

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COLUMNA BASE PARA LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DE MATERIAL DE ROCA FOSFÁTICA PARA LA PLANTA DE ÁCIDO FOSFÓRICO”

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Pedro Cadenas

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Cárdenas G., Leonardo
Para optar al título
De Ingeniero Mecánico

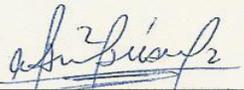
Caracas, 2004

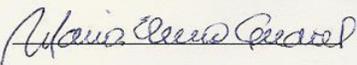
Caracas, 28 de Julio de 2004

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Leonardo Cárdenas G., titulado:

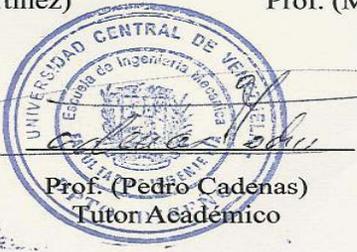
**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COLUMNA BASE
PARA LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DE MATERIAL
DE ROCA FOSFÁTICA PARA LA PLANTA
DE ÁCIDO FOSFÓRICO”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. (Manuel Martínez)
Jurado


Prof. (Maria Elena Gudiel)
Jurado


Prof. (Pedro Cadenas)
Tutor Académico



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a *Dios, al Espíritu Santo y a mi Ángel de la Guarda*, por concederme la luz, sabiduría y fortaleza que he necesitado para lograr todas las metas propuestas, espero que sigan siempre a mi lado.

A mi *madre* que no sólo ha sido un apoyo y un incentivo, sino más bien un ejemplo, el que estaré siempre tratando de igualar. Gracias por estar siempre conmigo... Te quiero.

A mi *padre* por su guía, apoyo, comprensión y gran ejemplo a seguir.

A mis *hermanas* por su compañía, cariño y solidaridad.

A mis *sobrinos* por su alegría y entusiasmo.

A mi *novia* por su paciencia y amor, por el apoyo que me diste para la realización de este nuevo proyecto de mi vida.

Leonardo Cárdenas González

AGRADECIMIENTOS

A **PEQUIVEN S.A.** por haberme brindado la oportunidad de desarrollar el presente trabajo especial de grado en las instalaciones del Complejo Petroquímico Morón.

Al **Ing. Raúl González** por brindarme la oportunidad y de encaminarme en la elección de la adecuada sede de Pequiven.

Al **Ing. Julio Carpio** por el apoyo y asesoramiento que me brindo. Su orientación fue un elemento esencial en la elaboración de este trabajo especial de grado.

A todo el grupo de trabajo de la Gerencia Técnica del Complejo, especialmente al **Ing. Marcos Pérez** por su apoyo y haberme transmitido parte de sus conocimientos en pro del desarrollo del proyecto.

Al personal de la planta de ácido fosfórico, especialmente al **Sup. Luis Silva** por su ayuda en los aspectos relacionados a la investigación de campo.

Al **Prof. Pedro Cadenas**, no solo por haber sido mi tutor académico, sino también por su calidad humana y apoyo.

A la **Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V. y profesores**, por transmitirme la mejor educación posible, desde el punto de vista técnico y humanístico necesario para enfrentar este proyecto y cualquier otro profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xix
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	xxii
RESUMEN	xxvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Motivación	7
1.3 Antecedentes	8
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos	9
1.5 Alcance	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1 Consideraciones generales	13
2.2 Esquema Operacional de la Planta de Ácido Fosfórico	15
2.2.1 Generalidades	15
2.2.2 Descripción del Proceso de Producción en la Planta de Ácido Fosfórico	16
2.2.2.1 Sección de Recepción, Almacenamiento y Reclamo de la Roca	17
2.2.2.1.1 Transportadores 40-ET-01A, 01B, 02A y 02B	18
2.2.2.1.2 Transportador 40-ET-01	19
2.2.2.1.3 Transportador 40-ET-02	19
2.2.2.1.4 Transportador 40-ET-03	19

