocidad de propagación de ondas de corte (V_s) mayor a 1500 m/s.

- Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos

En esta clasificación se encuentran rocas con diversos grados de fracturación y masas homogéneas, así como suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte (V_s) que oscilan entre 500 m/s y 1500 m/s.

- Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios

En esta categoría se incluyen suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte (V_s) entre 180 m/s y 500 m/s.

- Perfil Tipo S3: Suelos Blandos

Corresponden a esta categoría los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte (V_s) menores o iguales a 180 m/s.

- Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales

Esta categoría agrupa suelos excepcionalmente flexibles y sitios con condiciones geológicas y/o topográficas particularmente desfavorables, que requieren un estudio específico para el sitio.

Tabla II-4 Factor de suelo

Tabla Factor de Suelo "S"				
Suelo	S0	S1	S2	S3
Zona				
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: (Norma E.030, 2020)

- Parámetros de sitio (S, Tp y TL)

Se debe tener en cuenta el perfil del suelo que describa de manera más precisa las condiciones locales, utilizando los valores apropiados del factor de amplificación del suelo (S) y de los períodos TP y TL correspondientes.

Tabla II-5 Tabla de períodos

Tabla Períodos "TP" y "TL"				
Perfil de Suelo				
	S0	S1	S2	S3
Tp	0.30	0.40	0.60	1.00
TL	3.00	2.50	2.00	1.60

Fuente: (Norma E.030, 2020)

- Periodo fundamental de vibración (T)

El período fundamental de vibración de una estructura es el tiempo que le toma a la estructura completar un ciclo completo de oscilación natural después de ser perturbada. Es una medida fundamental para entender cómo la estructura responde a las fuerzas externas, como terremotos u otras cargas. Según la NTP E.030 se estima de la siguiente manera:

Ecuación II-4 Periodo fundamental de vibración

$$T = \frac{h_n}{C_t} \quad (4)$$

Donde según la NTP E.030 se tiene lo siguiente:

CT = 35 Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

CT = 45 Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- b) Pórticos de acero arriostrados.

CT = 60 Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

- Factor de amplificación sísmica (C)

Este coeficiente se entiende como el factor que amplifica la aceleración experimentada por la estructura en comparación con la aceleración en el suelo. (Norma E.030, 2020)

Ecuación II-5 Factor de ampliación sísmica

$$\begin{aligned}
 T < T_P & C = 2,5 \\
 T_P < T < T_L & C = 2,5 * \left(\frac{T_P}{T}\right) \\
 T > T_L & C = 2,5 * \left(\frac{T_P * T_L}{T^2}\right)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

– Categoría de edificaciones y Factor de uso (U)

Tabla II-6 Tabla de categoría de las edificaciones

Categoría	Descripción	Factor U
A: Esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra el sismo.	1,5
B: importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios.	1,3
C: comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía inmediata como viviendas	1,0
D: Menores	Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja.	*

Fuente: (Norma E.030, 2020)

Nota: (*) En este tipo de edificaciones, el diseñador debe garantizar la suficiente resistencia y rigidez para hacer frente a las fuerzas laterales, según su criterio.

- Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas (R0)

Los sistemas estructurales serán categorizados según los materiales empleados y el sistema de diseño sísmico utilizado en cada dirección de análisis.

Tabla II-7 Tabla de sistemas estructurales

Sistema Estructura	Coefficiente Básico de Reducción R_o (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	8
Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF)	6
Pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos Dual	8
De muros estructurales	7
Muros de ductilidad limitada	6
Albañilería Armada o Confinada	4
Madera (Por esfuerzos admisibles)	3
	7

Fuente: (Norma E.030, 2020)

– Regularidad estructural

Las estructuras deben ser clasificadas en dos categorías: regulares e irregulares, con los siguientes propósitos:

- Cumplir con las restricciones establecidas en la Tabla N° 10 de la norma NTP E.030.
- Establecer los procedimientos de análisis.
- Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

Estructuras Regulares: son aquellas que, en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades mencionadas en las Tablas N° 8 y N° 9 de la norma NTP E.030. En estos casos, el factor I_a o I_p será igual a 1,0.

Estructuras Irregulares: son aquellas que presentan una o más de las irregularidades mencionadas en las Tablas N° 8 y N° 9 de la norma NTP E.030.

- Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se calculará multiplicando el coeficiente R_0 , que se obtiene de la Tabla N° 7 de la norma NTP E.030, por los factores I_a e I_p obtenidos de las Tablas N° 8 y N° 9 de la misma norma. (Norma E.0.30, 2020)

Ecuación II-6 Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas

$$R = R_0 * I_a * I_p \quad (6)$$

- Estimación del peso (P)

El peso (P) se calculará sumando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga, de acuerdo con las siguientes condiciones:

- a) En edificaciones de las categorías A y B, se considerará el 50% de la carga viva.
- b) En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25% de la carga viva.
- c) En depósitos, se considerará el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d) En azoteas y techos en general, se tomará el 25% de la carga viva.
- e) En estructuras de tanques, silos y estructuras similares, se considerará el 100% de la carga que pueden contener.

- Análisis sísmico estático

Este método consiste en representar las fuerzas sísmicas mediante un conjunto de cargas aplicadas en el centro de masas de cada nivel de la edificación. Se puede utilizar este procedimiento para analizar todas las estructuras, ya sean regulares o irregulares, ubicadas en la zona sísmica 1. También se pueden analizar estructuras regulares con una altura no mayor de 30 metros (Norma E.030, 2020, pág. 19) y estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada con una altura no mayor de 15 metros, incluso si son irregulares. (Zapata, 2012)

- Fuerza cortante en la base

La fuerza cortante total en la base de la estructura, para la dirección considerada, será calculada mediante la siguiente expresión:

Ecuación II-7 Fuerza cortante en la base

$$V = \frac{Z * u * c * S}{R} * P \quad (7)$$

Donde:

V=Fuerza cortante en la base

Z = Factor de Zona

U= factor de uso de importancia

S= factor de suelo

R= coeficiente de reducción sísmica

C= coeficiente de amplificación sísmica.

2.2.7. Combinaciones de cargas

Las cargas en ingeniería estructural se refieren a las fuerzas externas que afectan a una estructura y causan distintos tipos de esfuerzos y deformaciones de los elementos, estas cargas se deben tener en cuenta durante el diseño para garantizar que la estructura sea segura y estable, las cargas pueden clasificarse en diversas categorías. (Bernal, 2021)

El método LRFD contempla las siguientes combinaciones de carga.

- Combinación 1: $1.4D$
- Combinación 2: $1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$
- Combinación 3: $1.2D + 1.6(Lr \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5W)$
- Combinación 4: $1.2D + 1.0W + L + 0.5(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$
- Combinación 5: $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- Combinación 6: $0.9D + 1.0W$
- Combinación 7: $0.9D + 1.0E$

Donde:

D = Carga muerta

L = Carga viva

Lr= Carga viva sobre techo

S = carga de nieve

R = carga de lluvia o hielo

W = carga de viento.

E = carga sísmica

En el diseño estructural, es fundamental considerar la combinación de cargas que produzca las mayores fuerzas y solicitaciones para la estructura en general o para elementos específicos. Se busca identificar los valores máximos de los esfuerzos internos, como fuerzas de flexión, corte, tracción, compresión, etc., que la estructura pueda experimentar debido a diversas combinaciones de cargas. En otras palabras, se analizan todas las posibles situaciones críticas para determinar los esfuerzos más altos que actúan sobre

la estructura y diseñarla para resistir dichas condiciones extremas. (Paredes, 2021)

2.2.8. Diseño según AISC 360

- Diseño por compresión

Según la Norma AISC 360-16, las columnas con mayor longitud para una misma sección transversal tienen una mayor propensión a pandearse y, por lo tanto, pueden soportar menos carga en compresión. Para elementos diseñados con fuerzas de compresión, la relación de esbeltez no debe superar 200. La tendencia a pandearse se mide mediante la relación de esbeltez, que es la relación entre la longitud del miembro y su radio de giro mínimo. (Alacero, 2016)

Ecuación II-8 Diseño de compresión

$$\frac{KL}{r} \leq 200 \quad (8)$$

Donde:

K: Factor de Longitud Efectiva

L: Longitud no arriostrada del elemento

r: Radio de giro del elemento

El diseño de resistencia en compresión por pandeo o por flexión se basa en el parámetro de esbeltez, que clasifica los elementos en dos tipos:

- Elementos no esbeltos

Para los elementos no esbeltos, se aplican las siguientes ecuaciones:

Ecuación II-9 Elementos no esbeltos

$$P_U \leq \phi P_n = \phi c * F_{cr} * A_g \quad (9)$$

Donde:

P_u = Carga Última de Diseño

P_n = Resistencia Nominal a Compresión

ϕc = Factor de Reducción

A_g = Área Gruesa del Elemento Sometido a Compresión

F_{cr} = Esfuerzo Critico

El esfuerzo crítico (F_{cr}) se determinará considerando si el pandeo es elástico o inelástico, para lo cual se deben satisfacer las siguientes condiciones:

Pandeo Inelástico: Cuando se presenta que $\lambda_c \leq 1,5$

Ecuación II-10 Pandeo Inelástico

$$F_{cr} = (0,658^{\lambda_c}) * F_y \quad (10)$$

Pandeo Elástico: Cuando se tiene que $\lambda_c > 1,5$

Ecuación II-11 Pandeo Elástico

$$F_{cr} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) * F_y \quad (11)$$

En ambos casos, el valor de λ_c estará determinado por:

Ecuación II-12 Esbeltez de columna

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (12)$$

Donde:

λ_c = Parámetro de esbeltez de columna

E = Módulo de Elasticidad del Acero

Fy = Esfuerzo de fluencia

L = Longitud del elemento

- Diseño por flexo-compresión

Las limitaciones para el diseño en flexo-compresión de las columnas metálicas se establecen de la siguiente manera:

- Cuando se cumple: $P_u / \phi P_n \geq 0,20$

Ecuación II-13 Diseño por flexo compresión

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (13)$$

Donde:

P_u = Resistencia Requerida a Compresión

P_n = Resistencia Nominal a Compresión

M_u = Resistencia Requerida a la Flexión

M_n = Resistencia Nominal a Flexión

x = Subíndice Relativo al Eje Mayor en Flexión

y = Subíndice Relativo al Eje Menor en Flexión

ϕ, ϕ_b = Factor de Reducción, valor igual a 0,90 en ambos casos

- Diseño por flexión

Según la Norma AISC 360-16, cuando se trata de miembros sujetos a flexión, especialmente las vigas que son elementos ampliamente reconocidos, la resistencia nominal en flexión se determina eligiendo el valor más bajo entre los estados límites de fluencia, pandeo local del alma, pandeo local del ala y pandeo lateral torsional. (Zapata, 2012)

Ecuación II-14 Momento Nominal

$$\phi M_n \geq M_u \quad (14)$$

Donde:

ϕ = Factor de Reducción

M_n = Momento Nominal

M_u = Momento Último por Cargas Mayoradas

– Momento Plástico

Ecuación II-15 Momento plástico

$$M_n = M_p = F_y * Z_x \quad (15)$$

Donde:

M_n = Momento Nominal

M_p = Momento Plástico

F_y = Esfuerzo de fluencia dependiendo del tipo de acero

Z_x = Modulo de sección plástico alrededor del eje x.

- Diseño Por Corte

Cuando un miembro experimenta flexión, se generan esfuerzos cortantes debido al cambio en la longitud de sus fibras. En el contexto de vigas de acero, el cortante suele no representar un problema significativo, ya que las almas de los perfiles laminados pueden resistir fuerzas cortantes considerables. La resistencia nominal al cortante de un alma ya sea sin rigidizar o rigidizada, se define de la siguiente manera.

Ecuación II-16 Resistencia al esfuerzo cortante

$$V_n = 0.6 * F_y * A_w * C_v \quad (16)$$

V_n = Resistencia al esfuerzo cortante

F_y = Esfuerzo mínimo de fluencia

A_w = Área total del alma

C_v = Coeficiente de corte = 1.0

- Uniones metálicas

En el análisis de estructuras de acero, el tipo de unión que se selecciona desempeña un papel crucial, especialmente debido a las cargas sísmicas que interactúan con la estructura proyectada.

Según la definición de Zapata (2012), una conexión se refiere a la unión de dos o más elementos estructurales, ya sea para extenderlos o para crear nodos que generen un comportamiento deseado en la estructura.

Las Especificaciones AISC-LRFD o AISC-ASD establecen tres tipos de conexiones, dependiendo del grado de restricción que imponen a los nodos:

Completamente Restringido (FR): También conocido como conexión rígida, de pórtico o conexión continua. Este tipo busca mantener los ángulos originales

entre los miembros que convergen en un nodo sin cambios cuando se aplican cargas. En el caso de una conexión de empotramiento de una viga, se busca evitar la rotación del nudo hasta alcanzar al menos el 90% del momento de empotramiento.

Sin Restricción: También llamado extremo libre, de pórtico no continuo, apoyo simple o extremo articulado. Implica una conexión donde se permite una rotación libre entre los miembros, aproximadamente del 80% de lo que sería una unión con pin sin fricción. En el diseño plástico, donde se aprovecha la continuidad para formar rótulas plásticas en los nudos, este tipo de conexión no es adecuado.

Parcialmente Restringido (PR): Este tipo de unión se considera "cercana" a un apoyo simple según el reglamento AISC-LRFD. Supone que toda conexión tiene un cierto grado de restricción y se acepta como parcialmente restringida si se cumplen tres condiciones específicas.

Conexión Semi-rígida (PR): Se refiere a casos en los que se puede predecir la rotación de una conexión cuando se conoce el momento aplicado.

En cuanto a los pernos en conexiones empernadas, según Vinnakota (2006), se pueden clasificar como ordinarios (A307) y de alta resistencia (A325 y A490). Las tuercas y rondanas utilizadas en estas uniones deben cumplir con las especificaciones ASTM A563 Gr. C y ASTM F436, respectivamente.

- Uniones empernadas

A continuación, se explican dos tipos de conexiones en el contexto de uniones empernadas: conexiones de deslizamiento crítico y conexiones de aplastamiento. El comportamiento de una conexión con pernos depende de cómo se ajusten estos y de las condiciones de la superficie en contacto.

En la mayoría de las conexiones, los pernos se ajustan hasta lograr un contacto firme, conocido como apriete de contacto. En este estado, las tuercas se aprietan lo suficiente para eliminar cualquier holgura entre los elementos unidos, y esto se consigue con unos pocos golpes de una llave de impacto.

Por otro lado, en conexiones denominadas "por deslizamiento crítico" y conexiones "pretensadas", se requiere ajustar los pernos más allá de la condición de apriete de contacto. Esto se realiza mediante cuatro métodos:

- Mediante giro de tuerca
- Mediante indicador directo de tensión
- Pretensado con tornillo de control de tensión
- Pretensado mediante llave calibrada especial

La pretensión mínima especificada para pernos de alta resistencia se establece como el 70% de la resistencia a la tensión mínima especificada del perno, y se expresa con la fórmula:

Ecuación II-17 Pretensión mínima especificada del tornillo

$$T_b = 0.7 * F_u * A_b \quad (17)$$

T_b = Pretensión mínima especificada del tornillo (Kips)

F_u = Esfuerzo de tensión último mínimo especificado del material (Ksi)

A_b = Área total del tornillo (Pulg²)

Resistencia de pernos según AISC 360-16

La resistencia de los pernos en conexiones estructurales según la norma AISC 360-16 (AISC: American Institute of Steel Construction) se rige por varias secciones de esta norma. A continuación, se resumen en general los aspectos relacionados con la resistencia de los pernos según AISC 360-16:

Resistencia Nominal de los Pernos en Tracción (LRFD):

La resistencia nominal de un perno en tracción (tensión) se determina utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación II-18 Resistencia Nominal de los pernos en Tracción (LRFD)

$$\phi R_{nt} = \phi F_{nt} * A_b \quad (18)$$

R_{nt} = Resistencia nominal a la tracción del perno.

F_{nt} = Tensión nominal a tracción del perno

A_b = Área del vástago del perno

$\phi = 0.75$ (LRFD)

Resistencia Nominal de los Pernos en Cortante (LRFD):

La resistencia nominal de un perno en cortante (LRFD) se calcula mediante la fórmula:

Ecuación II-19 Resistencia Nominal de los pernos en cortante (LRFD)

$$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} * A_b \quad (19)$$

Donde:

R_{nv} = Resistencia nominal a corte del perno.

F_{nv} = Tensión nominal a tracción del perno

A_b = Área del vástago del perno

$\phi = 0.75$ (LRFD)

Interacción tracción-corte:

Ecuación II-20 Interacción tracción / corte

$$F'_{nt} = 1.3 x F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi x F_{nv}} x \frac{Vu_{bolt}}{A_b} \leq F_{nt} \quad (20)$$

Donde:

F'_{nt} =Tensión nominal a tracción reducida por fuerza de corte

F_{nt} =Tensión nominal a tracción del perno

F_{nv} =Tensión nominal a corte del perno

F_u =Tensión mínima de rotura del perno

A_b = Área del vástago del perno

ϕ =0.75(LRFD)

2.3. Marco Conceptual

El presente trabajo se enfocará en la implementación de sistemas modulares que permitan disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica-eléctrica de Lima. Para ello, se expondrán los fundamentos necesarios para desarrollar adecuadamente la presente tesis, incluyendo el diseño estructural, los sistemas modulares, salas eléctricas y tiempos de fabricación y montaje.

2.3.1. Diseño Estructural

Según Revoredo (2016), el diseño estructural es el proceso que, partiendo de los datos específicos de un objeto a construir, como un edificio, permite concebir un sistema estructural completo, estable y factible. La presencia de elementos numéricos en este proceso es secundaria; lo crucial es la creación de la estructura y la metodología para llegar a ella desde los datos del problema.

Siendo así, el diseño estructural en acero es un campo de la ingeniería que se enfoca en el análisis y diseño de estructuras de acero, incluyendo edificios, puentes, torres, entre otros. Según Bowles (2018), el acero representa uno de los materiales estructurales más significativos debido a sus propiedades particulares, como su alta resistencia y ductilidad.

Así mismo Revoredo (2016) indica que, a lo largo de la historia, la humanidad ha resuelto problemas estructurales mediante la experimentación y la analogía, destacando obras grandiosas. Aunque hoy se requiere una

verificación racional de la estructura, el análisis siempre sigue a la concepción estructural, que incluye la disposición de piezas y la distribución de esfuerzos. Si el proceso es inconsciente, el diseño se vuelve desordenado, y encontrar criterios de actuación se vuelve casual. El diseño implica explorar variantes para abordar un problema específico, y aunque rara vez hay una solución única, la formación lineal recibida por los ingenieros puede limitar su disposición a considerar alternativas.

– Documentación técnica Post –diseño.

La documentación técnica post diseño es un conjunto de documentos que se generan después de la fase de diseño de un proyecto. Estos documentos contienen información técnica detallada sobre el proyecto, incluyendo los cálculos y análisis utilizados en el diseño, las especificaciones de los componentes, los planos de fabricación.

Memoria de cálculo estructural

Una memoria de cálculo estructural es un documento técnico que describe en detalle los cálculos y el análisis realizado para diseñar o evaluar una estructura, como un edificio, puente, sala eléctrica, entre otros.

En el anuncio de Structuralia menciona que en una memoria de cálculo estructural es necesario describir los datos generales de la estructura, la descripción geométrica y topológica, la descripción de los materiales detallando la materialidad de la estructura y las propiedades mecánicas de cada material, el análisis de las cargas y los elementos estructurales. (2021, pág. 2)

Memoria de cálculo de uniones

Al igual que una memoria de cálculo estructural, la memoria de cálculo de uniones es un documento técnico que describe los cálculos y análisis realizados

para justificar las conexiones o uniones entre los elementos estructurales, como vigas, columnas, perfiles, etc.

Según Hierro es fundamental en el diseño y la construcción de estructuras para garantizar la seguridad y la integración del módulo. (2017, pág. 3)

Plano

Un plano, en el contexto de ingeniería, arquitectura o construcción, es un documento gráfico que representa de manera detallada y precisa la distribución, el diseño y la disposición de elementos dentro de una estructura, sala eléctrica o terreno.

Los planos son una herramienta fundamental en la planificación, diseño, construcción y mantenimiento.

2.3.2. Sistemas modulares

Un sistema modular es una estructura o diseño conformado por varias unidades o módulos independientes los cuales están estandarizados, que pueden ser combinados de manera flexible para obtener nuevas configuraciones. Cada módulo es una entidad funcional y autónoma la cual cumple una tarea específica y puede ser remplazado fácilmente sin afectar el funcionamiento del sistema.

Según Romero y Rojas un sistema modular disminuye los tiempos de operación para el cual es importante realizar un diseño que permita brindar eficiencia y agilidad en el proceso. (2018, pág. 35)

Los sistemas modulares facilitan la gestión de diseño, la producción y el mantenimiento, permitiendo una mayor agilidad y eficiencia en el desarrollo de productos y sistemas complejos.

Además, debido a que son desarmables son más fáciles de transportar debido a su diseño compacto y estandarizado, al estandarizar componentes y procesos, reduce la probabilidad de errores o problemas durante el montaje.

- **Clasificación De Sistemas Modulares**

Módulo de acero

Los módulos de acero son elementos estructurales los cuales son fabricados a partir de una lámina de acero, su material es de alta resistencia y rigidez, por lo cual es ideal para soportar cargas pesadas y capaces de resistir la acción de fuerzas externas.

En el contexto de la ingeniería eléctrica, un módulo de acero es una parte o componente específico de una sala eléctrica. Estos módulos de acero podrían contener equipos eléctricos, interruptores, tableros de control o cualquier otro dispositivo relacionado con la distribución eléctrica y su protección.

En la siguiente figura 2.4 se muestra una construcción de estructura para un módulo de sala eléctrica desarrollado por la empresa Boxcontemar, en la cual se desarrolla estructuras con base de acero (2016, pág. 18).

Figura II-4 Módulo de acero



Fuente: Tomada de “construcción de estructura para modulo sala electrica”, por Boxcontemar.2016, p.18

Módulo prefabricado de hormigón

Los módulos prefabricados de hormigón son componentes estructurales que se fabrican de forma industrial en una planta y luego se transportan al sitio de construcción para su montaje. Estos módulos están hechos de hormigón, que es una mezcla de cemento, agua, agregados y aditivos, y se utilizan en diversas aplicaciones de la construcción debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad.

Estos módulos prefabricados en salas eléctricas se fabrican en entornos controlados por la empresa Proinsener energía, lo que garantiza una alta calidad en su construcción y permite un montaje rápido y seguro en el sitio de destino. La prefabricación de estos módulos puede reducir significativamente tiempos de construcción y minimizar la interrupción de las operaciones, ya que gran parte del trabajo se realiza fuera del sitio y solo se requiere el montaje final en la ubicación deseada. Además, los módulos prefabricados ofrecen mayor flexibilidad en el diseño y la capacidad de adaptarse a diferentes requisitos o condiciones específicos de cada proyecto de sala eléctrica. (2023, pág. 46)

Figura II-5 Módulo prefabricado de hormigón



Fuente: Tomada de “Sistemas modulares con envoltura prefabricada de hormigón”, por Proinsener Energía 2023, p.46

Módulo de madera

Los módulos de madera son componentes prefabricados que se construyen con materiales de madera y se utilizan en diferentes aplicaciones de construcción. Estos módulos están diseñados y fabricados en talleres especializados, para luego ser transportados y ensamblados en el sitio de construcción.

En la siguiente Figura 2.6 Modulo de madera, fabricado por la empresa Tecno Fast brindan una solución al presentar este diseño, el cual se ha construido con materiales de alta calidad, en su manual de uso y mantenimiento presenta procedimientos de uso, recomendaciones básicas de seguridad, el uso y mantención del módulo dependiendo de las condiciones climáticas del sitio, también indica su forma de instalación, reparaciones y acciones en caso de emergencia. (2020, pág. 76)

Figura II-6 Módulos de madera



Fuente: Tomada de empresas Tecno Fast de “Manual de uso y mantenimiento de unidades modulares”, por TecnoFast 2020, p.76

2.3.1. Salas Eléctricas

Es esencial adquirir un profundo conocimiento de los conceptos fundamentales relacionados con las salas eléctricas, ya que este conocimiento juega un papel crítico en el diseño, fabricación y funcionamiento de estas estructuras. Comprender los conceptos de las salas eléctricas es fundamental para garantizar su correcta implementación y asegurar el control, distribución y protección eficiente de la energía eléctrica en diversos entornos industriales, comerciales y residenciales.

Una sala eléctrica es un espacio diseñado para albergar equipos y dispositivos relacionados con la distribución y control de la energía eléctrica en un edificio, planta industrial, centro de datos u otra instalación. Las salas eléctricas están especialmente construidas para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos.

- Partes de un módulo para sala eléctrica

Una sala eléctrica, según tejada en su diseño como estructura, puede ser subdividida en múltiples partes o componentes principales, los cuales varían según su configuración y función específica. (2015, pág. 43)

Entre los elementos principales comunes que conforman una sala eléctrica se encuentran:

- Plataforma base: Es la superficie de la sala eléctrica sobre la cual se soportan e instalan los equipos y dispositivos eléctricos. Dependiendo del pedido puede o no contar con aislamiento térmico.
- Paredes: Son elementos verticales que delimitan y contienen la sala eléctrica, proporcionando protección y aislamiento térmico.
- Cubierta o techo: Es la parte superior que protege la sala eléctrica de los elementos atmosféricos y proporciona aislamiento térmico.
- Puertas y ventanas: Los módulos de sala eléctrica tienen puertas para permitir el acceso al interior y ventanas que proporcionan visibilidad y, en algunos casos ventilación natural.
- Aislamiento térmico: Los módulos pueden contar con aislamiento para mantener la temperatura adecuada dentro de la sala y reducir el ruido generado por los equipos eléctricos.
- Piso: los módulos de salas eléctrica deben tener un piso que la superficie sea adecuada para el equipo y el personal, y que cuente con protección para humedad

- Sistema eléctrico interno: los módulos incluyen el cableado y las conexiones eléctricas internas para conectar los componentes eléctricos, como interruptores, paneles de distribución y sistemas de monitoreo.
- Iluminación interna: Los módulos tienen sistemas de iluminación interna para permitir la visibilidad dentro de la sala eléctrica y facilitar el trabajo y mantenimiento.
- Sistema de seguridad y control: Los módulos pueden contar con sistemas de seguridad, como cerraduras y sistemas de control de acceso, para proteger el equipo y prevenir el acceso no autorizado.
- Etiquetado y señalización: Los módulos deben tener etiquetas y señalización adecuadas para identificar los componentes y advertir sobre posibles riesgos eléctricos.

2.3.1. Tiempo de fabricación y montaje

Tiempos de fabricación y montaje

Según Caba, el tiempo de fabricación u montaje se define como el lapso requerido para la producción o manufactura de los componentes, elementos o módulos de un producto, pueden variar dependiendo de varios factores, como el tamaño y complejidad del proyecto, el fabricante, la disponibilidad de materiales y el alcance de personalización requerido. (2010, pág. 18).

Los tiempos de fabricación y montaje se ven influenciados por muchos factores, dentro de los más importantes de esta la selección del proceso de soldadura.

Según Vinnakota (2006), en el contexto de las uniones soldadas, la soldadura se describe como un procedimiento que vincula piezas de acero al fundir metal mediante la aplicación de calor intenso. Este calor se genera al establecer un arco eléctrico entre las piezas a unir y una varilla de acero conocida como electrodo.

Los procesos de soldadura más comunes son el Arco Metálico Protegido (SMAW) y el Arco de Metal con Gas (GMAW). Los electrodos, ya sean en forma de varillas o alambres, desempeñan un papel crucial en este proceso.

A continuación, se detallan las ventajas y desventajas de cada proceso.

Ventajas del proceso SMAW (Soldadura con Arco Metálico Protegido):

1. Portabilidad: El equipo utilizado en el proceso SMAW es relativamente compacto y portátil, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en lugares remotos o de difícil acceso.
2. Versatilidad en materiales: El proceso SMAW es versátil y puede utilizarse para soldar una amplia variedad de metales y aleaciones, incluyendo acero al carbono, acero inoxidable y aleaciones de aluminio, sin necesidad de cambiar el gas de protección.
3. Menor sensibilidad a las condiciones externas: El proceso SMAW es menos afectado por condiciones ambientales adversas como viento o lluvia en comparación con otros métodos de soldadura, lo que lo hace más adecuado para trabajar al aire libre.
4. Menor inversión inicial: El equipo necesario para el proceso SMAW tiende a ser más económico en comparación con otros procesos de soldadura como el GMAW, lo que lo hace más accesible para pequeñas empresas o talleres con presupuestos limitados.

Desventajas del proceso SMAW:

1. Menor velocidad de soldadura: El proceso SMAW generalmente es más lento en comparación con otros procesos de soldadura como el GMAW, debido a la necesidad de reemplazar los electrodos consumibles con frecuencia.
2. Generación de escoria: El revestimiento del electrodo utilizado en el proceso SMAW produce escoria durante el proceso de soldadura, lo que puede requerir limpieza adicional después de la soldadura.
3. Menor control sobre la soldadura: El proceso SMAW puede ser más difícil de controlar en comparación con otros procesos de soldadura más automatizados, lo que puede resultar en una calidad de soldadura menos consistente, especialmente para soldadores menos experimentados.

Ventajas del proceso GMAW (Soldadura con Arco de Metal con Gas):

Mayor velocidad de soldadura: El proceso GMAW es generalmente más rápido que el SMAW debido a la capacidad de utilizar alambres continuos como electrodo, lo que permite una deposición de metal más rápida.

1. Menor generación de escoria: Como no se utiliza un revestimiento de electrodo que forme escoria como en el proceso SMAW, el proceso GMAW produce menos residuos y es más limpio, lo que reduce la necesidad de limpieza posterior.
2. Mayor control sobre la soldadura: El proceso GMAW permite un control más preciso sobre la temperatura y la velocidad de alimentación del alambre, lo que resulta en una soldadura más consistente y de mejor calidad.

3. Menor deformación: Debido a su menor generación de calor, el proceso GMAW puede generar menos deformación en las piezas de trabajo en comparación con el proceso SMAW.

-Desventajas del proceso GMAW:

1. Requiere equipo adicional: El proceso GMAW requiere la presencia de un suministro de gas de protección, lo que puede aumentar los costos y la complejidad del equipo en comparación con el proceso SMAW.
2. Sensibilidad a las condiciones ambientales: El proceso GMAW puede ser más sensible a las condiciones ambientales como viento o humedad en comparación con el proceso SMAW, lo que puede afectar la calidad de la soldadura si no se toman las precauciones adecuadas.
3. Mayor necesidad de limpieza: Aunque produce menos escoria que el proceso SMAW, el proceso GMAW aún puede generar salpicaduras que requieren limpieza adicional, especialmente en aplicaciones críticas donde se requiere una superficie limpia y uniforme.

2.4. Definición de términos básicos

Sistemas modulares: se puede describir como la producción de componentes estandarizados o prefabricados de una estructura en una fábrica externa, que luego se transportan e instalan en el sitio.

Diseño: El diseño estructural es un proceso creativo de planificación, configuración y coordinación de los componentes de una estructura para satisfacer un conjunto de requisitos de servicio y resistencia.

Procesos: Implica la transformación de materiales metálicos en productos y componentes mediante diversas técnicas y operaciones. Estas técnicas abarcan

desde la manipulación de metales hasta la formación, unión, corte, conformado y acabado de las piezas metálicas.

Montaje: Hace referencia al ensamble de los módulos con los que puede contar una estructura prefabricada, con la intención de mostrar su funcionamiento antes de ubicarse la estructura en su punto de operación, además también hace referencia a la colocación del sistema de cerramiento de los módulos.

Tiempo: El período requerido para completar los procesos de fabricación

AISC: La Norma American Institute Steel Construction, establece criterios para el diseño, fabricación y el montaje de edificios de acero estructural

LRFD: El método Load and Resistance Factor Design, es un método de diseño en el cual las cargas de diseño se mayoran y las resistencias de diseño se disminuyen multiplicando por factores mayores y menores.

MTC: Ministerio de transportes y comunicaciones, cuya misión es asegurar la provisión de infraestructura, servicios de transporte y comunicaciones a la población peruana.

SMAW: Es un método de soldadura que usa un electrodo revestido para fundir metales y unir piezas. El revestimiento crea un gas protector, protegiendo el metal fundido. Es versátil y ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales y de construcción.

GMAW: Es un proceso de soldadura que usa un arco eléctrico entre un alambre de electrodo continuo y la pieza de trabajo. Se suministra un gas protector para proteger el arco y el metal fundido. Es rápido, versátil y ampliamente utilizado en la industria debido a su alta calidad de soldadura y facilidad de automatización.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

- Hipótesis General

La implementación de sistemas modulares disminuye los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

– Hipótesis específicas

El diseño estructural funcional permite iniciar la implementación de sistemas modulares para la disminución de los tiempos de fabricación y montaje en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

La selección de los procesos de fabricación para la implementación de sistemas modulares disminuye los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

El establecer los procesos de montaje de los sistemas modulares disminuye los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1 Diseño metodológico.

4.1.1 Enfoque de investigación

Según Hernández (2019), en un enfoque de investigación cuantitativa, se fundamenta en el método hipotético-deductivo, que se inicia con teorías y preguntas de investigación, dando lugar a la formulación de hipótesis que luego se someten a examen mediante la recolección de datos y su consiguiente análisis.

Siendo así la tesis se basa en dicho enfoque pues es cuantificable, ya que bajo la recolección de datos se permite plantear hipótesis para posteriormente darle validez.

4.1.2 Tipo de investigación

Según Espinoza, se identifica una investigación del tipo tecnológica cuando se valora el conocimiento científico como una herramienta aplicativa para la resolución de problemas con un impacto positivo en la sociedad. En este contexto, la investigación tecnológica busca activamente aplicar los fundamentos científicos en la creación de soluciones prácticas y beneficiosas para la sociedad. (2020, pág. 17)

De acuerdo con lo citado, la presente tesis es de tipo Tecnológica pues esta se basa en fundamentos científicos como es en el caso del diseño y también durante el proceso de fabricación de la estructura de la sala eléctrica.

4.1.3 Nivel de investigación

De acuerdo con Arias (2020), la investigación experimental se caracteriza por someter un objeto o un conjunto de individuos a condiciones específicas, estímulos o tratamientos (variable independiente) con el propósito de observar las consecuencias o respuestas generadas (variable dependiente).

En ese contexto el nivel de investigación aplicado es experimental pues someteremos la fabricación.

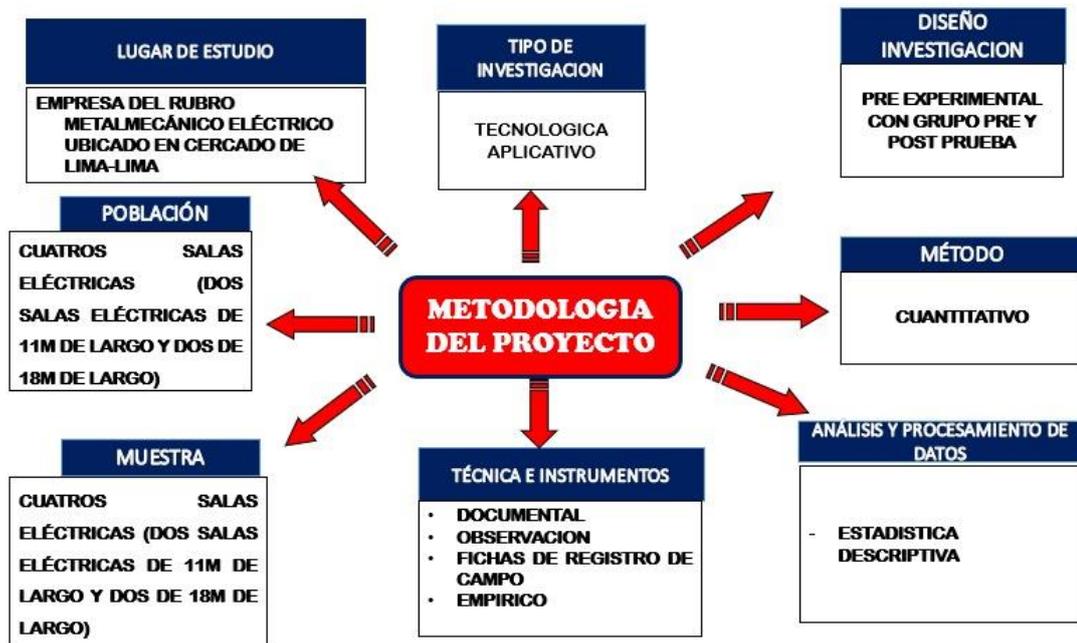
4.1.4 Diseño de investigación

De acuerdo con Galarza (2021), se señala que el diseño experimental se destaca por la manipulación planificada de la variable independiente y la evaluación de cómo afecta a una variable dependiente. Asimismo, la categoría de investigación experimental se divide en tres subtipos: (a) investigación Pre - experimental, (b) investigación cuasi - experimental y (c) investigación de tipo experimental.

Siendo así también describe a la investigación pre - experimental como un intento del investigador por acercarse a una investigación experimental, aunque carezca de los recursos de control necesarios para asegurar la validez interna.

En consecuencia, esta tesis es de Diseño experimental y dentro del mismo se clasifica como Pre - experimental, pues nuestra variable dependiente como es el tiempo puede sufrir variaciones al no poder controlar factores externos como, por ejemplo, el estado de equipos en planta para fabricación, entre otros más que se puedan encontrar.

Figura IV-1 Esquema del diseño de investigación



4.2 Método de investigación.

El método cuantitativo, según lo descrito por Tamayo (2022), implica la verificación de teorías previamente establecidas a través de la evaluación de hipótesis que se derivan de estas teorías. Para llevar a cabo este proceso, es esencial obtener una muestra que represente adecuadamente la población o el fenómeno en estudio, ya sea seleccionándola de manera aleatoria o de manera selectiva, pero que refleje de manera precisa la entidad bajo investigación.

Por lo tanto, el enfoque de la investigación en la presente tesis es de enfoque cuantificable pues recopilaremos datos de fabricación de tiempos y se contrastará los tiempos posteriores a la implementación del sistema modular para demostrar la satisfacción de la hipótesis.

4.3 Población y muestra.

4.3.1 Población

Según Arias (2021), una población se refiere a un grupo de elementos, ya sea de tamaño finito o infinito, que comparten características comunes y cuyas conclusiones derivadas de la investigación se aplicarán a este conjunto específico. La delimitación de esta población se establece en función del problema de estudio y los objetivos de la investigación.

Para el caso específico la población consta de cuatro salas eléctricas (dos salas eléctricas de 11m de largo y dos de 18m de largo)

4.3.2 Muestra

De acuerdo con la definición proporcionada por Arias (2020), una muestra se describe como una porción limitada y representativa que se selecciona de la población accesible.

Así mismo Hernández (2019), indica que "cuando la población consta de menos de cincuenta (50) individuos, esta población es idéntica a la muestra".

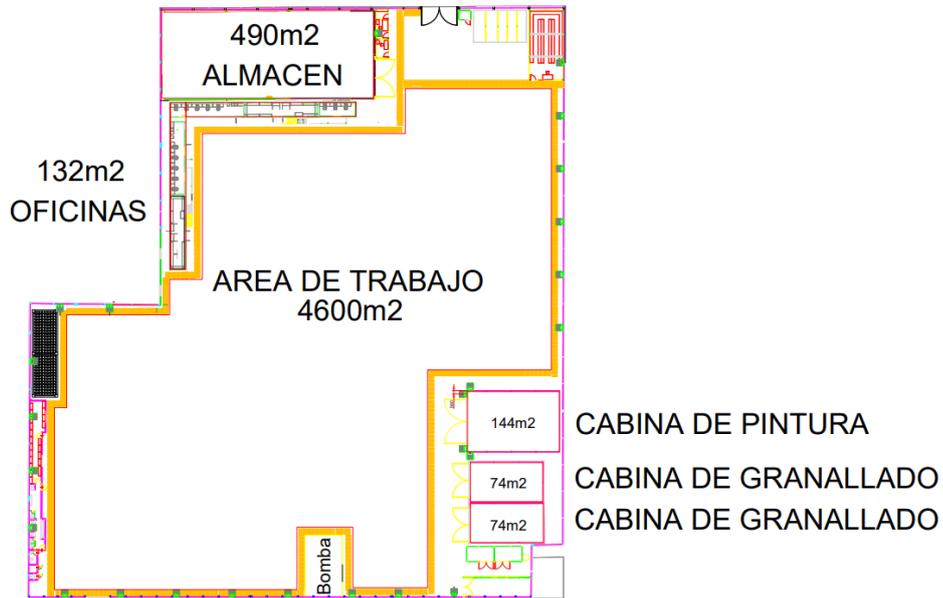
Por lo expuesto en este caso la muestra será la misma que la población.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

El lugar de estudio es una empresa del rubro metalmecánico-eléctrico ubicado en Lima, en el distrito de Cercado de Lima, la cual cuenta con una planta con un área útil de fabricación de 4600m², en la cual se realizó la fabricación de la sala eléctrica.

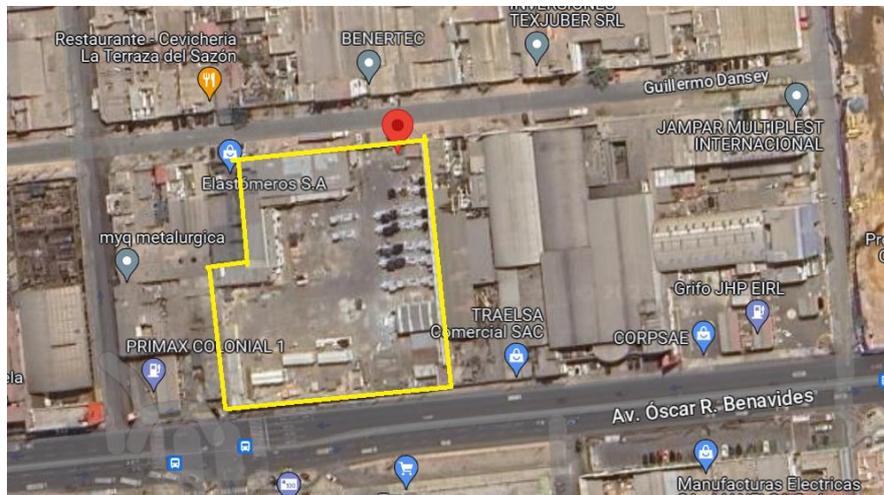
El periodo de desarrollo comprende del 2022 al 2023.

Figura IV-2 Área de planta de fabricación



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-3 Ubicación de la planta de fabricación



Fuente: Tomada de "Google maps"

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de información

4.5.1. Técnica para la recolección de la información

La técnica utilizada en la tesis fue la técnica documental pues de acuerdo con la descripción de Baena (2018), la técnica documental se caracteriza por la selección y recolección de datos a través de la lectura y el análisis crítico de documentos y recursos bibliográficos.

En la misma línea, Gallardo (2018) indica que la investigación documental se refiere a una técnica que facilita la adquisición de documentos novedosos a partir de los cuales es factible llevar a cabo una variedad de actividades intelectuales, tales como describir, explicar, analizar, comparar, criticar, y otras relacionadas con un tema o cuestión mediante el análisis de fuentes de información.

Así mismo también se llevó a cabo el método empírico, pues según Hernández (2019), los métodos empíricos se emplean para identificar y reunir un conjunto de hechos y datos que sirvan como punto de partida para evaluar la situación del problema investigado o confirmar la validez de la propuesta planteada en la investigación.

Se emplearon dichas técnicas pues se identificaron y documentaron las informaciones de tiempos durante el proceso de fabricación a fin de demostrar nuestra hipótesis.

4.5.2. Instrumentos de recolección de información

Los instrumentos de recolección de información fue la siguiente:

- Especificaciones Técnicas del cliente
- Investigaciones bibliográficas
- Ficha de registro de campo

4.6 Análisis y procesamiento de datos

Figura IV-4 Análisis y procesamiento de datos.



Fuente: Elaboración propia.

4.6.1. Desarrollo del trabajo de investigación

El desarrollo completo de la tesis está dividido en 03 etapas, en la primera etapa se realizó el diseño de la estructura en el software SAP 2000 para corroborar que la sala eléctrica se comporte adecuadamente al trabajar en dos módulos y cuando se encuentre sometido a las cargas internas de equipos y además de cargas externas a las que estará expuesto cuando se encuentre en operación. Finalmente, al resultar satisfactoria, se realizaron los planos de fabricación y nos da el pase a la fabricación de la sala eléctrica en dos módulos (cada uno de 11.25m) , esta segunda etapa culminará cuando se cuente con la estructura de los módulos construida ,eso quiere decir sin cobertura envolvente (paredes de la sala eléctrica) , finalmente ingresamos a la tercera etapa que se llama montaje , donde se realiza la unión de los módulos y la colocación de la cobertura perimetral (interna y externa) de la sala eléctrica , cerrando con los trabajos de pintura que permita el ingreso del personal de electro montaje(contratistas) para realizar los trabajos dentro de la sala eléctrica.