2.2.2.1.5 Transportador 40-ET-04	20
2.2.2.2 Esquema Operacional de la SRARR	20
2.3 Principios de Planificación de Proyectos	21
2.3.1 Definición de Planificación	21
2.3.2 Principios de la Planificación	21
2.3.3 La Planeación y sus Procesos	22
2.3.4 Procedimientos Básicos para Formular un Plan de Acción	23
2.3.5 Métodos de Planificación	23
2.3.5.1 Fases Básicas del PERT-CPM	24
2.3.5.2 Beneficios del PERT-CPM	25
2.4 Técnica de Análisis Causa-Raíz	26
2.4.1 Técnicas de Investigación	26
2.4.2 Descripción de las Etapas de la Investigación	27
2.5 Análisis de Cargas	30
2.5.1 Carga por Efecto del Viento	30
2.5.2 Carga Sísmica	31
2.5.3 Carga de Impacto Originada por Choque de Maquinaria Pesada .	33
2.5.4 Carga por Acumulación de RF	34
2.6 Técnica “Matriz de decisión”	38
2.6.1 Variables que se Compararán para Determinar la CB Óptima	38
2.7 Teorías de la Mecánica de Sólidos	40
2.7.1 Carga Axial	41
2.7.1.1 Equilibrio Estático	44
2.7.1.2 Relaciones de Desplazamientos	44
2.7.2 Efectos Térmicos	44
2.7.3 Deformación por Flexión en Vigas Prismáticas	45
2.7.3.1 Ecuación Diferencial Gobernante de la Curva Elástica	46
2.7.4 Ecuaciones Genéricas de Pendientes y Deflexiones en Vigas	51
2.7.4.1 Estudio para Carga Concentrada	53
2.7.4.2 Estudio para Carga Uniforme	54

2.7.4.3 Estudio para Carga Triangular	55
2.8 Modelación de Pórticos Tridimensionales	56
2.9 Ensamblés Soldados	78
2.9.1 Tipos de Ensamblés	79
2.9.2 Tipos de Soldadura	80
2.9.3 Tamaño de Soldadura	80
2.9.4 Método para Tratar la Soldadura como una Línea	81
2.10 Ensamblés Atornillados	85
2.10.1 Procedimiento para la Resolución de Ensamblés Atornillados	87
2.11 Código de Diseño AISC-LRFD93	88
2.11.1 Relación de Capacidad de los Esfuerzos Axiales y de Flexión ...	88
2.11.2 Relación de Capacidad de los Esfuerzos de Corte	89
2.12 Código de Diseño ASTM en Deflexiones Permisibles	91
2.13 Diseño de Fundaciones	92
2.13.1 Mecanismo Suelo-Estructura	92
2.13.2 Selección del Tipo de Fundación	92
2.13.3 Construcción de Fundación de Concreto Armado	93
2.13.4 Análisis Comparativo de los Tipos de Fundaciones	96
2.13.5 Programa de Trabajo en la Construcción de Fundaciones	97
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	98
3.1 Consideraciones generales	99
3.2 Planificación del proyecto	101
3.2.1 Metas.....	101
3.2.2 Plan de Trabajo	102
3.2.3 Diagrama Gantt	104
3.2.4 Diagrama PERT	105
3.3 Análisis Causales del Pandeo (Causa-Raíz)	106
3.4 Cálculo de Cargas en Estructura 40-ET-03	107
3.5 Selección de CB Mediante Técnica Matriz de Decisión	118

3.5.1 Aspectos Técnicos	118
3.5.1.1 Alternativa 01	120
3.5.1.2 Alternativa 02	122
3.5.1.3 Alternativa 03	124
3.5.2 Aspectos Financieros	125
3.5.3 Aspectos de Instalación	126
3.6 Modelo Matemático de Simulación de Nueva Columna Base en Condiciones Iniciales y Bajo Circunstancias Operacionales Propuestas	127
3.6.1 Codificación Empleada para los Elementos Estructurales y Nodos	127
3.6.2 Programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”	130
3.6.2.1 Ejecutar el programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”	130
3.6.2.2 Resultados Obtenidos del Programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”	131
3.7 Diseño de Nueva Fundación	137
3.8 Estudio de Factibilidad Económica de la Construcción de la Nueva CB	139
3.9 Instrucciones de Excavación del Terreno, Construcción de la Nueva Fundación, Procesos de Soldadura de los Elementos Estructurales, Montaje, Instalación y Pintado de la Nueva CB	140
3.9.1 Soldadura	140
3.9.1.1 Procedimiento de Soldadura	140
3.9.2 Preparación de Superficie y Pintura Industrial	142
3.9.2.1 Preparación de Superficie	143
3.9.2.2 Procedimiento	143
3.9.2.3 Aplicación de Pintura	145
3.9.2.3.1 Procedimiento	145
3.9.3 Fabricación de Estructura e Instalación	146
3.9.4 Excavación del Terreno	147

3.9.5 Selección del Concreto	148
3.9.6 Fabricación de Fundación	148
3.9.7 Fabricación de Planchas de Base para Apoyos (Grouting)....	150
3.9.8 Montaje	152
3.9.9 Retoques de Pintura en Sitio	152
IV ANÁLISIS DE RESULTADOS	153
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	158
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
ANEXOS	171
A Figuras del estado de la estructura soporte de roca fosfática CB-1, situación corrosiva, cono de depresión formado por succión de RF, acumulación de RF sobre CB, nuevas fundaciones, construcción e instalación de nueva CB-1	172
A.1 Estado de Estructura Soporte 40-ET-03	173
A.2 Columna Base Crítica [CB-1]	175
A.3 Situación de Corrosión en la Estructura	176
A.4 Cono de Depresión Formado por Succión de RF	178
A.5 Acumulación de RF sobre CB	180
A.6 Construcción de Nuevas Fundaciones de CB-1	181
A.7 Corte y Soldado de la Estructura de Acero (Nueva CB-1)	182
A.8 Culminación de las Nuevas Fundaciones para la CB-1	185
A.9 Instalación de la Nueva CB-1	187
B Formación del granel de almacenamiento de RF, propiedades del aire, características de la MP, modelo empleado para determinar carga por acumulación de RF, dimensiones de tuberías de acero, propiedades de tubería ϕ 6" Sch. 40, hoja de datos de estructura 40-ET-02 y 40-ET-03 y propiedades de los materiales ha ser empleados en la construcción de la nueva CB-1	189
B.1 Formación del Granel de Almacenamiento de RF	190
B.2 Tablas de Propiedades del Aire	191

B.3	Especificaciones Detalladas de MP	192
B.4	Modelo Emplado para Determinar Carga por Acumulación de RF	194
B.5	Dimensiones de Tuberías de Acero, Propiedades de Tubería ϕ 6'' Sch. 40 y Hoja de Datos de las Estructuras 40-ET-02 y 40-ET-03	195
B.6	Propiedades de los Materiales ha ser Empleados	200
C	Estudio de los elementos y nodos en el pórtico tridimensional de la nueva CB-1, codificación empleada en los resultados gráficos del programa y resultados de las opciones de la construcción de la nueva CB, con vigas HEA 260, 320 y 450	204
C.1	Estudio de los Elementos en el Pórtico Tridimensional de la Nueva CB-1	205
C.2	Estudio de los Nodos en el Pórtico Tridimensional de la Nueva CB-1	255
C.3	Codificación Empleada en los Resultados Gráficos que Arroja el Programa	279
C.4	Resultados Obtenidos del Programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”	284
D	Tablas para diseño de fundaciones	299
E	Planos de nueva columna base y nueva fundación	305

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura:	Página
2.1 Flujo de procesos en sistemas de investigación de incidentes	29
2.2 Fuerza sobre un área plana inclinada	35
2.3 Prisma de presión: (a) Triangular. (b) Cuadrada + triangular	36
2.4 (a) Elemento con carga axial distribuida. (b) DCL de dx del elemento	42
2.5 DCL de un elemento con carga axial distribuida	43
2.6 DCL de un Δx del elemento i	44
2.7 Sección longitudinal y transversal de viga	46
2.8 Fuerzas internas elementales y par M de viga	48
2.9 Elemento prismático de viga conectado a dos nodos	52
2.10 Elemento prismático de viga conectado a dos nodos, con carga puntual F	53
2.11 Elemento prismático de viga con carga distribuida uniforme	53
2.12 Elemento prismático de viga con carga triangular creciente	53
2.13 Modelación de pórtico tridimensional (Sistema de referencia global)	56
2.14 Elemento del sistema en condición deformada	57
2.15 Unión de elementos diferentes	61
2.16 Componentes del desplazamiento de un punto respecto a dos sistemas de coordenada	62
2.17 Desplazamientos de un nodo respecto a dos sistemas de referencia orientados en las direcciones longitudinales de los elementos que concurren a dicho nodo	63
2.18 Fuerzas sobre el nodo de los elementos que concurren en él	65
2.19 Detalle del cálculo del ángulo entre elementos	68
2.20 Nodos sometidos a cargas concentradas	68