- ETAPA 1 (DISEÑO)

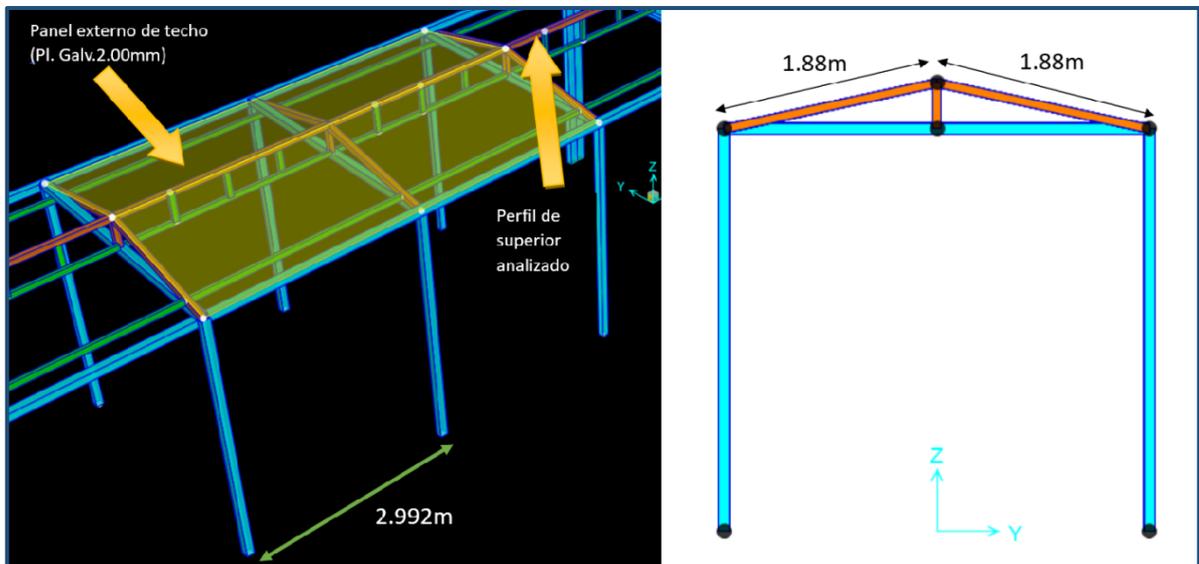
El pre-dimensionamiento es un proceso en ingeniería que implica realizar una estimación preliminar de las dimensiones y propiedades básicas de una estructura metálica antes de llevar a cabo un diseño detallado.

El objetivo del pre-dimensionamiento es determinar de manera aproximada el tamaño de los elementos estructurales.

a. Pre – dimensionamiento de perfiles horizontales de unión de tijerales

Estos perfiles serán los que soportarán los paneles externos de plancha galvanizada de 2.0mm.

Figura IV-5 Vista isométrica y lateral de diseño



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran las fórmulas utilizadas para la estimación de carga:

- Peso estimado de panel externo PI. Galv. 2.0mm (Cubierta):

$$P_{cubierto} = 22 \frac{kgf}{m^2}$$

- Carga permanente (DL):

El peso de la cubierta es la única carga permanente a la que estará sometido el perfil, por lo tanto:

$$DL = P_{Cubierta} = 22 \frac{kgf}{m^2}$$

- Carga variable (LL):

La carga variable es la carga viva a la que estará sometido el perfil, consideraremos 50 Kgf/ m² (Sobrecarga de uso, techo accesible para mantenimiento).

$$LL = 50 \frac{kgf}{m^2}$$

- Combinación de carga:

Al ser las únicas cargas que se conocen en primera instancia, consideraremos una combinación de carga donde solo una combinación donde intervenga la Carga permanente y la carga variable.

$$W = 1.2 DL + 1.6 CV$$

$$W = 1.2 (22) + 1.6 (50) = 106.4 \frac{kgf}{m^2}$$

Como tenemos un valor de peso por superficie, para poder tener la carga lineal la cual soportara nuestro perfil debemos de multiplicar el valor por el ancho tributario al que está sometido el perfil superior, ya que es la que soportará una mayor carga con respecto al perfil inferior paralelo.

- Calculamos el ancho tributario:

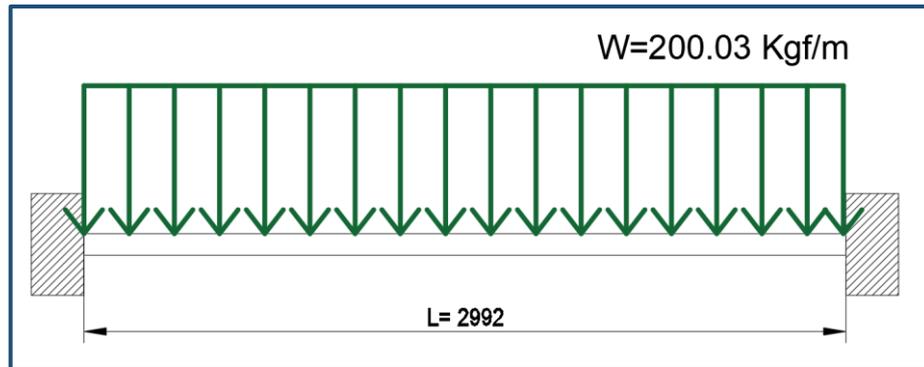
$$\text{Ancho tributario} = \frac{1.88}{2} + \frac{1.88}{2} = 1.88m$$

Calculamos la carga lineal a la que estará sometido el perfil superior:

$$Wv = 106.4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} * 1.88\text{m} = 200.03 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

El perfil superior es un elemento empotrado en sus extremos, por lo tanto:

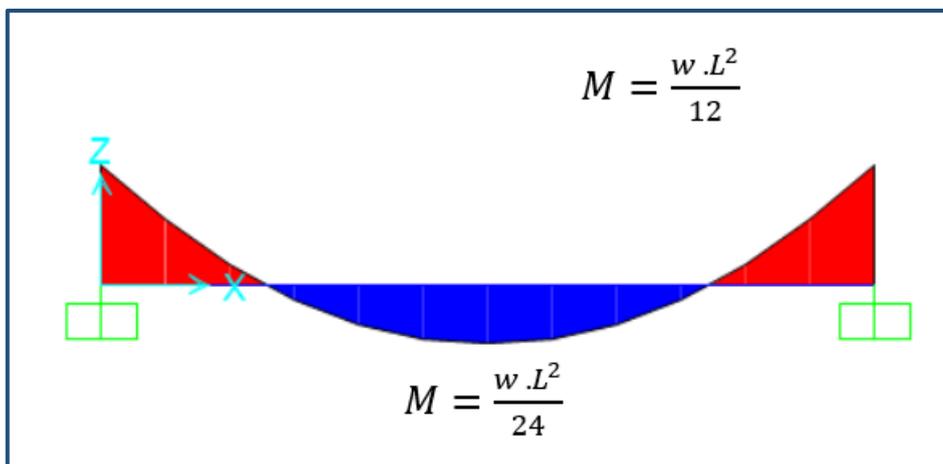
Figura IV-6 Cargas a la que está sometido el perfil



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las cargas y las condiciones de apoyo en los extremos, tendrá el siguiente diagrama de momentos:

Figura IV-7 Diagrama de momentos sobre perfil.



Fuente: Elaboración propia

Ecuación IV-1 Ecuación del momento máximo.

$$Mu = \frac{WL^2}{12} \tag{21}$$

Del diagrama de momentos vemos que el momento máximo M_u es:

Ecuación IV-2 Momento máximo

$$M_u = \frac{200.03(2.992)^2}{12} \quad (22)$$

$$M_u = 149.22 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

- Pre-dimensionamiento del perfil a partir del módulo de plástico

Debe cumplirse lo siguiente:

Ecuación IV-3 Modulo plástico

$$Z_x \geq \frac{M_v}{\phi b * F_y} \quad (23)$$

Donde:

$$\phi b = 0.9$$

Haciendo el remplazo respectivo en la desigualdad tenemos que:

$$Z_x \geq \frac{149.22 \text{ kgf} * \text{m} \left(\frac{1000}{1} \right)}{(0.9)2530 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \frac{100\text{m}^2}{\text{m}^2}} = 6.54 \text{ cm}^3$$

Por necesidad constructiva utilizaremos un perfil cuadrado HSS 3" x 3".

De tablas verificamos que para el espesor de 3/16", el valor del módulo plástico satisface la desigualdad:

$$Z_x = 32.28 \text{ cm}^3$$

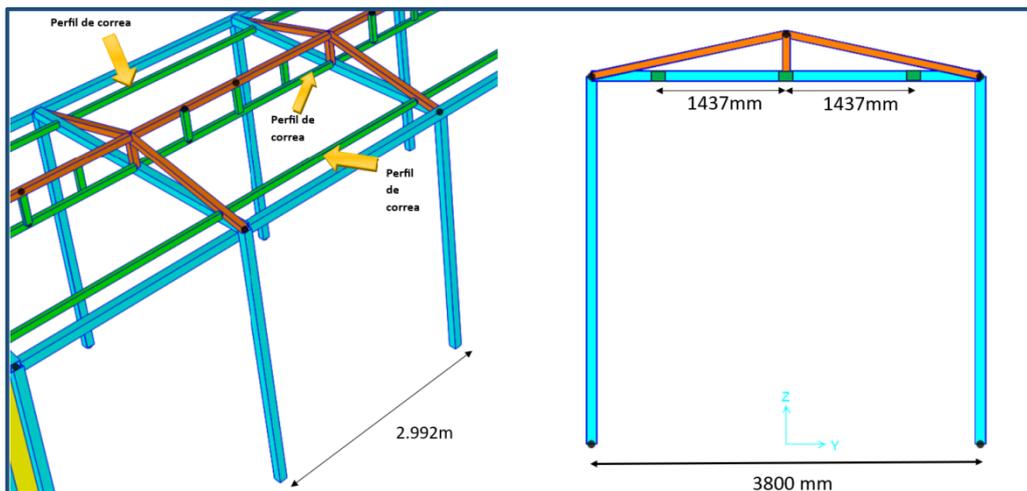
Si ahora consideramos la carga del perfil este seguirá satisfaciendo la desigualdad, por lo tanto, utilizaremos tubo HSS 3" x 3" x 3/16" para el perfil superior que soporta el panel y los soportes horizontales laterales que también soportan el panel por tener que soportar el aislamiento en el techo y este ser un poco más de 3" entonces debe ser de tubo de 4"x4"x3/16".

b. Pre-dimensionamiento de correas de techo interno

Estas correas se encargan de soportar las bandejas porta cables que se encuentran a la altura del cielo raso (techo interno de la sala eléctrica), además que soportan el peso del sistema de aislamiento del techo.

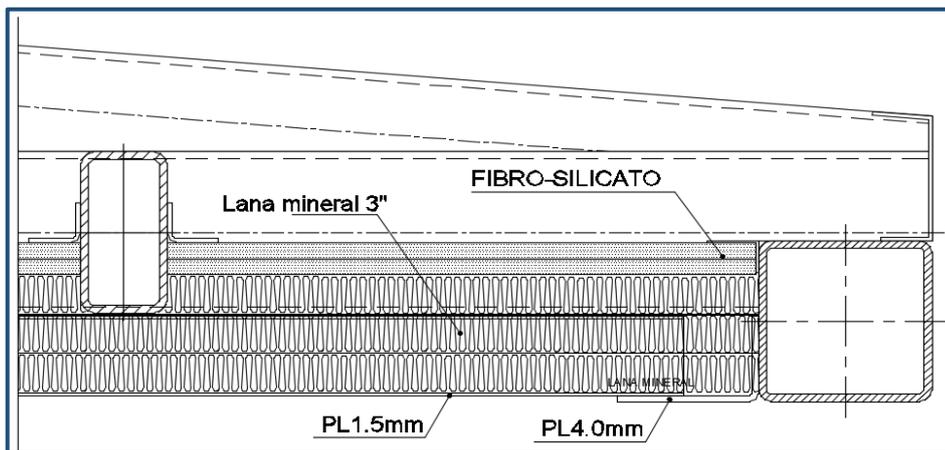
Nota: asumimos 03 correas que soporten lo mencionado

Figura IV-8 Vista isométrica y lateral de la estructura de techo interno



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-9 Detalle de sistema de aislamiento de techo.



Fuente: Elaboración propia

La composición del sistema de aislamiento consta de lo siguiente:

Tabla IV-1 Composición del sistema de aislamiento.

composición	Espesor
PL techo interno	: 1.5 mm
Fibrosilicato	: 24.0 mm
Lana mineral 100kg/m³	: 76.2 mm
Angulo L83x54	: 4.0 mm

Fuente: propia

- Cargas permanentes (DL):

Como carga permanente tendremos el sistema de aislamiento en techo y el peso de las bandejas de cable.

- Peso sistema aislamiento del techo

Tabla IV-2 Peso sistema de aislamiento techo

COMPOSICIÓN	ESPESOR	DENSIDAD	PESO
PL techo interno	: 1.5 mm	7,860 kg/m ³	15.5 kg/m ²
Fibrosilicato	: 24.0 mm	870 kg/m ³	20.9 kg/m ²
Lana mineral 100kg/m³	: 76.2 mm	100 kg/m ³	7.6 kg/m ²
Angulo L83x54	: 4.0 mm	7,860 kg/m ³	2.6 kg/m ²
Carga superficial			46.7 kg/m²

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, se tiene:

$$P_{\text{sistema de aislamiento}} = 46.7 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

- Peso de bandeja de cables

El techo estará diseñado con una carga mucho mayor para representar las bandejas considerando un posible incremento de equipos, a solicitud del cliente.

$$P_{equipos} = 250 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

Por lo tanto, la carga permanente será:

$$DL = P_{sistema \ de \ aislamiento} + P_{equipos} = 46.7 + 250 = 296.7 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

- Combinación de carga:

Al no estar expuesto directamente a la carga viva asumiremos solo carga muerta.

$$W = 1.4 \text{ DL}$$

$$W = 1.4 (46.7 + 250)$$

$$W = 415.38 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

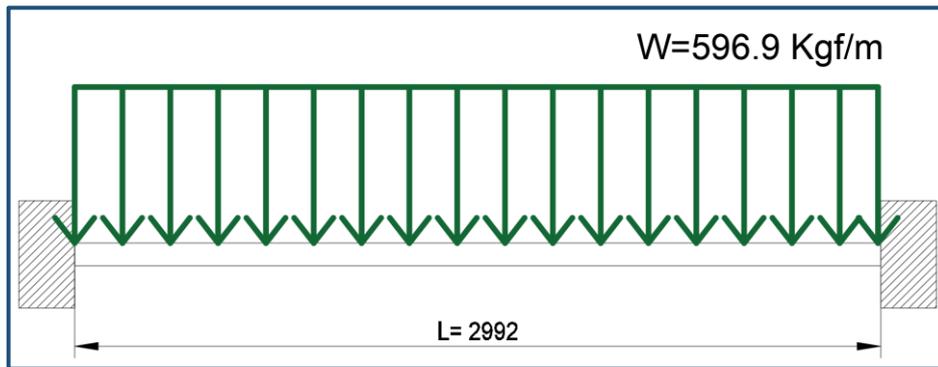
Analizamos la correa central al estar expuesta a un mayor ancho tributario

Ancho tributario = 1.437m, por lo tanto, la carga lineal a la que estará sometido el perfil será la multiplicación de la carga superficial encontrada y el ancho tributario.

$$W_u = 415.38 (1.437) = 596.9 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

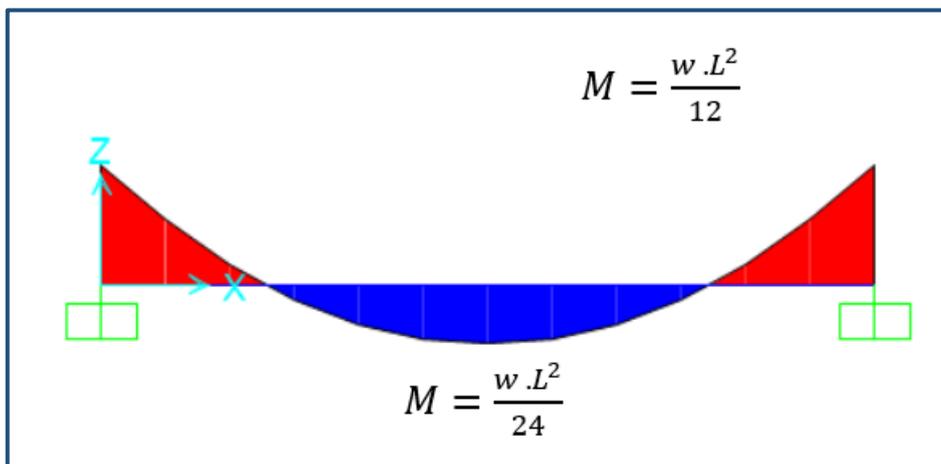
La correa es empotrada, por lo tanto:

Figura IV-10 Cargas a la que está sometido el perfil.



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-11 Diagrama de momentos sobre perfil.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación del momento máximo tenemos:

$$M_u = \frac{596.9 (2.932)^2}{12}$$

$$M_u = 445.29 \text{ kgf.m}$$

- Pre-dimensionamiento del perfil, a partir de modulo plástico

$$Z_x \geq \frac{M_v}{\phi_b * F_y}$$

$$Z_x \geq \frac{445.29 \text{ kgf} \cdot \text{m}}{(0.9)2530 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$Z_x \geq 0,195 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$Z_x \geq 0,195 \text{ cm}^2 \cdot (100\text{cm})$$

$$Z_x \geq 19.5 \text{ cm}^3$$

Por conveniencia constructiva necesitamos que sea un tubo rectangular de 3"x2"
Buscamos un valor mayor en tablas:

Tabla IV-3 Dimensiones tubo rectangular de 3"x2"

	Z x cm³
3" x 2 x 1/8"	17.37
3" x 2 x 3/16"	24.25
3" x 2 x 1/4"	29.98

Fuente: Propia

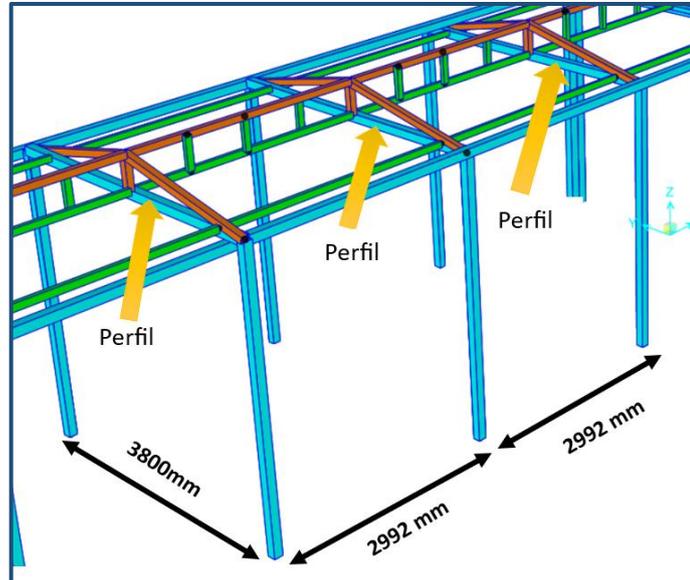
Se escoge el tubo de 3" x 2" x 3/16" al estar encima del valor $Z_x = 19.5 \text{ cm}^3$ debe ser mayor pues hace falta considerar el peso de la correa,

Peso tubo 3" x 2" x 3/16" = 9.98 kgf/m

Este valor afecta al W_v , finalmente se verifica en el Z_x y se ve que cumple con las condiciones.

c. Pre-dimensionamiento de perfil para apoyo de cargas internas en el techo

Figura IV-12 Pre-dimensionamiento de perfil para apoyo de cargas internas en el techo.



Fuente: Elaboración propia

- Cargas permanentes (DL):

Como carga permanente tendremos el sistema de aislamiento en techo y el peso de las bandejas de cable y el peso que representan las correas calculadas

- Carga en superficie por peso propio de correas:

$$N_{Correas} = 3$$

$$L_{Correas} = 2.992 \text{ m}$$

$$Peso_{tubo} = 9.98 \text{ Kg/m}$$

A continuación, en la siguiente ecuación se presenta el peso de las correas.

Ecuación IV-4 Ecuación de peso de correas

$$P \text{ correas} = \frac{\text{Peso tubo} \times L \text{ correa} \times \text{Narnes}}{\text{Ancho sala} \times \text{Sup. Porticos}} \quad (24)$$

$$P \text{ correas} = \frac{9.98 \times 2.992 \times 3}{3.8 \times 2.992}$$

$$P \text{ correas} = 7.87 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Por lo tanto, el peso total de correas en un pórtico es de $7.87 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

Por lo tanto, la carga permanente a los que estará sometido el perfil será:

$$DL = P_{\text{sistema de aislamiento}} + P_{\text{equipos}} + P_{\text{Correas}} = 46.7 + 250 + 7.87$$

$$DL = 304.57 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

- Combinación de carga:

La combinación de carga corresponde solo a carga permanente, por lo tanto:

Ecuación

Ecuación IV-5 Combinación de carga

$$W = 1.4DL \quad (25)$$

$$W = 1.4 (200.03)$$

$$W = 280.042 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

El ancho tributario al que estará sometido es:

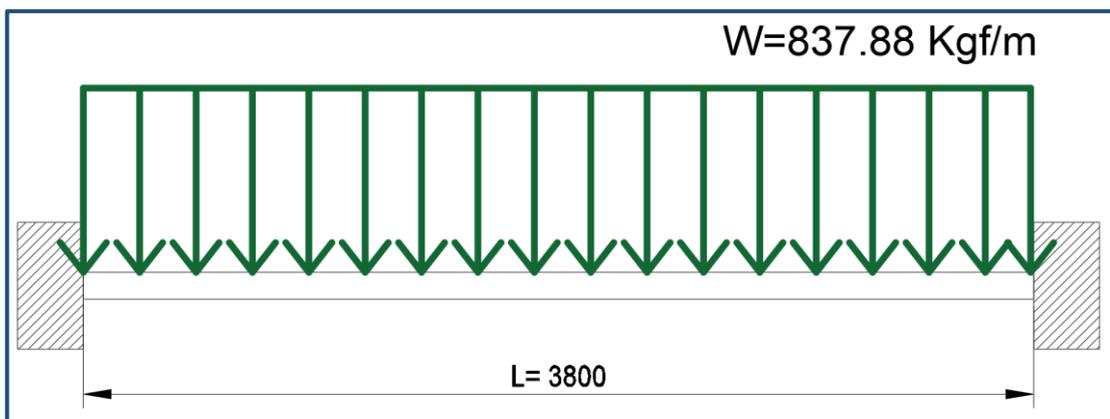
Ancho tributario = 2.992 m

Por lo tanto, la carga lineal a la que estará sometido el perfil será:

$$W_u = 280.042(2.992) = 837.88 \text{ kgf/m}$$

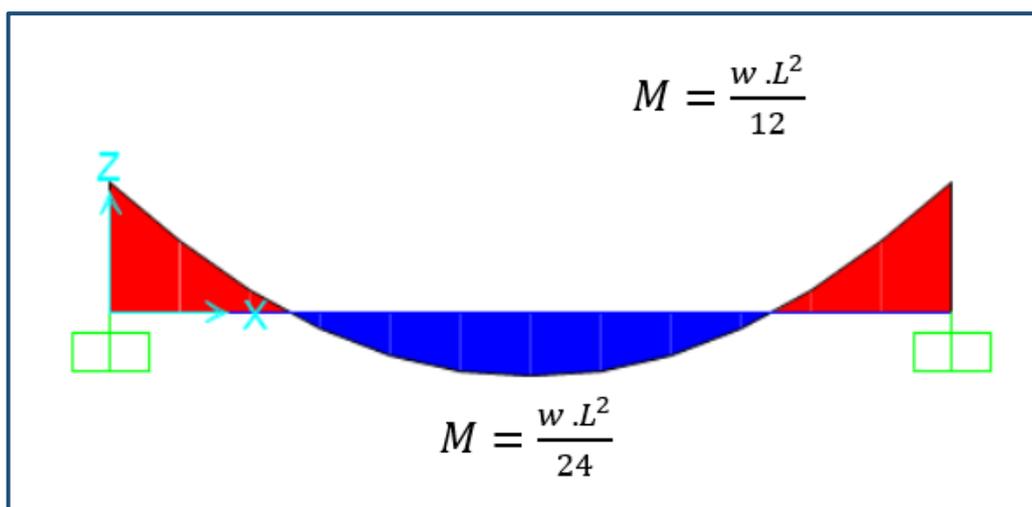
El perfil es empotrado en sus extremos, por lo tanto:

Figura IV-13 Cargas a la que está sometido el perfil peso de correas.



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-14 Diagrama de momentos sobre el perfil.



Fuente: Elaboración propia.

Remplazando los valores:

$$Mu = \frac{837(3.8)^2}{12} = 1008.24 \text{ kgf.m}$$

- Pre-dimensionamiento a partir del módulo plástico:

$$Zx \geq \frac{Mv}{\phi b * Fy}$$

$$Zx \geq \frac{1008.24 \text{ kgf} * m}{(0.9)2530 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$Zx \geq 0,442 \text{ cm}^2.m$$

$$Zx \geq 0,442 \text{ cm}^2. (100\text{cm})$$

$$Zx \geq 44.2 \text{ cm}^3$$

Constructivamente se requiere que sea un tubo de 4" x 4"

Tabla IV-4 Dimensiones de tubo 4"x4"

	Z x cm³
4" x 4 x 1/8"	41.95
4" x 4 x 3/16"	60.14
4" x 4 x 1/4"	76.85

Fuente: Propia

Al pedirnos que sea

$$Zx \geq 44.2 \text{ cm}^3$$

Se selecciona el tubo de

$$4" \times 4" \times 3/16"$$

$$Zx = 60.14 \text{ cm}^3$$

Ahora al considerar el peso del tubo de 4" x 4" x 3/16" se modifica el momento Mu y Satisface la desigualdad.

d. Vigas secundarias plataforma base

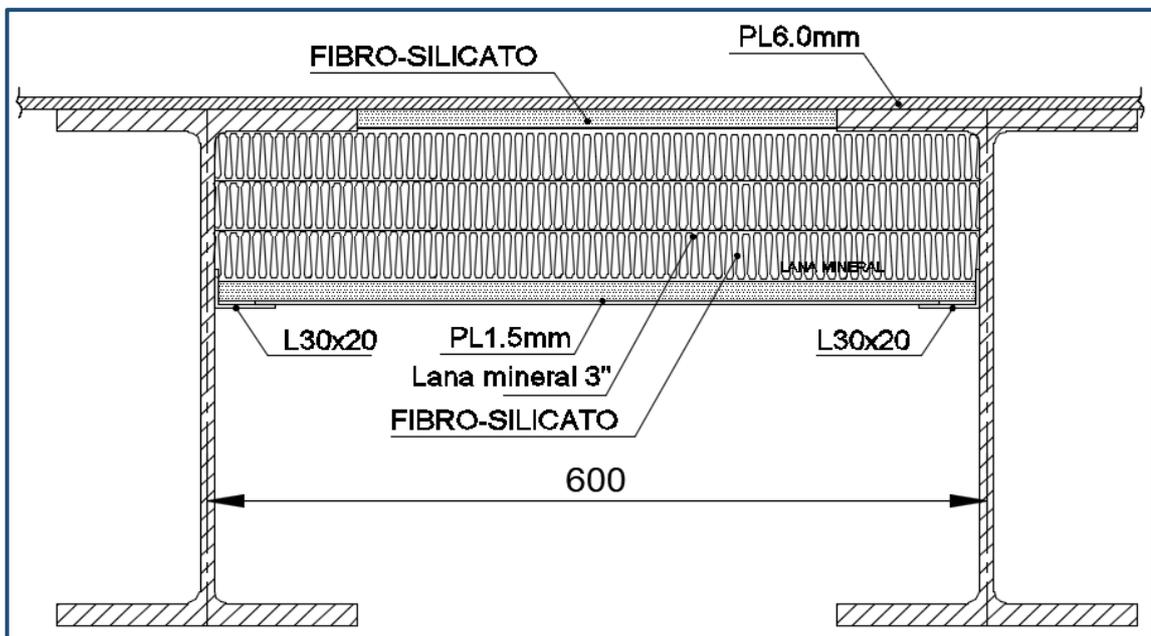
La separación promedio entre las vigas secundarias es de 600mm, por lo que el ancho tributario que soportará será de 300 mm cada lado lo que nos da un total de 600mm.

La sala eléctrica es una estructura la cual debe contar con un sistema de aislamiento, este sistema de aislamiento está relacionado con la resistencia al fuego y esta siempre es una especificación del cliente pues existen grados.

Para el caso particular según la hoja de datos del proyecto, esta sala eléctrica será de RF120(especificar normativa), esto significa que la sala eléctrica debe tener una resistencia al fuego de 120 min.

La empresa cuenta con un sistema el cual cumple con la especificación, por lo que para el caso del piso la composición es la siguiente.

Figura IV-15 Sistema de aislamiento en plataforma base.



Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-5 Composición de vigas secundarias.

composición	Espesor
PL interno	: 1.5 mm
Fibrosilicato	: 24.0 mm
Lana mineral 100kg/m³	: 76.2 mm
Angulo L30x20	: 2.0 mm

Fuente: Elaboración propia

- Cargas permanentes (DL):

Como carga permanente tendremos el sistema de aislamiento en el piso y el peso de la plancha del piso que será de 6mm.

- Carga de aislamiento térmico

Tabla IV-6 Cargas de aislamiento térmico.

composición	Espesor	Densidad	Peso
PL interno	: 1.5 mm	7,850 kg/m ³	11.8 kg/m ²
Fibrosilicato	: 24.0 mm	870 kg/m ³	20.9 kg/m ²
Lana mineral 100kg/m³	: 76.2 mm	100 kg/m ³	7.6 kg/m ²
Angulo L30x20	: 2.0 mm	7,860 kg/m ³	3.0 kg/m ²
Carga superficial			43.3 kg/m²

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, la carga por aislamiento será: 43.3 kg/m²

- Carga del piso:

De acuerdo con lo indicado la carga del piso es plancha de acero de 6mm.

$$C_{\text{piso}} = \rho_{\text{acero}} \times \text{espesor plancha} = \frac{7850\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.006\text{m} = \frac{47.1\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

La carga permanente (DL) será:

$$DL = C_{\text{aislamiento}} + C_{\text{piso}} = 90.4 \text{ Kg/m}^2$$

- Carga Variable (LL):

Según la especificación técnica la carga variable fue de 1250Kg/m²

- Combinación de cargas:

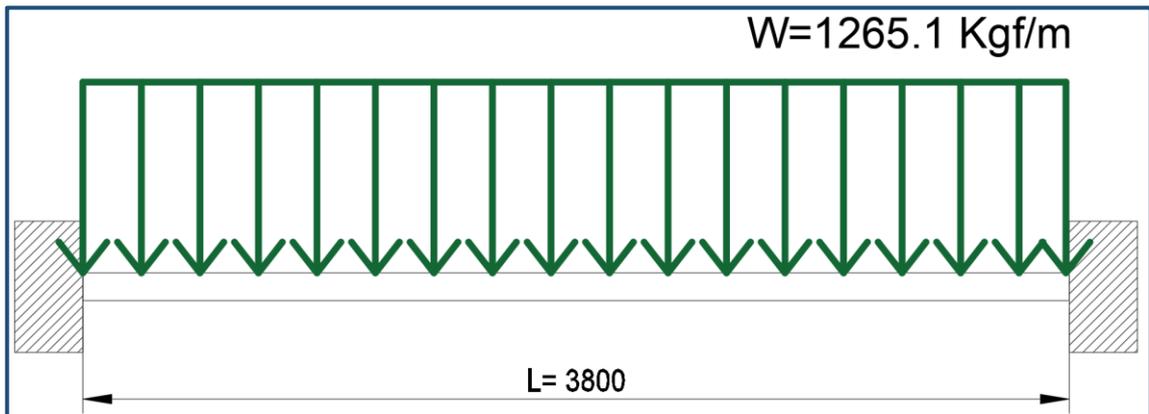
$$W = 1.2DL + 1.6LL = 1.2(90.4) + 1.6(1250) = 2108.48\text{Kg/m}^2$$

Ahora realizamos el cálculo de la carga lineal que soportará la viga secundaria:

$$W_u = W \times \text{Ancho tribut.} = \frac{2108.48\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 0.6\text{m} = 1265.08\text{Kg/m}$$

Estas vigas secundarias se encuentran soldadas a los extremos funcionando como empotrado:

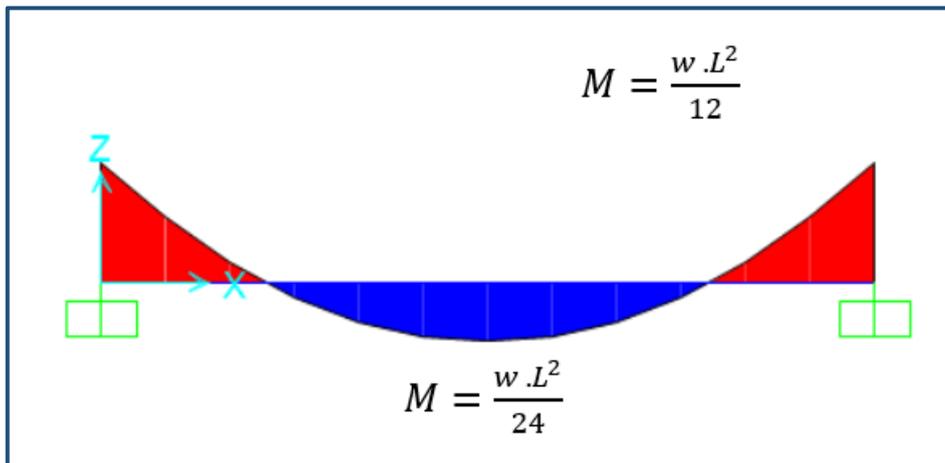
Figura IV-16 Cargas a la está sometido las vigas secundarias.



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de momento será:

Figura IV-17 Diagrama de momento sobre perfil vigas secundarias



Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación del momento máximo tenemos:

$$Mu = \frac{1265.08 (3.8)^2}{12}$$

$$Mu = 1522.31 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

- Pre-dimensionamiento del perfil, a partir de módulo plástico

$$Zx \geq \frac{Mu}{\phi b * Fy}$$

$$Zx \geq \frac{1522.31 \text{ kgf.m}}{(0.9)2530 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$Zx \geq 66.85 \text{ cm}^3$$

Por estándar de la empresa se utiliza para los fines vigas de peralte de 10", de las medidas más comerciales que uno encuentra y menor peso lineal es la viga:

$$W10x22 \frac{Lb}{Pulg}$$

Según tabla se tiene que la viga cuenta con módulo plástico $Zx = 426.06 \text{ cm}^3$, el cual cumple con la desigualdad, se debe tener en consideración que aún no se tiene en cuenta el peso propio de la viga en el cálculo, ni las demás cargas como el peso de los equipos que soportará.

Por lo tanto, el perfil de la viga secundaria será:

$$W10x22 \frac{Lb}{Pulg}$$

- Cargas y combinaciones de carga

Según el AISC 360 – 16, indica que las cargas y combinaciones de carga serán estipuladas por la normativa aplicable, para lo cual se aplica normativa de cargas sísmicas, la E0.30 y para las demás cargas la E0.20, para las combinaciones de carga se aplica la norma E0.90, como se muestra en el Anexo A normativa Y siguiendo las combinaciones de carga como se muestra:

Figura IV-18 Combinaciones de carga

(1) 1.4 DL
(2) 1.2 DL + 1.6 L + 0.5 S
(3.1) 1.2 D + 1.6 S + 0.5 L

(3.2) $1.2 D + 1.6 S + 0.8 W_x$
(3.3) $1.2 D + 1.6 S + 0.8 W_y$
(4.1) $1.2 D + 1.3 W_x + 0.5L + 0.5S$
(4.2) $1.2 D + 1.3 W_x + 0.5L + 0.5S$
$1.2 D + 1.0 E_x + 0.5L + 0.2S$
$1.2 D - 1.0 E_x + 0.5L + 0.2S$
$1.2 D + 1.0 E_x + 0.5L + 0.2S$
$1.2 D - 1.0 E_y + 0.5L + 0.2S$
$0.9 D + 1.3 W_x$
$0.9 D - 1.3 W_x$
$0.9 D + 1.3 W_y$
$0.9 D - 1.3 W_y$
$0.9 D + 1.0 E_x$
$0.9 D - 1.0 E_x$
$0.9 D + 1.0 E_y$
$0.9 D - 1.0 E_y$

Fuente: (Normas NTP E0.90)

- Estimaciones de carga
- Carga Muerta (DL)

Esta está comprendida por el peso de los elementos con que se elaboró el modelo dentro de los cuales se da automáticamente con el programa.

Adicional a ello esta está comprendida por el peso de los equipos que se instalarán dentro de la sala eléctrica.

Tabla IV-7 Pesos de equipamiento

SALA ELECTRICA MODULO 1 Y 2 UNIDOS			
ITEM	TAG	EQUIPOS	kg
1	1200 - SB - 001	Switchboard de baja tensión 480, 300 A, PHASE, 3, 60 Hz, 65 ka. Metal	1200
2	1200 - CCM - 001	NEMA 12	1130
3	1200 - CCM - 002	Centro de control de motores 480 VAC, 3,3H ´T, 1200 A, 65 kA	3628
4	1200 - TTA - 001	Tablero de Sincronismo de Grupos	450
5	1200 - DP - 001	Tablero de servicios auxiliares 400. 231V	150
6	1200 - DX - 001	Transformador tipo seco de servicios auxiliares 65 KVA, 480/300 - 231 V	420
7	1200 - TR - 050	Transformador de UPS, 10kVA, 480/220V	104
8	1200 - UPS - 050	Unidad interrumpida de Energía UPS, 120 Vac, 10 kVA	250
9	1200 - CP - 010	Tablero de control PAS	300
10	1200 - FP - 001	Tablero de SCI de detección y alarma	25
11		Tablero de SCI de detección temprana Vesda	10
12	1200 - ZE- 0018	Tablero de control del sistema de presurización y HVAC	150
13	1200 - VF - 001	VDF Bomba de alimentación a batería de Hidrocyciones 400HP	900
14	1200 - VF - 002	VDF Bomba de alimentación a batería de Hidrocyciones 400HP	900
15	1200 - VF - 003	VDF Bomba de impulsión hacia presa de relaves 250 HP	600
16	1200 - VF - 004	VDF Bomba de impulsión hacia presa de relaves 250 HP	600
17	1200 - VF - 005	VDF Bomba de impulsión hacia presa de relaves 250 HP	600
18	1200 - VF - 006	VDF Bomba de impulsión hacia presa de relaves 250 HP	600
19		Transformador de UPS, 10kVA, 280/220V	104
22		Tablero By pass	100
23		Batería de UPS	300
24	130 - RIO - 050	Tablero rio	250
25		OTROS	500
TOTAL			13271

Fuente: Elaboración propia

- Carga Viva (LL)

La carga viva se estimará, la cual será de 1250kg/m² para el piso de la sala, de acuerdo con la especificación técnica y 50Kg/m² para el techo.

- Carga por sismo (LL)

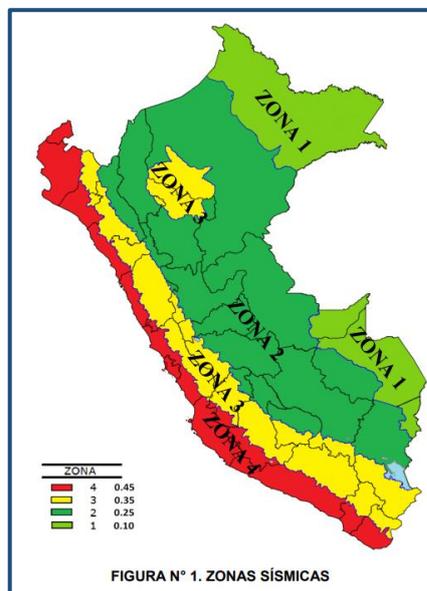
Se realizó el análisis y diseño por efectos de las fuerzas sísmicas, estas fuerzas fueron determinadas con las recomendaciones de las normas E.030 (Norma sismo resistente) y de acuerdo con las especificaciones técnicas.

La estructura se considera regular y no sobre pasa los 30m de altura, el método de análisis que conviene tomar es el análisis estático equivalente, este método presenta las solicitaciones sísmicas como un conjunto de fuerzas horizontales actuando en la estructura.

Siguiendo la norma E0.30 Anexo A, según el mapa de zonificación sísmica del Perú, el departamento de Pasco, donde se encuentra ubicado el brocal, identificado en la zona 3.

Entonces su factor de Zona es: $Z=0.35$

Figura IV-19 Zona sísmica



Fuente: Tomada de "Cargas por sismo", por Norma E/030,2020, p.13.

Según indicación geotécnica del proyecto la ubicación final de la sala será sobre un terreno tipo intermedio (S2), entonces según la tabla 3 para "Z3" y perfil de suelo "S2", $S_2 = 1.15$

Figura IV-20 Factor de suelo "S"

Tabla Factor de Suelo "S"				
Suelo	S0	S1	S2	S3
Zona				
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma E/030,2020

Según el perfil indicado tipo "S2", tomamos valores de la tabla de periodos TP y TL

Tabla IV-8 Tabla Periodos.

Tabla Períodos "Tp" y "Tl"				
	Perfil de Suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp	0.30	0.40	0.60	1.00
Tl	3.00	2.50	2.00	1.60

Fuente: Norma E/030,2020.

$$T_P = 0.6; T_L = 2.0$$

Calculamos el periodo fundamental de vibración "T":

Ecuación IV-6 Ecuación de periodo de vibración

$$T = \frac{h_n}{C_T} \tag{26}$$

Donde:

$h_n \rightarrow$ Altura total del edificio (m)

$C_T \rightarrow$ factor que depende de la característica de la estructura

Según la norma, en nuestro caso aplica:

$C_T = 35$ (Pórtico dúctil de acero con uniones resistentes a momentos)

$h_n = 4.1 \text{ m}$ (Altura sala eléctrica)

El periodo fundamental de vibración es:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{4.1}{35} = 0.117$$

Hallamos el factor de ampliación sísmica (c), según normativa E.030

Ecuación IV-7 Ecuación 1 de factor de ampliación sísmica

$$T < T_p \rightarrow c = 2.5 \quad (27)$$

Ecuación IV-8 Ecuación 2 de factor de ampliación sísmica.

$$T < T < T_L \rightarrow c = 2.5 \frac{T_p}{T} \quad (28)$$

Ecuación IV-9 Ecuación 3 de factor de ampliación sísmica.

$$T > T_L \rightarrow c = 2.5 \frac{T_p T_L}{T^2} \quad (29)$$

En nuestro caso tenemos:

$$T = 0.117$$

$$T_p = 0.6$$

$$T_L = 2.0$$

Entonces de la desigualdad cumple la primera por lo tanto $C=2.5$

Hallamos el factor de uso de la edificación (U):

Podemos clasificar la estructura como tipo "C"

Entonces $U=1.0$

Para el sistema estructural que estamos diseñando es OMF (Pórtico Ordinario resistente a momentos)

Según la tabla N°7 de la E0.30, mediante él se puede calcular el coeficiente básico de reducción (R_o)

Entonces para OMF

$$R_o = 4$$

El artículo 19 de la E0.30 anexo A, nos habla de las clasificaciones de las estructuras, las cuales son REGULARES O IRREGULARES

Una estructura se clasifica en lo mencionado, según aplique lo indicado en las tablas N°8 y N°9 (E0.30) de donde se obtiene:

I_a = factor de irregularidad de altura

I_p = factor de irregularidad de planta

En nuestro caso al no encontrarnos en los casos mencionados en las tablas N°8 y N°9, según 19.2 de la E0.30 estamos ante una estructura regular, por lo tanto:

$$I_a = I_p = 1$$

Calculamos el coeficiente de reducción de respuesta "R"

Ecuación IV-10 Ecuación del coeficiente de reducción

$$R = R_o * I_a * I_p \quad (30)$$

$$R = 4$$

Resumen:

$$Z = 0.35$$

$$U = 1.0$$

$$S = 1.15$$

$$R = 4$$

$$C = 2.5$$

$$T = 0.17$$

– Cargas de viento (WL)

Según el mapa eólico del Perú, a una altura de 10 metros y para un periodo de retorno de 50 años, la velocidad del viento puede alcanzar valores de 70 kph; sin embargo, la norma E0.20 especifica que la velocidad de diseño no puede ser menor a 75 kph.