2.21	Pórticos de dos pisos. Las flechas indican la orientación de los elementos	72
2.22	Despiece del pórtico en subsistemas	73
2.23	Nodo con cuatro barras concurrentes	74
2.24	Tipos de ensambles soldados	79
2.25	Algunos tipos de soldadura, se muestra la preparación de los bordes	80
2.26	Factores de geometría para análisis de soldadura	86
2.27	Fundaciones extendidas	92
2.28	Representación de fuerzas externas actuantes en la fundación	93
3.1	Diagrama Gantt del proyecto	104
3.2	Diagrama PERT del proyecto	105
3.3	Diagrama para determinar reacciones en las CB y TNC (Plano X-Z)	112
3.4	Diagrama para determinar reacciones en las CB y TNC (Plano X-Y)	113
3.5	Altern. # 1 de nueva CB-1	120
3.6	Cargas sobre CB de alternativa # 1	120
3.7	Altern. # 2 de nueva CB-1	122
3.8	Cargas sobre columnas de trípode formada por tuberías	123
3.9	Altern. # 3 de nueva CB-1	124
3.10	Cargas sobre CB de alternativa # 3	124
3.11	Codificación de nodos para estudio de pórticos tridimensionales .	128
3.12	Codificación de elementos para estudio de pórticos tridimensionales	128
3.13	Fuerza axial en las diferentes variables de estado [Viga HEA-360]	133
3.14	Fuerza cortante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-360]	133
3.15	Momento flexionante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-360]	134
3.16	Desplazamiento en las diferentes variables de estado [Viga HEA-360]	134

3.17	Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) [Viga HEA-360]	135
3.18	Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante) [Viga HEA-360]	135
3.19	Chequeo del diseño por medio del código ASTM [Viga HEA 360]	136
R.1	Recomendación de operatividad de la maquinaria pesada	163
A.1	Estructura ET-3, lado oeste	173
A.2	Estructura ET-3, lado este	173
A.3	Estado de CB-1	173
A.4	Estado de CB-2	173
A.5	Estado de CB-3	174
A.6	Estado de CB-4	174
A.7	Estado de CB-5	174
A.8	Estado de CB-6	174
A.9	Estado de CB-7	174
A.10	Estado de Pandeo CB-1	175
A.11	Base de CB-1 (ambas en iguales condiciones)	175
A.12	Consecuencia del Pandeo en Plataforma Niv.-14	175
A.13	Acumulación de RF sobre cercha	175
A.14	Estado de la cercha	176
A.15	Pandeo local, producto de choque de Maq. Pesada	176
A.16	Corrosión sobre CB-5 (1)	176
A.17	Corrosión sobre CB-5 (2)	176
A.18	Barandas en Plataforma	177
A.19	Carriles en Plataforma	177
A.20	Grating en Plataforma	177
A.21	Ubicación de Alimentadores Vibratorios (1)	178
A.22	Ubicación de Alimentadores Vibratorios (2)	178
A.23	Cono de Depresión (1)	178
A.24	Cono de Depresión (2)	178

A.25 Cono de Depresión (3)	179
A.26 Cono de Depresión (4)	179
A.27 Cono de Depresión (5)	179
A.28 Cono de Depresión (6)	179
A.29 Acumulación de RF sobre CB-1 (1)	180
A.30 Acumulación de RF sobre CB-1 (2)	180
A.31 Acumulación de RF sobre CB-1 (3)	180
A.32 Pandeo local producto de peso de la RF	180
A.33 Recolección de RF mediante Maq. Pesada (1)	181
A.34 Recolección de RF mediante Maq. Pesada (2)	181
A.35 Montaje de sistema de seguridad	181
A.36 Zapata de Fundaciones (Estructura Armada)	181
A.37 Construcción de Pedestal (Estructura Armada) [1]	182
A.38 Construcción de Pedestal (Estructura Armada) [2]	182
A.39 Viga HEA-360 (1)	182
A.40 Viga HEA-360 (2)	182
A.41 Viga HEA-360 (3)	183
A.42 Corte de Viga HEA-360	183
A.43 Soldado de plancha para juntas tubulares (1) y plancha refuerzo en unión de viga H (2)... [1]	183
A.44 Soldado de plancha para juntas tubulares (1) y plancha refuerzo en unión de viga H (2)... [2]	183
A.45 Soldado de plancha para juntas tubulares (1) y plancha refuerzo en unión de viga H (2)... [3]	183
A.46 Plancha de unión tubular y de refuerzo	183
A.47 Plancha de uniones tubulares a ser soldadas	184
A.48 Medio de sujeción para instalación de CB-1	184
A.49 Esmerilado para posterior soldado de plancha	184
A.50 Soldado de plancha	184
A.51 Corte de tuberías que formarán las cerchas	184
A.52 Forma de media luna de tuberías (1)	184

A.53	Forma de media luna de tuberías (2)	185
A.54	Protección de seguridad de nuevas fundaciones	185
A.55	Antigua fundación	185
A.56	Ubicación de funciones, sentido sur y norte	186
A.57	Nueva fundación sur (1)	186
A.58	Nueva fundación sur (2)	186
A.59	Nueva fundación sur (3)	186
A.60	Nueva fundación norte (1)	186
A.61	Nueva fundación norte (2)	186
A.62	Nueva fundación norte (3)	187
A.63	Vista de norte al sur de nueva CB-1, visualizando pandeo de antigua CB-1 [1]	187
A.64	Vista de norte al sur de nueva CB-1, visualizando pandeo de antigua CB-1 [2]	187
A.65	Vista de cerchas formadas por tubos de ϕ 6'' Sch. 40 [1]	188
A.66	Vista de cerchas formadas por tubos de ϕ 6'' Sch. 40 [2]	188
A.67	Vista lateral de cerchas [1]	188
A.68	Vista lateral de cerchas [2]	188
B.1	Formación del granel de almacenamiento de RF	190
B.2	Maquinaria Pesada empleada para la recolección de RF	192
B.3	Medidas supuestas en el cálculo de la carga por acumulación de RF	194
B.4	Distribución de presiones y fuerzas generadas por acumulación de RF	194
B.5	Vista Lateral de Estructura 40-ET-02	199
B.6	Vista frontal de estructura 40-ET-03	199
B.7	Perfil estructural H	200
C.1	Representación (elemento 1), en planos locales (xy) y (xy _a)	205
C.2	Representación (elemento 2), en planos locales (xy) y (xy _a)	208
C.3	Representación (elemento 3), en planos locales (xy) y (xy _a)	210
C.4	Representación (elemento 4), en planos locales (xy) y (xy _a)	212

C.5	Representación (elemento 5), en planos locales (xy) y (xy _a)	214
C.6	Representación (elemento 6), en planos locales (xy) y (xy _a)	216
C.7	Representación (elemento 7), en planos locales (xy) y (xy _a)	219
C.8	Representación (elemento 8), en planos locales (xy) y (xy _a)	221
C.9	Representación (elemento 9), en planos locales (xy) y (xy _a)	223
C.10	Representación (elemento 10), en planos locales (xy) y (xy _a)	225
C.11	Representación (elemento 11), en planos locales (xy) y (xy _a)	227
C.12	Representación (elemento 12), en planos locales (xy) y (xy _a)	229
C.13	Representación (elemento 13), en planos locales (xy) y (xy _a)	231
C.14	Representación (elemento 14), en planos locales (xy) y (xy _a)	234
C.15	Representación (elemento 15), en planos locales (xy) y (xy _a)	237
C.16	Representación (elemento 16), en planos locales (xy) y (xy _a)	239
C.17	Representación (elemento 17), en planos locales (xy) y (xy _a)	241
C.18	Representación (elemento 18), en planos locales (xy) y (xy _a)	243
C.19	Representación (elemento 19), en planos locales (xy) y (xy _a)	246
C.20	Representación (elemento 20), en planos locales (xy) y (xy _a)	249
C.21	Representación (elemento 21), en planos locales (xy) y (xy _a)	252
C.22	Representación (nodo 2), en planos locales (xy) y (xy _a)	255
C.23	Representación (nodo 3), en planos locales (xy) y (xy _a)	257
C.24	Representación (nodo 4), en planos locales (xy) y (xy _a)	259
C.25	Representación (nodo 5), en planos locales (xy) y (xy _a)	261
C.26	Representación (nodo 6), en planos locales (xy) y (xy _a)	263
C.27	Representación (nodo 7), en planos locales (xy) y (xy _a)	265
C.28	Representación (nodo 8), en planos locales (xy) y (xy _a)	267
C.29	Representación (nodo 9), en planos locales (xy) y (xy _a)	269
C.30	Representación (nodo 10), en planos locales (xy) y (xy _a)	271
C.31	Representación (nodo 11), en planos locales (xy) y (xy _a)	273
C.32	Representación (nodo 13), en planos locales (xy) y (xy _a)	275
C.33	Representación (nodo 14), en planos locales (xy) y (xy _a)	277