Para alturas menores a 10m la velocidad de diseño será igual que la velocidad básica y para alturas mayores a 10 metros, se calculará la velocidad de diseño con la expresión siguiente: $V_h = V (h/10)^{0.22}$.

– Cargas debido al viento

Según las dimensiones de la sala eléctrica y basado en el artículo 12 de la norma E0.20 (Norma técnica peruana de cargas), como se muestra en el anexo A, la sala para este proyecto se clasifica como edificación tipo 1 (Según artículo 12.2), pues se trata de una edificación de poca altura y tener cobertura cerrada capaz de soportar cargas sin variar su geometría, por lo tanto, aplica lo indicado en el artículo 12.3 y 12.4 de la norma E0.20.

- Velocidad del diseño

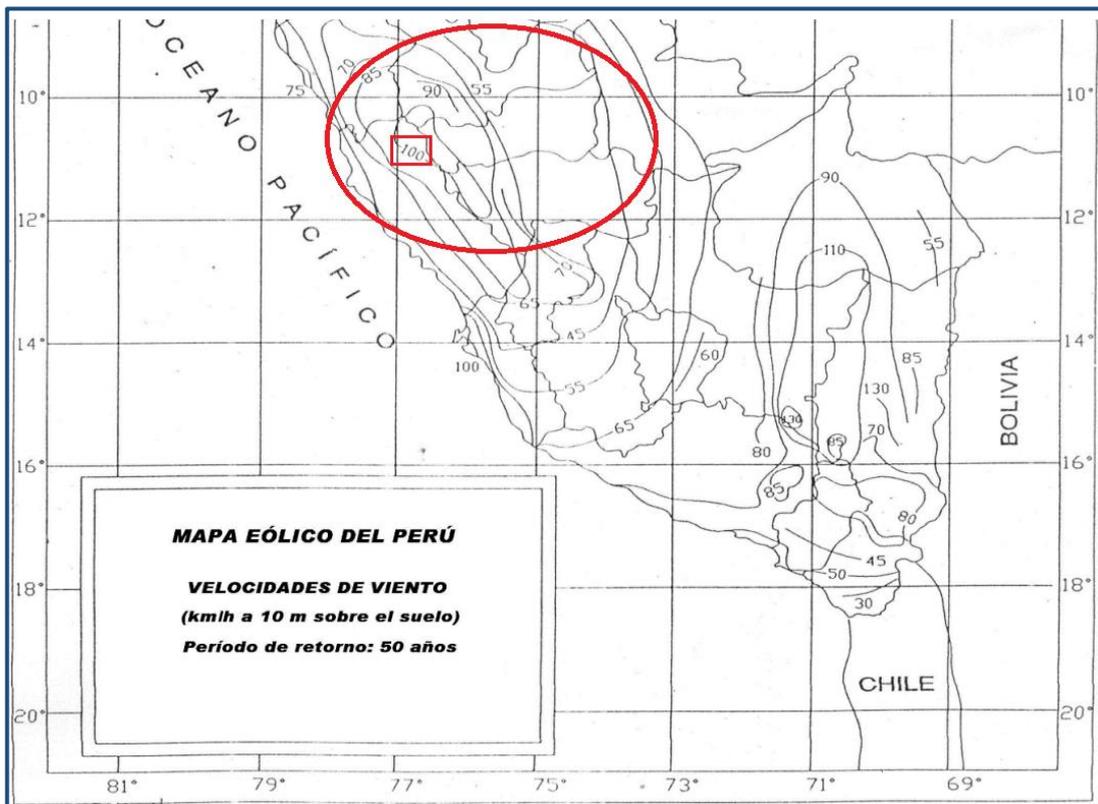
Aplicando 12.3, se considera la velocidad de diseño del viento para una estructura con una altura de hasta 10m, la máxima encontrada según la zona donde se ubicará la estructura con respecto al mapa eólico, pero esta no debe ser menos a 75 Km/h.

Como:

$$Altura_{sala\ electrica} < 10m$$

Según mapa eólico de Perú de E.020, la velocidad del viento máxima 10m sobre el suelo con periodo de retorno de 50 años es 100 km/h (Para el departamento de Pasco).

Tabla IV-9 Mapa eólico de Perú



Fuente: Tomada de "Mapa Eólico" de Norma E.0.20

Entonces al disponer la sala eléctrica una altura menor a 10m la velocidad de diseño será 100 km/h, pues cumple con la restricción del artículo 12.3 Anexo B que indica que debe ser no menor a 75 km/h.

$$V_h = 100 \text{ km/h}$$

– Carga exterior de viento

Las cargas de viento se suponen estáticas y perpendiculares a la superficie. Se calculan mediante la siguiente expresión.

Ecuación IV-11 Ecuación carga exterior de viento.

$$P_h = 0.005 \times C \times V_h^2 \quad (31)$$

Donde:

C = Factor de forma adimensional según la tabla 4 (E0.20).

V_h = Velocidad de diseño

Tabla IV-10 Factores de forma.

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+ 0,85	- 0,6
Anuncios, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1,5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0,7	
Tanques de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular	+2,0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	±0,8	-0,5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0,3 -0,7	-0,6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0,3 -0,7	-0,6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento	-0,7	-0,7

* El signo positivo indica presión y el negativo succión

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la expresión de las cargas de viento y la tabla de factores de forma se tiene lo siguiente:

Figura IV-21 Velocidad de diseño de viento.

VELOCIDAD DE DISEÑO

Velocidad de diseño hasta 10m = km/h

PRESIÓN DE DISEÑO

Cb =	<input type="text" value="0.8"/>	Ph =	40 Kg/m ²	Para barlovento pared
Cb =	<input type="text" value="-0.6"/>	Ph =	-30 Kg/m ²	para sotavento pared
Cb =	<input type="text" value="0.3"/>	Ph =	15 Kg/m ²	barlovento techo
Cb =	<input type="text" value="-0.6"/>	Ph =	-30 Kg/m ²	sotavento techo
Cb =	<input type="text" value="-0.7"/>	Ph =	-35 Kg/m ²	para superficies paralelas al viento

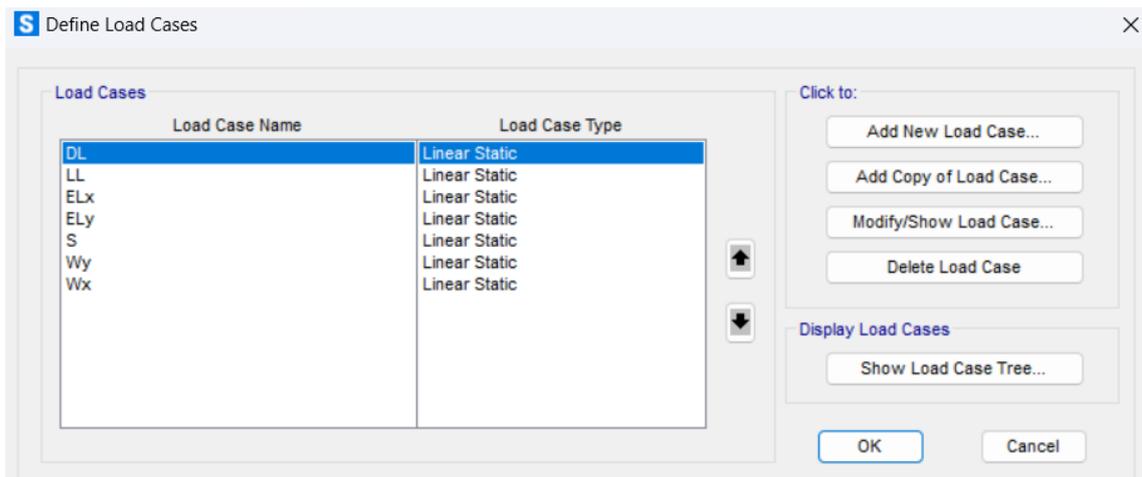
Fuente: Elaboración propia.

e. Análisis de información en software sap2000

- Casos y combinación de cargas.

De acuerdo con la norma E090 se definieron los siguientes casos y combinaciones de carga.

Figura IV-22 Casos y combinaciones de cargas.



Fuente: Elaboración propia

Donde:

DL: Carga permanente (Estructura +equipos)

LL: Carga viva

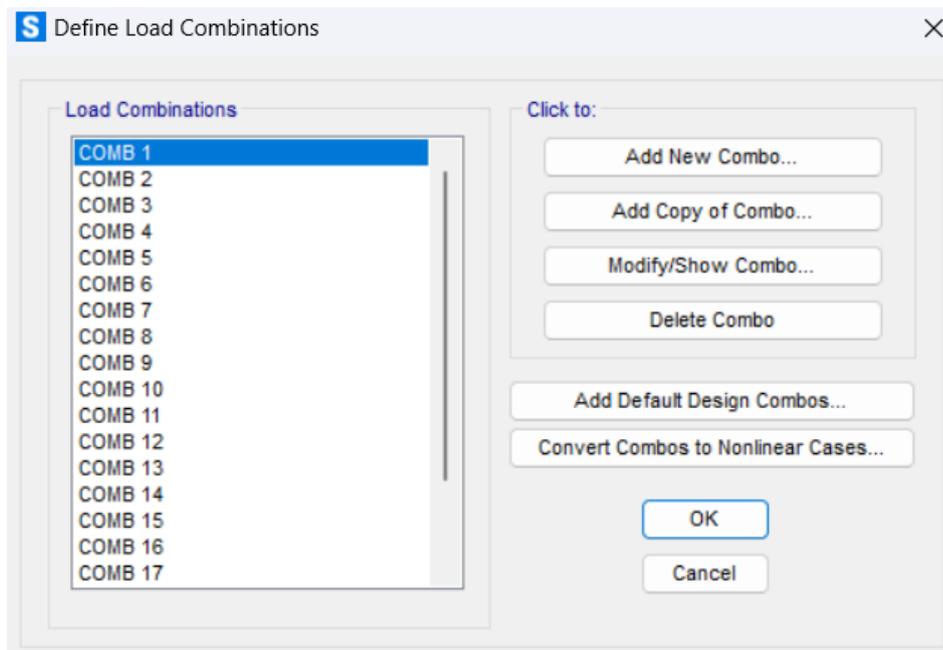
Wx: Viento en x.

Wy: Viento en y.

ELx: Sismo en x.

ELy: Sismo en y.

Figura IV-23 Definición de combinaciones



Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-11 Combinaciones de cargas en operación

COMB1:	1.4 DL
COMB2:	1.2 DL +1.6 LL + 0.5 S
COMB3:	1.2 DL + 1.6 S + 0.5 LL
COMB4:	1.2 DL + 1.6 S + 0.8 Wx
COMB5:	1.2 DL + 1.6 S + 0.8 Wy
COMB6:	1.2 DL + 1.3 Wx + 0.5LL + 0.5S
COMB7:	1.2 DL + 1.3 Wy + 0.5LL + 0.5S

COMB8: 1.2 DL + 1.0 ELx + 0.5LL + 0.2S
COMB9: 1.2 DL - 1.0 ELx + 0.5LL + 0.2S
COMB10: 1.2 DL + 1.0 ELy + 0.5LL + 0.2S
COMB11: 1.2 DL - 1.0 ELy + 0.5LL + 0.2S
COMB12: 0.9 DL + 1.3 Wx
COMB13: 0.9 DL - 1.3 Wx
COMB14: 0.9 DL + 1.3 Wy
COMB15: 0.9 DL - 1.3 Wy
COMB16: 0.9 DL + 1.0 ELx
COMB17: 0.9 DL - 1.0 ELx
COMB19: 0.9 DL + 1.0 ELy
COMB19: 0.9 DL - 1.0 ELy

Fuente: Norma NTP E090

Carga de servicio para deflexiones en operación.

Ecuación IV-12 Carga de servicios para deflexiones en operación.

$$\text{SERVICIO(DL+LL): DL+LL} \quad (32)$$

Combinaciones de cargas para diseño en izaje.

Ecuación IV-13 Combinaciones de carga para diseño en izaje.

$$\text{COMB1: 1.4DL} \quad (33)$$

Carga de servicio para deflexiones en izaje.

Ecuación IV-14 Carga de servicio para deflexiones en izaje.

$$\text{SERVICIO (DL): DL} \quad (34)$$

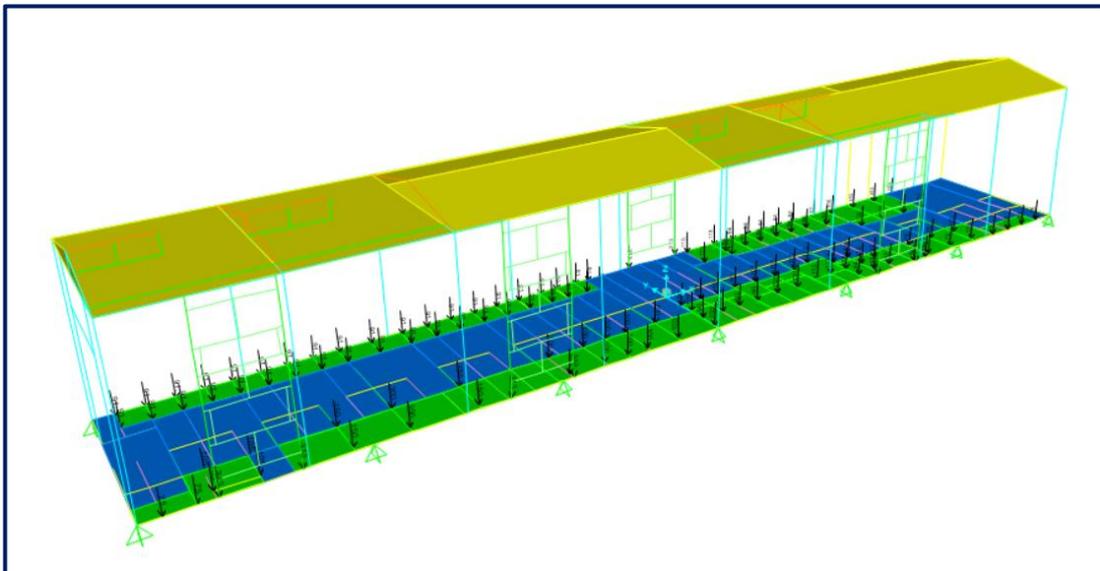
- Asignación de cargas y diseño estructural.

Asignación de cargas.

Se asignaron las cargas permanentes de equipos (DL), carga viva (LL), Carga de sismo (EL) y carga de viento (WL), a continuación, se muestra las cargas asignadas en el programa.

Carga muerta (DL): Peso de equipos y otros.

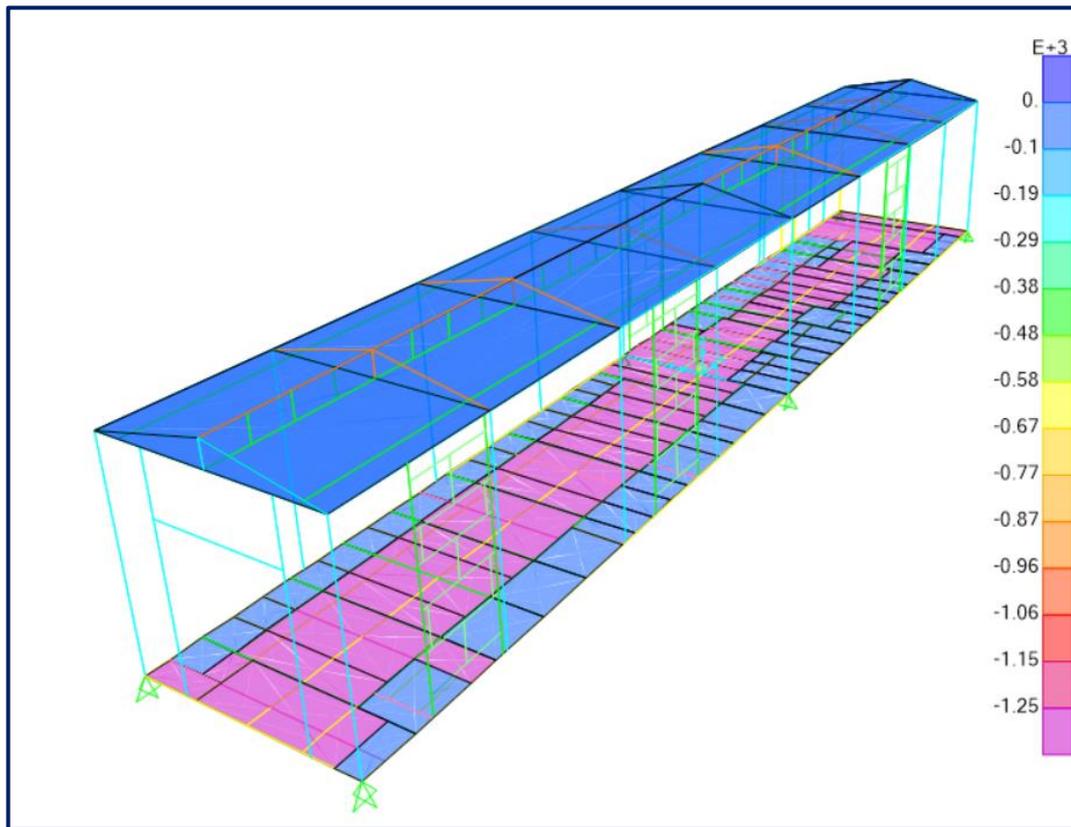
Figura IV-24 Carga muerta de equipos.



Fuente: Elaboración propia.

Carga viva (LL). 1250kg/m² en plataforma y 50 kg/m² en techo externo.

Figura IV-25 Carga viva



Fuente: Elaboración propia.

Carga de sismo (EL). Esta carga está asignada por el programa Sap2000 en base a los parámetros y peso sísmico.

Ecuación IV-15 Ecuación Fuerza cortante basal

$$F = \frac{ZUCS}{R} * P \quad (35)$$

$$F = 0.06 * DL + 0.25LL$$

Figura IV-26 Carga de sismo

User Defined Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Other Factors

Base Shear Coefficient, C
Building Height exp., K

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated
 User Specified

Max Z
Min Z

Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-27 Masa sísmica.

Mass Source Data

Mass Source Name

Mass Source

Element Self Mass and Additional Mass
 Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
VIVA	0.25

Fuente: Elaboración propia.

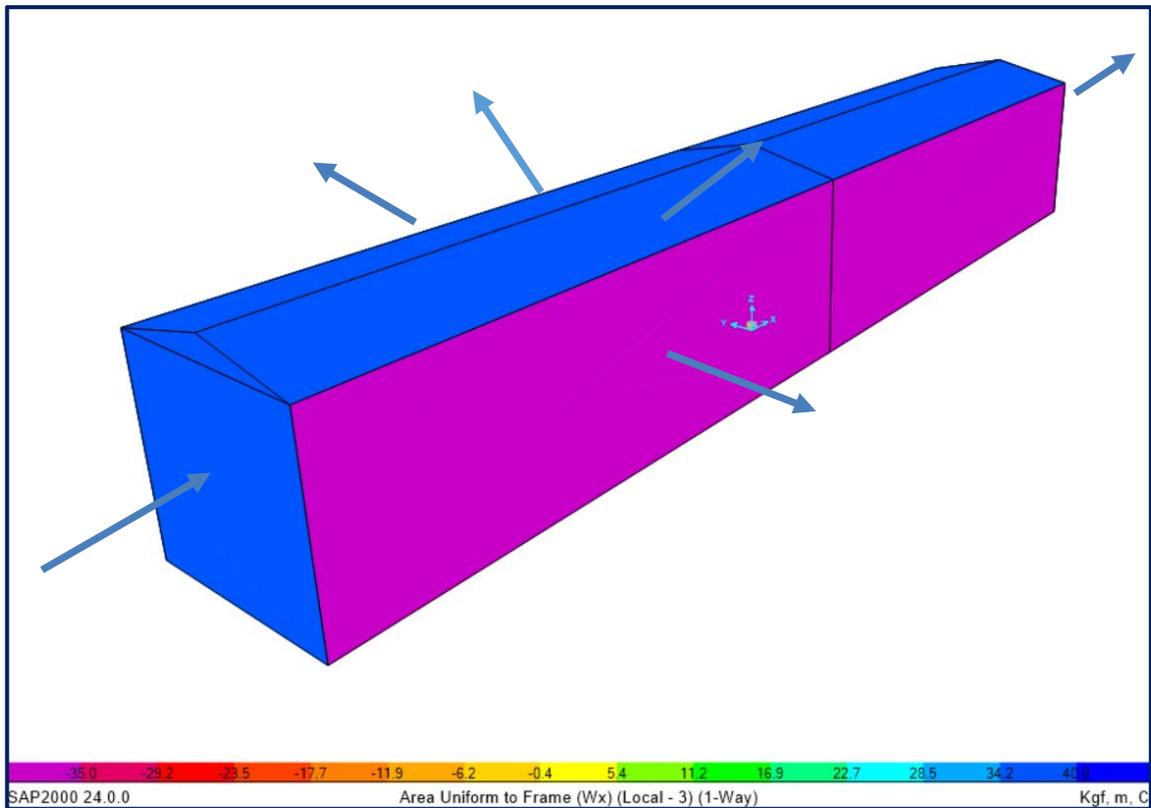
Carga de viento (WL):

Figura IV-28 Velocidad de diseño.

<u>VELOCIDAD DE DISEÑO</u>		
Velocidad de diseño hasta 10m =	100	km/h
<u>PRESIÓN DE DISEÑO</u>		
Cb =	0.8	Ph = 40 Kg/m ² Para barlovento pared
Cb =	-0.6	Ph = -30 Kg/m ² para sotavento pared
Cb =	0.3	Ph = 15 Kg/m ² barlovento techo
Cb =	-0.6	Ph = -30 Kg/m ² sotavento techo
Cb =	-0.7	Ph = -35 Kg/m ² para superficies paralelas al viento

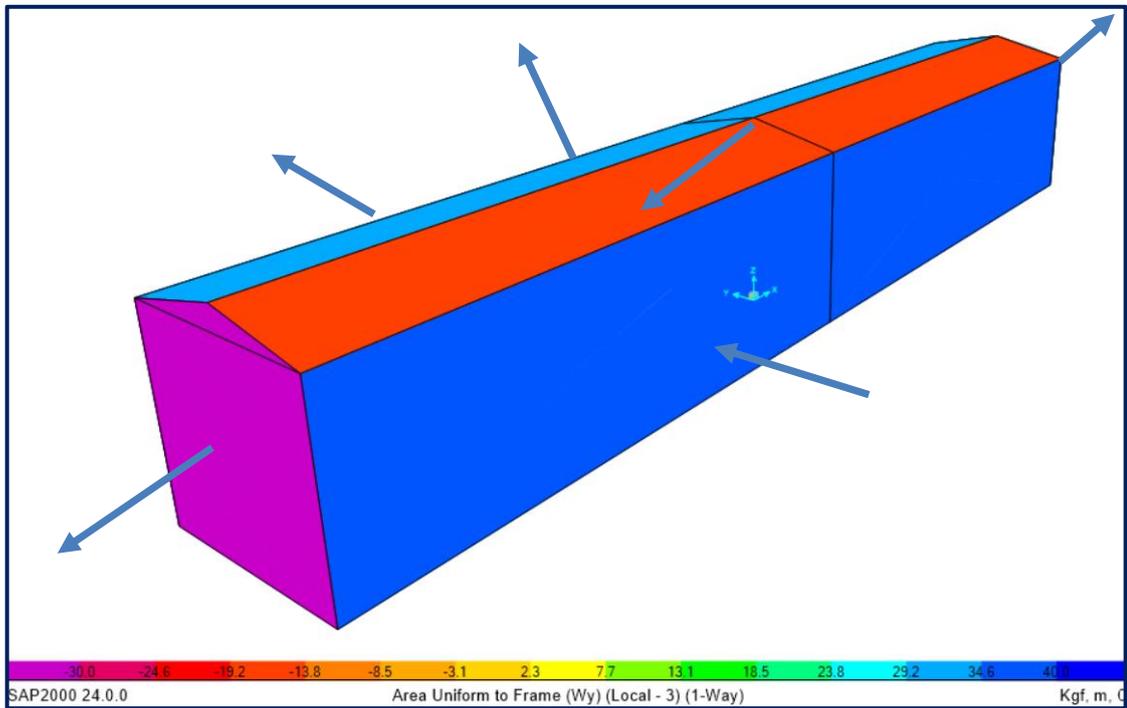
Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-29 Carga de viento en "x"



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-30 Carga de viento en "Y"



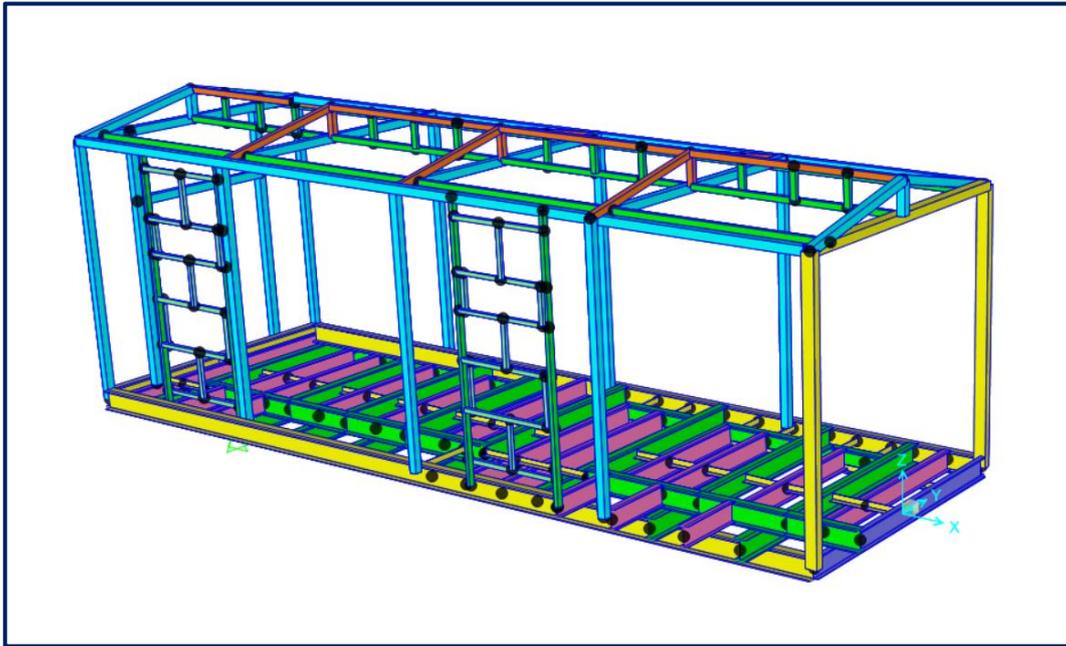
Fuente: Elaboración propia.

- Diseño estructural en izaje.

Para el diseño de la estructura en condición de izaje se consideró la combinación de carga "COMBO 1", esta combinación contempla la carga permanente total 1.4(peso de la estructura + equipos), a continuación, se muestran los resultados del análisis.

Adicionalmente como es una sala de 02 módulos, se evaluará el módulo que tenga mayor peso de equipos, en este caso se está considerando el módulo izquierdo.

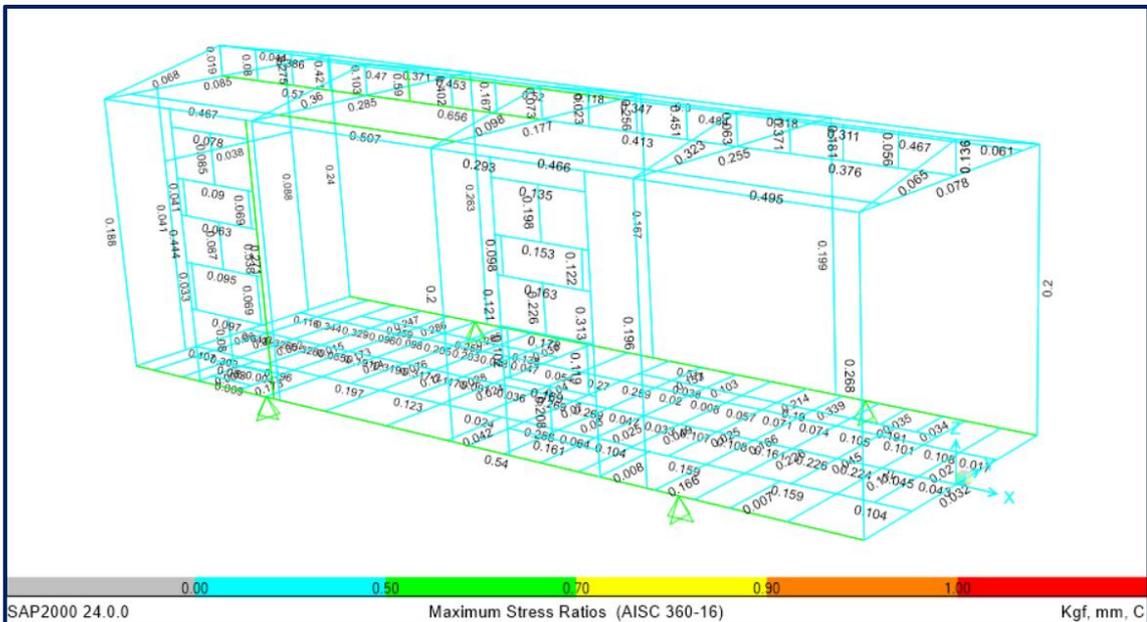
Figura IV-31 Diseño estructural de izaje.



Fuente: Elaboración propia.

- Diseño por demanda / capacidad < 1 en izaje.

Figura IV-32 Diagrama de demanda / capacidad (ratios) en izaje.

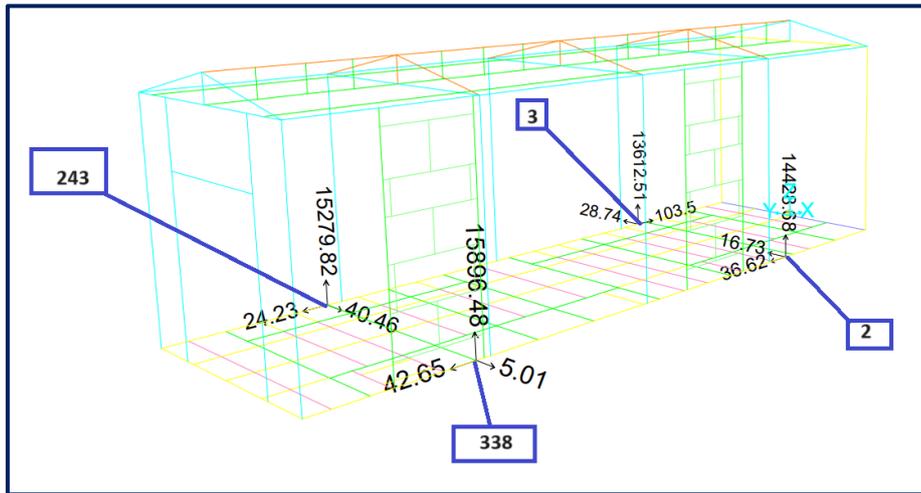


Fuente: Elaboración propia.

Los detalles de diseño de perfiles en izaje se encuentran en el anexo 1, realizado en el programa SAP 2000.

Reacciones en los puntos de apoyo:

Figura IV-33 Reacciones durante izaje de modulo.



Fuente: Elaboración propia.

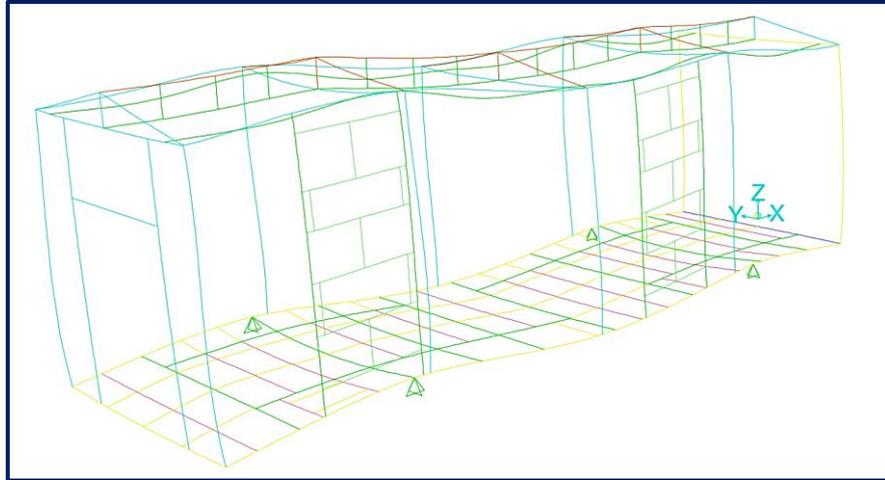
A continuación, en la tabla 15 se presenta las reacciones que se presentan durante el izaje del módulo izquierdo.

Tabla IV-12 Reacciones durante izaje

TABLE: Joint Reactions			
Joint	OutputCase	CaseType	F3
Text	Text	Text	Kgf
2	SERVICIO (DEAD)	Combination	14428.68
3	SERVICIO (DEAD)	Combination	13612.51
243	SERVICIO (DEAD)	Combination	15279.82
338	SERVICIO (DEAD)	Combination	15896.48

- Diseño por rigidez-deflexión en el izaje con carga de “servicio (DL)”

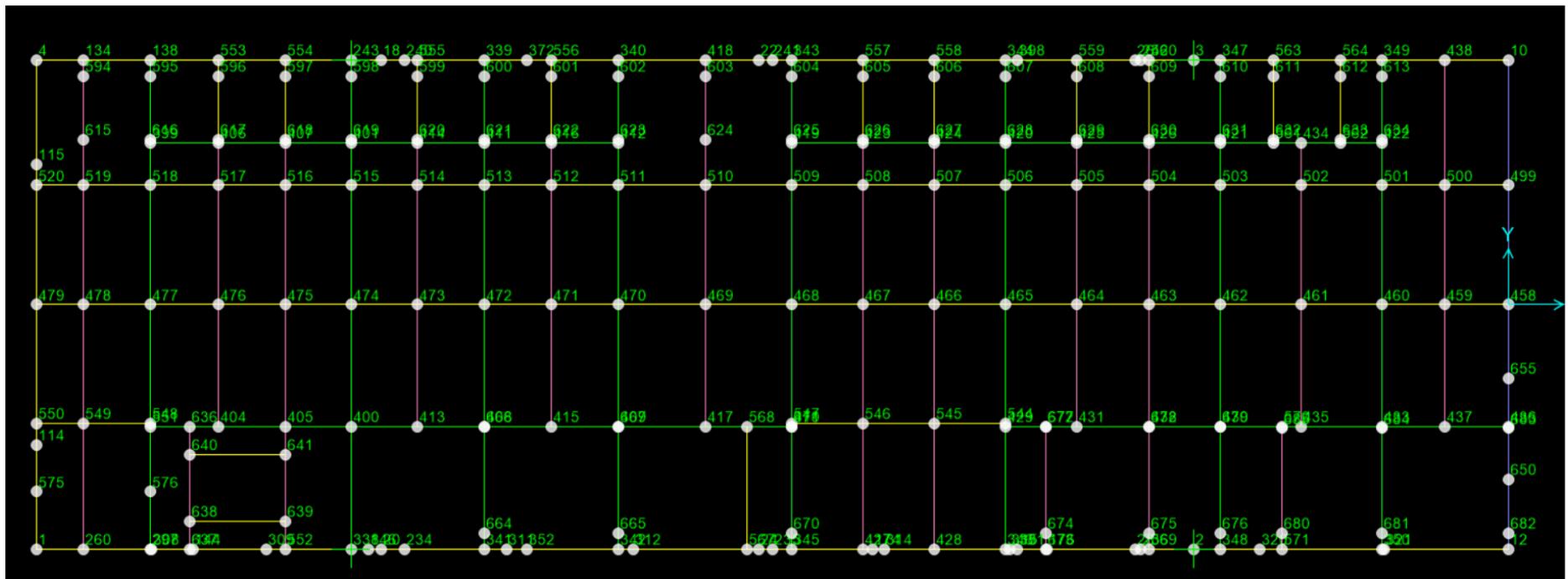
Figura IV-34 Esquema de deflexiones



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la figura 38 se muestra la distribución de nodos de izaje

Figura IV-35 Distribución de nodos de izaje.



Fuente: Elaboración propia.

El desplazamiento en los nodos bajo condición de izaje se muestran en el Anexo 2.

Verificación de deflexión

Se realiza la verificación de la deflexión máxima en contraste con la deflexión máxima permitida según el cliente, el cual nos indicó que la ratio admisible es de 12.7mm por cada 3m.

$$Longitud_{viga} = 3800 \text{ mm}$$

$$Flecha_{viga} = 10.82 \text{ mm (pto.479)}$$

$$Ratio_{viga} = \frac{10.82}{3.8} = 2.84 \text{ mm/m}$$

$$Ratio_{admisible.brocal} = \frac{12.7}{3.0} = 4.23 \text{ mm/m}$$

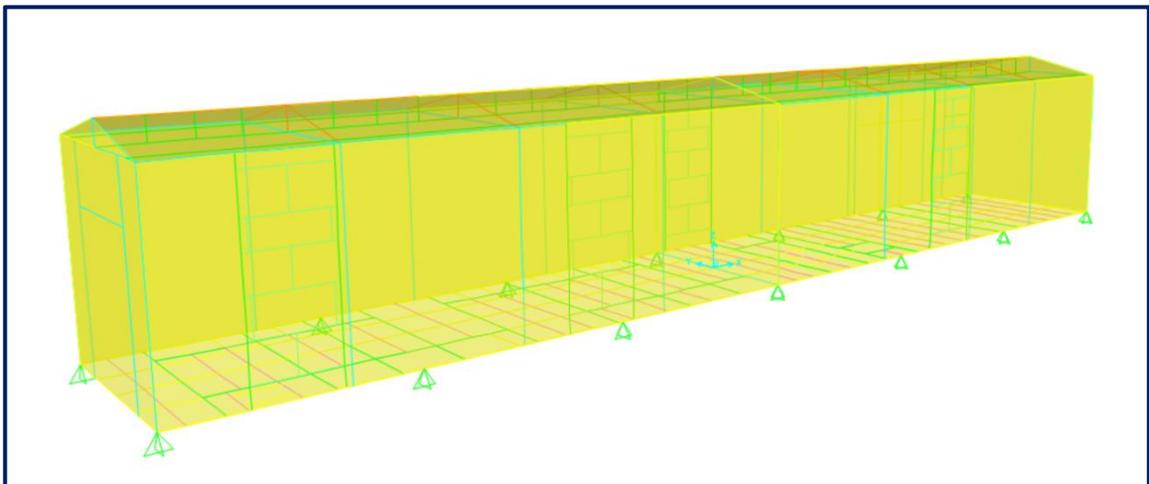
$$\text{Entonces ; } Ratio_{viga} <$$

$Ratio_{admisible.brocal}$, entonces es conforme.

- Diseño estructural en operación.

Para el diseño de la estructura en operación se consideraron las combinaciones de cargas mayoradas.

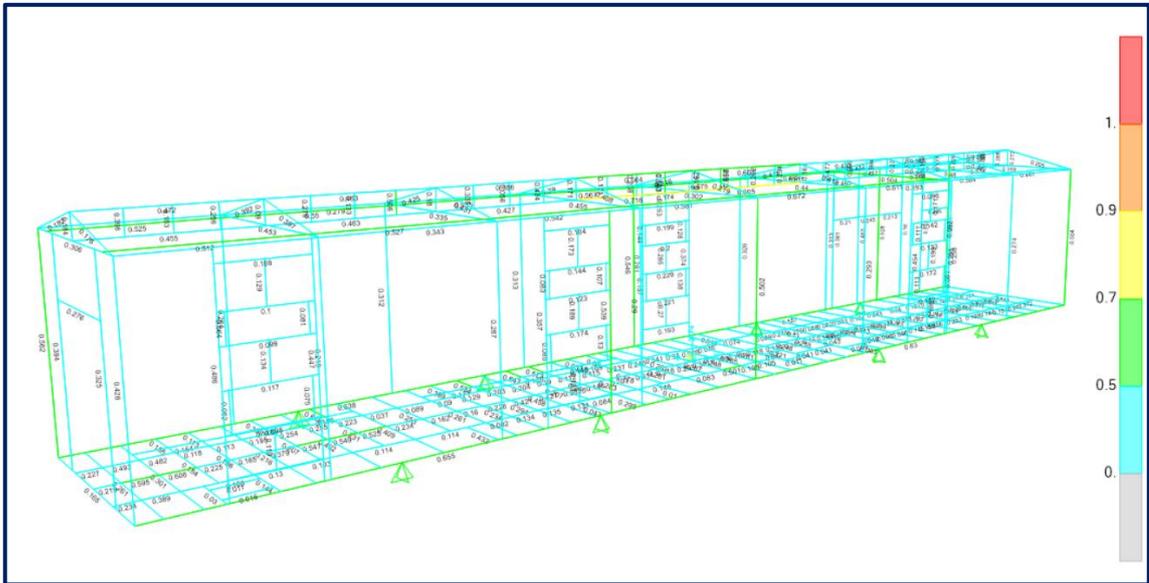
Figura IV-36 Esquema general en condición de operación



Fuente: Elaboración propia.

- Diseño por demanda /capacidad <1 en operación

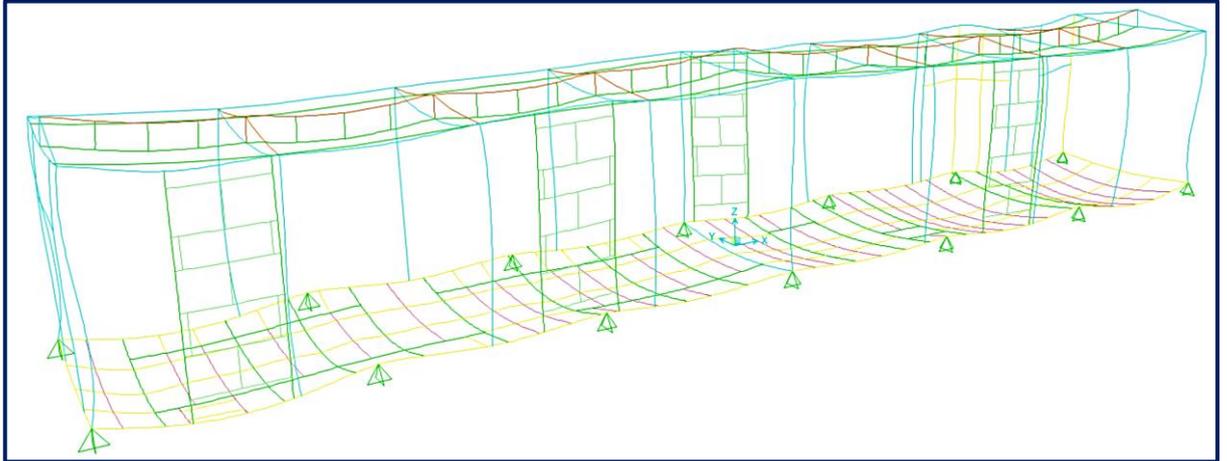
Figura IV-37 Diagrama de demanda/capacidad (ratios) en operación.



Fuente: Elaboración propia.

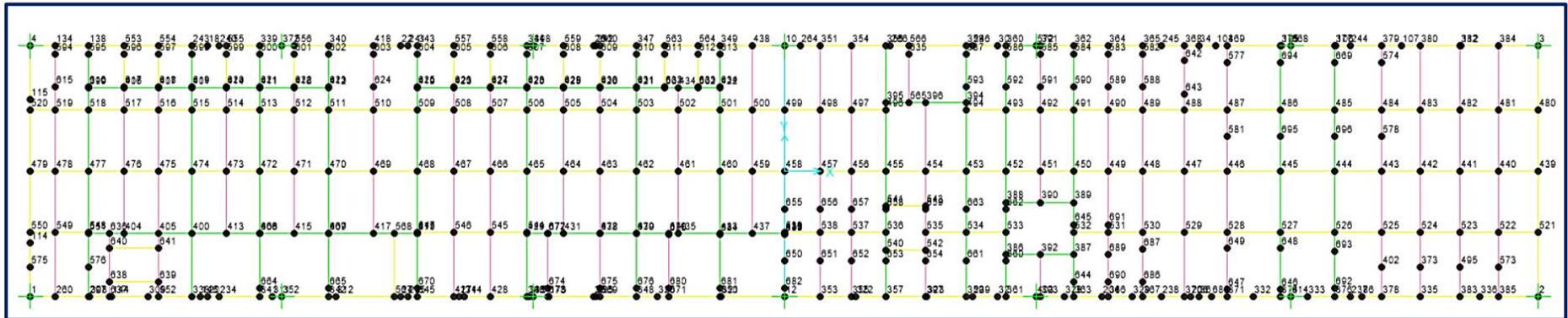
- Diseño por rigidez-deflexión en operación con carga de “servicio (DL + LL)”

Figura IV-39 Esquema de deflexiones



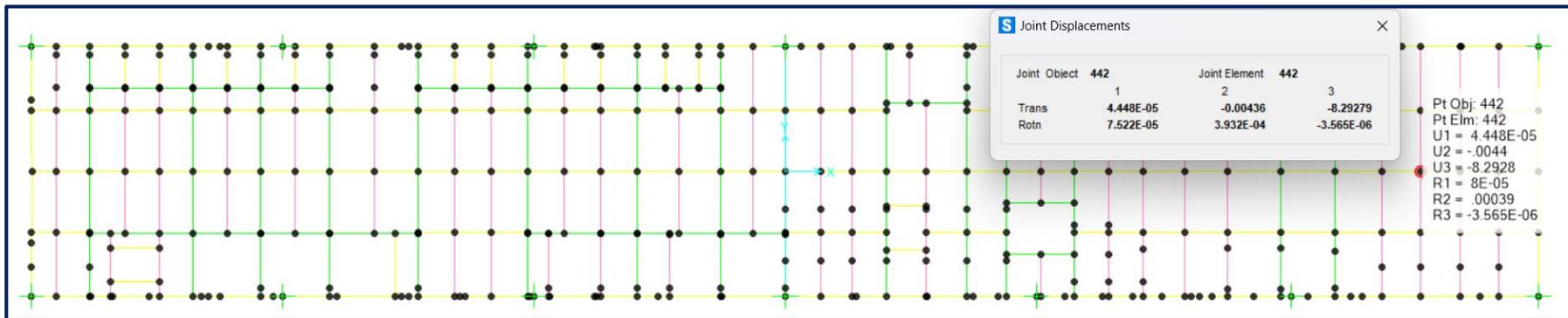
Fuente: Elaboración propia

Figura IV-40 Distribución de nodos en condición de operación



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-41 Flecha máxima en la viga secundaria.



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-42 Flecha máxima en la viga principal



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de desplazamientos presentados en cada nodo bajo condición de operación se muestran en el Anexo 4.

Verificación de deflexión

La verificación de la deflexión en operación se llevó a cabo bajo las indicaciones de la normativa E0.20, en la cual nos brinda las flechas máximas que deben tener los elementos.

Figura IV-43 Flecha máxima para elementos estructurales.

TIPO DE ELEMENTO	FLECHA PRODUCIDA POR LA CARGA VIVA	FLECHA PRODUCIDA POR LA CARGA VIVA MÁS LAS FLECHAS DIFERIDAS
Pisos	L/360	L/240*
Techos	L/180	-

Fuente: NTP E0.20

Donde:

L: Luz del elemento. Para volados se tomará como L, el doble de la longitud del elemento.

Flecha diferida: Se establece en función de cada material de acuerdo a su norma respectiva. La flecha diferida se calculará para las cargas permanentes más la fracción de sobrecarga que actúa permanentemente.

* No aplicable a estructuras metálicas

Por lo tanto, para nuestro caso tenemos:

$$Longitud_{viga\ principal} = 3729mm$$

$$Flecha_{max.viga\ principal} = 4.69\ mm\ (ver\ tabla\ de\ deflexiones\ Pto.\ 309)$$

$$Flecha_{admisible.E020} = \frac{L}{360} = \frac{3729}{360} = 10.35mm$$

Entonces ; $Flecha_{viga\ principal} < Flecha_{admisible.E020}$, entonces es conforme.

$$Longitud_{viga\ secundaria} = 3800mm$$

$$Flecha_{max.viga\ secundaria} = 8.29mm\ (ver\ tabla\ de\ deflexiones\ pto.\ 442)$$

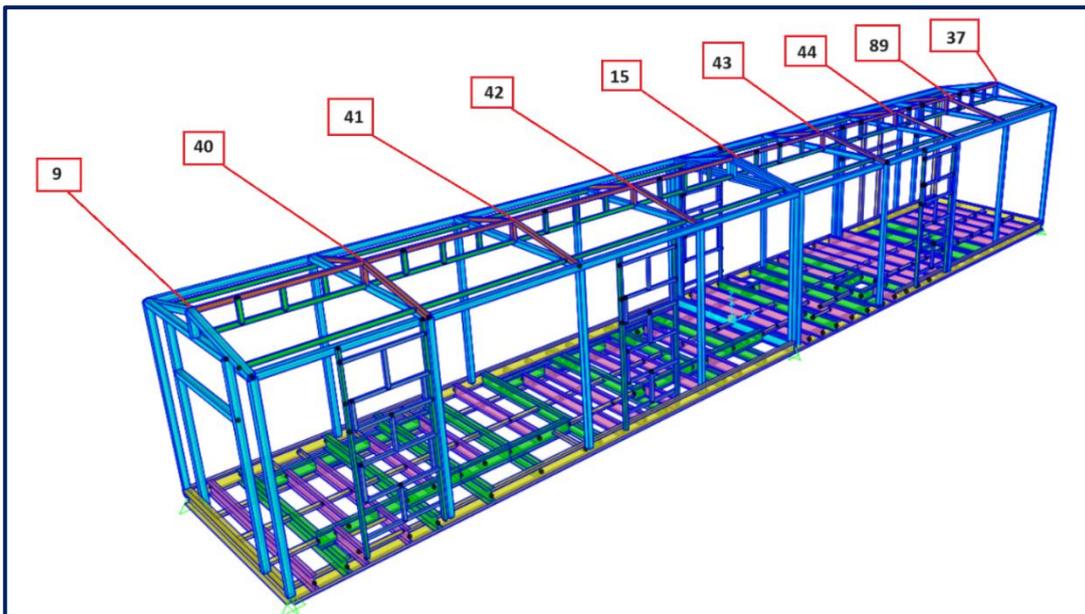
$$Flecha_{admisible.E020} = \frac{3800}{360} = 10.55mm$$

Entonces ; $Flecha_{viga\ secundaria} < Flecha_{admisible.E020}$, entonces es conforme.

- Diseño por rigidez-verificación de deformación horizontal relativa por viento.

Tomando los criterios de la norma peruana E0.20 para las deformaciones horizontales en el capítulo 7.2 hace mención que no se debe pasar el 1% de la altura del edificio por acciones de viento en edificaciones regulares, a continuación, se muestra tabla de desplazamiento por acción de viento (WL) (Norma E.030, 2020)

Figura IV-44 Diseño por rigidez.



Fuente: Elaboracion propia.

Figura IV-45 Desplazamiento de cumbrera con carga de viento

TABLE: Joint Displacements					TABLE: Joint Displacements				
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2
Text	Text	Text	mm	mm	Text	Text	Text	mm	mm
9	Wx	LinStatic	0.965668	0.26089	9	Wy	LinStatic	-0.139743	11.055765
15	Wx	LinStatic	0.976425	0.202292	15	Wy	LinStatic	-0.135875	18.707368
37	Wx	LinStatic	0.974225	-0.58073	37	Wy	LinStatic	-0.129071	18.872399
40	Wx	LinStatic	0.977498	0.405047	40	Wy	LinStatic	-0.142848	19.651142
41	Wx	LinStatic	0.978576	0.543305	41	Wy	LinStatic	-0.140304	24.867256
42	Wx	LinStatic	0.976164	0.435064	42	Wy	LinStatic	-0.137845	23.842189
43	Wx	LinStatic	0.967647	-0.221217	43	Wy	LinStatic	-0.133718	25.170924
44	Wx	LinStatic	0.965679	-0.569059	44	Wy	LinStatic	-0.131626	25.393781
89	Wx	LinStatic	0.966244	-0.664128	89	Wy	LinStatic	-0.129347	23.223177

Fuente: Elaboración propia.

$$H_{cumbreira} = 4188 \text{ mm}$$

$$d_{max E0.20} = 1\% H_{cumbreira} = 41.88 \text{ mm}$$

$$\Delta x_{cumbreira} = 0.9785 \text{ mm}$$

$$\Delta y_{cumbreira} = 25.39 \text{ mm}$$

Entonces ; $\Delta_{cumbreira} < d_{max.E020}$, por lo tanto es conforme el diseño por rigidez

- Diseño por rigidez-verificación de derivas.

Tabla IV-13 Límites para la distorsión del entrepiso.

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Edificios	0,010
Edificios de concreto armado con muros	0,005

Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-46 Desplazamientos de cumbrera con carga de sismo.

TABLE: Joint Displacements				TABLE: Joint Displacements			
Joint	OutputCase	U1	U2	Joint	OutputCase	U1	U2
Text	Text	mm	mm	Text	Text	mm	mm
9	ELx	3.435727	0.097142	9	Ely	-0.037263	5.84464
15	ELx	3.441573	-0.0502	15	Ely	-0.039031	9.435684
37	ELx	3.431831	-0.10482	37	Ely	-0.039214	9.821782
40	ELx	3.426942	0.017231	40	Ely	-0.037336	9.351113
41	ELx	3.423548	0.027168	41	Ely	-0.037735	11.56531
42	ELx	3.425095	-0.04039	42	Ely	-0.038703	11.250386
43	ELx	3.424309	-0.06037	43	Ely	-0.038836	12.124128
44	ELx	3.421412	-0.11623	44	Ely	-0.039123	12.351401
89	ELx	3.424959	-0.11504	89	Ely	-0.038952	11.57191

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-14 Desplazamientos de cumbrera con carga de sismo.

Cálculo de derivas Para dirección X e Y ($\Delta x0.75xR/hi$)					
eje	hi(m)	Desplaz. (m)	Δi	$\Delta x0.75xR$	Deriva
x	4.188	0.0034415	0.0034415	0.0103245	0.002465
y	4.188	0.0123514	0.0123514	0.03705	0.008846

Fuente: Elaboración propia.

Observamos que las derivas en el “x” e “y” son menores que 0.010 solicitados por la norma E0.30, por lo tanto, es conforme el diseño por rigidez.

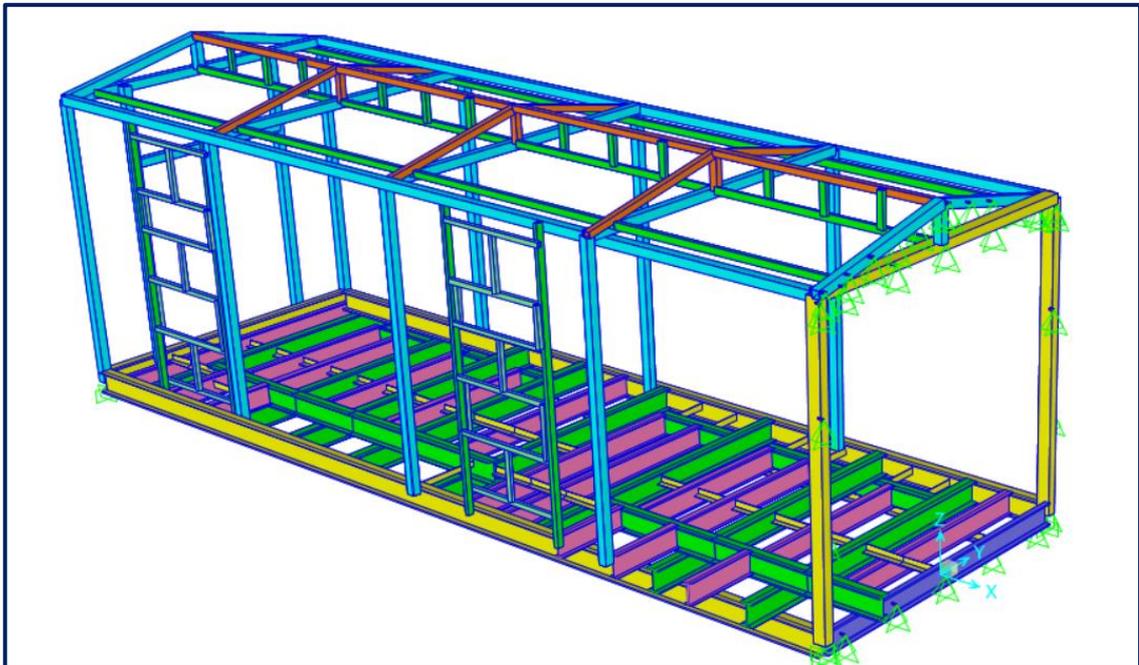
- Resistencia de pernos de unión de módulos

La verificación de la resistencia de los pernos de unión será analizada en base a las indicaciones del AISC 360-16.

Inicialmente en el software se coloca la ubicación en la que se encontraran los pernos y se restringe sus extremos para que actúen como uniones articuladas

ya que los momentos en los pernos son tan pequeños que se omiten en los cálculos, considerándose solo las cargas de tensión y corte.

Figura IV-47 Resistencia de pernos de unión de módulos.



Fuente: Elaboración propia.

Las reacciones en cada nodo bajo acción de las cargas se muestran en el Anexo 5.

Tabla IV-15 Resumen de Tracción y corte

MAXIMA CARGA A TRACCIÓN			
Joint	OutputCase	CaseType	F1
Text	Text	Text	Kgf
44	COMB 2	Combination	368.87

MAXIMA CARGA A CORTE			
Joint	OutputCase	CaseType	F2
Text	Text	Text	Kgf
141	COMB 15	Combination	4.55

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizan pernos de 5/8" para realizar la unión de los módulos:

Cálculo del área del perno:

Ecuación IV-16 Ecuación del área del perno.

$$A_b = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (36)$$

Donde:

A_b = Área del vástago del perno

d = Diámetro del perno

Entonces para perno de 5/8" (15.87mm) se tiene:

$$A_b = \frac{\pi * (15.87)^2}{4} = 197.93 \text{ mm}^2$$

Resistencia de diseño de un perno esta dado por:

Resistencia de ruptura en tracción:

Ecuación IV-17 Resistencia de ruptura en tracción.

$$\phi R_{nt} = \phi F_{nt} * A_b \quad (37)$$

Resistencia de ruptura en corte:

Ecuación IV-18 Resistencia de ruptura en corte

$$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} * A_b \quad (38)$$

Interacción tracción-corte:

Ecuación IV-19 Interacción tracción - corte

$$F'_{nt} = 1.3 \times F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} \times \frac{Vu_{bolt}}{A_b} \leq F_{nt} \quad (39)$$

Donde

F'_{nt} = Tensión nominal a tracción reducida por fuerza de corte

F_{nt} = Tensión nominal a tracción del perno

F_{nv} = Tensión nominal a corte del perno

F_u = Tensión mínima de rotura del perno

A_b = Área del vástago del perno

$\phi = 0.75$ (LRFD)

De la tabla J3.2 del AISC 360-16

$$F_{nt} = 620 \text{ MPa} ; F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

Resistencia de ruptura en tracción:

Se tiene:

Ecuación IV-20 Resistencia de ruptura en tracción.

$$\phi R_{nt} = \phi F_{nt} * A_b \quad (40)$$

$$\phi R_{nt} = 0.75 * 620 \text{ MPa} * 197.93 \text{ mm}^2 = 92.03 \text{ KN}$$

Este valor debe ser mayor a la carga que soporta el perno más exigido:

$$\phi R_{nt} = 92.03 \text{ KN} \geq 3.62 \text{ KN} (368.87 \text{ Kgf})$$

Por lo tanto, la resistencia del perno a tracción es suficiente para la carga a la que será sometida.

Resistencia de ruptura por corte:

Se tiene:

La ecuación 4.23 mencionada anteriormente.

$$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} * A_b$$

$$\phi R_{nv} = 0.75 * 372 \text{ MPa} * 197.93 \text{ mm}^2 = 55.22 \text{ KN}$$

Este valor debe ser mayor a la carga que soporta el perno más exigido:

$$\phi R_{nt} = 55.22 \text{ KN} \geq 0.0446 \text{ KN (4.55 Kgf)}$$

Por lo tanto, la resistencia del perno a corte es suficiente para la carga a la que será sometida.

Interacción tracción-corte:

Ecuación IV-21 Interacción tracción - corte

$$F'_{nt} = 1.3 \times F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi \times F_{nv}} \times \frac{Vu_{bolt}}{A_b} \leq F_{nt} \quad (41)$$

No es necesario reemplazar los valores en la fórmula de interacción tracción -corte pues según la indicación de la AISC-360 no es requerimiento al ser el valor de la fuerza de corte menor al 30% de la resistencia a tracción.

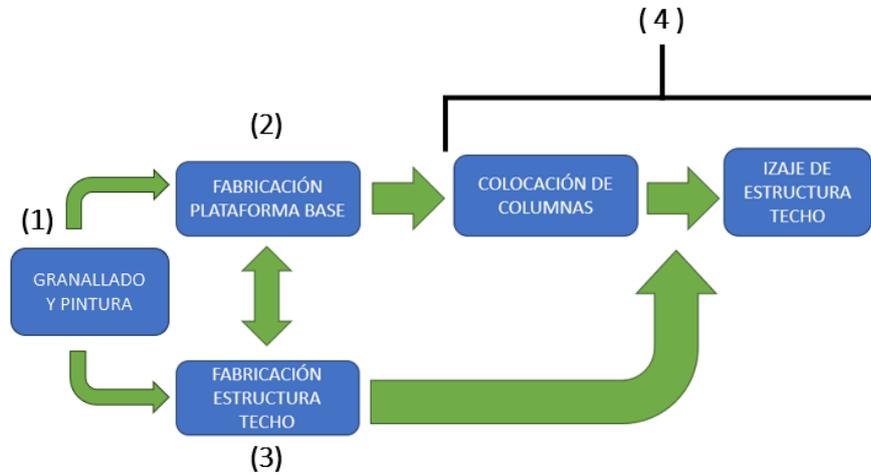
$$30 \% \phi R_{nv} = 92.03 \text{ KN} * 0.3 = 27.6 \text{ KN} > 0.0446 \text{ KN}$$

La implementación de los sistemas modulares en la fabricación y montaje de salas eléctricas se llevó a cabo siguiendo un proceso meticuloso y bien planificado. Se detalla a continuación el proceso de implementación, resaltando las etapas clave y las decisiones estratégicas tomadas en nuestro estudio técnico:

- ETAPA 2 (FABRICACIÓN)

La etapa 2 “Fabricación”, se llevará a cabo en 04 fases y, estas mismas fases se respetaron para cada módulo, que para nuestro caso fueron dos módulos.

Figura IV-48 Diagrama de proceso de fabricación



Fuente: Elaboración propia.

Se formaron dos equipos de trabajo de personal mecánico:

Tabla IV-16 Personal mecánico

SALAS	MODULOS	ELEMENTOS	PERSONAL MECANICO				TOTAL
			Armador	Oficial	Soldador	Ayud. Mec	
SALA ELÉCTRICA	N1(11250X3800)	PLATAFORMA	1	2	2	2	11
		TECHO	1	2	0	1	
BROCAL (22500X3800)	N2(11250X3800)	PLATAFORMA	1	2	2	2	11
		TECHO	1	2	0	1	

Fuente: Elaboración propia

Donde: Modulo N°1 fue el módulo izquierdo y el N°2 el derecho.

A este equipo se incluyeron personal de granallado y pintura:

01 Granallador, 01 tovero (ayudante del granallador), 01 pintor y 03 ayudantes de pintura, quienes cubrieron las labores para ambos módulos.

a. Granallado y pintura

El proceso de granallado es una limpieza abrasiva superficial que se realiza para generar un perfil de anclaje en la estructura con la intención de generar una adecuada adherencia de la pintura aplicada.

La aplicación de pintura tiene como objetivo brindar la protección corrosiva necesaria en los elementos.

Figura IV-49 Perfiles tubulares granallados.



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-50 Perfil viga pintada con pintura base.



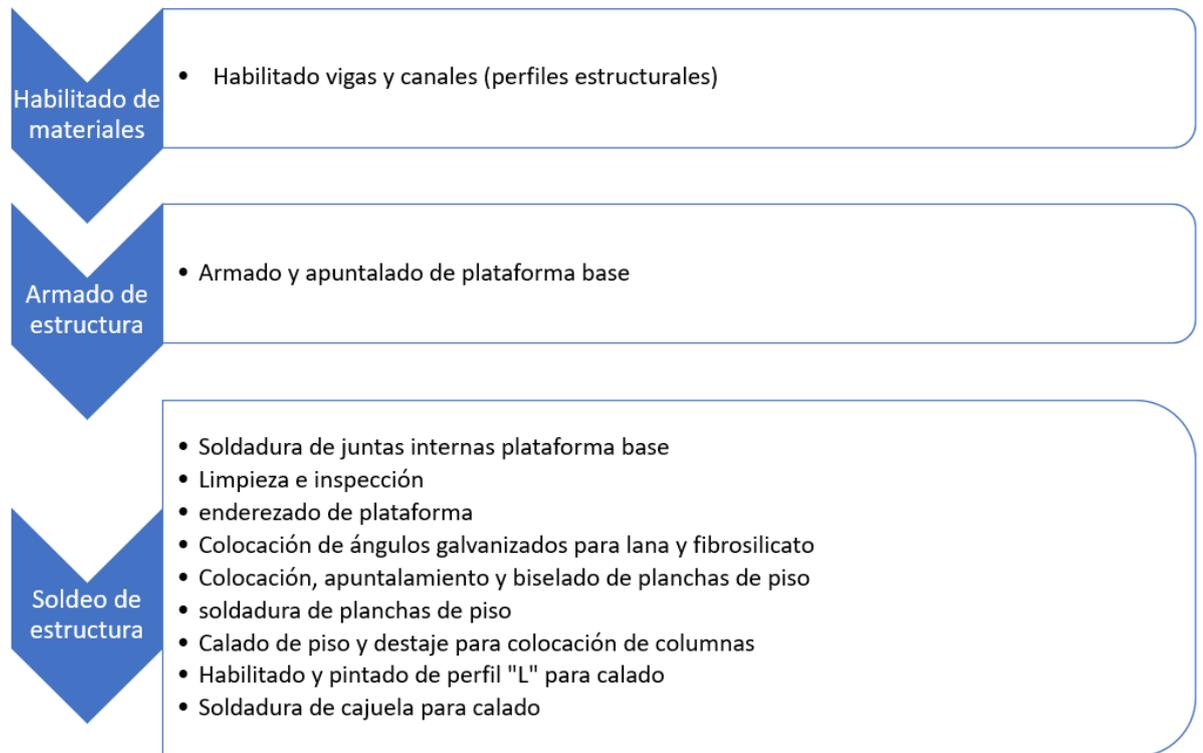
Fuente: Elaboración propia.

b. Fabricación de plataforma Base

La fabricación de la plataforma base estará comprendida por las siguientes labores: Habilitado de materiales, armado de estructura, soldeo de estructura.

Figura IV-51 Proceso de fabricación en plataforma base.

PROCESO DE FABRICACIÓN DE PLATAFORMA BASE



Fuente: Elaboración propia.

- Habilitado de estructura: El proceso de habilitado implica cortar las piezas según las dimensiones precisas especificadas en el plano de fabricación. En la imagen se puede visualizar unas vigas pertenecientes a la plataforma base.

Figura IV-52 Viga habilitada



Fuente: Elaboración propia.

- Armado de estructura: Durante el proceso de armado de la estructura, las piezas previamente habilitadas se unieron, y durante esta unión, la estructura se apuntala para garantizar su estabilidad. Este proceso precede a las labores de soldadura. En la imagen se puede visualizar la plataforma base armada.

Figura IV-53 Armado de plataforma base.



Fuente: Elaboración propia.

- Soldeo de estructura: Una vez verificadas las dimensiones de la estructura armada, se realizó a la soldadura, la cual consistió en la unión de las piezas mediante la fusión y solidificación de materiales compatibles, asegurando así la integridad y resistencia estructural. Se muestra en la siguiente imagen el soldeo de la plataforma base.

Figura IV-54 Soldeo de plataforma base.



Fuente: Elaboración propia.

- Colocación y soldeo de plancha de piso. (Pl. 6mm): En la imagen siguiente se aprecia la plataforma base con su piso y ya con los trabajos de soldadura culminado.

Figura IV-55 Plancha de piso, soldada, resanada y pintada



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra los tiempos tomados por labor durante esta fase:

Tabla IV-17 Modulo izquierdo.

PLATAFAFORMA BASE		DIAS	HORAS	PERSONAL	H-H
Granallado y pintado	Granallado y pintura	9	72	5	360
Habilitado de materiales	Habilitado vigas y canales	6	48	5	240
Armado de estructura	Armado y apuntalado de plataforma base	6	48	5	240
Soldeo de estructura	Soldadura de juntas internas plat. base	3	24	2	48
	Limpieza e inspección	2	16	4	64
	enderezado de plataforma	1	8	3	24
	Colocación de ángulos galv. para lana y fibrosilicato	2	16	3	48
	Colocación, apuntalamiento y Biselado de planchas de piso	2	16	5	80
	soldadura de planchas de piso	2	16	1	16
	Calado de piso y destaje para colocación de columnas	1	8	4	32
	Habilitado y pintado de perfil "L" para calado	2	16	1	16
Soldadura de cajuela para calado	2	16	1	16	
					1184

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-18 Modulo derecho

PLATAFAFORMA BASE		DIAS	HORAS	PERSONAL	H-H
Granallado y pintado	Granallado y pintura	9	72	5	360
Habilitado de materiales	Habilitado vigas y canales	7	56	5	280
Armado de estructura	Armado y apuntalado de plataforma base	6	48	5	240
Soldeo de estructura	Soldadura de juntas internas plat. base	4	32	2	64
	Limpieza e inspección	2	16	4	64
	enderezado de plataforma	1	8	3	24
	Colocación de ángulos galv. para lana y fibrosilicato	2	16	3	48
	Colocación, apuntalamiento y Biselado de planchas de piso	2	16	5	80

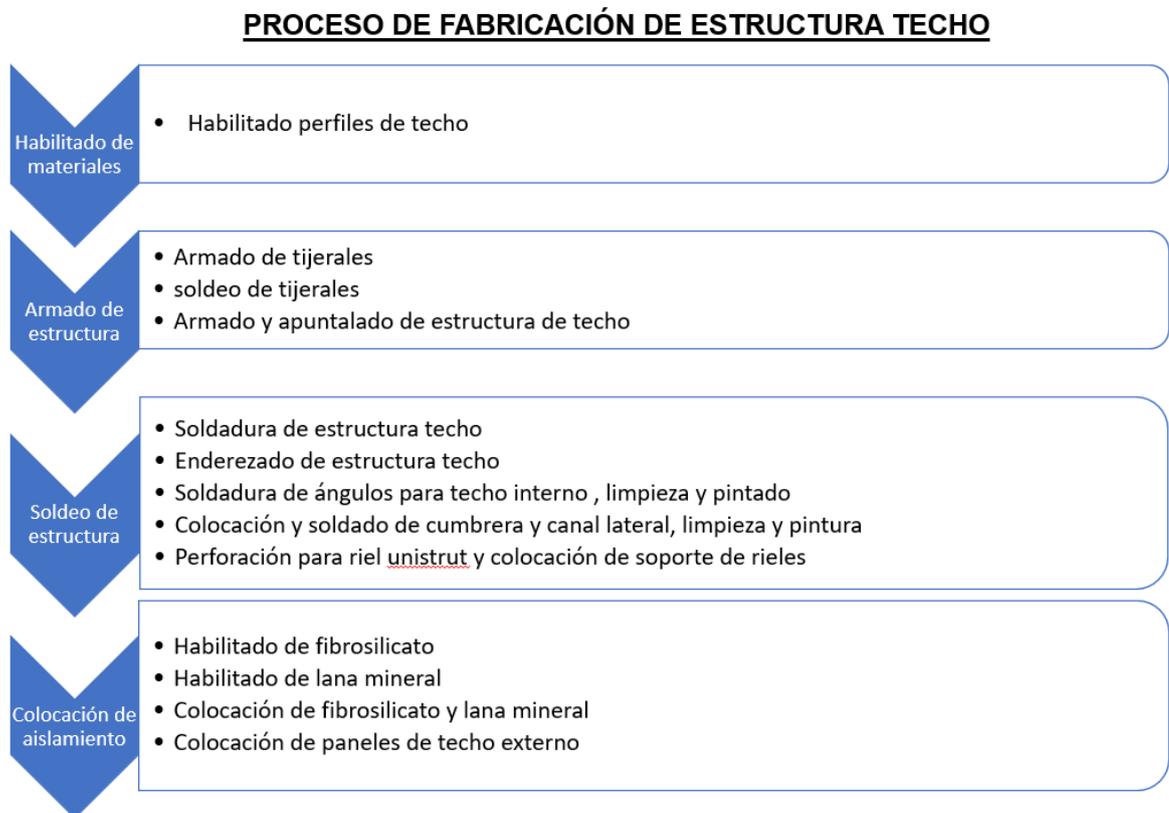
soldadura de planchas de piso	2	16	1	16
Calado de piso y destaje para colocación de columnas	1	8	4	32
Habilitado y pintado de perfil "L" para calado	2	16	1	16
Soldadura de cajuela para calado	2	16	1	16
				1240

Fuente: Elaboración propia

c. Fabricación estructura techo

La fabricación de la estructura techo estará comprendida por las siguientes labores: Habilitado de materiales, armado de estructura, soldeo de estructura y colocación de aislamiento.

Figura IV-56 Estructura de techo de armado y soldado



Fuente: Elaboración propia.

- Habilitado, Armado y soldeo de estructura techo: Después de haber realizado el proceso de habilitado, que implica el corte a medida de los perfiles estructurales, se procedió con el armado del techo, siguiendo las indicaciones detalladas en los planos de fabricación, de acuerdo con como se muestra en la imagen.

Figura IV-57 Estructura de techo en proceso de armado y soldado.



Fuente: Elaboración propia.

- Colocación de fibrosilicato en techo: Luego, se dio inicio al proceso de aislamiento del techo, comenzando con la colocación de las planchas de fibrosilicato.

Figura IV-58 Colocación de fibrosilicato en estructura de techo.



Fuente: Elaboración propia.

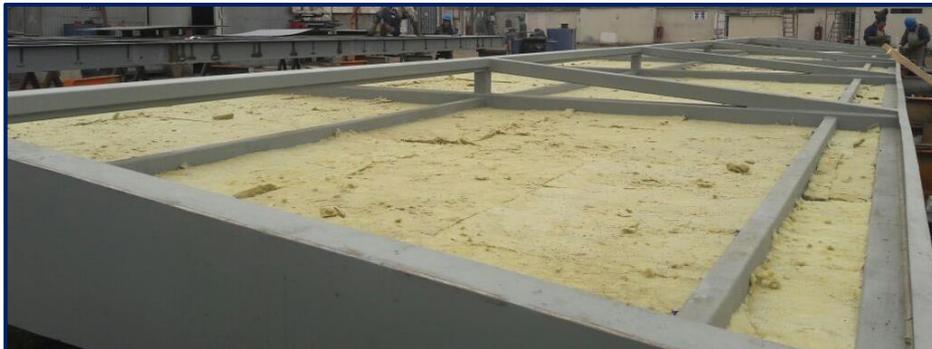
Figura IV-59 Planchas de fibrosilicato



Fuente: Elaboración propia.

- Colocación de lana mineral en techo: Posteriormente se colocan las capas de lana mineral para ir, para finalmente cerrar con una nueva capa de fibrosilicato y colocar los paneles de techo externo.

Figura IV-60 Colocación de lana mineral en techo



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-61 Lana mineral.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra los tiempos tomados por labor durante esta fase:

Tabla IV-19 Módulo izquierdo techo

	TECHO	DIAS	HORAS	PERSONAL	H-H
Pintado de estructuras	Limpieza, lijado y pintado de paneles de techo interno	2	16	4	64
	lijado y Pintado de cumbrera y canal lateral de techo externo	1	8	4	32
Habilitado de materiales	Habilitado de perfiles de techo	3	24	4	96
Armado de estructura	Armado de tijerales	2	16	3	48
	soldeo de tijerales	1	8	1	8
	Armado y apuntalado de estructura de techo	5	40	4	160
Soldeo de estructura	Soldadura de estructura techo	1.5	12	1	12
	Enderezado de estructura techo	1	8	3	24
	Soldadura de ángulos para techo interno, limpieza y pintado	1	8	1	8
	Colocación y soldado de cumbrera y canal lateral, limpieza y pintura	2	16	4	64
	Perforación para riel unistrut y colocación de soporte de rieles	1	8	3	24
Colocación de aislamiento	Habilitado de fibrosilicato	1	8	4	32
	Habilitado de lana mineral	1	8	4	32
	Colocación de fibrosilicato y lana mineral	4	32	4	128
	Colocación de paneles de techo externo	3	24	4	96
					828

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-20 Módulo derecho techo.

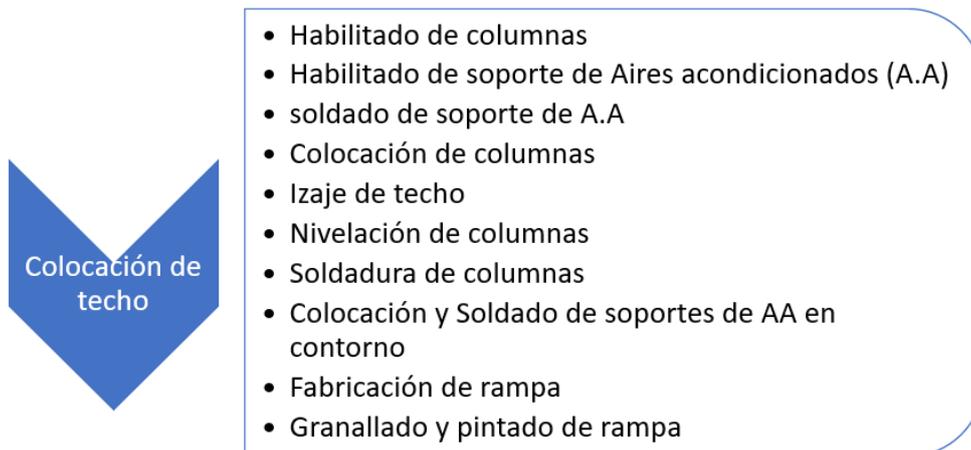
	TECHO	DIAS	HORAS	PERSONAL	H-H
Pintado de estructuras	Limpieza, lijado y pintado de paneles de techo interno	2	16	4	64
	lijado y Pintado de cumbrera y canal lateral de techo externo	1	8	4	32
Habilitado de materiales	Habilitado de perfiles de techo	3	24	4	96
Armado de estructura	Armado de tijerales	2	16	3	48
	soldeo de tijerales	1	8	1	8
	Armado y apuntalado de estructura de techo	5	40	4	160
Soldeo de estructura	Soldadura de estructura techo	1.5	12	1	12
	Enderezado de estructura techo	1	8	3	24
	Soldadura de ángulos para techo interno, limpieza y pintado	1	8	1	8
	Colocación y soldado de cumbrera y canal lateral, limpieza y pintura	2	16	4	64
	Perforación para riel unistrut y colocación de soporte de rieles	1	8	3	24
Colocación de aislamiento	Habilitado de fibrosilicato	2	16	4	64
	Habilitado de lana mineral	2	16	4	64
	Colocación de fibrosilicato y lana mineral	4	32	4	128
	Colocación de paneles de techo externo	3	24	4	96
					892

Fuente: propio

- d. Colocación de columnas e izaje de techo: Para instalar el techo, se utiliza una grúa junto con un yugo de izaje y eslingas para elevarlo desde el nivel del suelo y colocarlo sobre la plataforma base, que en ese momento debe contar con todas las columnas. Después de verificar las dimensiones entre el extremo del techo y las columnas, así como las diagonales entre columnas y la separación entre ellas, se procede a realizar la soldadura para asegurar su fijación.

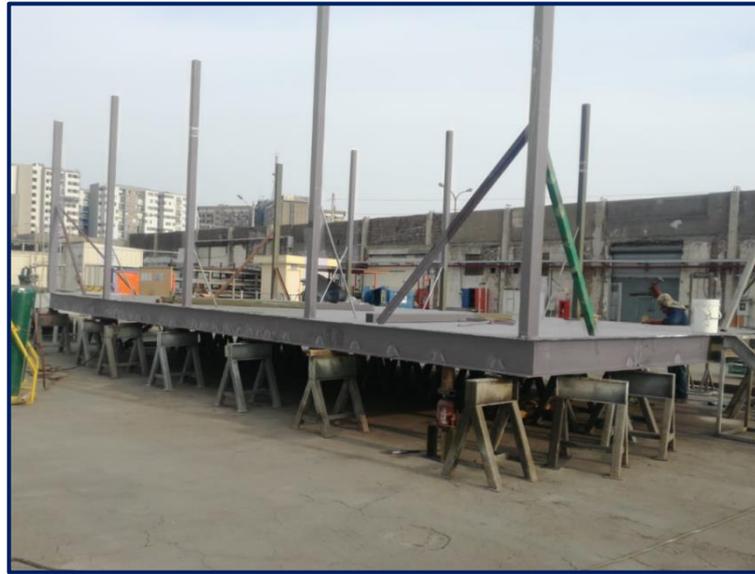
Figura IV-62 Proceso de colocación de techo

PROCESO DE COLOCACIÓN DE TECHO



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-63 Colocación de columnas en plataforma base



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-64 Izaje de estructura techo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-65 Izaje de estructura de techo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-66 Izaje de estructura techo.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra los tiempos tomados por labor durante esta fase:

Módulo izquierdo

Figura IV-67 Colocación de techo modulo izquierdo

	COLOCACIÓN DE TECHO	DIAS	HORAS	PERSONAL	H-H
Colocación de techo	Habilitado de columnas	1	8	2	16
	Habilitado de soporte de A. A	2	16	2	32
	Soldado de soporte de A. A	1	8	1	8
	Colocación de columnas	0.5	4	9	36
	Izaje de techo	0.5	4	9	36
	Nivelación de columnas	1	8	6	48
	Soldadura de columnas	1.5	12	6	72
	Colocación y Soldado de soportes de AA en contorno	1	8	6	48
	Fabricación de rampa	2	16	1	16
	Granallado y pintado de rampa	1	8	3	24
					336

Fuente: Elaboración propia

Módulo derecho

Tabla IV-21 Colocación de techo modulo izquierdo.

	COLOCACIÓN DE TECHO	DIAS	HORAS	PERSONAL	H-H
Colocación de techo	Habilitado de columnas	1	8	2	16
	Habilitado de soporte de A. A	2	16	2	32
	soldado de soporte de A. A	1	8	1	8
	Colocación de columnas	0.5	4	9	36
	Izaje de techo	0.5	4	9	36
	Nivelación de columnas	1	8	6	48
	Soldadura de columnas	3	24	6	144
	Colocación y Soldado de soportes de AA en contorno	1	8	6	48
	Fabricación de rampa	2	16	1	16
	Granallado y pintado de rampa	0.5	4	3	12
					396

Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra un cuadro de resumen donde nos indica los tiempos que se tomó para culminar la etapa de “fabricación”, el resumen de tiempos está indicado por módulo.

Módulo izquierdo

Figura IV-68 Resumen fabricación módulo izquierdo.

SEMANA	SEMANA 1					SEMANA 2					SEMANA 3					SEMANA 4					SEMANA 5					SEMANA 6					SEMANA 7					SEMANA 8					SEMANA 9					SEMANA 10					SEMANA 11					SEMANA 12					SEMANA 13					SEMANA 14					SEMANA 15					SEMANA 16					SEMANA 17					SEMANA 18					SEMANA 19						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5																	
PLATAFAORMA BASE																																																																																																	
Granallado y pintado	Granallado y pintura	18																																																																																															
Habilitado de materiales	Habilitado vigas y canales	6																																																																																															
Armado de estructura	Armado y apuntalado de plataforma base	6																																																																																															
	Soldadura de juntas internas plat base	3																																																																																															
	Limpieza e inspección	2																																																																																															
	enderezado de plataforma	1																																																																																															
	Colocación de ángulos galvan para lana y fibrocemento	2																																																																																															
Soldado de estructura	Colocación ,apuntalamiento y Bislado de planchas de piso	2																																																																																															
	Soldadura de planchas de piso	2																																																																																															
	Cabado de piso y desaje para colocación de columnas	1																																																																																															
	Habilitado y pintado de perfil "L" para calado	2																																																																																															
	Soldadura de capota para calado	2																																																																																															
TECHO																																																																																																	
Pintado de estructuras	Limpieza, lijado y pintado de paneles de techo interno	2																																																																																															
	Lijado y Pintado de cumbraera y canal lateral de techo externo	1																																																																																															
Habilitado de materiales	Habilitado de perfiles de techo	3																																																																																															
Armado de estructura	Armado de tijeras	2																																																																																															
	Soldado de tijeras	1																																																																																															
	Armado y apuntalado de estructura de techo	5																																																																																															
Soldado de estructura	Soldadura de estructura techo	1.5																																																																																															
	Enderezado de estructura techo	1																																																																																															
	Soldadura de ángulos para techo interno , limpieza y pintado	1																																																																																															
	Colocación y sellado de cumbraera y canal lateral , limpieza y pintura	2																																																																																															
	Perforación para riel unistrut y colocación de soporte de rieles	1																																																																																															
	Habilitado de fibrocemento	1																																																																																															
	Habilitado de lana mineral	1																																																																																															
Colocación de aislamiento	Colocación de fibrocemento y lana mineral	4																																																																																															
	Colocación de paneles de techo externo	3																																																																																															
COLOCACIÓN DE TECHO																																																																																																	
	Habilitado de columnas	1																																																																																															
	Habilitado de soporte de A.A	2																																																																																															
	Soldado de soporte de A.A	1																																																																																															
Colocación de techo	Colocación de columnas	0.5																																																																																															
	Traje de techo	0.5																																																																																															
	Instalación de columnas	1																																																																																															
	Soldadura de columnas	1.5																																																																																															
	Colocación y Sellado de soportes de AA en contorno	1																																																																																															
	Fabricación de rampa	2																																																																																															
	Granallado y pintado de rampa	1																																																																																															

Fuente: Elaboración propia.

Módulo derecho

Figura IV-69 Resumen fabricación módulo derecho

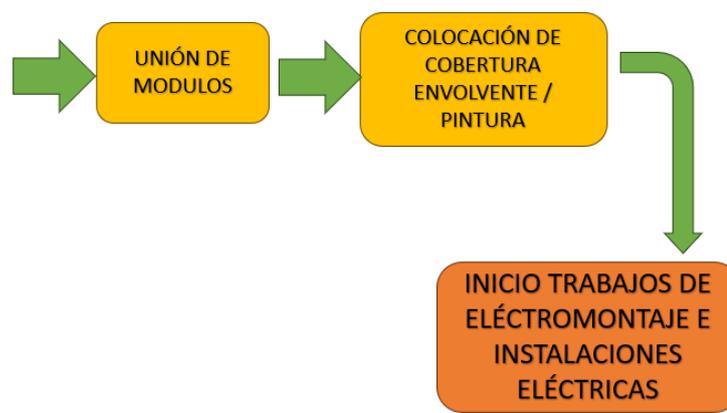
F	A	B	R	I	C	A	C	I	Ó	N	M	O	D	U	L	O	D	E	R	E	C	H	O	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA																					
																								1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
																								DIAS	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
																							PLATAFORMA BASE																																										
																							Granallado y pintado	18																																									
																							Habilitado de materiales	7																																									
																							Armado de estructura	6																																									
																							Soldeo de estructura	Soldadura de juntas internas plat base	4																																								
																								Limpeza e inspección	2																																								
																								enderezado de plataforma	1																																								
																								Colocación de ángulos galva para lana y fibrosilicato	2																																								
																								Colocación , apuntalamiento y Biselado de planchas de piso	2																																								
																								soldadura de planchas de piso	2																																								
																								Calado de piso y diestaje para colocación de columnas	1																																								
																								Habilitado y pintado de perfil "L" para calado	2																																								
																							Soldadura de cajuela para calado	2																																									
																							TECHO																																										
																							Pintado de estructuras	2																																									
																							Habilitado de materiales	3																																									
																							Armado de estructura	5																																									
																							Soldeo de estructura	Soldadura de estructura techo	1.5																																								
																								Enderezado de estructura techo	1																																								
																								Soldadura de ángulos para techo interno , limpieza y pintado	1																																								
																								Colocación y soldado de cumbrera y canal lateral , limpieza y pintura	2																																								
																								Perforación para riel unistrut y colocación de soporte de rieles	1																																								
																							Colocación de aislamiento	3																																									
																							COLOCACIÓN DE TECHO																																										
																							Colocación de techo	Habilitado de columnas	1																																								
																								Habilitado de soporte de A.A	2																																								
																								soldado de soporte de A.A	1																																								
																								Colocación de columnas	0.5																																								
																								traje de techo	0.5																																								
																								Nivelación de columnas	1																																								
																								Soldadura de columnas	3																																								
																								Colocación y Soldado de soportes de AA en contorno	1																																								
																								Fabricación de rampa	2																																								
																								Granallado y pintado de rampa	1																																								

Fuente: Elaboración propia.

- ETAPA 3 (MONTAJE)

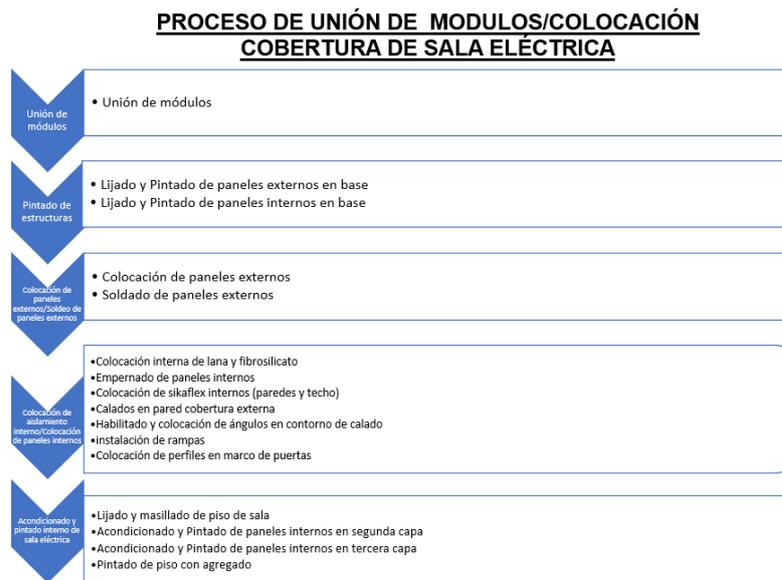
La etapa de montaje constó de dos escenarios, uno que es la unión de los módulos para posteriormente realizar los trabajos de colocación de cobertura envolvente y pintura interna para poder culminar y dar pase a los trabajos de instalación de equipos internos por una empresa contratista.

Figura IV-70 Diagrama de bloques y montaje



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-71 Unión de módulos / Colocación de cobertura sala eléctrica.



Fuente: Elaboración propia.

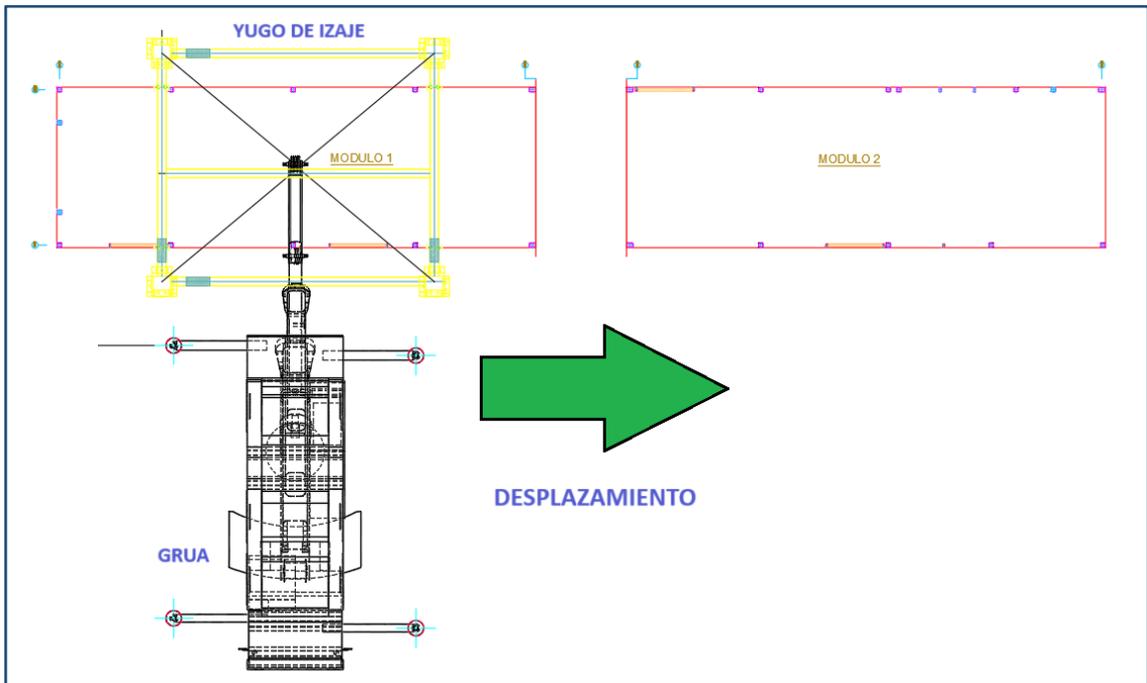
- Unión de módulos

Para optimizar el proceso de unión de los módulos, se tomará la decisión estratégica de emplear una grúa de 30 toneladas. Esta elección permitirá un acercamiento preciso entre los módulos, facilitando su ensamblaje de manera eficiente. Para asegurar la estabilidad y el manejo seguro de los componentes, se empleará un yugo rectangular en conjunción con eslingas de alta resistencia. El procedimiento se llevará a cabo aprovechando las orejas de izaje, comúnmente conocidas como cáncamos, que se encontrarán estratégicamente ubicadas en la estructura de los módulos. Estas orejas proporcionarán puntos de sujeción ideales para la grúa, asegurando un movimiento seguro y controlado de los módulos.

La distancia entre las caras de los módulos que se unirán será de aproximadamente 5 metros, lo que facilitará el proceso de acercamiento y alineación. Esta cercanía reducirá significativamente el tiempo requerido para la unión de los módulos, agilizando así el proceso de montaje de las paredes de la sala eléctrica.

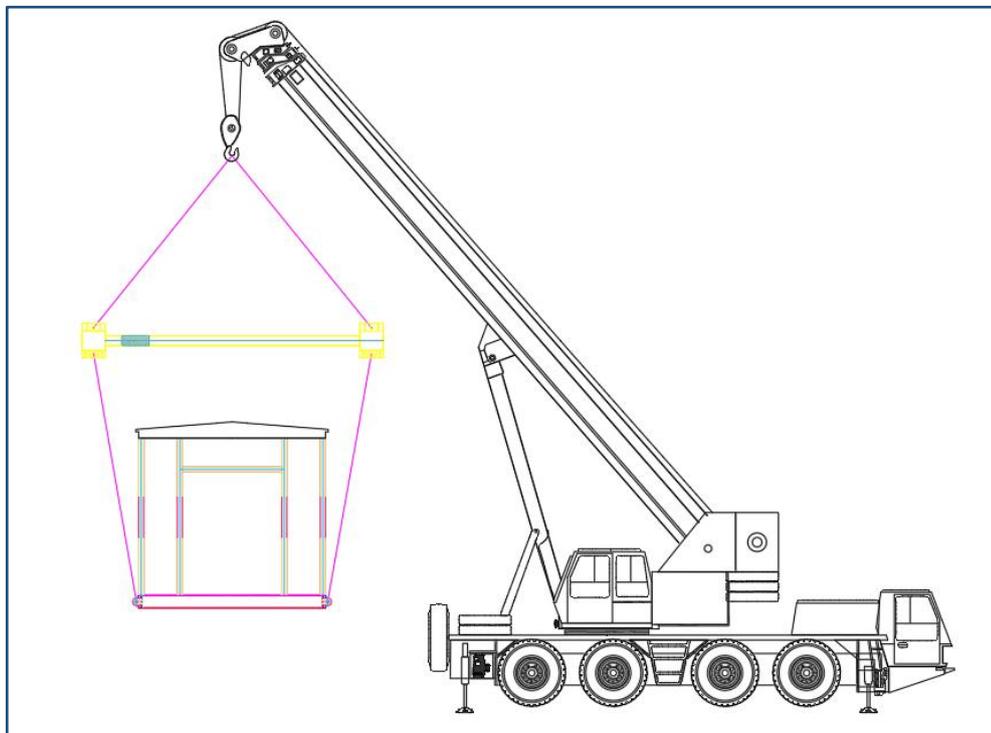
En resumen, la combinación de una grúa de alta capacidad, un yugo rectangular, eslingas resistentes y el aprovechamiento de las orejas de izaje permitirá realizar una unión eficiente y segura de los módulos, contribuyendo a la agilidad y precisión en el montaje de la sala eléctrica.

Figura IV-72 Vista de planta de módulos e izaje para unión con grúa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-73 Vista lateral de módulo e izaje para unión con grúa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura IV-74 Módulos unidos



Fuente: Elaboración propia

- Colocación de cobertura envolvente // Pintura : La colocación de la cobertura envolvente (paredes) consta de los siguientes pasos, esto inicio con la colocación de los paneles externos para posteriormente soldarse en los extremos superior e inferior de los paneles , luego se coloco el sistema de aislamiento que consta de fibrosilicato y lana mineral , finalmente se cerró todo con el panel interno, Luego le siguieron los trabajos de pintura que dando inicio con el acondicionado de paneles internos (masillado , lijado, hermetizado con sikaflex) para culminar pintándose en base , capa intermedia y acabado con recubrimiento industrial.

Figura IV-75 Colocación de paneles externos.



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-76 Colocación de paneles externos y soldeo.



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-77 Colocación de lana mineral en paredes.



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-78 Colocación de lana mineral en paredes



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-79 Colocación de fibrosilicato y paneles de cobertura interna (detalle de unión de módulos)



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-80 Paredes con cobertura incluida interna.



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-81 Vista externa de sala eléctrica



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-82 Vista externa de sala eléctrica



Fuente: Elaboración propia

Figura IV-83 Vista interna de sala eléctrica con paredes pintadas.



Fuente: Elaboración propia

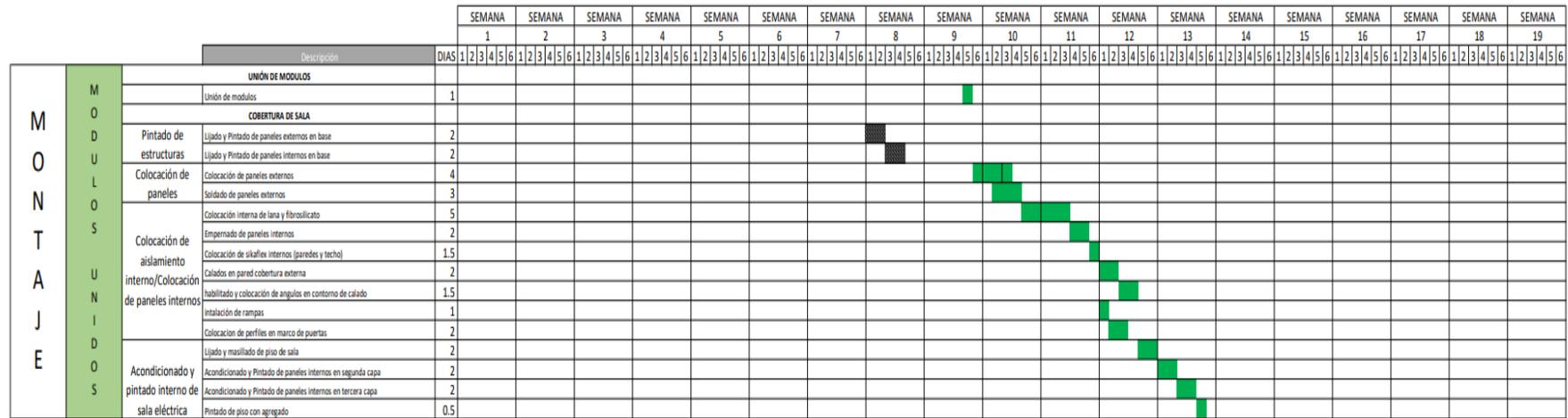
A continuación, se muestran los tiempos que tomo realizarse los trabajos durante esta etapa (durante esta etapa los módulos ya se encuentran unidos por lo que el tiempo es el de la unión de ambos módulos)

Tabla IV-22 Unión de módulos

UNIÓN DE MODULOS		DIAS	HORA S	PERSONA L	H-H
Unión de módulos		1	8	6	48
COBERTURA DE SALA					
Pintado de estructuras	Lijado y Pintado de paneles externos en base	2	16	4	64
	Lijado y Pintado de paneles internos en base	2	16	4	64
Colocación de paneles externos/Soldeo de paneles externos	Colocación de paneles externos	4	32	12	384
	Soldado de paneles externos	3	24	4	96
Colocación de aislamiento interno/Colocación de paneles internos	Colocación interna de lana y fibrosilicato	5	40	9	360
	Empernado de paneles internos	2	16	9	144
	Colocación de sikaflex internos (paredes y techo)	1.5	12	3	36
	Calados en pared cobertura externa	2	16	4	64
	habilitado y colocación de ángulos en contorno de calado	1.5	12	4	48
	instalación de rampas	1	8	2	16
	Colocación de perfiles en marco de puertas	2	16	4	64
	Acondicionado y pintado interno de sala eléctrica	Lijado y masillado de piso de sala	2	16	4
Acondicionado y Pintado de paneles internos en segunda capa	2	16	5	80	
Acondicionado y Pintado de paneles internos en tercera capa	2	16	4	64	
Pintado de piso con agregado	0.5	4	2	8	
					1604

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-84 Montaje módulos unidos.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detalla el estudio económico

Presupuesto Metalmecánico de la Sala Eléctrica

El presupuesto detallado para la construcción metalmecánica de la sala eléctrica se basa en el análisis de costos unitarios de los siguientes elementos:

Materiales Metálicos: Incluye el costo de acero estructural, perfiles, planchas metálicas y otros materiales utilizados en la estructura de la sala eléctrica.

Tabla IV-23 Materiales metálicos de sala eléctrica

1.- MATERIALES METALICOS DE SALA ELECTRICA

1.10	Descripción	Cálculo			Área m2		Peso kg		Costo US \$		
		ml	unid.	cant.	Unitario	Parcial	Unitario	Parcial	Unitario	Parcial	Especifico
	BASE										
	Viga W 10x26 (larguero principal)	51.60	5.73	6.00	10.00	60.00	348.23	2,089.39	1.21	2,528.16	1.21
	Canal C 10x20 (apoyo principal)	7.60	1.27	2.00	5.00	10.00	178.58	357.16	1.21	432.16	1.21
	Viga W 10x22(apoyos secundarios)	71.39	7.93	8.00	9.92	79.36	295.82	2,366.56	1.21	2,863.54	1.21
	Viga W 10x15 (apoyos secundarios)	140.60	15.62	16.00	8.30	132.80	200.90	3,214.43	1.21	3,889.46	1.21
	Angulo 1/4" X 3" X 6 mts.	66.00	11.00	11.00	1.83	20.12	43.75	481.27	1.21	582.34	1.21
	Pl. 6,4 mm x 1200 x 2400 (1/4") piso		29.03	30.00	5.76	172.80	144.28	4,328.28	1.21	5,237.22	1.21
	Pl. 3/4 mm x 1200 x 2400			0.50	5.76	2.88	452.16	226.08	1.21	273.56	1.21
	Pl. 5/8x200x200			0.50	0.04	0.02	3.00	1.50	1.21	1.82	1.21
	Pl. 4 mm x 1200x2400 calados			4.00	5.88	23.52	90.88	363.53	1.21	439.87	1.21
	Pl. galv. de 1.5 mmx1200x2400 falso piso	1.50	29.03	30.00	2.88	86.40	34.08	1,022.43	1.21	1,237.14	1.21
							587.90	14,450.63		17,485.26	

Tabla IV-24 Paredes de sala eléctrica

1.20	PAREDES	Cálculo			Área m2		Peso kg		Costo US \$		
		ml	unid.	cant.	Unitario	Parcial	Unitario	Parcial	Unitario	Parcial	Especifico
	Tubo cuadrado. 4" x 4" x 4.50 x 6,00mts columnas	69.76	11.63	12.00	2.44	29.26	83.79	1,005.53	1.21	1,216.69	1.21
	Tubo cuadrado. 6" x 4" x 4.50x 6,00mts	21.17	3.53	4.00	3.05	12.20	56.53	226.12	1.21	273.61	1.21
	Tubo cuadrado. 2" x 2" x3/16" x 6,00mts columnas	43.96	7.33	8.00	1.22	9.76	36.16	289.28	1.21	350.03	1.21
	Canal C60 x 37 x 10 x 2mm x 3.8 mts	89.74	90.00	90.00	1.15		8.52	766.55	1.21	927.53	1.21
	Canal C4x2x2mm	11.40	11.40	11.40	0.95	10.85	9.34	106.49	1.21	128.86	1.21
	panel exterior	2.00	182.41	183.00	1.20	219.60	18.84	3,447.72	1.21	4,171.74	1.21
	panel interior	1.50	182.41	183.00	1.20	219.60	14.13	2,585.79	1.21	3,128.81	1.21
	panel exterior pared interno división	1.50	11.20	12.00	1.20	14.40	14.13	169.56	1.21	205.17	1.21
	panel interior pared interno división	1.50	11.20	12.00	1.20	14.40	14.13	169.56	1.21	205.17	1.21
	Angulo 3/16" X 2" X 2" X 6 mts.		6.00	30.00	1.22	36.58	21.08	632.40	1.21	765.20	0.06
	Tubo rectangular. 3," x 2, x 4,5 x 6,00mts AA	28.00	4.67	5.00	1.52	7.62	48.00	240.00	1.21	290.40	1.21
						574.27		9,639.00		11,663.19	

Tabla IV-25 Techo de sala eléctrica

1.30	TECHO	Cálculo			Área m2		Peso kg		Costo US \$		
		ml	unid.	cant.	Unitario	Parcial	Unitario	Parcial	Unitario	Parcial	Especifico
	Tubo cuadrado. 4" x 4" x 4.50 x 6,00mts techo	90.78	15.13	16.00	2.44	39.01	83.79	1,340.70	1.21	1,622.25	1.21
	Tubo cuadrado. 3" x 3" x3/16" x 6,00mts tijeral	47.33	7.89	8.00	1.83	99.67	61.83	494.64	1.21	598.51	1.21
	Tubo rectangular. 2," x 3, x 2,5 x 6,00mts techo	76.32	12.72	13.00	1.52	19.81	29.94	389.22	1.21	470.96	1.21
	panel exterior	2.00	98.65	99.00	1.20	118.80	18.84	1,865.16	1.21	2,256.84	1.21
	panel interior	1.50	86.94	87.00	1.20	104.40	14.13	1,229.31	1.21	1,487.47	1.21
	Pl. galv. de 1.5 mmx120x2400 falso techo	1.50	0.00	2.00	2.88	5.76	33.91	67.82	1.21	82.07	1.21
	Cumbrera y remates internos	1.50	6.00	6.00	3.40	20.40	33.91	203.47	1.21	246.20	1.21
	Refuerzos piso, panel	2.00	8.00	8.00	3.40	27.20	45.22	361.73	1.21	437.69	1.21
						435.06		5,952.06		7,201.99	

Tabla IV-26 Otros gastos de sala eléctrica

	Cálculo			Área m2		Peso kg		Costo US \$			
	ml	unid.	cant.	Unitario	Parcial	Unitario	Parcial	Unitario	Parcial	Especifico	
1.40	OTROS										766.85
SUB-TOTAL 1.00					1,633.80		30,674.09		37,882.50		1.24

Mano de Obra: Considera el costo asociado con el personal operativo en la fabricación y montaje de la sala eléctrica, incluyendo soldadores, armadores, etc.

Tabla IV-27 Manos de obra

2.0 MANO DE OBRA										
Descripción	Peso	Rendimiento			Costo		Metrado	Costo US \$		
	kg	h-h / t	h-h	US \$ / h-h	US \$	US \$ / kg		Unitario	Parcial	
2.10 Armado de plataforma base	30674.0896	50	1533.70448	2	3067.409	0.1	kg	30674.09	0.05	1533.70448
Armado de techo	30674.0896	30	920.222688	3	2760.6681	0.09	kg	30674.09	0.04	1226.963584
2.20 Armado de envolvente	30674.0896	70	2147.186272	2	4294.3725	0.14	kg	30674.09	0.05	1533.70448
Limpieza, acondicionado, traslado de material							kg	30674.09	0.05	1533.70448
colocación de lana piso y pared							kg	30674.09	0.06	1840.445376
Soldadura techo							kg	30674.09	0.045	1380.334032
Soldado de paneles							kg	30674.09	0.05	1533.70448
2.30 Soldadura plataforma	30674.0896	80	2453.927168	1.5	3680.8908	0.12	kg	30674.09	0.04	1226.963584
SUB-TOTAL 2.00	30674.1				13803.3	0.450			0.3850	11,809.52

Consumibles: Cubre los gastos relacionados con los materiales consumibles durante el proceso de construcción, como electrodos de soldadura, gases, abrasivos, entre otros.

Equipos y Herramientas: Contempla el costo de alquiler o depreciación de equipos y herramientas utilizados en la fabricación y montaje de la sala eléctrica, herramientas de corte y soldadura, entre otros.

Tabla IV-28 Equipos y herramientas

4.0 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Metrado		Costo US \$		
			Unitario	Parcial	
4.1 Máquina de Soldar	h-m	864.0	0.10	86.40	
4.2 Taladros	h-m	172.8	0.20	34.56	
4.2 Andamios, tecles	h-m	120.0	0.80	96.00	
4.3 Esmeriles y afines	h-m	172.8	0.20	34.56	
4.4 Equipos de Corte	global	172.8	0.20	34.56	
SUB-TOTAL	4.00			286.08	

Protección Superficial - Pintura: Incluye el costo de los materiales y la mano de obra necesarios para la preparación de superficies y la aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado en la estructura metálica.

Tabla IV-29 Protección Superficial - Pintura

5.0 PROTECCIÓN SUPERFICIAL - PINTURA DE SALA ELÉCTRICA										
Descripción	Rendimientos						Metrado		Costo US \$	
	unidad	cantidad	unidad	cantidad	unidad	cantidad			Unitario	Parcial
5.1 Granallado	m2	1552.11		8.99			m2	869.3	2.00	1,738.62
5.2 Pintura base 3 mills	m2 /gal	18.00	gal	86.2	1.00	86.23	gal.	86.2	27.50	2,371.28
5.3 Pintura Intermedia 3 mills	m2 /gal	18.00	gal	86.2	1.80	155.21	gal.	155.2	31.90	4,951.23
Pintura acabado poliuretano 2 mills	m2 /gal	20.00	gal	19.9	1.00	19.91	gal.	19.9	55.00	1,095.05
5.4 Pintura antideslizante	m2 /gal	18.00	gal	1.5	1.00	1.45	gal.	1.5	33.00	47.85
5.5 Diluyente	m2/gal	11.00	gal	31.8	1.00	2.89	gal.	86.2	17.05	1,470.48
5.6 Lijas, trapo, otros	gal. total	172.46	h-h	776.1	1.00		m2	1633.8	0.10	167.86
5.7 Sellos de división							kg		0.03	0.00

5.8	sikaflex	m2 / \$ abr	25.00	m2 / \$ mas	6.0	US \$ / m2	179.66	unid	137.6	7.00	963.21
5.9	Mano de Obra - Pintura	m2 / h -h	4.00					h-h	1633.8	0.70	1,143.66
SUB-TOTAL 5.00									6.99		13,949.23

Servicios de Terceros: Considera cualquier servicio externo requerido durante el proceso de construcción, como transporte de materiales, servicios de corte y doblado de acero, ensayos NDT, grúa.

Tabla IV-30 Servicios terceros.

6.0 SERVICIOS TERCEROS

Descripción	Rendimientos				Metrado		Costo US \$				
	unidad	cantidad	unidad	cantidad	unidad	cantidad	Unitario	Parcial			
6.1 Corte	Kg.	7898.67					Kg.	7898.67	0.08	631.89	
6.2 Doblez	Kg.	7898.67					Kg.	7898.7	0.08	631.89	
6.3 Ensayos NDT							kg	30674.1	0.01	200.00	
6.4 Grúa							h-m	75.0	5.00	375.00	
SUB-TOTAL 6.00											1,838.79

Resumen costo de estructura:

Tabla IV-31 Resumen costo de estructura

ESTRUCTURA DEL COSTO											
ítem	PARTIDAS	INDICES DE COMPARACION				COSTO DIRECTO			COSTO DIRECTO + GGU		
		unidad	cantidad	kg / unid	US / unid	%		US \$	Gasto General + Utilidad		3.0%
									%		US \$
1.0	MATERIALES	kg	30674.09	366.9	466.7	54.3%	1.235	37,882.5	55.9%	1.272	39,019.0
2.0	MANO DE OBRA				145.5	16.9%	0.385	11,809.5	17.4%	0.397	12,163.8
3.0	CONSUMIBLES				24.5	2.8%	0.065	1,985.2	2.9%	0.067	2,044.8
4.0	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	kg / m2	366.91		3.5	0.4%	0.009	286.1	0.4%	0.010	294.7
5.0	PROTECCIÓN SUPERFICIAL - PINTURA	US \$ / m2	834.74		171.9	20.0%	0.455	13,949.2	20.6%	0.468	14,367.7
6.0	SERVICIOS TERCEROS				22.7	2.6%	0.060	1,838.8	2.7%	0.062	1,894.0
	SUB - TOTAL				834.7	97.1%	2.209	67,751.3			
	imprevistos	%	0.03			2.9%	0.066	2,032.5			
	valor de costo				834.7	100.0%	2.275	69,783.9	100.0%	2.275	69,783.9

Resumen de costo total incluyendo aislamiento de sala eléctrica, puertas, ingeniería, etc.

Tabla IV-32 Resumen de costo total

Descripción	unid.	cant.	\$/unid.	\$	KG	
Estructura de sala	1	unid	1.00	69783.86	69783.86	30674.09
Aislamiento paredes (R)(lana mineral)	12	m2	180.60	29.25	5282.37	1806.00
Aislamiento de techo (lana mineral)	11	m2	83.60	29.25	2445.22	836.00
Aislamiento de piso (lana mineral)	23	m2	83.60	0.00	0.00	836.00
Resistencia al fuego paredes RF (fibrosilicato)	120	m2	180.60	69.45	12543.09	3142.44
Resistencia al fuego techo RF (fibrosilicato)	120	m2	83.60	69.45	5806.21	1454.64
Resistencia al fuego paredes RF (fibrosilicato)		m2	83.60	0.00	0.00	1454.64
Puerta de equipos 02 hojas		unid.	2.00	3500.00	7000.00	600.00
Puerta de mantenimiento		unid.	0.00	650.00	0.00	0.00
Puertas de personal		unid.	1.00	1700.00	1700.00	150.00
Visores cortafuego		unid.	1.00	500.00	500.00	
Embalaje		m2		40.00	0.00	
Canaleta de drenajes		ml	44.00	27.50	1210.00	
Sellos		ml		20.00	0.00	
Local		m2	83.60	22.62	1891.37	
Ingeniería		m2	83.60	27.19	2272.79	
				costo (\$)	110434.90	40953.81

El análisis detallado de cada partida reveló la contribución de cada una al costo total del proyecto. Se identificaron áreas de optimización y se evaluaron estrategias para mantener el proyecto dentro del presupuesto establecido.

Materiales: La partida de materiales representó la mayor parte del costo directo, con un porcentaje de contribución del 54.3% con respecto al costo total de la estructura de la sala eléctrica. Se recomendó evaluar proveedores alternativos y buscar oportunidades de negociación para reducir este costo.

Mano de Obra: Aunque representaba un porcentaje menor en comparación con los materiales, la mano de obra seguía siendo una partida significativa. Se revisó la eficiencia en el uso del tiempo de trabajo y se consideraron posibles mejoras en la productividad.

Consumibles: Aunque era una partida relativamente pequeña, los costos de consumibles podían sumar rápidamente. Se exploraron opciones para optimizar el uso de estos materiales y reducir los desperdicios.

En conclusión, el análisis detallado de los costos proporcionó una visión clara de los componentes que contribuyeron al costo total de fabricación de la sala eléctrica. Se recomendó seguir monitoreando de cerca los costos y realizar ajustes según fuera necesario para garantizar la viabilidad económica del proyecto.

4.7 Aspectos Éticos en Investigación

Este trabajo de investigación respetó el lugar de estudio en una empresa de rubro metalmecánico – eléctrico de lima, toda la información y datos obtenidos, no fueron utilizados en beneficio propio ni de terceros, para lo cual seguimos los siguientes parámetros:

- La responsabilidad y seguridad
- Integridad profesional
- Confidencialidad
- Transparencia
- Cumplimiento de Normativa
- Actualización y desarrollo profesional

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

- Diseño Estructural Funcional

Se completó el diseño estructural funcional, guiado por la metodología LRFD y en conformidad con la normativa de diseño AISC-360, incorporando además las normas nacionales: E0.20, E0.30 y E0.90. Este diseño se orienta específicamente a la implementación de sistemas modulares para reducir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en nuestra empresa metalmecánica eléctrica en Lima.

La evaluación estructural se llevó a cabo en dos escenarios cruciales:

Evaluación en Operación: Analizamos la estructura en su ubicación final en la mina, considerando su funcionamiento habitual. La verificación de la resistencia y las deflexiones se realizó con resultados satisfactorios, confirmando la adecuación del diseño para su uso normal.

Evaluación durante el Izaje: Posterior a la construcción en la planta, la estructura se trasladó a la mina, representando un momento crítico en el proceso. Se verificó la resistencia de la estructura y se evaluaron las deflexiones para asegurar la rigidez, y los resultados obtenidos fueron también satisfactorios.

Además, se realizó una verificación específica de la resistencia de los pernos utilizados en la unión de los módulos, cumpliendo con los estándares de calidad requeridos. Este diseño estructural funcional sienta las bases para la implementación efectiva de sistemas modulares, contribuyendo así a la reducción de los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en nuestra empresa.

- **Fabricación**

En consonancia con la estrategia de implementar la modularidad y optimizar la eficiencia mediante la fabricación simultánea de los módulos, se eligieron los siguientes procesos de fabricación:

Granallado y pintura: Este proceso fue fundamental para garantizar la durabilidad y resistencia de los módulos. Se emplearon técnicas eficientes que optimizaron los tiempos de ejecución.

Fabricación de la plataforma: Se implementaron procesos de soldeo más eficaces en la fabricación de plataformas, considerando el modularidad y la eficiencia en el montaje final.

Fabricación de la estructura del techo: La selección de materiales y la aplicación de técnicas de fabricación precisas permitieron reducir significativamente los tiempos en comparación con métodos convencionales.

Izaje de la estructura del techo: Se emplearon métodos de izaje de techo de manera individual, optimizando la coordinación y el tiempo requerido para esta fase.

Durante cada fase de fabricación en los dos módulos, se realizaron mediciones de tiempo detalladas. Los resultados demostraron un rendimiento excepcional, logrando tiempos sustancialmente más cortos en comparación con la ejecución de los trabajos en un solo módulo. La implementación de sistemas modulares demostró ser efectiva para disminuir los tiempos de fabricación de los módulos. Como parte de la estrategia de mejora continua, se optó por realizar el proceso de soldeo GMAW en lugar de SMAW para unir los módulos. Esta decisión se tomó con el objetivo de minimizar deformaciones y garantizar la integridad estructural de las salas eléctricas.

Estos resultados respaldan la eficacia de la selección cuidadosa de procesos de fabricación en la implementación de sistemas modulares, proporcionando una base sólida para la disminución de los tiempos de fabricación y montaje en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

- **Montaje**

Resultados de la Implementación de Sistemas Modulares en el Montaje de Salas Eléctricas:

En relación con el objetivo e hipótesis específica de establecer los procesos para reducir los tiempos de montaje de salas eléctricas mediante la implementación de sistemas modulares, los resultados destacan mejoras significativas en la fase de montaje. A continuación, se detallan los aspectos relevantes:

Unión de módulos:

La estrategia de implementar sistemas modulares demostró ser altamente eficiente en la fase de unión de los módulos. Al dividir la sala eléctrica en partes más pequeñas, se logró una mayor agilidad en la unión de componentes. Esta segmentación permitió una asignación más precisa de recursos humanos y, como resultado, se redujeron considerablemente los tiempos de unión de los módulos.

Para llevar a cabo la unión de los módulos, se implementó un proceso eficiente mediante el uso de una grúa que operaba desde los cáncamos de izaje. Esta estrategia permitió el movimiento preciso de uno de los módulos hacia la posición requerida para su unión con el otro. La manipulación cuidadosa con la grúa, utilizando los puntos de izaje designados, garantizó una alineación precisa y segura durante el proceso de unión. Este enfoque no solo demostró ser eficaz en términos de rapidez, sino que también resaltó la importancia de la planificación detallada y la coordinación precisa para lograr una unión sin

contratiempos entre los módulos. La utilización de la grúa, junto con los cáncamos de izaje, se reveló como una estrategia clave para optimizar el ensamblaje modular, destacando así la eficacia de las decisiones de diseño y ejecución en el proceso de unión de módulos.

-Instalación de la Cubierta (Paredes):

La instalación de la cubierta externa e interna (paredes), fue ejecutada de manera más efectiva mediante la adopción de sistemas modulares. La dedicación de personal exclusivo para cada módulo garantizó una ejecución más rápida y precisa. La asignación específica de tareas contribuyó significativamente a la reducción del tiempo total de instalación de las paredes de la sala eléctrica.

-Pintura Interna:

La fase de pintura interna experimentó mejoras notables en eficiencia. Al trabajar en módulos más pequeños, se optimizó la aplicación de pintura, logrando un acabado de calidad en un tiempo sustancialmente menor. Esta eficiencia reafirmó los beneficios prácticos de la implementación de sistemas modulares en el proceso de pintura interna.

En conjunto, estos resultados validan la selección cuidadosa de procesos de fabricación centrados en el montaje, confirmando la efectividad de los sistemas modulares para reducir de manera significativa los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en la empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

Finalmente, al desarrollar un diseño estructural funcional específicamente diseñado para la implementación de sistemas modulares, y al mismo tiempo seleccionar cuidadosamente los procesos de fabricación y establecer métodos eficientes de montaje, hemos evidenciado notables mejoras en los tiempos de producción y ensamblaje de salas eléctricas. De esta manera, no solo hemos logrado satisfacer el objetivo principal de nuestro proyecto, sino también hemos

corroborado la validez de nuestra hipótesis inicial. Este enfoque integrado no solo ha optimizado la eficiencia en la fabricación, sino que también ha contribuido de manera significativa a agilizar el proceso de montaje, marcando así un avance sustancial en la mejora general de nuestros procedimientos.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

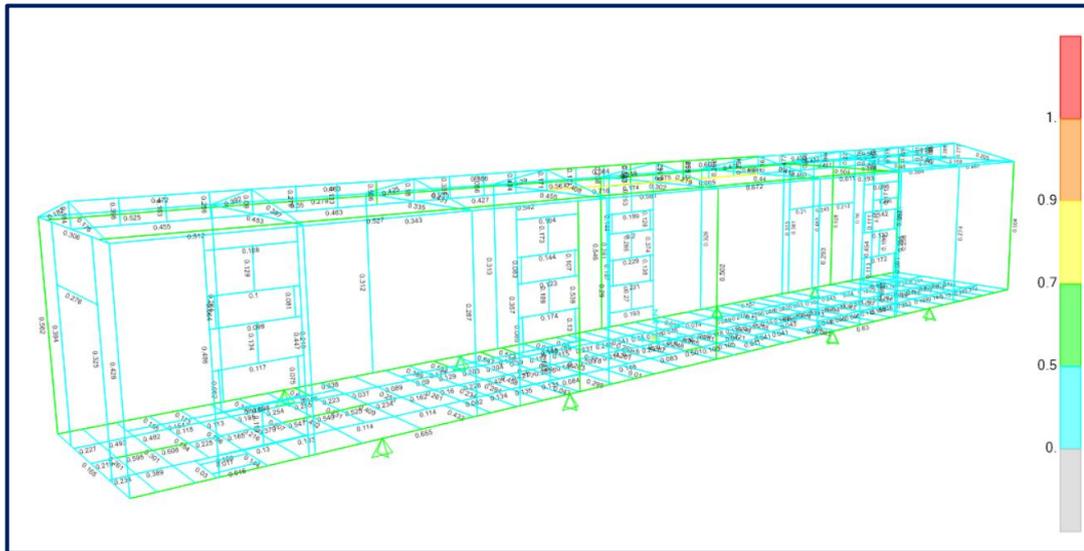
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

A continuación, se detallan los resultados, iniciando por las hipótesis específicas para finalmente indicar los resultados de la hipótesis general.

- Con relación a la hipótesis específica que indica:” El diseño estructural funcional permitirá iniciar la implementación de sistemas modular para la disminución de los tiempos de fabricación y montaje en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.”

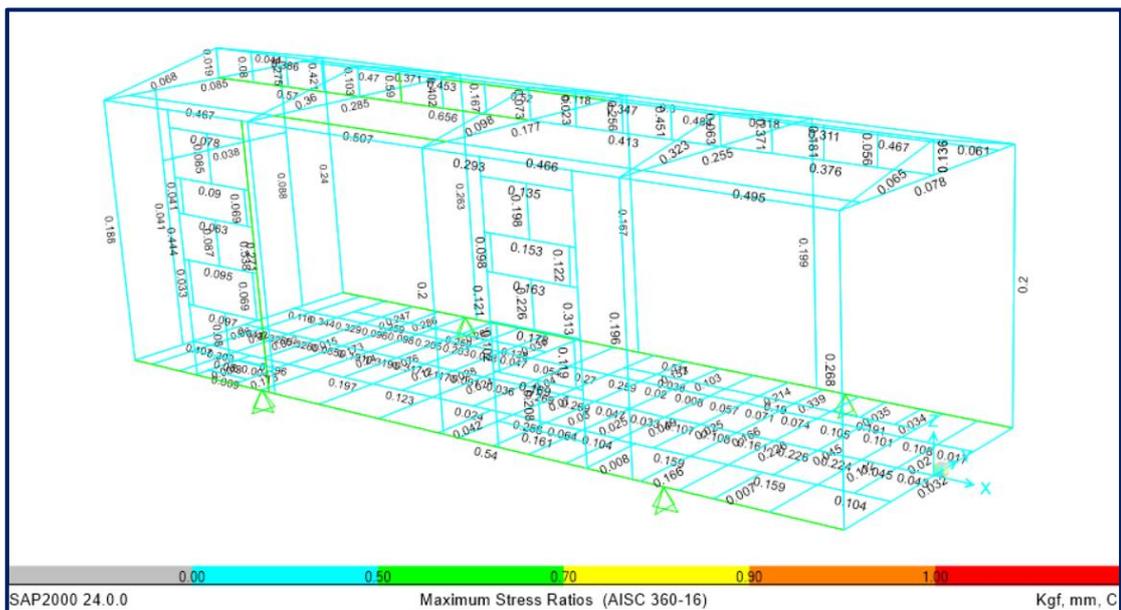
Se realizó el diseño cuando la sala eléctrica en dos escenarios, uno en operación (Cuando la sala se encuentra en su funcionamiento habitual) y además se realizó el diseño durante el izaje (se consideró el módulo con más equipos dentro) , en ambos casos se obtuvo resultados adecuados pues de los resultados provenientes de la verificación del diseño realizado por el software SAP2000 se observa que los elementos de la estructura están dentro del rango de cargas válidas para el diseño como podemos observar en los gráficos de los ratios demanda/capacidad y en las hojas de resultados de los elementos más críticos mostrados en el punto 4.6.1.

Figura VI-1 Diagrama de demanda/capacidad (ratios) en operación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura VI-2 Diagrama de demanda/capacidad (ratios) en izaje.

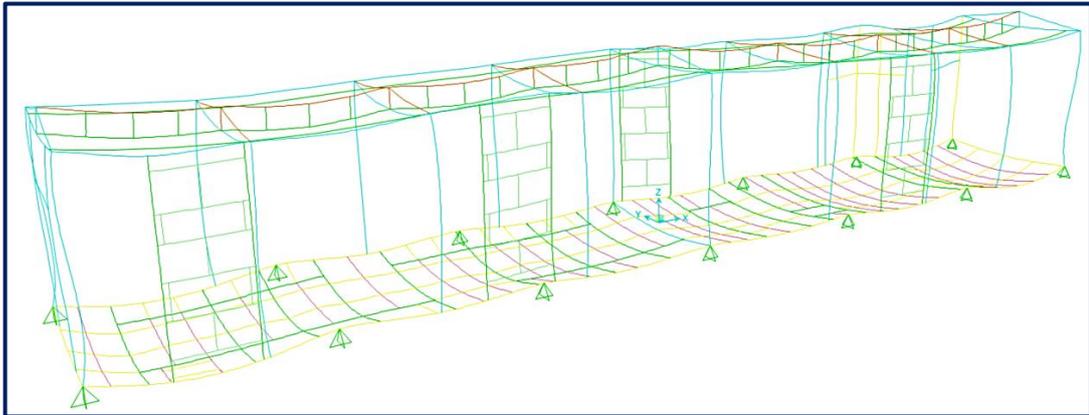


Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se llevó a cabo la verificación de la rigidez de la sala eléctrica tanto en condiciones de operación como durante el proceso de izaje, y se obtuvieron valores de deflexión inferiores a los límites establecidos para cada caso.

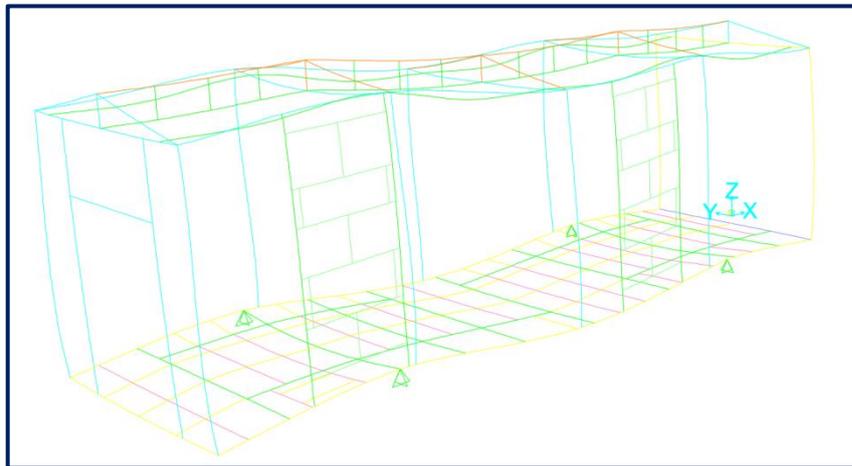
En cuanto a las deflexiones máximas permitidas durante la operación, se tomaron como referencia las directrices establecidas en la norma E0.20. Durante el análisis, se identificaron dos puntos críticos: en el caso de las vigas principales, se registró una deflexión máxima de 4.69 mm, mientras que en el caso de la viga secundaria se observó una deflexión máxima de 8.29mm. Estos valores se encuentran dentro de los límites permitidos, ya que, según las especificaciones de la norma, las deflexiones máximas aceptables para las vigas principales y secundarias son de 10.35 mm y 10.55 mm, respectivamente. En consecuencia, los resultados son considerados satisfactorios.

Figura VI-3 Esquema de deflexiones en operación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura VI-4 Esquema de deflexiones



Fuente: Elaboración propia.

También se llevó a cabo la verificación de la rigidez ante fuerzas de viento, arrojando resultados satisfactorios. Los desplazamientos máximos permitidos son de 41.88 mm (en la cumbrera), y los valores obtenidos se encuentran por debajo de este límite máximo permitido.

$$H_{cumbreira} = 4188 \text{ mm}$$

$$d_{max E0.20} = 1\% H_{cumbreira} = 41.88 \text{ mm}$$

$$\Delta x_{cumbreira} = 0.9785 \text{ mm}$$

$$\Delta y_{cumbreira} = 25.39 \text{ mm}$$

Entonces ; $\Delta_{cumbreira} < d_{max.E020}$, por lo tanto es conforme el diseño por rigidez

En cuanto a la rigidez ante sismos, los resultados se mantuvieron dentro de los límites especificados:

Tabla VI-1 Cálculo de derivas para dirección X e Y

Cálculo de derivas Para dirección X e Y ($\Delta \times 0.75 \times R/h_i$)					
Eje	$h_i(m)$	Desplaz. (m)	Δi	$\Delta \times 0.75 \times R$	Deriva
x	4.188	0.0034415	0.0034415	0.0103245	0.00246
y	4.188	0.0123514	0.0123514	0.03705	0.00884

Fuente: Elaboración propia.

Observamos que las derivas en el “x” e “y” son menores que 0.010 solicitados por la norma E0.30, por lo tanto, es conforme el diseño por rigidez.

En cuanto a la unión de los módulos, se llevó a cabo el cálculo de la resistencia de los pernos, y se determinó que estos poseen la resistencia adecuada para soportar las cargas tanto por corte como por tracción a las que estarán sometidos.

Como resultado de las verificaciones realizadas, se puede concluir que el diseño estructural cumple con los requisitos necesarios, lo que permite iniciar la implementación de los sistemas modulares. Para mayor detalle, se adjuntan los planos utilizados en el proceso de fabricación en los anexos.

Para el caso de la hipótesis específica que indica: “Seleccionar los procesos fabricación de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en empresa metalmecánica eléctrica de Lima”

Se seleccionó como procesos de fabricación, los indicados:

- 1-Granallado y pintura
- 2-Fabricación de plataforma
- 3-Fabricación de estructura techo
- 4-Izaje de estructura techo

Siendo el punto 2 y 3 trabajados en simultáneo, finalmente realizar la verificación del tiempo final que tomo esta etapa de fabricación se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla VI-2 Días trabajados en el proceso de fabricación

PROCESOS DE FABRICACIÓN	DIAS TRABAJADOS			
	DOS MÓDULOS (22.5m)	UN MÓDULO (22.5 m)	UN MÓDULO (18 m)-B	UN MÓDULO (18 m)-A
GRANALLADO Y PINT	18	18	18	18
PLATAFORMA	28	52	41	43
TECHO	28	40	32	30
IZAJE	10	13	13	9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI-3 Tabla de resumen de días trabajos de fabricación.

	DIAS TRABAJADOS			
	DOS MÓDULOS (22.5m)	UN MÓDULO (22.5 m)	UN MÓDULO (18 m)-B	UN MÓDULO (18 m)-A
TIEMPO CONSIDERANDO TRABAJOS EN PARALELO	56	83	72	70
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE TIEMPO		32,53%	22,22%	20,00%

Fuente: Elaboración propia.

Aquí se pudo apreciar que el tiempo de fabricación de la sala eléctrica de 22.5m realizada en dos módulos, tuvo una mejora de tiempo con respecto al tiempo estimado que nos hubiese tomado realizar la fabricación en un solo módulo, se debe acotar que el tiempo de fabricación estimado en un módulo se realizó en base al historial de tiempo con que se contaba.

Tabla VI-4 Tabla de resumen de tiempos de construcción de sala.

Sala eléctrica	Largo(m)	Ancho(m)	Tiempo de Construcción(semanas)
Odebrecht	11	3.5	12
cerro verde	11	3.7	12
Antapacay	18	3.8	15
Pierina	18	3.9	16

Fuente: Elaboración propia.

Se pudo evidenciar una reducción de tiempo de 32.53% con respecto al que nos hubiese tomado hacerlo en un solo módulo, adicionalmente para reducir la incertidumbre se realizó el contraste con los tiempos de dos salas eléctricas de 18m de largo fabricadas en un solo módulo, por lo que se evidencio mejoras como se indica en la tabla de resumen de resultados.

Por lo que podemos afirmar que con la hipótesis indicada.

Para el caso de la hipótesis específica siguiente: “Establecer de los procesos de montaje de los sistemas modulares beneficia los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en empresa metalmecánica eléctrica de Lima. “

Se muestra un cuadro que resume los tiempos que nos tomaron los procesos de montaje, por lo que se puede evidenciar una mejora en los tiempos de un 32.53% de reducción con relación a que, si hubiésemos optado por un proceso de montaje para una sala de un solo cuerpo, se debe acotar que la diferencia de tiempo se debe a que se trabaja con dos módulos por lo que el tamaño de los mismo es menor con relación a toda la longitud que tiene la sala.

Tabla VI-5 Días trabajados

PROCESOS DE FABRICACIÓN	DIAS TRABAJADOS			
	DOS MODULOS (22.5m)	UN MODULO (22.5 m)	UN MODULO (18 m)-B	UN MODULO (18 m)-A
GRANALLADO Y PINT	18	18	18	18
PLATAFORMA	28	52	41	43
TECHO	28	40	32	30
IZAJE	10	13	13	9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI-6 Porcentaje de reducción de tiempo.

	DIAS TRABAJADOS			
	DOS MODULOS (22.5m)	UN MODULO (22.5 m)	UN MODULO (18 m)-B	UN MODULO (18 m)-A
TIEMPO CONSIDERANDO TRABAJOS EN PARALELO	56	83	72	70
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE TIEMPO		32,53%	22,22%	20,00%

Fuente: Elaboración propia.

Podemos afirmar que los procesos establecidos si ayudaron a reducir los tiempos indicados.

Finalmente, para la hipótesis general: “La implementación de sistemas modulares disminuye los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmeccánica eléctrica de Lima.”

Tabla VI-7 Fabricación y montaje

ETAPA	PROCESOS	DIAS TRABAJADOS			
		DOS MODULOS (22.5m)	UN MODULO (22.5 m)	UN MODULO (18 m)-B	UN MODULO (18 m)-A

FABRICACIÓN	Granallado y pintura	18	18	18	18
	Plataforma base	28	52	41	43
	Techo	28	40	32	30
	Izaje	10	13	13	9
MONTAJE	Unión de módulos	1	0	0	0
	Pintado de estructuras	4	5	4	4
	Colocación de paneles externos/Soldeo de paneles externos	5	13	11	11
	Colocación de aislamiento interno/Colocación de paneles internos	12	17	16	16
	Acondicionado y pintado interno de sala eléctrica	7	8	7	7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI-8 Porcentaje de reducción de tiempo

	DIAS TRABAJADOS			
	DOS MODULOS (22.5m)	UN MODULO (22.5 m)	UN MODULO (18 m)-B	UN MODULO (18 m)-A
TIEMPO CONSIDERANDO TRABAJOS EN PARALELO	77	109	96	89
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE TIEMPO		29,36%	19,79%	13,48%

Fuente: Elaboración propia.

En ella vemos que en el global, al implementar los sistemas modulares a la sala de 22.5m, el trabajo se realizó en 77 días, y si nos hubiésemos dado a la tarea de fabricarla en un solo modulo nos hubiese llegado a tomar un tiempo de 109 días, lo cual nos da un porcentaje de reducción del 29.36%, pudiendo confirmar la hipótesis que nos planteamos.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En nuestro caso específico, la implementación del sistema modular ha demostrado un impacto significativo en la reducción de los tiempos de construcción de la sala eléctrica. La mejora del 29.36% en comparación con el

tiempo estimado para la construcción de la sala como una unidad única respalda la eficacia de la implementación de sistemas modulares.

Comparando nuestros resultados con los antecedentes internacionales y nacionales, observamos similitudes y divergencias que enriquecen la comprensión de la aplicación de sistemas modulares en distintos contextos. A continuación, se detallan las conexiones con los estudios mencionados:

Conexiones con Antecedentes Internacionales:

La tesis se alinea con la investigación de Ignacio (2019), quien realizó su estudio titulado "**Módulos adaptables para la industria y el trabajador minero**". A pesar de las diferencias en la industria y la aplicación específica, ambas investigaciones resaltan la versatilidad y adaptabilidad de los sistemas modulares para satisfacer requerimientos particulares. La flexibilidad en la configuración de los módulos se erige como un punto de convergencia esencial entre ambas indagaciones.

El beneficio de la implementación de sistemas modulares también se respalda en el trabajo de Sánchez (2021) cuyo estudio se titula "**Diseño de un sistema estructural ligero prefabricarle modulable y desmontable para el soporte de una vivienda sustentable**". La investigación de Sánchez aborda la modularidad en el contexto de viviendas sustentables. Si bien nuestras aplicaciones son distintas, ambas destacan la eficiencia lograda a través de la prefabricación y la modulación, respaldando la idea de que estas estrategias son transferibles a diferentes contextos de construcción.

En la misma línea Ravanal (2021) en su estudio titulado "**Evaluación técnico-económica para la construcción de sala eléctrica prefabricada en elementos de plástico reforzado con fibras**", aunque se centra en materiales diferentes, la comparación con su estudio subraya la diversidad de enfoques en la implementación de sistemas prefabricados. Ambos estudios respaldan la viabilidad técnica de estas soluciones.

En consonancia, los hallazgos de Sunghoon-Nam (2020) en su estudio titulado **"Optimization Of Prefabricated Components In Housing Modular Construction"** corroboran nuestros resultados, fortaleciendo la noción de que la modularidad no solo potencia la eficiencia en la cadena de producción, sino que también optimiza la gestión de la mano de obra. La coherencia entre nuestras conclusiones y las de Sunghoon-Nam resalta la validez y la aplicabilidad generalizada de los beneficios asociados con la implementación de sistemas modulares, consolidando así la relevancia de esta estrategia en diversos contextos de construcción.

Conexiones con Antecedentes Nacionales:

La tesis se alinea con la investigación de Herrera (2022) en su estudio titulado **"Generación del plan y control de calidad en la fabricación de salas eléctricas para proyecto Quellaveco"**. Encontramos afinidad en la importancia subrayada por Herrera sobre la planificación meticulosa y el control durante la fabricación. Estos aspectos resultan cruciales, y nuestra implementación de sistemas modulares también destaca su relevancia en este contexto.

Además, en la investigación llevado a cabo por Berna (2022) titulada **"Integración de sala eléctrica 2830-ER-002 Anglo American Quellaveco"**, subraya la versatilidad de los sistemas modulares para adaptarse a diferentes entornos, especialmente en condiciones climáticas extremas. Esto resalta una convergencia en la flexibilidad de aplicación entre su investigación y la nuestra.

Por otro lado, la investigación de Melgar (2016) en su estudio **"Producción, transporté y montaje de edificaciones modulares para campamentos mineros"**, aunque centrada en campamentos mineros, comparte la premisa de eficiencia en tiempos de construcción mediante sistemas modulares. Ambos estudios respaldan la idea de que esta metodología es ágil y eficiente, lo cual refuerza nuestros hallazgos.

Asimismo, la optimización de tiempos de entrega mencionada por Sucuytan (2016) en **“Modelo de gestión de operaciones, para mejorar los procesos productivos de fabricación de salas eléctricas en la empresa Técnicas Metálicas Ingenieros sac- 2015”** corrobora nuestros resultados. Esto resalta la efectividad de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje, estableciendo una coherencia entre su estudio y nuestra estrategia.

Finalmente, la propuesta de Aspilcueta (2021) en **“Plan de mejora en la optimización de recursos en el proceso de fabricación salas eléctricas para el proyecto ampliación southernm toquepala”**, encuentra paralelos con nuestra estrategia de implementar sistemas modulares para eficientizar el proceso de fabricación de salas eléctricas. La comparación de estos estudios respalda la efectividad general de la implementación de sistemas modulares en la reducción de tiempos, consolidando así nuestra perspectiva integral sobre esta metodología.

En resumen, la comparación de nuestros resultados con estos estudios respalda la efectividad de la implementación de sistemas modulares en la reducción de tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas, destacando similitudes y aportando una perspectiva integral a esta metodología.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

Este estudio adhirió estrictamente a las normas éticas y académicas al citar y referenciar adecuadamente a los autores mencionados, siguiendo las pautas establecidas por la norma ISO-690, como recomendado la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía. Asimismo, se respetó integralmente el esquema de desarrollo propuesto por la facultad, demostrando un compromiso ético y una búsqueda de precisión y veracidad en la elaboración del presente informe de tesis.

VII. CONCLUSIONES

Basado en los resultados presentados, concluimos que la implementación del diseño estructural funcional fue satisfactoria para nuestra empresa metalmecánica eléctrica en Lima. Los análisis realizados tanto en condiciones de operación como durante el izaje demostraron que el diseño cumplía con los estándares de resistencia y rigidez necesarios para su uso en la práctica. La verificación específica de la resistencia de los pernos utilizados en la unión de los módulos reforzó aún más la calidad y fiabilidad del diseño. Este logro validó nuestra hipótesis inicial de que el diseño estructural funcional era fundamental para la implementación eficiente de sistemas modulares. Por lo tanto, se pudo concluir que el enfoque adoptado hacia el diseño estructural funcional fue acertado y ofreció una sólida base para futuras implementaciones de sistemas modulares en nuestra empresa. Estos resultados respaldaron la importancia de seguir utilizando esta metodología en proyectos futuros, no solo para optimizar los tiempos de fabricación y montaje, sino también para garantizar la seguridad y la calidad en nuestros productos, en concordancia con nuestro objetivo y nuestra hipótesis específica número 1.

Con relación a los resultados cuantitativos obtenidos durante el estudio, se pudo concluir que la estrategia de selección de procesos de fabricación para la implementación de sistemas modulares fue altamente efectiva en la reducción de los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en nuestra empresa metalmecánica eléctrica de Lima. Durante la etapa de fabricación, se llevaron a cabo mediciones detalladas del tiempo empleado en la construcción de dos módulos de 11.25m en comparación con una sala de un solo módulo de 22.5m. Los resultados mostraron una reducción del tiempo de fabricación del 32.53%. Asimismo, al comparar con dos salas de un solo módulo de 18m, se observó una reducción del 22.22% y del 20.00%, respectivamente. Estos valores numéricos respaldaron de manera contundente la eficacia de la estrategia implementada, demostrando una disminución significativa en los tiempos de fabricación al

adoptar sistemas modulares. Dichos resultados no solo confirmaron la validez de nuestra hipótesis secundaria, sino que también resaltaron la importancia de haber seguido explorando y mejorando enfoques innovadores para optimizar los procesos de fabricación y mantenernos competitivos en el mercado, en concordancia con nuestro objetivo y nuestra hipótesis específica número 2.

El establecimiento del proceso de montaje contribuyó a la mejora en los tiempos. En primer lugar, se evidenció una reducción significativa en los tiempos de unión de los módulos gracias a la segmentación de la sala y una asignación precisa de recursos humanos. La utilización de una grúa para el movimiento preciso de los módulos resaltó la importancia de la planificación detallada y la coordinación en el proceso. Además, se observaron mejoras considerables en eficiencia durante la instalación de la cubierta y la pintura interna. La dedicación de personal exclusivo para cada módulo y la optimización en la aplicación de pintura en módulos más pequeños contribuyeron significativamente a la reducción del tiempo total de montaje. Estos resultados, respaldados por datos cuantitativos, mostraron que la construcción en dos módulos de 11.25m redujo el tiempo de montaje en un 36.84% en comparación con una sala de un solo módulo de 22.5m. Además, en comparación con salas de un solo módulo de 18m, se logró una reducción del 29.41% en el tiempo de montaje para ambas. Estos datos cuantitativos respaldaron la eficacia de los sistemas modulares en la disminución de los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en la empresa metalmecánica eléctrica de Lima. La integración de un diseño estructural específicamente adaptado para sistemas modulares junto con procesos de fabricación cuidadosamente seleccionados demostró ser fundamental en la mejora general de los procedimientos de producción y montaje, en concordancia con nuestro objetivo y nuestra hipótesis específica número 03.

La implementación de los sistemas modulares nos llevó a una reducción significativa en el tiempo de construcción (fabricación y montaje) de la sala eléctrica en comparación con el plan estimado. En particular, se observó una disminución del 29.36% en el tiempo requerido para construir una sala eléctrica

de 22.5m en un solo cuerpo, lo que permitió completar el proyecto en 77 días en comparación con los 109 días estimados inicialmente. Además, al comparar con las dos salas de 18m, que se aproximaban más a la dimensión deseada, se logró una reducción del tiempo en un 19.79% y un 13.48%, respectivamente. Estos datos destacaron aún más la eficacia de la implementación de sistemas modulares en la optimización de los tiempos de construcción, respaldando así el objetivo e hipótesis general de que esta estrategia condujo a una disminución significativa en los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en nuestra empresa metalmecánica eléctrica de Lima.

VIII. RECOMENDACIONES

Considerar la continuación del enfoque hacia el diseño estructural funcional en futuros proyectos. La implementación exitosa de este diseño en el presente estudio respalda su eficacia en la optimización de los tiempos de fabricación y montaje, así como en la garantía de la calidad y seguridad de los productos.

Mantener la estrategia de selección de procesos de fabricación basada en sistemas modulares. Los resultados cuantitativos obtenidos demostraron la efectividad de esta estrategia en la reducción significativa de los tiempos de fabricación y montaje. Seguir explorando y mejorando enfoques innovadores en este sentido será fundamental para mantener la competitividad en el mercado.

Continuar con la optimización del proceso de montaje. La segmentación de la sala y la asignación precisa de recursos humanos demostraron ser aspectos clave para la reducción de los tiempos de unión de los módulos. La planificación detallada y la coordinación en este proceso son recomendaciones importantes para garantizar una ejecución eficiente en futuros proyectos.

Considerar la nivelación de la experiencia laboral dentro de los grupos de trabajo al implementar sistemas modulares y realizar trabajos de construcción en paralelo. Se recomienda tener grupos de trabajo con un nivel de experiencia similar para garantizar la culminación de los trabajos al mismo tiempo. La variación en la experiencia entre grupos puede causar discrepancias en los tiempos de ejecución, lo que podría impactar en los costos del proyecto.

Tener en cuenta el espacio en planta necesario para la fabricación. Es importante contar con un espacio adecuado para llevar a cabo los trabajos de fabricación de manera eficiente. Además, la disponibilidad de cabinas de granallado y pintura puede contribuir a agilizar el trabajo y mejorar la calidad del producto final. Esto debe considerarse al planificar y cotizar proyectos similares.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AISC 360. (2020). *Especificacion ANSI / AISC 360 para construccion de acero*. Peru: <https://www.aisc.org/publications/steel-standards/aisc-360/>.
- Alacero. (2016). *Especificacion para construcciones de acero*. United States of America: canacero.
- Alfaro. (2018). *Protocolo de investigacion de la facultad de centro de investigaciones de la ciencias empresariales*. Peru: Unac.
- Alvarez, P. (2021). *Diseño de un sistema estructural ligero prefabricable, modulable y desmontable para el soporte de una vivienda sustentable*. Mexico: universidad de las ciencias .
- Amchamnews. (2023). *Sector minero peruano: crecimiento sostenido en 2023*. Peru: <https://amcham.org.pe/news/sector-minero-peruano-crecimiento-sostenido-en-2023/#:~:text=El%20inicio%20del%20Proyecto%20Minero,al%20cierre%20de%20este%20a%C3%B1o.>
- Arias, F. (2020). *El proyecto de investigacion*. Venezuela: Episteme.
- Arias, J. (2021). *Metodologia de la investigacion* . Mexico: Colegio Mexicano.
- ARIAS, L. (2012). *ESTRUCTURAL PARA SER UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS DE UN PISO Y PROYECCION DE DOS*. Quito: Universidad central del ecuador.
- asión, I. (2022). *estudio de los metodos de diseño modular y sus aplicaciones*. España: unizar.
- Aspilcueta, C. (2021). *Plan de mejora en la optimizacion de recursos en el proceso de fabricacion de salas electricas para el proyecto ampliacion southern toqupala*. Arequipa: Universidad Catolica de Santa Maria.
- Avila, Q., & Kassandra, T. (2022). *Propuesta del uso de sistema modular para la construccion masiva de viviendas prefabricadas economicas en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima*. Lima: Universidad peruana de ciencias aplicadas.
- Baena, G. (2018). *Metolodologia de la investigación*. Mexico: Patria.

- Bendezú, D. (2022). *Propuesta de adaptacion de un proyecto de vivienda social hacia construccion modular y prefabricada*. Lima: Pontificia universidad catolica del peru.
- Berna, J. (2022). *Integracion de sala electrica 2830 er 002 anglo american quellaveco*. Quellaveco: Universidad Continental .
- Bernal, J. (2021). *Diseño de cargas* . Argentina: Libreria tecnica.
- BNEUM. (2013). *Balance Nacional de Energia Útil*. Peru: MINEM.
- Bowles, J. (2018). *Diseño De Acero Estructural* .
- Boxcontemar. (6 de mayo de 2016). *Construccion de estructura para un modulo sala electrica*. Obtenido de <https://www.contemar.cl/2016/05/06/construccion-de-estructura-para-sala-electrica/>
- Caba, N., & Chamorro, O. (2010). *Gestion de la produccion y operaciones*.
- Carrasco, B. (2012). *Las tecnologias de la informacion y de la comunicacion en los cambios laborales*. Lisboa: Universidad Lusofona de Humanidades y Tecnologías.
- Cervera, M. (2014). *Mecánica de Estructuras*. España: Centro internacional de metodos numericos de ingnieria.
- Cervera, M. (2015). *Resistencia de Materiales*. Barcelona: Centro interncional de metodos numericos de ingenieria.
- Comision chilena de cobre. (2023). *Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2022 -2033*. Chile: Gobierno de Chile.
- DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA MODULAR DE ACERO PARA UN ALBERGUE TEMPORAL EN LA CIUDAD DE TACNA - 2020*. (2021). Tacna: Universidad privada de tacna.
- Drucker, P. (2014). *El ejecutivo eficaz*. Argentina: Penguin Random House Grupo Editorial. Obtenido de https://books.google.com.ec/books/about/El_ejecutivo_eficaz.html?id=BqKaAgAAQBAJ&redir_esc=y
- Espinoza, M. (2020). *Metodologia de incestigacion tecnologica pensando en sistemas*. Peru: Uncp.

- G, F. (2012). *El proyecto de investigacion. Introduccion a la metodología científica*. España: Dykinson.
- Galarza, C. (2021). *Diseños de investigación experimental*. Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Gallardo, E. (2018). *Metodologia de investigacion*. Universidad Continental.
- Gálvez, E. P. (2014). *Salas eléctricas modulares para la industria minera*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Generalova, E., & Generalov, V. (2016). *Modular Buildings in modern construction*. Russia: Science Direct.
- Gomez. (2016). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: Red Tercer Mileño.
- Guillermo, J. (2023). *Resistencia de materiales*. España: RED Descartes.
- Hernández, R. (2019). *Metodologia de investifacion*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Herrera, L. (2022). *Generacion del plan y control de calidad en la fabricacion de salas electricas para proyecto quellaveco*. Arequipa: Universidad Continental.
- Hierro Asturias. (04 de 2017). *Memoria de calculo de uniones*. Recuperado el 15 de 09 de 2023, de http://hlasturias.com/wp-content/uploads/2017/04/dossier_ejemplo.pdf
- Lim, Y., & Ling, P. (2022). *Plannig and coordination of modular construction*. china: Univesiti teknologi malaysia.
- Maria, J. M. (2019). *Propuesta de distribucion de planta basado en el simulador FlexSim para reducir los tiempos de espera en la empresa eléctrica optimización*. Lima: Universidad César Vallejo.
- McFarlane, A. (2013). *Manual para el diseño de estructuras modulares*. Australia: Universidad de monash.
- Medina, M. (2016). *Diseño de la estructura de un habitaculo modular de un banco de pruebas para el estudio del comportamiento energetico de una edificacion reisdencial de ecuador*. Ecuador: Escuela politecnica nacional.
- Melgar, I. (2016). *Produccion, Transporte y montaje de edificaciones modulares para campamentos mineros*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético*. Perú: Dirección General de Eficiencia Energética.
- Ministerio de Transporte y comunicaciones. (10 de 2005). *Normas y procedimientos de autoridades especiales para vehículos que transportan mercancía especial*. Perú: MTC. Recuperado el 13 de 09 de 2023, de gerencia de estudios y normas: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1780996/Compendio%20Normativo%20de%20Pesos%20y%20Medidas.pdf.pdf>
- Montes, M. (2016). *Producción, transporte y montaje de edificaciones modulares para campamentos mineros*. Perú: IB.
- Morales, R. (2020). *Deformaciones de las estructuras*. Argentina: Universidad de Mendoza.
- Muñoz, A. (2020). *Diseño sísmoresistente*. Perú: Sencico.
- Nam, S. (2020). *Optimization of prefabricated components in housing modular construction*. Korea: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/24/10269>.
- Nam, S., & Yoon, J. (2020). *Optimization of prefabricated components in Housing Modular Construction*. Korea: Korea Land and Housing Institute.
- Norma E.0.30. (2020). *Relamento nacional de edificaciones*. Lima: Sencico.
- Norma E.020. (2020). *Norma*. Perú: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366640/50%20E.020%20CARGAS.pdf>. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366640/50%20E.020%20CARGAS.pdf>
- Norma E.030. (2020). *Norma E.030*. Perú: sencico.
- Panta, D. (2021). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE NAVE INDUSTRIAL DE CONCRETO*. Febrero: Universidad catolica del peru.
- Paredes, F. (2021). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA MODULAR DE ACERO PARA UN ALBERGUE TEMPORAL EN LA CIUDAD DE TACNA - 2020*. Tacna: Universidad privada de tacna.

- perez, c. (2021). *Evaluacion tecnica economica para construccion de sala electrica prefabricada en elementos de plástico reforzado con fibras*. Chile: Universidad de Chile.
- perez, c. (2021). *Evaluacion tecnico economica para construccion de sala electrica prefabricada en elementos de plastico reforzado con fibras* . Chile: Universidad de chile.
- Perez, I. (2019). *Modulos Adaptables para la industria y el trabajador minero*. Chile: Universidad Catolic de Chile.
- Proinsener energia. (2023). Obtenido de Sistemas modulares con envolvente prefabricada de hormigon: <https://proinsener.com/edificios-prefabricados-de-hormigon/>
- Reboredo, A. (2016). *Diseño Estructural*. Argentina: ISBN. Obtenido de https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781643601267_A42058532/preview-9781643601267_A42058532.pdf
- refrisander. (2023). *Modulos de acero*. bucaramanga: full house.
- Romero, J., & Rojas, R. (2018). *Diseño de un sistema de construccion modular en acero para vivienda social en altura*. Colombia: Informador Técnico.
- SAP 2000. (2023). *SAP 2000*. España. Obtenido de <https://www.software-shop.com/producto/sap2000>
- Structuralia. (31 de 03 de 2021). *Memoria de calculo estructural*. Recuperado el 15 de 09 de 2023, de Ingenieria civil y transporte: <https://blog.structuralia.com/memoria-calculo-estructural#:~:text=Una%20memoria%20de%20c%C3%A1lculo%20estructural,cada%20uno%20de%20sus%20elementos>.
- Sucuytana, J. (2016). *“MODELO DE GESTION DE OPERACIONES, PARA MEJORAR LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE FABRICACION DE SALAS ELECTRICAS*. Villa el salvador: universidad nacional tecnologica de lima sur.
- Sucuytana, J. (2016). *Modelo de gestion de operaciones, para mejorar los procesos productivos de fabricacion de salas eléctricas en la empresa Técnicas Metálicas Ingenieros SAC-2015*. Lima: Universidad Tecnologica de Lima - Sur .

- SUTRAN. (10 de 2021). *Compendio normativo pesos y medidas*. (Ministerio de transporte y comunicaciones) Recuperado el 13 de 09 de 2023, de gerencia de estudios y normas: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1780996/Compendio%20Normativo%20de%20Pesos%20y%20Medidas.pdf.pdf>
- Tamayo, M. (2022). *El proceso de la investigacion cientifica*. Mexico: Limusa.
- Tecno Fast. (2020). *Manual de uso y mantencion de unidades modulares*. Chile: tecnofast. Obtenido de <https://tecnofast.cl/wp-content/themes/tecnofast-shackletongroup/manuales/TECNOFAST-Manual-de-Uso-V4.pdf>
- Tejada, R. (2015). *Salas electricas prefabricadas*. ABB Group.
- Vera, O. (27 de 03 de 2023). *Los seis proyectos mineros por US\$ 6920 que iniciarán construcción entre 2023 y 2024*. (Gestion) Recuperado el 12 de 09 de 2023, de Economía: <https://gestion.pe/economia/mineria-en-peru-los-seis-proyectos-mineros-por-us-6920-que-iniciaran-construccion-entre-2023-y-2024-noticia/?ref=gesr>
- verty. (2022). *los diferentes enfoques sobre modularidad y sus beneficios*. Estados Unidos de América: Vertiv América Latina.
- Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. Mexico: McGraw Hill. Obtenido de [file:///C:/Users/Gabriela%20Moya/Downloads/Estructuras_de_Acero_Co mportamiento_y_LR.pdf](file:///C:/Users/Gabriela%20Moya/Downloads/Estructuras_de_Acero_Co_mportamiento_y_LR.pdf)
- Zamudio, L. (2013). *Manual de diseño para la construccion con acero*. Mexico: Altos hornos de Mexico.
- Zapata. (2012). *Diseño estructural en acero*. Peru: Universidad Nacional de Ingeniería Fondo Editorial.

X. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Tabla X-1 Matriz de consistencia

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS MODULARES PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SALAS ELÉCTRICAS EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA-ELÉCTRICA DE LIMA				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Metodología
¿Cómo implementar sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima?	Implementar sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.	La implementación de sistemas modulares disminuye los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.	Variable Independiente Sistemas modulares	Investigación aplicada Investigación cuantitativa Investigación experimental-nivel preexperimental
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis Especificas	Variable independiente Tiempo	
¿Cómo realizar un diseño estructural funcional que permita iniciar la implementación de sistemas modulares para la disminución de los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima?	Realizar un diseño estructural funcional que permita iniciar la implementación de sistemas modulares para la disminución de los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima	El diseño estructural funcional permite iniciar la implementación de sistemas modulares para la disminución de los tiempos de fabricación y montaje en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.		

<p>¿Cómo seleccionar los procesos de fabricación de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima?</p>	<p>Seleccionar los procesos de fabricación de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.</p>	<p>La selección de los procesos de fabricación para la implementación de sistemas modulares disminuye los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.</p>		
<p>¿Cómo establecer el montaje de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima?</p>	<p>Establecer el montaje de los sistemas modulares para disminuir los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.</p>	<p>El establecer los procesos de montaje de los sistemas modulares disminuye los tiempos de fabricación y montaje de salas eléctricas en una empresa metalmecánica eléctrica de Lima.</p>		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Instrumento

Tabla X-2 Ficha de registro de campo.

FICHA DE REGISTRO DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO: _____ FECHA: _____
 HR: _____
 ESTRUCTURA INSPECCIONADA: _____

	DESCRIPCIÓN	HORA DE INICIO	HORA DE FINALIZACIÓN	TRABAJADORES ASIGNADOS	OBSERVACIONES
TAREA N°1					
TAREA N°2					
TAREA N°3					
TAREA N°4					
TAREA N°5					
TAREA N°6					
TAREA N°7					
TAREA N°8					
TAREA N°9					
TAREA N°10					

 SUPERVISOR DE PLANTA

 JEFE DE PRODUCCIÓN

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Instrumentos validados

Figura X-1 Certificado de validez del instrumento

Certificado de validez del instrumento

Indicadores	Valores				
	5	4	3	2	1
1.- Las preguntas muestran el fin del objetivo general	X				
2.- El instrumento evidencia el problema a solucionar	X				
3.- El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación	X				
4.- El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación		X			
5.- Las preguntas son los correctos para cada dimensión		X			
6.- La redacción los ítems es clara y apropiada para cada dimensión	X				
7.- El instrumento permite un mapeo ágil de la información	X				
8.- La cantidad de preguntas son las adecuadas para cada dimensión	X				
9.- El diseño del instrumento es el adecuado con los tipos de preguntas	X				
10.- El instrumento esta acorde con el tipo de investigación a realizarse	X				

Observaciones (precisar si hay suficiencia):.....

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez evaluador: TELLO PEÑA JIMMY JACOB

DNI: 41345403.....

Especialidad del validador..... INGENIERO MECÁNICO.....

Firma del Jurado



Fuente: Elaboración propia.

Figura X-2 Certificado de validez del instrumento (continuación).

Certificado de validez del instrumento

Indicadores	Valores				
	5	4	3	2	1
1.- Las preguntas muestran el fin del objetivo general		X			
2.- El instrumento evidencia el problema a solucionar		X			
3.- El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación	X				
4.- El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación		X			
5.- Las preguntas son los correctos para cada dimensión		X			
6.- La redacción los ítems es clara y apropiada para cada dimensión		X			
7.- El instrumento permite un mapeo ágil de la información	X				
8.- La cantidad de preguntas son las adecuadas para cada dimensión	X				
9.- El diseño del instrumento es el adecuado con los tipos de preguntas		X			
10.- El instrumento esta acorde con el tipo de investigación a realizarse	X				

Observaciones (precisar si hay suficiencia):.....

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable [] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez evaluador: ...MAMANI CALLA PABLO

DNI: ...25813662

Especialidad del validador... ITC ING. METALURGISTA

Firma del Jurado

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-3 Certificado de validez del instrumento (continuación).

Certificado de validez del instrumento

Indicadores	Valores				
	5	4	3	2	1
1.- Las preguntas muestran el fin del objetivo general		✓			
2.- El instrumento evidencia el problema a solucionar		✓			
3.- El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación	✓				
4.- El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación		✓			
5.- Las preguntas son los correctos para cada dimensión		✓			
6.- La redacción los ítems es clara y apropiada para cada dimensión		✓			
7.- El instrumento permite un mapeo ágil de la información	✓				
8.- La cantidad de preguntas son las adecuadas para cada dimensión		✓			
9.- El diseño del instrumento es el adecuado con los tipos de preguntas		✓			
10.- El instrumento esta acorde con el tipo de investigación a realizarse	✓				

Observaciones (precisar si hay suficiencia):.....

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez evaluador: ORDÓÑEZ CÁRDENAS GUSTAVO

DNI: 08587025

Especialidad del validador: INGENIERO MECÁNICO


 Firma del Jurado

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Base de datos

- Detalles de diseño de perfiles más exigidos en izaje

Figura X-4 Detalle del diseño del perfil W10x26

SAP2000		Project	Job Number	Engineer		
AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : Kgf, m, C						
Frame : 183	X Mid: -5.594	Combo: SERVICIO (DEAD)	Design Type: Beam			
Length: 11.187	Y Mid: -1.837	Shape: W10X26	Frame Type: OMF			
Loc : 2.391	Z Mid: 0.	Class: Compact	Princpl Rot: 0. degrees			
Provision: LRFD	Analysis: Direct Analysis	Reduction: Tau-b Fixed				
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order	EA factor=0.8	EI factor=0.8			
AlphaPr/Py=0.004	AlphaPr/Pe=0.	Tau_b=1.				
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75			
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9				
A=0.005	I33=5.994E-05	r33=0.11	S33=4.582E-04	Av3=0.003		
J=1.673E-07	I22=5.869E-06	r22=0.035	S22=8.009E-05	Av2=0.002		
E=2.039E+10	Fy=25310506.54	Ry=1.5	z33=5.129E-04	Cw=9.203E-08		
RLLF=1.	Fu=40778038.3		z22=1.229E-04			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo SERVICIO (DEAD))						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.391	-528.282	-6244.32	9.291	-8791.422	54.302	35.656
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-lb)						
D/C Ratio:	0.54 = 0.002 + 0.534 + 0.003					
	= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)					
COMPACTNESS						
Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness	
Major/Flange	6.557	10.785	28.382		Compact	
/Web	33.923	106.717	161.779	260.	Compact	
Minor/Flange	6.557	10.785	28.382		Compact	
/Web	33.923	106.717	161.779	260.	Compact	
Axial/Flange	6.557		15.894		Compact	
/Web	33.923		42.29		Compact	
AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1-lb)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	0.256	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	0.091	1.	1.	1.	1.	1.
	Ltb	Kltb	Cb			
LTB	0.091	1.	1.014			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
Axial	Force	Capacity	Capacity			
	-528.282	106869.069	111839.558			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
Major Moment	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
	-6244.32	11683.927	11683.927	11683.927		
Minor Moment	9.291	2799.663				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
Major Shear	Force	Capacity	Ratio	Check		
	8791.422	26237.961	0.335	OK		
Minor Shear	54.302	44773.445	0.001	OK		
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS						
	VMajor	VMajor				
	Left	Right				
Major (V2)	1341.15	1137.605				

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-5 Detalle del diseño del perfil C10x20.

SAP2000		Project _____
		Job Number _____
		Engineer _____

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : Kgf, m, C						
Frame : 183	X Mid: -5.594	Combo: SERVICIO (DEAD)	Design Type: Beam			
Length: 11.187	Y Mid: -1.837	Shape: W10X26	Frame Type: OMF			
Loc : 2.391	Z Mid: 0.	Class: Compact	Princpl Rot: 0. degrees			
Provision: LRFD	Analysis: Direct Analysis					
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order	Reduction: Tau-b Fixed	EA factor=0.8 EI factor=0.8			
AlphaPr/Py=0.004	AlphaPr/Pe=0. Tau_b=1.					
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75			
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9				
A=0.005	I33=5.994E-05	r33=0.11	S33=4.582E-04	Av3=0.003		
J=1.673E-07	I22=5.869E-06	r22=0.035	S22=8.009E-05	Av2=0.002		
E=2.039E+10	Fy=25310506.54	Ry=1.5	z33=5.129E-04	Cw=9.203E-08		
RLLF=1.	Fu=40778038.3		z22=1.229E-04			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo SERVICIO (DEAD))						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.391	-528.282	-6244.32	9.291	-8791.422	54.302	35.656
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)						
D/C Ratio:	0.54 = 0.002 + 0.534 + 0.003					
	= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)					
COMPACTNESS						
Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness	
Major/Flange	6.557	10.785	28.382		Compact	
/Web	33.923	106.717	161.779	260.	Compact	
Minor/Flange	6.557	10.785	28.382		Compact	
/Web	33.923	106.717	161.779	260.	Compact	
Axial/Flange	6.557		15.894		Compact	
/Web	33.923		42.29		Compact	
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	0.256	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	0.091	1.	1.	1.	1.	1.
	Lltb	Kltb	Cb			
LTB	0.091	1.	1.014			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-528.282	106869.069	111839.558			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Major Moment	-6244.32	11683.927	11683.927	11683.927		
Minor Moment	9.291	2799.663				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
	Force	Capacity	Ratio	Check		
Major Shear	8791.422	26237.961	0.335	OK		
Minor Shear	54.302	44773.445	0.001	OK		
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS						
	VMajor	VMajor				
	Left	Right				
Major (V2)	1341.15	1137.605				

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-6 Detalle del diseño del perfil W10x15.

SAP2000		Project _____
		Job Number _____
		Engineer _____

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : Kgf, m, C						
Frame : 360	X Mid: -9.296	Combo: SERVICIO (DEAD)	Design Type: Beam			
Length: 0.92	Y Mid: -1.377	Shape: W10X15	Frame Type: OMF			
Loc : 0.	Z Mid: 0.	Class: Compact	Princl Rot: 0. degrees			
Provision: LRFD	Analysis: Direct Analysis					
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order	Reduction: Tau-b Fixed				
AlphaPr/Py=0.	AlphaPr/Pe=2E-05	Tau_b=1.	EA factor=0.8 EI factor=0.8			
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75			
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9				
A=0.003	I33=2.868E-05	r33=0.1	S33=2.258E-04	Av3=0.001		
J=4.329E-08	I22=1.203E-06	r22=0.021	S22=2.368E-05	Av2=0.001		
E=2.039E+10	Fy=25310506.54	Ry=1.5	z33=2.622E-04	Cw=1.837E-08		
RLLF=1.	Fu=40778038.3		z22=3.769E-05			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo SERVICIO (DEAD))						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.	16.347	1028.355	-0.881	952.838	-2.108	1.75
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)						
D/C Ratio:	0.173 = 0. + 0.172 + 0.001					
	= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)					
COMPACTNESS						
Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness	
Major/Flange	7.407	10.785	28.382		Compact	
/Web	38.522	106.717	161.779	260.	Compact	
Minor/Flange	7.407	10.785	28.382		Compact	
/Web	38.522	106.717	161.779	260.	Compact	
Axial/Flange	7.407		15.894		Compact	
/Web	38.522		42.29		Compact	
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	0.543	1.	1.	1.	1.	1.
LTB	Lltb	Kltb	Cb			
	0.543	1.	1.372			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	16.347	62824.665	64811.094			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Major Moment	1028.355	5972.614	5972.614	5972.614		
Minor Moment	-0.881	858.563				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
	Force	Capacity	Ratio	Check		
Major Shear	952.838	22534.471	0.042	OK		
Minor Shear	2.108	19046.527	0.	OK		
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS						
	VMajor	VMajor				
	Left	Right				
Major (V2)	952.838	1292.083				

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-7 Detalle del diseño del perfil tubo HSS 4"X4"X3/16"

SAP2000		Project _____	
		Job Number _____	
		Engineer _____	

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : Kgf, m, C						
Frame : 303	X Mid: -5.594	Combo: SERVICIO (DEAD)	Design Type: Beam			
Length: 11.187	Y Mid: 1.837	Shape: HSS4X4X3/16	Frame Type: OMF			
Loc : 2.623	Z Mid: 3.5	Class: Compact	Princpl Rot: 0. degrees			
Provision: LRFD	Analysis: Direct Analysis	Reduction: Tau-b Fixed				
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order	EA factor=0.8	EI factor=0.8			
AlphaPr/Py=0.002	AlphaPr/Pe=0.002	Tau_b=1.				
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75			
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9				
A=0.002	I33=2.585E-06	r33=0.039	S33=5.088E-05	Av3=8.981E-04		
J=4.162E-06	I22=2.585E-06	r22=0.039	S22=5.088E-05	Av2=8.981E-04		
E=2.039E+10	Fy=25310506.54	Ry=1.5	z33=6.014E-05	Cw = Not Required		
RLLF=1.	Fu=40778038.3		z22=6.014E-05			
HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo SERVICIO (DEAD))						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.623	102.297	-396.048	-13.767	-398.545	-10.063	-15.082
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)						
D/C Ratio:	0.3 = 0.001 + 0.289 + 0.01					
	= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)					
COMPACTNESS						
Slenderness	Lambda	Lambda p	Lambda r	Lambda s	Compactness	
Major/Flange	19.989	31.788	39.735		Compact	
/Web	19.989	68.685	161.779		Compact	
Minor/Flange	19.989	68.685	161.779		Compact	
/Web	19.989	31.788	39.735		Compact	
Axial/Flange	19.989		39.735		Compact	
/Web	19.989		39.735		Compact	
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	0.256	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	0.256	1.	1.	1.	1.	1.
	LtB	KtB	Cb			
LTB	0.256	1.	1.169			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
Axial	Force	Capacity	Capacity			
	102.297	28706.514	37916.695			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
Major Moment	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Minor Moment	-396.048	1369.968	1369.968	1369.968		
	-13.767	1369.968				
	Tu	Tn	phi*Tn			
Torsion	Moment	Capacity	Capacity			
	-15.082	1262.653	1136.388			
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
Major Shear	Force	Capacity	Ratio	Check		
Minor Shear	398.545	10672.615	0.037	OK		
	10.063	10672.615	0.001	OK		
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS						
	VMajor	VMajor				
Major (V2)	Left	Right				
	21.036	31.392				

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-8 Detalle de diseño del perfil tubo HSS 6"x4"x3/16"

Project _____
 Job Number _____
 Engineer _____

SAP2000

```

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK      (Summary for Combo and Station)
Units : KgF, m, C

Frame : 14      X Mid: 0.      Combo: SERVICIO (DEAD) Design Type: Column
Length: 3.5     Y Mid: -1.837   Shape: HSS6X4X3/16   Frame Type: OMF
Loc : 0.        Z Mid: 1.75      Class: Compact      Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95      2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.02     AlphaPr/Pe=0.018   Tau_b=1.            EA factor=0.8      EI factor=0.8

PhiB=0.9           PhiC=0.9           PhiTY=0.9           PhiTF=0.75
PhiS=0.9           PhiS-RI=1.         PhiST=0.9

A=0.002            I33=6.826E-06      r33=0.057           S33=8.958E-05      Av3=8.981E-04
J=7.575E-06        I22=3.646E-06      r22=0.042           S22=7.178E-05      Av2=0.001
E=2.039E+10        Fy=25310506.54     Ry=1.5              z33=1.082E-04      Cw = Not Required
RLLF=1.            Fu=40778038.3      z22=8.194E-05

HSS Welding: ERW   Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo SERVICIO (DEAD))
Location          Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
0.                -1089.769  -545.742  -56.046  -210.187  -45.671  -9.051

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-lb)
D/C Ratio: 0.268 = 0.016 + 0.222 + 0.03
              = (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS
Slenderness      Lambda      Lambda_p      Lambda_r      Lambda_s      Compactness
Major/Flange     19.989      31.788        39.735
/Web             31.483      68.685        161.779      Compact
Minor/Flange     19.989      68.685        161.779      Compact
/Web             31.483      31.788        39.735      Compact
Axial/Flange     19.989      39.735
/Web             31.483      39.735      Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-lb)
Factor           L      K1      K2      B1      B2      Cm
Major Bending    1.     1.     1.     1.     1.     0.461
Minor Bending    1.     1.     1.     1.     1.     0.384

L1tb            L1tb      K1tb      Cb
LTB             1.        1.        2.146

Pu              phi*Pnc      phi*Pnt
Force           Capacity     Capacity
Axial          -1089.769    33154.237   48204.171

Mu              phi*Mn      phi*Mn      phi*Mn
Moment         Capacity     No LTB      Cb=1
Major Moment   -545.742    2463.703    2463.703
Minor Moment   -56.046     1866.442

Tu              Tn          phi*Tn
Moment         Capacity     Capacity
Torsion        -9.051      1925.339    1732.805

SHEAR CHECK
Vu              phi*Vn      Stress      Status
Force          Capacity     Ratio       Check
Major Shear    210.187     16809.829   0.013      OK
Minor Shear    45.671      10672.615   0.004      OK
    
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-9 Detalle del diseño del perfil ángulo 3"x3"x1/4"

Project _____
 Job Number _____
 Engineer _____

SAP2000

```

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, m, C

Frame : 327      X Mid: -10.574  Combo: SERVICIO (DEAD) Design Type: Beam
Length: 0.508   Y Mid: 0.896    Shape: L3X3X1/4   Frame Type: CMF
Loc : 0.        Z Mid: 0.        Class: Compact    Princpl Rot: 45. degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95      2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=6E-05    AlphaPr/Pe=9E-06  Tau_b=1.          EA factor=0.8      EI factor=0.8

PhiB=0.9            PhiC=0.9            PhiTY=0.9          PhiTF=0.75
PhiS=0.9            PhiS-RI=1.          PhiST=0.9

A=9.290E-04         I33=5.120E-07        r33=0.023          S33=9.314E-06      Av3=4.839E-04
J=1.303E-08         I22=5.120E-07        r22=0.023          S22=9.314E-06      Av2=4.839E-04
Ixy=-3.079E-07      Imax=8.199E-07      rmax=0.03          Smax=1.588E-05
Rot= 45. deg        Imin=2.040E-07      rmin=0.015         Smin=6.755E-06     BetaW=0.
E=2.039E+10         Fy=25310506.54      Ry=1.5             z33=1.671E-05      Cw=5.539E-12
RLLF=1.             Fu=40778038.3       z22=1.671E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo SERVICIO (DEAD))
Location      Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
0.            -1.39   -102.723  -59.606   -197.19  -107.014  -0.032

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H2-1)
D/C Ratio:    0.344 = 0. + 0.212 + 0.132
              = fa/Fa + fbw/Fbw + fbz/Fbz

COMPACTNESS
Slenderness   Lambda   Lambda_p   Lambda_r   Lambda_s   Compactness
Major/Flange  12.     15.326    25.828     25.828     Compact
/Web          12.     15.326    25.828     25.828     Compact
Minor/Flange  12.     15.326    25.828     25.828     Compact
/Web          12.     15.326    25.828     25.828     Compact
Axial/Flange  12.     12.772    12.772     12.772     Compact
/Web          12.     12.772    12.772     12.772     Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H2-1)
Factor        L        K1        K2        B1        B2        Cm
Major Bending 1.       1.       1.       1.       1.       0.628
Minor Bending 1.       1.       1.       1.       1.       1.

LTB          Lltb    Kltb     Cb
1.           1.      1.       1.

Axial        Pu      phi*Pnc   phi*Pnt
Force        -1.39  17881.63  21162.808

Major Moment Mu      phi*Mn    phi*Mn    phi*Mn
              -114.784  542.546   542.546   542.546
Minor Moment 30.488   230.796

SHEAR CHECK
Vu      phi*Vn    Stress    Status
Force   Capacity Ratio   Check
Major Shear 197.19  6613.377  0.03   OK
Minor Shear 107.014 6613.377  0.016  OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS
VMajor   VMajor
Left     Right
Major (V2) 197.19  182.372
    
```

Fuente: Elaboración propia.

- Desplazamientos de nodos en condición de izaje

Figura X-10 Desplazamiento en los nodos.

TABLE: Joint Displacements						TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm	Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.006188	-0.001639	-9.747994	352	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000242	0.000448	-4.078994
2	SERVICIO (DEAD)	Combination	0	0	0	372	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000215	-0.00008	-4.24449
3	SERVICIO (DEAD)	Combination	0	0	0	381	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001593	-0.000838	-5.048779
4	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.002012	0.000928	-9.718211	398	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.0001	8.547E-06	-4.928091
10	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001919	-0.00018	-4.64558	399	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001263	-0.000437	-4.697674
12	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.003485	-0.0023	-5.182952	400	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001022	0.000213	-2.971475
18	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000182	0.001014	-0.399311	401	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001154	0.000188	-2.434267
20	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000909	-0.002482	-0.308452	404	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001223	0.000213	-3.860581
22	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000099	0.000978	-9.434023	405	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001162	0.000261	-3.153555
24	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000113	-0.000638	-9.449704	406	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001202	-0.00007	-3.641843
26	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000209	0.001459	-1.323051	407	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001306	-0.001201	-2.820384
28	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000818	-0.001074	-1.406225	408	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000675	0.000954	-4.285432
114	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.004073	-0.001067	-10.445348	409	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000671	-0.000567	-6.946994
115	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001375	0.000345	-10.426105	410	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000492	-0.000061	-10.333994
134	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001755	0.000246	-7.601807	411	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000655	0.000946	-3.891037
138	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00129	-0.000254	-4.721739	412	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000357	-0.000559	-6.911645
144	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.006188	-0.000817	-3.503617	413	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000813	-0.001399	-3.416435
146	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000851	-0.001287	-0.145129	414	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001066	-0.000717	-2.893265
174	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000257	-0.000478	-8.73797	415	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000718	-0.000865	-5.549586
176	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.002168	-0.001127	-4.104126	416	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000468	-0.000794	-5.324905
234	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000767	-0.002989	-0.67547	417	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000561	-0.001746	-8.701525
235	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000047	-0.000563	-9.503777	418	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000018	-0.000498	-8.877306
236	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000729	-0.000931	-1.258531	419	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000068	0.000362	-10.096103
240	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000167	0.000474	-0.813706	420	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000189	0.000131	-5.690373
241	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000046	0.000598	-9.477025	421	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000066	-0.000095	-2.218489
242	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000221	0.001068	-1.181206	422	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000063	-0.0008	-2.296647
243	SERVICIO (DEAD)	Combination	0	0	0	423	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00002	-0.000528	-8.732235
260	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.005959	0.000813	-7.785948	424	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000035	-0.000237	-7.237353
297	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.005649	-0.001209	-5.086342	425	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000324	0.000102	-4.273964
308	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.005662	-0.00122	-5.045718	426	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00029	-0.000275	-3.065462
309	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.003083	-0.000435	-1.249122	427	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000237	-0.000553	-8.890259
311	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000255	0.000553	-3.452387	428	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000714	-0.000604	-7.431548
312	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00017	-0.000458	-7.275886	429	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000021	-0.000697	-5.61962
314	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000339	-0.000417	-8.54352	430	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000413	0.000012	-2.690345
315	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001438	-0.000775	-5.298646	431	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000186	-0.000574	-4.355998
320	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000634	-0.000166	-0.04136	432	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000314	-0.000286	-3.282188
321	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001871	-0.000489	-2.244204	433	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000611	-0.000577	-3.2159
338	SERVICIO (DEAD)	Combination	0	0	0	434	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00004	-0.000988	-2.094131
339	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000132	0.000442	-2.944415	435	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000516	-0.000712	-2.704442
340	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000177	-0.000629	-6.965877	436	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000453	-0.001502	-4.825895
341	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00027	0.000556	-2.762022	437	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000553	-0.001259	-3.964871
342	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000182	-0.000388	-6.884258	438	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001478	-0.000257	-3.1855
343	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000028	0.000194	-9.470377	458	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00023	-0.000986	-4.754599
344	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000071	0.000018	-5.293113	459	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000273	-0.00107	-3.877395
345	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000045	-0.000512	-9.512813	460	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000326	-0.000047	-3.222347
346	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00137	-0.000756	-5.40842	461	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000383	-0.002953	-2.697642
347	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000118	-0.000223	0.101917	462	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000438	0.001481	-3.80096
348	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000248	-0.000099	0.106256	463	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000506	-0.000974	-4.002145
349	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001135	-0.000852	-1.771941	464	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000581	-0.000782	-4.477392
350	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001846	-0.000497	-2.199319	465	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000659	-0.000165	-5.840399

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-11 Desplazamiento en los nodos (continuación)

Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
466	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000689	-0.000715	-7.620072
467	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00073	-0.001232	-9.493235
468	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.0008	0.001459	-10.589627
469	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000659	-0.002069	-9.137381
470	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000542	-0.000577	-6.956648
471	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000543	-0.00186	-5.611279
472	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000558	0.002733	-4.712198
473	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000665	-0.005044	-3.631836
474	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000797	0.002388	-4.102745
475	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001028	-0.001371	-3.866016
476	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001324	0.001211	-3.789733
477	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001684	-0.002587	-4.79367
478	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001723	0.001809	-8.041659
479	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001815	-0.000178	-10.82898
499	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000276	-0.000635	-4.729991
500	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000191	-0.000227	-3.609463
501	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000117	-0.000735	-2.591063
502	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000096	-0.001738	-2.302619
503	SERVICIO (DEAD)	Combination	9.433E-07	0.000618	-3.000454
504	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000138	-0.00069	-3.439899
505	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000134	-0.000191	-4.367174
506	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00009	0.000109	-5.803126
507	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000048	-0.000349	-7.359638
508	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000138	-0.001175	-8.984934
509	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000286	0.001151	-10.31453
510	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000013	-0.001297	-9.209832
511	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000239	-0.00066	-6.918873
512	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000396	-0.001198	-5.431553
513	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000537	0.001765	-4.244037
514	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000627	-0.002708	-3.188337
515	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000838	0.001279	-3.24996
516	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000668	-0.001684	-3.231174
517	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00093	0.000964	-3.686425
518	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001325	-0.001171	-4.73543
519	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001372	0.000805	-7.928802
520	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001514	0.000146	-10.532364
544	SERVICIO (DEAD)	Combination	-7.156E-06	-0.000687	-5.625944
545	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000289	-0.000744	-7.63882
546	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000327	-0.000367	-9.47671
547	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000327	-0.000044	-10.346664
548	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000795	-0.001781	-4.817244
549	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001115	0.001616	-7.984765
550	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001358	-0.000837	-10.548604
551	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001191	-0.001735	-4.819433
552	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.002298	-0.000074	-0.826098
553	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000746	-0.000623	-2.243715
554	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000293	-0.000545	-0.559148
555	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000159	0.000154	-1.107623
556	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000262	-0.00023	-5.00515
557	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000173	-0.000269	-8.790781
558	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000071	-0.000241	-7.313416
559	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000247	0.000285	-3.019506
560	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00024	0.000403	-0.960331
561	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00005	-0.000461	-2.074746
562	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000106	-0.001002	-2.174331
563	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.00034	-0.000498	-0.071479
564	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000775	-0.000758	-0.964268
567	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000076	-0.000543	-9.370434
568	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000506	-0.000655	-9.506467
569	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000584	-0.000649	-1.028053
570	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.0005	-0.000266	-2.650389
571	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000851	-0.000274	-0.277116
575	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000509	-0.001578	-10.1572
576	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000501	-0.001046	-4.949404
594	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001753	0.000275	-6.951823
595	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001134	-0.000288	-4.715908
596	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.003763	-0.000518	-2.639997
597	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.003799	-0.00067	-1.133365
598	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000052	-0.000036	-0.498014
599	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.002345	-0.000012	-1.536667
600	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000152	0.000538	-3.13681
601	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.004261	-0.000337	-5.09867
602	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00005	-0.000615	-6.954865
603	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00021	-0.000555	-8.932666
604	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000059	0.000223	-9.598699
605	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.004758	-0.000318	-8.760497
606	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00446	-0.00024	-7.291716
607	SERVICIO (DEAD)	Combination	1.393E-06	0.00004	-5.377282
608	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.002891	0.00025	-3.353423
609	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001018	0.000274	-1.426996
610	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000216	-0.000199	-0.373231
611	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.003635	-0.000491	-0.493241
612	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.003162	-0.000805	-1.230708
613	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.001102	-0.000842	-1.872572
615	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001462	0.000393	-7.833122
616	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001279	-0.000429	-4.697844
617	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001832	-0.000091	-3.635469
618	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.002278	-0.001176	-2.788188
619	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001048	0.000181	-2.357157
620	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00185	-0.000685	-2.869257
621	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000625	0.000928	-3.86035
622	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000544	-0.000773	-5.318357
623	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000283	-0.000557	-6.913396
624	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000363	-0.000784	-9.127044
625	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000147	0.000339	-10.076518
626	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000225	-0.000519	-8.717659
627	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000097	-0.000237	-7.23105
628	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000211	0.000126	-5.678662
629	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.0009	0.000109	-4.264847
630	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.001321	-0.00025	-3.034526

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-12 Desplazamiento en los nodos. (continuación)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
631	SERVICIO (DEAD)	Combination	9.536E-06	-0.000099	-2.145002
632	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000209	-0.000462	-2.010232
633	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000059	-0.000993	-2.137367
634	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000114	-0.000802	-2.277223
636	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00121	-0.000257	-4.24647
637	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00614	-0.000827	-3.623967
638	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.003989	-0.000702	-3.770244
639	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.003224	5.489E-06	-1.423555
640	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00154	-0.000392	-4.109381
641	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00157	0.000186	-2.72004
650	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000794	-0.001846	-4.994059
655	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000482	-0.001296	-4.806407
664	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000273	0.000607	-2.986221
665	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000102	-0.000411	-6.898338
666	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000674	0.000953	-4.283063
667	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000667	-0.000567	-6.94698
670	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000328	-0.000455	-9.633878
671	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000501	-0.000062	-10.332708
672	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000092	-0.00078	-4.909286
673	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.00213	-0.001104	-4.167103
674	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.002075	-0.001062	-4.263252
675	SERVICIO (DEAD)	Combination	0.000429	-0.000602	-1.354992
676	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000287	-0.000085	-0.293267
677	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000091	-0.000781	-4.907707
678	SERVICIO (DEAD)	Combination	-0.000311	-0.000287	-3.278607

Fuente: Elaboración propia.

- Detalles de diseño de perfiles más exigidos en operación

Figura X-13 Detalle del diseño del perfil W12x26.

SAP2000 Engineer _____

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, mm, C

Frame : 183 X Mid: -5593.5 Combo: COMB 2 Design Type: Beam
Length: 11187. Y Mid: -1837. Shape: W10X26 Frame Type: OMF
Loc : 3729. Z Mid: 0. Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.002 AlphaPr/Pe=0. Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: C I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=4. Omega0=3. Cd=5.5
PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=4909.668 I33=59937325.3 r33=110.49 S33=458201.393 Av3=2729.887
J=167325.037 I22=5868863.26 r22=34.574 S22=80089.293 Av2=1727.738
E=20389.019 Fy=25.311 Ry=1.5 z33=512915.091 Cw=92027003190.
RLLF=1. Fu=40.778 z22=122902.98

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB 2)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
3729.	-238.822	-7618798.2	-4340.926	13182.073	37.242	476.181

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)
D/C Ratio: 0.655 = 0.001 + 0.652 + 0.002
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda p	Lambda r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	6.557	10.785	28.382		Compact
/Web	33.923	106.717	161.779	260.	Compact
Minor/Flange	6.557	10.785	28.382		Compact
/Web	33.923	106.717	161.779	260.	Compact
Axial/Flange	6.557		15.894		Compact
/Web	33.923		42.29		Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	0.256	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	0.091	1.	1.	1.	1.	1.

LTB

	Lltb	Kltb	Cb
	0.091	1.	1.072

Axial

	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-238.822	106869.069	111839.558

Major Moment

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	phi*Mn No LTB	phi*Mn Cb=1
Major Moment	-7618798.2	11683926.68	11683926.68	11683926.68
Minor Moment	-4340.926	2799663.011		

MINOR MOMENT

SHEAR CHECK

	Vu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major Shear	13182.073	26237.961	0.502	OK
Minor Shear	37.242	44773.445	0.001	OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor Left	VMajor Right
Major (V2)	6054.921	5024.303

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-14 Detalle del diseño del perfil W10x22

Project _____
 Job Number _____
 Engineer _____

SAP2000

```

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, mm, C

Frame : 180 X Mid: -3817. Combo: COMB 2 Design Type: Beam
Length: 3674. Y Mid: -4.775E-12 Shape: W10X22 Frame Type: OMF
Loc : 620. Z Mid: 0. Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.003 AlphaPr/Pe=0.001 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: C I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=4. Omega0=3. Cd=5.5
PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=4187.088 I33=49115308.2 r33=108.306 S33=379151.684 Av3=2225.802
J=99479.308 I22=4745038.093 r22=33.664 S22=64978.269 Av2=1579.352
E=20389.019 Fy=25.311 Ry=1.5 z33=426063.664 Cw=74103261670.
RLLF=1. Fu=40.778 z22=99961.089

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB 2)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
620. -369.565 4390474.925 8648.764 -58.573 29.52 348.597

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)
D/C Ratio: 0.458 = 0.002 + 0.452 + 0.004
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS
Slenderness Lambda Lambda p Lambda r Lambda s Compactness
Major/Flange 7.986 10.785 28.382 Compact
/Web 37. 106.717 161.779 260. Compact
Minor/Flange 7.986 10.785 28.382 Compact
/Web 37. 106.717 161.779 260. Compact
Axial/Flange 7.986 15.894 Compact
/Web 37. 42.29 Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)
Factor L K1 K2 B1 B2 Cm
Major Bending 1. 1. 1. 1. 1. 1.
Minor Bending 0.25 1. 1. 1. 1. 1.

LTB Lt看 Kltb Cb
0.25 1. 1.072

Axial Pu phi*Pnc phi*Pnt
Force Capacity Capacity
-369.565 89773.074 95379.592

Major Moment Mu phi*Mn phi*Mn phi*Mn
Moment Capacity No LTB Cb=1
4390474.925 9705498.439 9705498.439 9705498.439
Minor Moment 8648.764 2277059.214

SHEAR CHECK Vu phi*Vn Stress Status
Force Capacity Ratio Check
Major Shear 58.573 23984.514 0.002 OK
Minor Shear 29.52 36505.844 0.001 OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS
VMajor VMajor
Left Right
Major (V2) 7237.336 3377.368
    
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-15 Detalle del diseño del perfil HSS 4"X4"X3/16

Project _____
 Job Number _____
 Engineer _____

SAP2000

```

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, mm, C

Frame : 9          X Mid: -11187.   Combo: COMB 7          Design Type: Column
Length: 3500.     Y Mid: 1837.    Shape: HSS4X4X3/16    Frame Type: OMF
Loc : 0.         Z Mid: 1750.   Class: Compact        Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD   Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95   2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.048 AlphaPr/Pe=0.048 Tau_b=1.      EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: C           I=1.           Rho=1.           Sds=0.5
R=4.             Omega0=3.      Cd=5.5
PhiB=0.9        PhiC=0.9      PhiTY=0.9       PhiTF=0.75
PhiS=0.9        PhiS-RI=1.    PhiST=0.9

A=1664.513      I33=2584797.169 r33=39.407      S33=50881.834   Av3=898.063
J=4162314.256  I22=2584797.169 r22=39.407      S22=50881.834   Av2=898.063
E=20389.019    Fy=25.311     Ry=1.5          z33=60140.526   Cw = Not Required
RLLF=1.        Fu=40.778     z22=60140.526

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB 7)
Location      Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
0.            -2031.385 -250980.042 463649.145 -150.922 330.36 13786.53

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)
D/C Ratio: 0.562 = 0.041 + 0.183 + 0.338
            = (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS
Slenderness   Lambda   Lambda_p   Lambda_r   Lambda_s   Compactness
Major/Flange  19.989   31.788    39.735     Compact
/Web          19.989   68.685    161.779    Compact
Minor/Flange  19.989   68.685    161.779    Compact
/Web          19.989   31.788    39.735     Compact
Axial/Flange  19.989   39.735    39.735     Compact
/Web          19.989   39.735    39.735     Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)
Factor        L        K1        K2        B1        B2        Cm
Major Bending 1.       1.       1.       1.       1.       1.
Minor Bending 1.       1.       1.       1.       1.       1.

LTB          Lltb    Kltb     Cb
1.          1.      1.       2.376

Pu          phi*Pnc   phi*Pnt
Force       Capacity  Capacity
Axial      -2031.385 25030.715 37916.695

Mu          phi*Mn    phi*Mn    phi*Mn
Moment     Capacity  No LTB    Cb=1
Major Moment -250980.042 1369968.462 1369968.462 1369968.462
Minor Moment 463649.145 1369968.462

Tu          Tn        phi*Tn
Moment     Capacity  Capacity
Torsion    13786.53 1262653.1 1136387.79

SHEAR CHECK
Vu          phi*Vn    Stress    Status
Force       Capacity  Ratio     Check
Major Shear 150.922 10672.615 0.014     OK
Minor Shear 330.36 10672.615 0.031     OK
    
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-16 Detalle del diseño del perfil HSS doble 6" 4" x 3/16"

SAP2000		Project _____
		Job Number _____
		Engineer _____

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)				
Units : Kgf, mm, C				
Frame : 13	X Mid: 0.	Combo: COMB 7	Design Type: Column	
Length: 3500.	Y Mid: 1837.	Shape: Tubo.6x4x3/16	doFrame Type: OMF	
Loc : 0.	Z Mid: 1750.	Class: Non-Compact	Princpl Rot: 0. degrees	
Provision: LRFD	Analysis: Direct Analysis			
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order	Reduction: Tau-b Fixed		
AlphaPr/Py=0.045	AlphaPr/Pe=0.039	Tau_b=1.	EA factor=0.8	
Ignore Seismic Code? No	Ignore Special EQ Load? No		EI factor=0.8	
			D/P Plug Welded? Yes	
SDC: C	I=1.	Rho=1.	Sds=0.5	
R=4.	Omega0=3.	Cd=5.5		
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75	
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9		
A=4293.411	I33=39228201.7	r33=95.587	S33=257741.141	Av3=1733.385
J=19267067.92	I22=7506283.694	r22=41.813	S22=147761.49	Av2=2646.489
E=20389.019	Fy=25.311	Ry=1.5	z33=329391.916	Cw = Not Required
RLLF=1.	Fu=40.778		z22=167907.625	

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB 7)							
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu	
0.	-4855.184	-201350.111	1600232.666	-90.841	962.543	6090.906	

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-lb)	
D/C Ratio:	0.546 = 0.036 + 0.034 + 0.475
	= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS			
	Flange	Web	Section
Major	Non-Compact	Non-Compact	Non-Compact
Minor	Non-Compact	Non-Compact	Non-Compact
Axial	Compact	Compact	Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-lb)							
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm	
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.368	
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.	
	Lltb	Kltb	Cb				
LTB	1.	1.	2.189				
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	-4855.184	67631.696	97801.559				
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn			
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1			
Major Moment	-201350.111	5871202.956	5871202.956	5871202.956			
Minor Moment	1600232.666	3365926.344					

SHEAR CHECK				
	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	90.841	36171.347	0.003	OK
Minor Shear	962.543	23691.334	0.041	OK

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-17 Detalle del diseño del perfil HSS doble 4"x4"x3/16"

SAP2000		Project _____
		Job Number _____
		Engineer _____

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : Kgf, mm, C						
Frame : 18	X Mid: 0.	Combo: COMB 7	Design Type: Brace			
Length: 1880.045	Y Mid: 918.5	Shape: Tubo 4x4x3/16	doFrame Type: OMF			
Loc : 0.	Z Mid: 3700.	Class: Non-Compact	Princl Rot: 0. degrees			
Provision: LFRD	Analysis: Direct Analysis		Reduction: Tau-b Fixed			
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order		EA factor=0.8			
AlphaPr/Py=0.081	AlphaPr/Pe=0.023	Tau_b=1.	EI factor=0.8			
Ignore Seismic Code? No	Ignore Special EQ	Load? No	D/P Plug Welded? Yes			
SDC: C	I=1.	Rho=1.	Sds=0.5			
R=4.	Omega0=3.	Cd=5.5				
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75			
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9				
A=3435.988	I33=14321440.09	r33=64.561	S33=140820.453	Av3=1753.183		
J=8316310.19	I22=5419448.103	r22=39.715	S22=106682.049	Av2=1834.321		
E=20389.019	Fy=25.311	Ry=1.5	z33=174891.788	Cw = Not Required		
RLLF=1.	Fu=40.778		z22=125302.834			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB 7)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.	-7073.925	-29570.148	451449.076	-17.209	500.754	-5369.699
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)						
D/C Ratio:	0.246 = 0.051 + 0.009 + 0.186					
	= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)					
COMPACTNESS						
	Flange	Web	Section			
Major	Non-Compact	Non-Compact	Non-Compact			
Minor	Non-Compact	Non-Compact	Non-Compact			
Axial	Compact	Compact	Compact			
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.562
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
	Lltb	Kltb	Cb			
LTB	1.	1.	1.778			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-7073.925	69560.007	78269.936			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Major Moment	-29570.148	3207813.301	3207813.301	3207813.301		
Minor Moment	451449.076	2430159.035				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
	Force	Capacity	Ratio	Check		
Major Shear	17.209	25070.897	0.001	OK		
Minor Shear	500.754	23961.939	0.021	OK		
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS						
	P	P				
	Comp	Tens				
Axial	-7073.925	0.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-18 Detalle del diseño del perfil HSS 3"x2"x3/16"

Project _____
 Job Number _____
 Engineer _____

SAP2000

```

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, mm, C

Frame : 69      X Mid: 1579.      Combo: COMB 3      Design Type: Beam
Length: 3158.   Y Mid: 0.      Shape: HSS3X2X3/16  Frame Type: OMF
Loc : 0.      Z Mid: 3500.   Class: Compact     Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD  Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95  2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.069 AlphaPr/Pe=0.221 Tau_b=1.      EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: C      I=1.      Rho=1.      Sds=0.5
R=4.      Omega0=3.      Cd=5.5
PhiB=0.9      PhiC=0.9      PhiTY=0.9      PhiTF=0.75
PhiS=0.9      PhiS-RI=1.      PhiST=0.9

A=993.546      I33=736729.615      r33=27.231      S33=19336.735      Av3=449.031
J=853274.403      I22=387927.681      r22=19.76      S22=15272.743      Av2=673.547
E=20389.019      Fy=25.311      Ry=1.5      z33=24252.855      Cw = Not Required
RLLF=1.      Fu=40.778      z22=18353.512

HSS Welding: ERW  Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB 3)
Location      Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
0.      -1732.632  -321846.923  3258.704  -870.227  2.516  -315.51

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: 0.805 = 0.28 + 0.518 + 0.007
            = (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS
Slenderness      Lambda      Lambda_p      Lambda_r      Lambda_s      Compactness
Major/Flange      8.494      31.788      39.735
/Web      14.241      68.685      161.779
Minor/Flange      8.494      68.685      161.779
/Web      14.241      31.788      39.735
Axial/Flange      8.494      39.735
/Web      14.241      39.735

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)
Factor      L      K1      K2      B1      B2      Cm
Major Bending      0.25      1.      1.      1.      1.      1.
Minor Bending      1.      1.      1.      1.      1.      1.

LTB      Lltb      Kltb      Cb
1.      1.      2.46

Pu      phi*Pnc      phi*Pnt
Force      Capacity      Capacity
Axial      -1732.632      6178.239      22632.446

Mu      phi*Mn      phi*Mn      phi*Mn
Moment      Capacity      No LTB      Cb=1
Major Moment      -321846.923      552466.841      552466.841      549974.525
Minor Moment      3258.704      418083.011

Tu      Tn      phi*Tn
Moment      Capacity      Capacity
Torsion      -315.51      441830.749      397647.674

SHEAR CHECK
Vu      phi*Vn      Stress      Status
Force      Capacity      Ratio      Check
Major Shear      870.227      7604.008      0.114      OK
Minor Shear      2.516      4535.401      0.001      OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS
VMajor      VMajor
Left      Right
Major (V2)      870.227      616.015
    
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura X-19 Detalle del diseño del perfil HSS 3"x2"x3/16"

Project _____
 Job Number _____
 Engineer _____

SAP2000

```

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, mm, C

Frame : 63 X Mid: 1579. Combo: COMB 5 Design Type: Beam
Length: 3158. Y Mid: 0. Shape: HSS3X3X3/16 Frame Type: OMF
Loc : 0. Z Mid: 3900. Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.048 AlphaPr/Pe=0.071 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: C I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=4. Omega0=3. Cd=5.5
PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=1219.352 I33=1023929.323 r33=28.978 S33=26874.785 Av3=673.547
J=1677412.732 I22=1023929.323 r22=28.978 S22=26874.785 Av2=673.547
E=20389.019 Fy=25.311 Ry=1.5 z33=32282.517 Cw = Not Required
RLLF=1. Fu=40.778 z22=32282.517

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB 5)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
0. 1467.256 -379781.884 -43086.493 -920.493 -31.318 -1582.474

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)
D/C Ratio: 0.601 = 0.026 + 0.516 + 0.059
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS
Slenderness Lambda Lambda_p Lambda_r Lambda_s Compactness
Major/Flange 14.241 31.788 39.735 Compact
/Web 14.241 68.685 161.779 Compact
Minor/Flange 14.241 68.685 161.779 Compact
/Web 14.241 31.788 39.735 Compact
Axial/Flange 14.241 39.735 Compact
/Web 14.241 39.735 Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)
Factor L K1 K2 B1 B2 Cm
Major Bending 0.25 1. 1. 1. 1. 1.
Minor Bending 1. 1. 1. 1. 1. 1.

Lltb Kitb Cb
LTB 1. 1. 2.488

Pu phi*Pnc phi*Pnt
Force Capacity Capacity
Axial 1467.256 14864.183 27776.184

Mu phi*Mn phi*Mn phi*Mn
Moment Capacity No LTB Cb=1
Major Moment -379781.884 735378.162 735378.162 735378.162
Minor Moment -43086.493 735378.162

Tu Tn phi*Tn
Moment Capacity Capacity
Torsion -1582.474 686570.564 617913.507

SHEAR CHECK
Vu phi*Vn Stress Status
Force Capacity Ratio Check
Major Shear 920.493 7604.008 0.121 OK
Minor Shear 31.318 7604.008 0.004 OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS
VMajor VMajor
Left Right
Major (V2) 992.877 699.935
    
```

Fuente: Elaboración propia.

- Desplazamientos de nodos en condición de operación

Figura X-20 Desplazamiento de nodos en operación.

TABLE: JOINT Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
2	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
3	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
4	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
10	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
12	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
18	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.0000061	0.000807	-3.044449
20	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.002235	-0.00096	-3.436208
22	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000036	0.001558	-2.128854
24	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000993	-0.000873	-1.869594
26	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000492	0.002082	-1.288629
28	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000413	-0.000378	-1.309085
30	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000025	0.001248	-1.015938
32	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00003	-0.000721	-0.656238
34	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000432	0.002619	-1.543146
36	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000703	-0.001496	-2.15011
86	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000088	-0.00126	-2.685585
104	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000439	0.002049	-1.254989
105	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000068	0.000243	-0.033169
106	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000269	0.000521	-1.476146
107	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000104	-0.000402	-3.544597
112	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00073	-0.003127	-3.26299
114	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.002859	-0.000771	-1.368295
115	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000191	-0.00003	-1.373932
134	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000058	0.000218	-1.458016
138	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000194	0.000126	-3.150725
144	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.001864	-0.001138	-4.179622
146	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.002382	-0.000441	-3.713648
174	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001573	-0.000419	-1.366445
176	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000406	-0.000971	-0.237871
204	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.001256	0.000033	-1.629461
206	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00077	-0.000753	-2.292081
234	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001895	-0.000733	-2.882256
235	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001061	-0.000659	-1.899988
236	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000387	-0.000203	-1.367085
237	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000032	-0.000967	-2.183974
238	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000101	0.000439	-2.498411
239	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00008888	0.000038	-1.11744
240	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000145	0.000592	-2.555229
241	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000027	0.001168	-2.143514
242	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000493	0.001627	-1.347084
243	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000099	-0.000421	-3.565668
244	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00024	0.000667	-2.038337
245	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000209	0.0005	-1.723333
246	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000102	0.000938	-1.644245
260	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00049	0.001042	-1.561592
264	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000468	0.000412	-0.238548
266	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000643	0.000905	-2.233467
297	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.0012	0.000681	-3.413801
308	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.001216	0.000684	-3.436527

TABLE: JOINT Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
309	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000045	-0.000372	-4.697285
311	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00033	0.001148	-0.342893
312	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00032	0.000036	-0.677417
314	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001455	-0.000303	-1.247042
315	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000128	0.00013	-0.029898
320	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000202	0.000155	-1.942027
321	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00013	0.000059	-1.106923
322	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000073	0.000597	-1.105972
323	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000016	0.000486	-1.65966
328	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000497	0.000205	-0.567397
329	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000505	7.337E-06	-2.257897
332	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000231	0.000426	-0.594833
333	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000015	-0.000044	-0.408317
335	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000042	-0.004165	-4.042925
336	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000079	-0.001497	-3.00779
338	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001839	0.000022	-4.016653
339	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000019	0.00145	-0.759781
340	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000052	-0.00129	-0.643249
341	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000704	0.002128	-0.845086
342	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000243	0.000235	-0.522806
343	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000015	0.000371	-2.114782
344	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00003	0.000431	-0.064941
345	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001156	-0.000438	-1.899344
346	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000185	0.000143	-0.047273
347	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000215	0.000216	-1.993562
348	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000243	0.000181	-1.93671
349	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.0000645	0.000879	-1.241651
350	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000132	0.000093	-1.1289
351	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000402	0.000518	-0.689714
352	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
353	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000081	0.000468	-0.43957
354	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000481	0.000706	-1.520849
355	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000077	0.000516	-1.040503
356	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000594	0.000846	-2.186361
357	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000038	0.000615	-1.544697
358	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000139	0.000792	-1.806552
359	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	2.798E-06	0.00028	-1.2424
360	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000036	0.000664	-0.765849
361	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	6.298E-06	-0.000196	-0.477136
362	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-9.671E-06	0.000163	-0.407449
363	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000658	0.000219	-0.845937
364	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000038	0.000443	-1.083518
365	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000128	0.000594	-1.606826
366	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000094	0.000039	-1.800293
367	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000276	0.000195	-2.401867
368	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000309	0.001113	-1.687416
369	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00037	0.000822	-1.018662
370	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000569	-0.000047	-2.379853
371	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000415	0.00018	-1.397591
372	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0

Figura X-21 Desplazamiento de nodos en operación (continuación).

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
373	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000812	-0.004269	-5.601129
374	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000039	0.000061	-0.060447
375	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000073	0.000228	-0.037754
376	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00004	-0.000205	-1.512974
377	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000266	0.000501	-1.449063
378	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000012	0.00041	-3.380823
379	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000175	0.001024	-3.133133
380	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000173	-0.003668	-3.723783
381	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
382	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000713	-0.003369	-3.293277
383	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000063	-0.000426	-3.41823
384	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000198	0.000429	-1.966633
385	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000093	0.000856	-2.20492
386	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000252	2.665E-06	-2.122887
387	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000245	0.000151	-2.421853
388	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000099	0.000153	-3.50936
389	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000095	8.865E-06	-3.681314
390	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000103	0.000109	-3.651985
391	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00000702	0.000049	-0.001831
392	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000303	0.000113	-2.282824
393	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000085	0.00006	-0.045787
394	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000112	0.000763	-3.833236
395	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000026	0.000688	-4.278047
396	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00006	0.00053	-4.172849
397	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000016	0.000487	-1.663217
398	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
399	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000355	0.000374	-5.281123
400	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00018	-0.000193	-5.847961
401	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000885	-0.000549	-5.064373
402	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000083	0.000536	-4.840575
403	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
404	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000331	-0.001076	-6.300477
405	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000329	-0.000478	-6.178166
406	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00058	-0.00068	-5.542786
407	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000702	-0.000473	-5.475779
408	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000669	0.002933	-4.828328
409	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001146	-0.000044	-4.236762
410	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000908	-0.000167	-4.25651
411	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000586	0.002741	-3.773385
412	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000295	-0.00107	-2.886047
413	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000293	-0.002433	-5.390255
414	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001004	-0.00097	-4.47866
415	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000887	-0.002329	-4.495543
416	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000478	-0.001798	-3.342334
417	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00105	-0.003381	-4.280979
418	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00006	-0.001192	-1.747544
419	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000594	0.000506	-3.826489

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
423	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000735	0.00015	-3.789956
424	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001027	-0.001591	-3.591229
425	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001041	0.000146	-3.642057
426	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000892	0.000076	-3.873856
427	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00145	-0.000449	-1.461886
428	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00091	-0.000361	-0.665993
429	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00027	0.000615	-3.877831
430	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000123	0.000221	-4.48313
431	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00016	-0.000768	-4.266562
432	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000129	0.000305	-4.431102
433	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000059	0.000308	-3.647939
434	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00043	-0.00019	-3.644836
435	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000147	-0.000069	-4.304798
436	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000059	-0.000344	-2.09256
437	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000055	-0.000323	-3.568339
438	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000045	-0.000219	-0.48832
439	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-8.765E-06	-0.0013	-2.020551
440	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000012	0.003439	-5.972043
441	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000025	-0.005048	-7.871609
442	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000044	-0.004362	-8.292787
443	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000065	0.001987	-7.316203
444	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000097	-0.000574	-4.491073
445	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000047	-0.000323	-3.568339
446	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000021	0.001242	-5.421583
447	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00002	0.000398	-6.129894
448	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000045	0.000494	-5.845889
449	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000046	0.000713	-4.955979
450	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00006	-0.000093	-3.816028
451	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000029	-0.000187	-3.337579
452	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-1.792E-06	0.000207	-3.733978
453	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000043	0.001034	-4.590762
454	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	2.652E-07	-0.000106	-4.839967
455	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000041	0.00088	-5.042491
456	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000023	0.001049	-4.572972
457	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000016	0.001122	-3.621029
458	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000037	-0.000825	-2.821543
459	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000085	-0.001417	-3.392764
460	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000184	0.002845	-4.601922
461	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000302	-0.002379	-4.762293
462	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000407	0.000978	-5.492652
463	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000498	0.001567	-5.410497
464	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000584	-0.004062	-4.865063
465	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00068	0.003518	-5.579479
466	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000752	-0.003576	-4.800545
467	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00081	-0.000152	-4.803098
468	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00089	0.001104	-5.250845
469	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001035	-0.004228	-5.004704

Fuente: Elaboración propia

Figura X-22 Desplazamiento de nodos en operación. (continuación)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
473	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001702	-0.006078	-5.852476
474	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001929	0.000998	-6.471899
475	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.002255	-0.000103	-6.66971
476	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.002625	-0.004199	-6.729156
477	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.003082	0.00307	-7.104083
478	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.003229	0.000562	-4.755616
479	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.003414	-0.000926	-2.161735
480	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000115	-0.000946	-1.467358
481	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000068	0.002642	-4.841474
482	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00003	-0.004469	-6.566533
483	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000042	-0.004029	-7.012282
484	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000096	0.001425	-6.119667
485	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000044	0.000043	-3.594426
486	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000025	-0.000018	-2.530985
487	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00005	0.000841	-4.120174
488	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00005	0.000759	-4.824509
489	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000123	0.000649	-4.590138
490	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000105	0.000461	-3.801011
491	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000062	0.000222	-2.758227
492	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	2.674E-06	-0.000227	-2.15845
493	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000016	0.000582	-2.873924
494	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000029	0.000762	-4.016857
495	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000634	-0.004919	-5.20022
496	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000267	0.000699	-4.465426
497	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000064	0.001068	-3.822812
498	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000134	0.001523	-2.870932
499	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000392	-0.000929	-1.956281
500	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00054	-0.001203	-2.593804
501	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000651	0.002398	-3.766081
502	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00063	-0.001352	-4.097576
503	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00064	0.000781	-4.596282
504	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000634	0.000669	-4.479162
505	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000605	-0.001675	-4.159779
506	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000886	0.002143	-4.494707
507	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000403	-0.002597	-4.141735
508	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000467	0.000041	-4.239451
509	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000706	0.000835	-4.490205
510	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000748	-0.002434	-4.16231
511	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000796	-0.000239	-3.845753
512	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000632	-0.004034	-3.974917
513	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000795	0.004529	-4.871063
514	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000799	-0.003189	-5.027467
515	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000747	0.000165	-5.664312
516	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00042	-0.000292	-5.928885
517	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000107	-0.002487	-6.020024
518	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000192	0.001224	-6.086748
519	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000168	0.000398	-3.857839
520	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000323	-0.000124	-1.586324
521	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000187	-0.000972	-1.455818
522	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000118	0.002537	-4.998055

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
523	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000084	-0.005113	-6.746288
524	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000061	-0.004393	-7.150052
525	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000021	0.001157	-6.272405
526	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000038	-0.00041	-3.687016
527	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000224	-0.000113	-2.632971
528	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000038	0.000713	-4.362269
529	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	5.114E-06	0.000221	-5.137068
530	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000066	0.000178	-4.965887
531	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000137	0.000266	-4.169417
532	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00004	0.000141	-3.089748
533	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.0000601	0.000097	-2.838177
534	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000088	0.000485	-3.515716
535	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000127	0.000405	-3.93863
536	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000158	0.000563	-3.916773
537	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000199	0.00083	-3.493958
538	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000287	0.000521	-2.660605
539	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000184	-0.000352	-2.128321
540	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000072	0.000573	-3.336171
541	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00022	0.000674	-4.59493
542	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000101	0.000453	-3.400707
543	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000142	0.000369	-4.530549
544	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000407	0.000664	-3.945875
545	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000493	-0.001101	-3.530282
546	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00068	0.000056	-3.81392
547	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00087	-0.000147	-4.298276
548	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000866	0.001155	-6.207245
549	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00064	0.001335	-3.856201
550	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000431	-0.00098	-1.579989
551	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000476	0.001092	-6.16262
552	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000415	-0.000253	-4.66826
553	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000216	-0.000507	-4.052021
554	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000184	-0.00058	-4.165151
555	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000226	0.000346	-2.251525
556	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-3.343E-06	-0.00041	-0.007998
557	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-8.856E-06	-0.000493	-1.529856
558	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00015	-0.00048	-0.66948
559	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000376	0.000527	-0.525185
560	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000494	0.000755	-1.438564
561	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000486	0.000452	-3.754122
562	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000377	0.000766	-3.39213
563	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000115	0.000594	-2.002752
564	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000063	0.001003	-1.632307
565	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000064	0.000767	-4.236341
566	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00048	0.000786	-2.342724
567	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000927	-0.000828	-1.81238
568	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001002	-0.00074	-4.276322
569	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000344	0.000033	-1.457405
570	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000122	0.000097	-4.384155
571	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000179	0.00021	-1.877759
572	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura X-23 Desplazamiento de nodos en operación (continuación)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
573	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000322	0.001198	-3.630866
574	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00022	0.00113	-4.00951
575	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.001176	-0.000167	-0.795514
576	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.001006	0.000715	-4.826426
577	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00024	0.000827	-1.916511
578	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000029	0.00142	-6.905836
581	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00008	0.000801	-4.960844
582	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000013	0.000601	-2.015037
583	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000147	0.000445	-1.455398
584	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000048	0.000171	-0.726966
585	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000035	0.000015	-0.293123
586	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000081	0.000654	-1.053448
587	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00012	0.000788	-2.121016
588	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000195	0.000629	-3.615788
589	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000288	0.000454	-2.913278
590	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000165	0.000201	-1.983499
591	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00009	-0.000125	-1.441074
592	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000049	0.000612	-2.184086
593	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000163	0.000771	-3.334337
594	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000075	0.000262	-1.798851
595	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00007	0.000175	-3.581204
596	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.003989	-0.00054	-4.411124
597	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.004159	-0.000559	-4.478099
598	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.0003	-0.000445	-3.866409
599	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.002302	0.000096	-2.768172
600	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000042	0.001696	-1.371005
601	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.002162	-0.000674	-0.833011
602	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00022	-0.001248	-1.089342
603	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000389	-0.001273	-2.090804
604	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000147	0.000395	-2.460043
605	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.003049	-0.000371	-2.104726
606	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.003452	-0.000692	-1.406716
607	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.0005	0.000521	-0.741264
608	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.002304	0.000455	-1.295777
609	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000411	0.000626	-1.951575
610	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000064	0.000258	-2.369851
611	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00403	0.000567	-2.376147
612	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.003907	0.000958	-2.005157
613	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000209	0.000994	-1.612662
614	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
615	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000161	0.000444	-3.097644
616	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000258	0.000375	-5.211484
617	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000914	-0.000674	-5.509178
618	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001004	-0.000477	-5.444072
619	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000854	-0.000544	-5.01458
620	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001604	-0.000921	-4.437338
621	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000537	0.002693	-3.67574
622	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00156	-0.001747	-3.292407
623	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000194	-0.001077	-2.810192
624	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000613	-0.001603	-3.402114

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
625	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000537	0.000492	-3.770563
626	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001422	0.000126	-3.755655
627	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.002243	-0.001549	-3.548433
628	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000743	0.000883	-3.266575
629	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00226	0.00016	-3.599976
630	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001781	0.000101	-3.82703
631	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00061	0.000428	-3.860261
632	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000679	0.000457	-3.697506
633	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000493	0.000774	-3.334568
634	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000268	0.00146	-3.011998
635	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000457	0.000784	-2.611114
636	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000401	-0.001105	-6.262152
637	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.001811	-0.000936	-4.131229
638	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000087	-0.000972	-4.615671
639	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000067	-0.000306	-5.057946
640	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000423	-0.001064	-5.775047
641	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.0005	-0.000428	-5.895918
642	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000748	0.001035	-2.450236
643	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000487	0.000849	-4.133548
644	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000545	0.000196	-1.404206
645	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000087	0.00013	-3.27974
646	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000063	0.000058	-0.388105
647	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000188	0.000217	-1.775281
648	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000011	0.000039	-2.093833
649	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000093	0.000422	-3.742698
650	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.001627	-0.000195	-1.274901
651	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001582	0.000497	-1.762306
652	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00041	0.000691	-2.500357
653	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000022	0.000582	-2.950145
654	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000122	0.000461	-3.034095
655	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000267	-0.000395	-2.586776
656	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000254	0.000509	-3.219036
657	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000227	0.000744	-4.111335
658	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00022	0.000672	-4.530041
659	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000121	0.000385	-4.477304
660	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000267	-0.000027	-1.894808
661	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000187	0.000394	-2.588721
662	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000012	0.000168	-3.398847
663	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000082	0.000572	-4.104519
664	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000793	0.002231	-1.419041
665	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000395	0.000199	-1.066262
666	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000671	0.002931	-4.82179
667	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001144	-0.000044	-4.230913
668	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0	0	0
669	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.00026	0.00038	-2.06922
670	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.001137	-0.000403	-2.233932
671	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000909	-0.000168	-4.252458
672	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00021	-0.000777	-4.107945
673	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000379	-0.000936	-0.217938
674	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000322	-0.000916	-0.715664

Fuente: Elaboración propia

Figura X-24 Desplazamiento de nodos en operación (continuación)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
675	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000334	0.000068	-1.885943
676	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000217	0.000186	-2.299724
677	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000205	-0.000778	-4.099509
678	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.00013	0.000304	-4.426281
679	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000122	0.000221	-4.478804
680	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000228	0.000196	-2.202756
681	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000081	0.000121	-1.489628
682	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000553	-0.000044	-0.291618
683	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000162	-0.000339	-2.07142
684	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000068	0.000305	-3.622466
685	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000113	0.000098	-4.351877
686	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000486	0.000191	-3.035144
687	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000332	0.000182	-4.381717
688	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000571	-0.001047	-1.834126
689	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000078	0.000187	-3.459561
690	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000659	0.000089	-2.387157
691	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000041	0.000284	-4.370575
692	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000126	-0.00023	-1.810189
693	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000212	-0.00035	-3.138729
694	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000201	0.000163	-0.757061
695	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	-0.000202	0.000018	-3.206475
696	SERVICIO (DEAD+LIVE)	Combination	0.000299	-0.000097	-4.174834

Fuente: Elaboración propia

- Reacciones en los nodos

Figura X-25 Reacciones en los nodos.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
90	COMB 7	Combination	-0.82	-0.00009992	0.41	0	0	0
90	COMB 5	Combination	-0.45	-0.00009752	0.27	0	0	0
90	COMB 14	Combination	-0.43	-0.00009452	0.17	0	0	0
90	COMB 1	Combination	-0.4	-0.00008658	0.35	0	0	0
90	COMB 4	Combination	-0.33	-0.0000694	0.28	0	0	0
90	COMB 13	Combination	-0.27	-0.0000625	0.25	0	0	0
90	COMB 8	Combination	-0.65	-0.0000617	0.46	0	0	0
90	COMB 10	Combination	-0.7	-0.00006129	0.44	0	0	0
90	COMB 11	Combination	-0.58	-0.00006106	0.48	0	0	0
90	COMB 9	Combination	-0.63	-0.00006066	0.46	0	0	0
90	COMB 3	Combination	-0.64	-0.00006064	0.46	0	0	0
90	COMB 16	Combination	-0.26	-0.00005618	0.22	0	0	0
90	COMB 18	Combination	-0.31	-0.00005577	0.21	0	0	0
90	COMB 19	Combination	-0.19	-0.00005555	0.24	0	0	0
90	COMB 17	Combination	-0.25	-0.00005514	0.22	0	0	0
90	COMB 6	Combination	-0.63	-0.00005422	0.43	0	0	0
90	COMB 12	Combination	-0.24	-0.00004882	0.2	0	0	0
90	COMB 2	Combination	-1.3	-0.00003254	0.81	0	0	0
90	COMB 15	Combination	-0.07823	-0.0000168	0.28	0	0	0
88	COMB 7	Combination	-0.36	-0.0001793	0.63	0	0	0
88	COMB 14	Combination	-0.18	-0.0001652	0.31	0	0	0
88	COMB 5	Combination	-0.2	-0.0001453	0.42	0	0	0
88	COMB 1	Combination	-0.2	-0.00009667	0.5	0	0	0
88	COMB 10	Combination	-0.34	-0.00008855	0.64	0	0	0
88	COMB 4	Combination	-0.18	-0.00008012	0.41	0	0	0
88	COMB 8	Combination	-0.32	-0.00007729	0.64	0	0	0
88	COMB 9	Combination	-0.31	-0.00007559	0.64	0	0	0
88	COMB 3	Combination	-0.32	-0.00007557	0.65	0	0	0
88	COMB 18	Combination	-0.16	-0.00007425	0.32	0	0	0
88	COMB 6	Combination	-0.33	-0.00007342	0.61	0	0	0
88	COMB 13	Combination	-0.12	-0.00006498	0.35	0	0	0
88	COMB 11	Combination	-0.29	-0.00006433	0.65	0	0	0
88	COMB 16	Combination	-0.14	-0.00006299	0.32	0	0	0
88	COMB 2	Combination	-0.63	-0.00006241	1.12	0	0	0
88	COMB 17	Combination	-0.12	-0.0000613	0.32	0	0	0
88	COMB 12	Combination	-0.14	-0.00005931	0.29	0	0	0
88	COMB 19	Combination	-0.11	-0.00005004	0.32	0	0	0
88	COMB 15	Combination	-0.0832	0.00004091	0.33	0	0	0
87	COMB 14	Combination	0.06209	-0.000178	0.32	0	0	0
87	COMB 7	Combination	-0.004118	-0.0001743	0.59	0	0	0
87	COMB 5	Combination	0.02028	-0.0001107	0.4	0	0	0
87	COMB 18	Combination	-0.0135	-0.0000297	0.29	0	0	0
87	COMB 10	Combination	-0.08029	-0.00002614	0.57	0	0	0
87	COMB 12	Combination	-0.006396	-0.0000135	0.26	0	0	0
87	COMB 6	Combination	-0.0726	-9.798E-06	0.53	0	0	0
87	COMB 4	Combination	-0.02186	-9.421E-06	0.37	0	0	0
87	COMB 1	Combination	-0.04559	-3.987E-06	0.44	0	0	0
87	COMB 16	Combination	-0.03493	-3.684E-06	0.28	0	0	0
87	COMB 17	Combination	-0.02369	-1.442E-06	0.28	0	0	0
87	COMB 8	Combination	-0.1	-1.164E-07	0.56	0	0	0
87	COMB 3	Combination	-0.09337	1.641E-06	0.56	0	0	0
87	COMB 9	Combination	-0.09048	2.125E-06	0.56	0	0	0
87	COMB 13	Combination	-0.05222	8.375E-06	0.31	0	0	0
87	COMB 2	Combination	-0.22	0.00001067	0.95	0	0	0
87	COMB 19	Combination	-0.04511	0.00002458	0.27	0	0	0
87	COMB 11	Combination	-0.11	0.00002814	0.55	0	0	0
87	COMB 15	Combination	-0.12	0.0001729	0.25	0	0	0

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
85	COMB 5	Combination	0.22	-0.00002427	0.05901	0	0	0
85	COMB 7	Combination	0.53	-0.00002382	0.09144	0	0	0
85	COMB 14	Combination	0.36	-0.00002269	0.02802	0	0	0
85	COMB 1	Combination	0.05188	-0.00002266	0.09064	0	0	0
85	COMB 4	Combination	0.05309	-0.00001807	0.07202	0	0	0
85	COMB 13	Combination	-0.01631	-0.00001652	0.06737	0	0	0
85	COMB 11	Combination	0.13	-0.00001611	0.13	0	0	0
85	COMB 8	Combination	0.23	-0.00001586	0.12	0	0	0
85	COMB 3	Combination	0.19	-0.0000156	0.12	0	0	0
85	COMB 9	Combination	0.19	-0.0000156	0.12	0	0	0
85	COMB 10	Combination	0.29	-0.00001535	0.11	0	0	0
85	COMB 19	Combination	-0.04818	-0.00001495	0.06856	0	0	0
85	COMB 16	Combination	0.05371	-0.00001469	0.05829	0	0	0
85	COMB 17	Combination	0.013	-0.00001444	0.05824	0	0	0
85	COMB 18	Combination	0.11	-0.00001419	0.04798	0	0	0
85	COMB 6	Combination	0.26	-0.00001375	0.11	0	0	0
85	COMB 12	Combination	0.08302	-0.00001261	0.04916	0	0	0
85	COMB 2	Combination	0.58	-7.621E-06	0.22	0	0	0
85	COMB 15	Combination	-0.29	-6.449E-06	0.08851	0	0	0
83	COMB 14	Combination	-0.29	-0.00004892	0.11	0	0	0
83	COMB 7	Combination	-0.33	-0.00004716	0.19	0	0	0
83	COMB 5	Combination	-0.25	-0.00002861	0.13	0	0	0
83	COMB 18	Combination	-0.12	-6.188E-06	0.09345	0	0	0
83	COMB 10	Combination	-0.16	-4.463E-06	0.17	0	0	0
83	COMB 12	Combination	-0.05394	-1.732E-06	0.07751	0	0	0
83	COMB 6	Combination	-0.09433	2.779E-08	0.16	0	0	0
83	COMB 4	Combination	-0.1	4.296E-07	0.11	0	0	0
83	COMB 16	Combination	-0.05259	1.507E-06	0.0851	0	0	0
83	COMB 17	Combination	-0.08427	2.139E-06	0.08498	0	0	0
83	COMB 1	Combination	-0.11	2.836E-06	0.13	0	0	0
83	COMB 8	Combination	-0.08899	3.231E-06	0.16	0	0	0
83	COMB 3	Combination	-0.12	3.711E-06	0.16	0	0	0
83	COMB 9	Combination	-0.12	3.864E-06	0.16	0	0	0
83	COMB 13	Combination	-0.08292	5.378E-06	0.09257	0	0	0
83	COMB 2	Combination	-0.13	5.989E-06	0.27	0	0	0
83	COMB 19	Combination	-0.01497	9.834E-06	0.07663	0	0	0
83	COMB 11	Combination	-0.05138	0.00001156	0.15	0	0	0
83	COMB 15	Combination	0.15	0.00005257	0.05939	0	0	0
80	COMB 7	Combination	65.55	-4.89	0.05574	0	0	0
80	COMB 14	Combination	67.18	-4.8	0.0153	0	0	0
80	COMB 5	Combination	44.81	-3.09	0.12	0	0	0
80	COMB 10	Combination	13.24	-1.98	0.11	0	0	0
80	COMB 18	Combination	15.4	-1.89	0.07194	0	0	0
80	COMB 6	Combination	-24.04	-0.35	0.16	0	0	0
80	COMB 2	Combination	-6.95	-0.32	0.14	0	0	0
80	COMB 4	Combination	-10.33	-0.29	0.18	0	0	0
80	COMB 3	Combination	1.18	-0.26	0.17	0	0	0
80	COMB 12	Combination	-22.42	-0.26	0.12	0	0	0
80	COMB 9	Combination	47.63	-0.24	0.15	0	0	0
80	COMB 8	Combination	-50.31	-0.24	0.15	0	0	0
80	COMB 1	Combination	1.28	-0.23	0.17	0	0	0
80	COMB 17	Combination	49.79	-0.15	0.11	0	0	0
80	COMB 16	Combination	-48.14	-0.15	0.11	0	0	0
80	COMB 13	Combination	24.07	-0.04394	0.1	0	0	0
80	COMB 11	Combination	-15.92	1.5	0.19	0	0	0
80	COMB 19	Combination	-13.75	1.59	0.15	0	0	0
80	COMB 15	Combination	-65.53	4.5	0.21	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura X-26 Reacciones en los nodos(continuacion).

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
79	COMB 7	Combination	-12.81	-4.88	0.25	0	0	0
79	COMB 14	Combination	10.01	-4.79	0.15	0	0	0
79	COMB 5	Combination	-39.39	-3.07	0.35	0	0	0
79	COMB 10	Combination	-51.7	-1.97	0.3	0	0	0
79	COMB 18	Combination	-31.8	-1.88	0.21	0	0	0
79	COMB 6	Combination	-81.25	-0.33	0.36	0	0	0
79	COMB 2	Combination	-73.44	-0.31	0.34	0	0	0
79	COMB 4	Combination	-81.5	-0.27	0.42	0	0	0
79	COMB 12	Combination	-58.42	-0.25	0.26	0	0	0
79	COMB 3	Combination	-75.27	-0.24	0.41	0	0	0
79	COMB 8	Combination	-105.62	-0.23	0.34	0	0	0
79	COMB 9	Combination	-17.63	-0.22	0.34	0	0	0
79	COMB 1	Combination	-64.91	-0.22	0.39	0	0	0
79	COMB 17	Combination	2.26	-0.14	0.25	0	0	0
79	COMB 16	Combination	-85.72	-0.14	0.25	0	0	0
79	COMB 13	Combination	-25.03	-0.03465	0.25	0	0	0
79	COMB 11	Combination	-71.56	1.51	0.38	0	0	0
79	COMB 19	Combination	51.66	1.6	0.3	0	0	0
79	COMB 15	Combination	-93.47	4.51	0.36	0	0	0
61	COMB 7	Combination	-79.44	-4.85	0.46	0	0	0
61	COMB 14	Combination	-58.29	-4.77	0.36	0	0	0
61	COMB 5	Combination	-79.43	-3.04	0.49	0	0	0
61	COMB 10	Combination	-67.6	-1.94	0.39	0	0	0
61	COMB 18	Combination	-49.28	-1.86	0.3	0	0	0
61	COMB 6	Combination	-77.78	-0.31	0.38	0	0	0
61	COMB 2	Combination	-67.85	-0.28	0.35	0	0	0
61	COMB 4	Combination	-78.41	-0.24	0.43	0	0	0
61	COMB 12	Combination	-56.63	-0.23	0.27	0	0	0
61	COMB 3	Combination	-71.15	-0.21	0.42	0	0	0
61	COMB 9	Combination	-13.15	-0.2	0.35	0	0	0
61	COMB 8	Combination	-102.7	-0.2	0.35	0	0	0
61	COMB 1	Combination	-61.62	-0.19	0.4	0	0	0
61	COMB 17	Combination	5.16	-0.12	0.26	0	0	0
61	COMB 16	Combination	-84.39	-0.12	0.26	0	0	0
61	COMB 13	Combination	-22.59	-0.01609	0.25	0	0	0
61	COMB 11	Combination	-48.26	1.54	0.3	0	0	0
61	COMB 19	Combination	-29.94	1.62	0.21	0	0	0
61	COMB 15	Combination	-20.93	4.53	0.16	0	0	0
60	COMB 7	Combination	-21.1	-4.84	0.25	0	0	0
60	COMB 14	Combination	-23.61	-4.76	0.21	0	0	0
60	COMB 5	Combination	-5.75	-3.02	0.24	0	0	0
60	COMB 10	Combination	-6.04	-1.92	0.19	0	0	0
60	COMB 18	Combination	-7.72	-1.85	0.16	0	0	0
60	COMB 6	Combination	-15.33	-0.29	0.17	0	0	0
60	COMB 2	Combination	6.59	-0.27	0.15	0	0	0
60	COMB 4	Combination	-2.2	-0.22	0.19	0	0	0
60	COMB 12	Combination	-17.83	-0.21	0.13	0	0	0
60	COMB 3	Combination	11.6	-0.2	0.18	0	0	0
60	COMB 8	Combination	-43.02	-0.19	0.15	0	0	0
60	COMB 9	Combination	58.48	-0.18	0.15	0	0	0
60	COMB 1	Combination	9.41	-0.17	0.18	0	0	0
60	COMB 17	Combination	56.8	-0.11	0.12	0	0	0
60	COMB 16	Combination	-44.7	-0.11	0.12	0	0	0
60	COMB 13	Combination	29.93	-0.006818	0.1	0	0	0
60	COMB 11	Combination	21.5	1.55	0.11	0	0	0
60	COMB 19	Combination	19.82	1.63	0.07557	0	0	0
60	COMB 15	Combination	35.71	4.54	0.02188	0	0	0

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
59	COMB 7	Combination	40.17	-4.88	0.04116	0	0	0
59	COMB 14	Combination	44.09	-4.78	0.02956	0	0	0
59	COMB 5	Combination	24.02	-3.09	0.04527	0	0	0
59	COMB 10	Combination	1.29	-1.99	0.03806	0	0	0
59	COMB 18	Combination	5.22	-1.89	0.02803	0	0	0
59	COMB 6	Combination	-32.34	-0.38	0.03553	0	0	0
59	COMB 2	Combination	-13.78	-0.34	0.0383	0	0	0
59	COMB 4	Combination	-20.6	-0.32	0.0418	0	0	0
59	COMB 3	Combination	-8.31	-0.29	0.04339	0	0	0
59	COMB 12	Combination	-28.42	-0.28	0.02392	0	0	0
59	COMB 9	Combination	42.11	-0.26	0.03599	0	0	0
59	COMB 1	Combination	-6.9	-0.26	0.04047	0	0	0
59	COMB 8	Combination	-58.85	-0.26	0.0361	0	0	0
59	COMB 17	Combination	46.04	-0.17	0.02596	0	0	0
59	COMB 16	Combination	-54.92	-0.17	0.02607	0	0	0
59	COMB 13	Combination	19.54	-0.05877	0.02811	0	0	0
59	COMB 11	Combination	-18.04	1.46	0.03403	0	0	0
59	COMB 19	Combination	-14.1	1.55	0.024	0	0	0
59	COMB 15	Combination	-52.96	4.44	0.02247	0	0	0
58	COMB 14	Combination	31.36	-0.003675	0.00178	0	0	0
58	COMB 5	Combination	43.37	0.007988	0.002505	0	0	0
58	COMB 18	Combination	31.09	0.008456	0.001746	0	0	0
58	COMB 12	Combination	30.01	0.01058	0.001654	0	0	0
58	COMB 7	Combination	55.94	0.01301	0.002413	0	0	0
58	COMB 17	Combination	30.75	0.01459	0.001699	0	0	0
58	COMB 16	Combination	30.69	0.0146	0.001702	0	0	0
58	COMB 4	Combination	42.54	0.01676	0.002427	0	0	0
58	COMB 13	Combination	31.42	0.0186	0.001748	0	0	0
58	COMB 19	Combination	30.35	0.02073	0.001655	0	0	0
58	COMB 1	Combination	47.78	0.0227	0.002645	0	0	0
58	COMB 10	Combination	55.29	0.02518	0.002343	0	0	0
58	COMB 6	Combination	54.59	0.02727	0.002286	0	0	0
58	COMB 3	Combination	56.69	0.03112	0.002463	0	0	0
58	COMB 9	Combination	54.95	0.03131	0.002297	0	0	0
58	COMB 8	Combination	54.89	0.03132	0.002299	0	0	0
58	COMB 15	Combination	30.08	0.03286	0.001621	0	0	0
58	COMB 11	Combination	54.55	0.03746	0.002253	0	0	0
58	COMB 2	Combination	85.47	0.05743	0.002349	0	0	0
49	COMB 2	Combination	63.73	-0.07417	0.002372	0	0	0
49	COMB 7	Combination	44.44	-0.06056	0.002255	0	0	0
49	COMB 10	Combination	44.03	-0.04884	0.002273	0	0	0
49	COMB 3	Combination	45.35	-0.04326	0.002488	0	0	0
49	COMB 8	Combination	44.13	-0.04318	0.002319	0	0	0
49	COMB 9	Combination	44.02	-0.04314	0.002316	0	0	0
49	COMB 6	Combination	43.61	-0.03997	0.0023	0	0	0
49	COMB 5	Combination	36.6	-0.03987	0.002418	0	0	0
49	COMB 14	Combination	26.41	-0.03918	0.001614	0	0	0
49	COMB 11	Combination	44.12	-0.03748	0.002362	0	0	0
49	COMB 1	Combination	40.93	-0.03391	0.002666	0	0	0
49	COMB 18	Combination	26.27	-0.02748	0.001669	0	0	0
49	COMB 4	Combination	36.09	-0.02719	0.002446	0	0	0
49	COMB 13	Combination	27.05	-0.02501	0.001768	0	0	0
49	COMB 16	Combination	26.37	-0.02182	0.001715	0	0	0
49	COMB 17	Combination	26.26	-0.02178	0.001713	0	0	0
49	COMB 12	Combination	25.58	-0.01858	0.00166	0	0	0
49	COMB 19	Combination	26.36	-0.01612	0.001758	0	0	0
49	COMB 15	Combination	26.22	-0.004417	0.001813	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura X-27 Reacciones en los nodos (continuación)

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
48	COMB 7	Combination	160.73	-1.56	0.01346	0	0	0
48	COMB 14	Combination	90.73	-1.41	0.008912	0	0	0
48	COMB 5	Combination	114.41	-0.94	0.016	0	0	0
48	COMB 10	Combination	163.68	-0.72	0.01374	0	0	0
48	COMB 18	Combination	92.14	-0.57	0.009757	0	0	0
48	COMB 2	Combination	254.46	-0.52	0.01528	0	0	0
48	COMB 9	Combination	168.72	-0.27	0.01442	0	0	0
48	COMB 8	Combination	160.44	-0.27	0.01446	0	0	0
48	COMB 3	Combination	157.39	-0.26	0.01707	0	0	0
48	COMB 13	Combination	93.74	-0.2	0.01129	0	0	0
48	COMB 6	Combination	162.34	-0.19	0.01417	0	0	0
48	COMB 1	Combination	144.73	-0.19	0.01626	0	0	0
48	COMB 17	Combination	97.18	-0.12	0.01043	0	0	0
48	COMB 16	Combination	88.9	-0.12	0.01047	0	0	0
48	COMB 4	Combination	115.41	-0.09883	0.01643	0	0	0
48	COMB 12	Combination	92.35	-0.04049	0.009614	0	0	0
48	COMB 11	Combination	165.49	0.17	0.01513	0	0	0
48	COMB 19	Combination	93.95	0.33	0.01114	0	0	0
48	COMB 15	Combination	95.36	1.17	0.01199	0	0	0
44	COMB 14	Combination	127.29	-1.28	0.01148	0	0	0
44	COMB 7	Combination	231.81	-1.2	0.01592	0	0	0
44	COMB 5	Combination	159.4	-0.8	0.01735	0	0	0
44	COMB 18	Combination	121	-0.44	0.01095	0	0	0
44	COMB 10	Combination	226.28	-0.36	0.01484	0	0	0
44	COMB 12	Combination	117.57	-0.13	0.009518	0	0	0
44	COMB 4	Combination	153.42	-0.09772	0.01614	0	0	0
44	COMB 6	Combination	222.1	-0.05182	0.01396	0	0	0
44	COMB 16	Combination	114.04	0.006428	0.01027	0	0	0
44	COMB 17	Combination	123.04	0.006926	0.01023	0	0	0
44	COMB 1	Combination	184.4	0.01039	0.01594	0	0	0
44	COMB 3	Combination	220.29	0.06634	0.0167	0	0	0
44	COMB 8	Combination	219.33	0.08694	0.01416	0	0	0
44	COMB 9	Combination	228.32	0.08744	0.01412	0	0	0
44	COMB 13	Combination	119.52	0.14	0.01098	0	0	0
44	COMB 2	Combination	368.87	0.26	0.01492	0	0	0
44	COMB 19	Combination	116.09	0.46	0.009544	0	0	0
44	COMB 11	Combination	221.37	0.54	0.01343	0	0	0
44	COMB 15	Combination	109.8	1.29	0.009013	0	0	0
43	COMB 7	Combination	2.76	-3.49	0.02884	0	0	0
43	COMB 14	Combination	-0.14	-3.45	0.02074	0	0	0
43	COMB 5	Combination	-54.55	-2.3	0.0316	0	0	0
43	COMB 10	Combination	-14.72	-1.4	0.02674	0	0	0
43	COMB 18	Combination	-23.95	-1.37	0.01971	0	0	0
43	COMB 6	Combination	-26.66	-0.4	0.02504	0	0	0
43	COMB 4	Combination	-72.66	-0.39	0.02926	0	0	0
43	COMB 12	Combination	-29.56	-0.36	0.01694	0	0	0
43	COMB 1	Combination	-44.88	-0.27	0.02855	0	0	0
43	COMB 3	Combination	-49.16	-0.25	0.03034	0	0	0
43	COMB 9	Combination	2.39	-0.2	0.02535	0	0	0
43	COMB 8	Combination	-41.65	-0.2	0.02542	0	0	0
43	COMB 17	Combination	-6.84	-0.17	0.01831	0	0	0
43	COMB 16	Combination	-50.87	-0.17	0.01839	0	0	0
43	COMB 2	Combination	24.79	-0.14	0.0269	0	0	0
43	COMB 13	Combination	-28.15	0.01479	0.01976	0	0	0
43	COMB 11	Combination	-24.53	0.99	0.02402	0	0	0
43	COMB 19	Combination	-33.76	1.02	0.01699	0	0	0
43	COMB 15	Combination	-57.57	3.11	0.01596	0	0	0

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
38	COMB 7	Combination	-11.4	-4.77	0.03411	0	0	0
38	COMB 14	Combination	-11.16	-4.7	0.02218	0	0	0
38	COMB 5	Combination	-5.36	-2.96	0.04139	0	0	0
38	COMB 10	Combination	-9	-1.88	0.03492	0	0	0
38	COMB 18	Combination	-8.48	-1.81	0.02461	0	0	0
38	COMB 6	Combination	-24.06	-0.26	0.03613	0	0	0
38	COMB 2	Combination	-1.8	-0.25	0.03933	0	0	0
38	COMB 4	Combination	-13.15	-0.19	0.04263	0	0	0
38	COMB 12	Combination	-23.82	-0.19	0.0242	0	0	0
38	COMB 9	Combination	52.09	-0.16	0.03686	0	0	0
38	COMB 3	Combination	0.8	-0.16	0.04448	0	0	0
38	COMB 8	Combination	-53.12	-0.16	0.03696	0	0	0
38	COMB 1	Combination	0.01346	-0.14	0.04137	0	0	0
38	COMB 16	Combination	-52.59	-0.09141	0.02665	0	0	0
38	COMB 17	Combination	52.61	-0.08883	0.02654	0	0	0
38	COMB 13	Combination	23.84	0.007652	0.029	0	0	0
38	COMB 11	Combination	7.97	1.56	0.0389	0	0	0
38	COMB 19	Combination	8.49	1.63	0.02859	0	0	0
38	COMB 15	Combination	11.18	4.52	0.03101	0	0	0
37	COMB 7	Combination	-72.17	-3.42	0.02408	0	0	0
37	COMB 14	Combination	-56.89	-3.32	0.01577	0	0	0
37	COMB 5	Combination	-106.9	-2.05	0.02899	0	0	0
37	COMB 10	Combination	-58.93	-1.32	0.02462	0	0	0
37	COMB 18	Combination	-50.84	-1.23	0.0174	0	0	0
37	COMB 2	Combination	-35	-0.32	0.0276	0	0	0
37	COMB 9	Combination	-32.25	-0.13	0.02593	0	0	0
37	COMB 8	Combination	-77.43	-0.13	0.026	0	0	0
37	COMB 3	Combination	-88.38	-0.11	0.03107	0	0	0
37	COMB 6	Combination	-61.63	-0.08753	0.02544	0	0	0
37	COMB 13	Combination	-47.15	-0.07691	0.02036	0	0	0
37	COMB 1	Combination	-72.73	-0.05542	0.02916	0	0	0
37	COMB 16	Combination	-69.34	-0.03658	0.01878	0	0	0
37	COMB 17	Combination	-24.16	-0.03468	0.01871	0	0	0
37	COMB 4	Combination	-100.42	0.002083	0.02983	0	0	0
37	COMB 12	Combination	-46.36	0.00565	0.01713	0	0	0
37	COMB 11	Combination	-50.75	1.06	0.02731	0	0	0
37	COMB 19	Combination	-42.66	1.16	0.02009	0	0	0
37	COMB 15	Combination	-36.62	3.25	0.02172	0	0	0
143	COMB 7	Combination	16.06	-4.84	0.07867	0	0	0
143	COMB 14	Combination	5.71	-4.76	0.06162	0	0	0
143	COMB 5	Combination	29.96	-3.02	0.08061	0	0	0
143	COMB 10	Combination	19.46	-1.92	0.06475	0	0	0
143	COMB 18	Combination	11.21	-1.85	0.05009	0	0	0
143	COMB 6	Combination	5.04	-0.29	0.06017	0	0	0
143	COMB 2	Combination	31.09	-0.26	0.05691	0	0	0
143	COMB 4	Combination	23.18	-0.22	0.06922	0	0	0
143	COMB 12	Combination	-5.31	-0.21	0.04312	0	0	0
143	COMB 3	Combination	39.3	-0.19	0.06751	0	0	0
143	COMB 9	Combination	82.43	-0.18	0.05629	0	0	0
143	COMB 8	Combination	-23.4	-0.18	0.05641	0	0	0
143	COMB 1	Combination	33.08	-0.17	0.06486	0	0	0
143	COMB 17	Combination	74.18	-0.11	0.04163	0	0	0
143	COMB 16	Combination	-31.65	-0.11	0.04175	0	0	0
143	COMB 13	Combination	47.84	-0.004178	0.04027	0	0	0
143	COMB 11	Combination	39.57	1.56	0.04796	0	0	0
143	COMB 19	Combination	31.32	1.63	0.0333	0	0	0
143	COMB 15	Combination	36.82	4.54	0.02177	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura X-28 Reacciones en los nodos (continuación)

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
141	COMB 7	Combination	4.37	-4.89	0.39	0	0	0
141	COMB 14	Combination	-1.89	-4.8	0.31	0	0	0
141	COMB 5	Combination	14.56	-3.06	0.39	0	0	0
141	COMB 10	Combination	10.97	-1.96	0.31	0	0	0
141	COMB 18	Combination	5.89	-1.88	0.24	0	0	0
141	COMB 6	Combination	4.97	-0.32	0.28	0	0	0
141	COMB 2	Combination	19.2	-0.29	0.25	0	0	0
141	COMB 4	Combination	14.93	-0.25	0.32	0	0	0
141	COMB 12	Combination	-1.29	-0.24	0.21	0	0	0
141	COMB 3	Combination	23.71	-0.22	0.31	0	0	0
141	COMB 9	Combination	47.98	-0.21	0.25	0	0	0
141	COMB 8	Combination	-11.58	-0.21	0.25	0	0	0
141	COMB 1	Combination	20.41	-0.2	0.3	0	0	0
141	COMB 17	Combination	42.9	-0.13	0.19	0	0	0
141	COMB 16	Combination	-16.66	-0.13	0.19	0	0	0
141	COMB 13	Combination	27.53	-0.02076	0.17	0	0	0
141	COMB 11	Combination	25.43	1.54	0.2	0	0	0
141	COMB 19	Combination	20.35	1.62	0.14	0	0	0
141	COMB 15	Combination	28.13	4.55	0.06889	0	0	0
140	COMB 7	Combination	23.73	-4.89	0.43	0	0	0
140	COMB 14	Combination	16.81	-4.8	0.33	0	0	0
140	COMB 5	Combination	26.45	-3.07	0.46	0	0	0
140	COMB 10	Combination	18.17	-1.96	0.37	0	0	0
140	COMB 18	Combination	12.39	-1.88	0.28	0	0	0
140	COMB 6	Combination	7.63	-0.33	0.35	0	0	0
140	COMB 2	Combination	21.71	-0.3	0.33	0	0	0
140	COMB 4	Combination	16.54	-0.26	0.41	0	0	0
140	COMB 12	Combination	0.71	-0.24	0.25	0	0	0
140	COMB 3	Combination	25.08	-0.23	0.4	0	0	0
140	COMB 9	Combination	48.07	-0.22	0.33	0	0	0
140	COMB 8	Combination	-8.53	-0.22	0.33	0	0	0
140	COMB 1	Combination	21.75	-0.21	0.38	0	0	0
140	COMB 16	Combination	-14.32	-0.14	0.24	0	0	0
140	COMB 17	Combination	42.29	-0.13	0.24	0	0	0
140	COMB 13	Combination	27.26	-0.02675	0.23	0	0	0
140	COMB 11	Combination	21.37	1.53	0.28	0	0	0
140	COMB 19	Combination	15.58	1.61	0.2	0	0	0
140	COMB 15	Combination	11.16	4.53	0.15	0	0	0
132	COMB 7	Combination	91.22	-4.86	0.41	0	0	0
132	COMB 14	Combination	66.22	-4.78	0.29	0	0	0
132	COMB 5	Combination	96.61	-3.05	0.48	0	0	0
132	COMB 10	Combination	70.3	-1.95	0.39	0	0	0
132	COMB 18	Combination	49.33	-1.87	0.29	0	0	0
132	COMB 6	Combination	49.07	-0.32	0.41	0	0	0
132	COMB 2	Combination	78.02	-0.3	0.4	0	0	0
132	COMB 4	Combination	70.68	-0.26	0.48	0	0	0
132	COMB 12	Combination	24.07	-0.24	0.29	0	0	0
132	COMB 3	Combination	87.67	-0.23	0.48	0	0	0
132	COMB 9	Combination	112.92	-0.21	0.39	0	0	0
132	COMB 8	Combination	24.85	-0.21	0.39	0	0	0
132	COMB 1	Combination	74.52	-0.2	0.44	0	0	0
132	COMB 17	Combination	91.94	-0.13	0.29	0	0	0
132	COMB 16	Combination	3.87	-0.13	0.29	0	0	0
132	COMB 13	Combination	71.74	-0.02626	0.28	0	0	0
132	COMB 11	Combination	67.47	1.52	0.39	0	0	0
132	COMB 19	Combination	46.49	1.61	0.28	0	0	0
132	COMB 15	Combination	29.6	4.51	0.28	0	0	0

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
130	COMB 7	Combination	43.8	-4.87	0.33	0	0	0
130	COMB 14	Combination	31.81	-4.78	0.22	0	0	0
130	COMB 5	Combination	47.25	-3.05	0.43	0	0	0
130	COMB 10	Combination	32.55	-1.95	0.35	0	0	0
130	COMB 18	Combination	22.53	-1.87	0.25	0	0	0
130	COMB 6	Combination	18.08	-0.31	0.39	0	0	0
130	COMB 2	Combination	37.52	-0.29	0.37	0	0	0
130	COMB 4	Combination	31.42	-0.25	0.46	0	0	0
130	COMB 12	Combination	6.09	-0.23	0.27	0	0	0
130	COMB 3	Combination	43.13	-0.22	0.45	0	0	0
130	COMB 9	Combination	69.4	-0.21	0.37	0	0	0
130	COMB 8	Combination	-1.52	-0.21	0.37	0	0	0
130	COMB 1	Combination	37.21	-0.2	0.42	0	0	0
130	COMB 16	Combination	-11.54	-0.13	0.27	0	0	0
130	COMB 17	Combination	59.38	-0.12	0.27	0	0	0
130	COMB 13	Combination	41.76	-0.02168	0.27	0	0	0
130	COMB 11	Combination	35.33	1.54	0.39	0	0	0
130	COMB 19	Combination	25.31	1.62	0.29	0	0	0
130	COMB 15	Combination	16.03	4.53	0.32	0	0	0
127	COMB 7	Combination	33.91	-4.88	0.24	0	0	0
127	COMB 14	Combination	28.71	-4.79	0.14	0	0	0
127	COMB 5	Combination	31.38	-3.06	0.34	0	0	0
127	COMB 10	Combination	17.81	-1.96	0.28	0	0	0
127	COMB 18	Combination	13.61	-1.87	0.2	0	0	0
127	COMB 6	Combination	3.75	-0.32	0.34	0	0	0
127	COMB 2	Combination	16.08	-0.29	0.32	0	0	0
127	COMB 4	Combination	12.82	-0.25	0.4	0	0	0
127	COMB 3	Combination	20.52	-0.23	0.39	0	0	0
127	COMB 12	Combination	-1.45	-0.23	0.25	0	0	0
127	COMB 9	Combination	43.81	-0.21	0.32	0	0	0
127	COMB 8	Combination	-12.12	-0.21	0.32	0	0	0
127	COMB 1	Combination	18.12	-0.2	0.37	0	0	0
127	COMB 17	Combination	39.61	-0.13	0.24	0	0	0
127	COMB 16	Combination	-16.32	-0.13	0.24	0	0	0
127	COMB 13	Combination	24.75	-0.02374	0.23	0	0	0
127	COMB 11	Combination	13.88	1.54	0.36	0	0	0
127	COMB 19	Combination	9.68	1.62	0.28	0	0	0
127	COMB 15	Combination	-5.42	4.54	0.34	0	0	0
126	COMB 7	Combination	48.86	-4.89	0.13	0	0	0
126	COMB 14	Combination	45.33	-4.81	0.05919	0	0	0
126	COMB 5	Combination	39.89	-3.07	0.23	0	0	0
126	COMB 10	Combination	19.56	-1.97	0.19	0	0	0
126	COMB 18	Combination	17	-1.88	0.13	0	0	0
126	COMB 6	Combination	-0.48	-0.32	0.27	0	0	0
126	COMB 2	Combination	10.29	-0.3	0.24	0	0	0
126	COMB 4	Combination	9.53	-0.26	0.31	0	0	0
126	COMB 3	Combination	16.6	-0.24	0.3	0	0	0
126	COMB 12	Combination	-4.01	-0.24	0.2	0	0	0
126	COMB 9	Combination	41.1	-0.22	0.25	0	0	0
126	COMB 8	Combination	-16.94	-0.22	0.25	0	0	0
126	COMB 1	Combination	14.8	-0.21	0.29	0	0	0
126	COMB 17	Combination	38.53	-0.13	0.19	0	0	0
126	COMB 16	Combination	-19.5	-0.13	0.19	0	0	0
126	COMB 13	Combination	23.04	-0.02971	0.17	0	0	0
126	COMB 11	Combination	4.59	1.53	0.3	0	0	0
126	COMB 19	Combination	2.03	1.62	0.24	0	0	0
126	COMB 15	Combination	-26.3	4.54	0.31	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

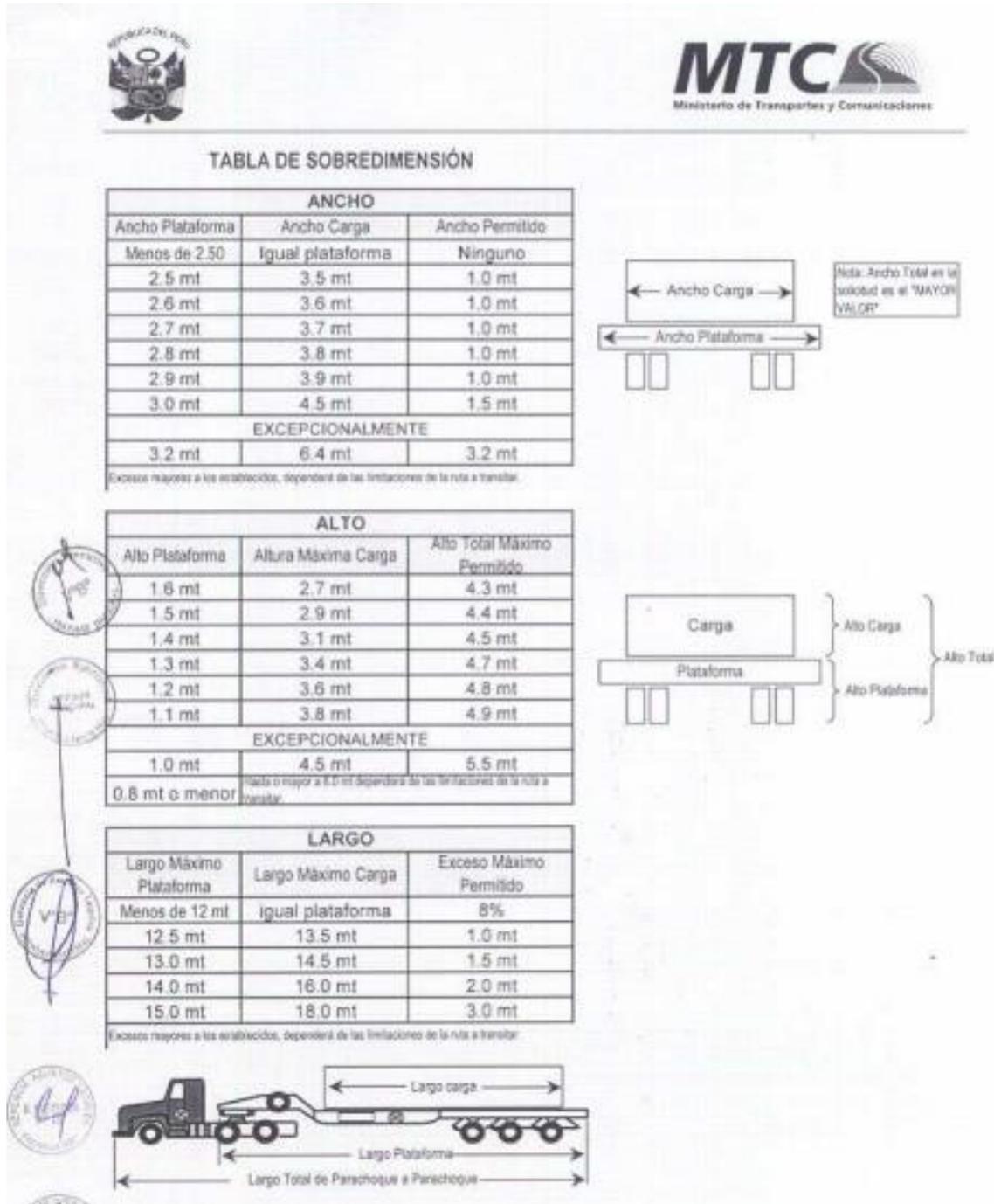
Figura X-29 Reacciones en los nodos (continuación)

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-mm	Kgf-mm	Kgf-mm
125	COMB 7	Combination	71.55	-4.9	0.05138	0	0	0
125	COMB 14	Combination	67.01	-4.81	0.008028	0	0	0
125	COMB 5	Combination	58.04	-3.09	0.12	0	0	0
125	COMB 10	Combination	28.12	-1.98	0.11	0	0	0
125	COMB 18	Combination	25.01	-1.89	0.07247	0	0	0
125	COMB 6	Combination	-1.79	-0.34	0.17	0	0	0
125	COMB 2	Combination	12.71	-0.31	0.15	0	0	0
125	COMB 4	Combination	12.9	-0.28	0.2	0	0	0
125	COMB 3	Combination	22.57	-0.25	0.18	0	0	0
125	COMB 12	Combination	-6.33	-0.24	0.13	0	0	0
125	COMB 9	Combination	54.9	-0.23	0.15	0	0	0
125	COMB 8	Combination	-23.07	-0.23	0.15	0	0	0
125	COMB 1	Combination	19.92	-0.22	0.18	0	0	0
125	COMB 17	Combination	51.79	-0.14	0.12	0	0	0
125	COMB 16	Combination	-26.18	-0.14	0.12	0	0	0
125	COMB 13	Combination	31.94	-0.03806	0.11	0	0	0
125	COMB 11	Combination	3.71	1.52	0.2	0	0	0
125	COMB 19	Combination	0.6	1.61	0.16	0	0	0
125	COMB 15	Combination	-41.41	4.53	0.23	0	0	0
122	COMB 7	Combination	71.43	-4.9	0.03523	0	0	0
122	COMB 14	Combination	66.69	-4.8	0.01915	0	0	0
122	COMB 5	Combination	59.95	-3.09	0.05293	0	0	0
122	COMB 10	Combination	28.3	-1.98	0.04576	0	0	0
122	COMB 18	Combination	25.22	-1.89	0.03199	0	0	0
122	COMB 6	Combination	-7.36	-0.35	0.05686	0	0	0
122	COMB 2	Combination	12.83	-0.33	0.05371	0	0	0
122	COMB 4	Combination	11.46	-0.29	0.06623	0	0	0
122	COMB 3	Combination	24.85	-0.27	0.06471	0	0	0
122	COMB 12	Combination	-12.1	-0.26	0.04078	0	0	0
122	COMB 9	Combination	67.92	-0.24	0.0539	0	0	0
122	COMB 1	Combination	21.86	-0.24	0.06249	0	0	0
122	COMB 8	Combination	-33.66	-0.24	0.054	0	0	0
122	COMB 17	Combination	64.85	-0.15	0.04012	0	0	0
122	COMB 16	Combination	-36.74	-0.15	0.04023	0	0	0
122	COMB 13	Combination	40.2	-0.04654	0.03957	0	0	0
122	COMB 11	Combination	5.96	1.5	0.06213	0	0	0
122	COMB 19	Combination	2.89	1.59	0.04836	0	0	0
122	COMB 15	Combination	-38.59	4.5	0.0612	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Directiva N 010-2005

Figura X-30 Tabla de dimensionamiento



Fuente: Tomado de "Ministerio de transportes y comunicaciones Directiva N010 -2005"