C.34	Fuerza axial en las diferentes variables de estado [Viga HEA-260]	285
C.35	Fuerza cortante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-260]	285
C.36	Momento flexionante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-260]	286
C.37	Desplazamiento en las diferentes variables de estado [Viga HEA-260]	286
C.38	Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) [Viga HEA-260]	287
C.39	Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante) [Viga HEA-260]	287
C.40	Chequeo del diseño por medio del código ASTM [Viga HEA-260]	288
C.41	Fuerza axial en las diferentes variables de estado [Viga HEA-320]	290
C.42	Fuerza cortante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-320]	290
C.43	Momento flexionante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-320]	291
C.44	Desplazamiento en las diferentes variables de estado [Viga HEA-320]	291
C.45	Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) [Viga HEA-320]	292
C.46	Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante) [Viga HEA-320]	292
C.47	Chequeo del diseño por medio del código ASTM [Viga HEA-320]	293
C.48	Fuerza axial en las diferentes variables de estado [Viga HEA-450]	295
C.49	Fuerza cortante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-450]	295
C.50	Momento flexionante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-450]	296
C.51	Desplazamiento en las diferentes variables de estado [Viga HEA-450]	296

C.52	Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) [Viga HEA-450]	297
C.53	Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante) [Viga HEA-450]	297
C.54	Chequeo del diseño por medio del código ASTM [Viga HEA-450]	298
D.1	Tipo de fundación elegida	300

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla:	Página
2.1 Factor K de fuerzas horizontales para edificios y otras estructuras	32
2.2 Puntuación asignada a las variables en función de la valoración obtenida	38
2.3 Tensiones por esfuerzo de corte permisible	78
2.4 Tensiones por esfuerzo de corte permisible y fuerzas en soldaduras	82
2.5 Resumen de fórmulas del método de estudio de soldadura	82
2.6 Tamaños mínimos de lado para soldaduras de chaflán	84
2.7 Esfuerzos permisibles para pernos	85
2.8 Estándares ASTM para aceros para fabricar pernos	86
2.9 Dimensiones American Standard de cuerdas, tamaños fraccionarios	86
2.10 Resistencia de suelos a la cohesión	95
3.1 Carga distribuida por estructura metálica en plataforma (Niv-14)	107
3.2 Carga distribuida por techo (Niv-17)	108
3.3 Carga distribuida por equipos y accesorios	109
3.4 Carga Distribuida por peso de roca fosfática	109
3.5 Carga puntual por equipos y accesorios en TNC	110
3.6 Carga puntual por apoyo de estructura 40-ET-02	110
3.7 Carga distribuida por viento	111
3.8 Carga sísmica	111
3.9 Resumen de cargas en estructura ET-03	112
3.10 Reacciones de las CB y TNC en la ET-03	113
3.11 Carga de impacto por maquinaria pesada	114
3.12 Carga producto de acumulación de roca fosfática sobre columna base	115
3.13 Cargas de nueva CB-1	115
3.14 Fuerzas de flexión sobre CB [1]	120

3.15	Tabla de resultados de alternativa # 1	121
3.16	Fuerzas de flexión sobre CB [2]	122
3.17	Tabla de resultados de alternativa # 2	123
3.18	Fuerzas de flexión sobre CB [3]	124
3.19	Tabla de resultados de alternativa # 3	125
3.20	Matriz de decisión de aspectos financieros	126
3.21	Matriz de decisión de alternativa a elegir	126
3.22	Datos de diseño de nuevas fundaciones	137
3.23	Datos de pedestal de la fundación ha ser construida	138
3.24	Datos de la base de la fundación ha ser construida	138
3.25	Estudio de factibilidad económica del proyecto	139
3.26	Procedimiento de soldadura	141
3.27	Almacenamiento y manejo de materiales para soldaduras	142
3.28	Especificaciones para aplicación de pinturas	145
B.1	Propiedades del aire a presión atmosférica en unidades del SI	191
B.2	Propiedades del aire a presión atmosférica en unidades inglesas ..	191
B.3	Especificaciones detalladas de la maquinaria pesada	192
B.4	Dimensiones de tuberías de acero	195
B.5	Propiedades de la tubería ϕ 6 Sch. 40	196
B.6	Hoja de datos de estructura 40-ET-02	197
B.7	Hoja de datos de estructura 40-ET-03	198
B.8	Dimensiones y propiedades de viga H 500 HEA para el diseño ...	200
B.9	Propiedades químicas y mecánica de ASTM A-36	201
B.10	Propiedades químicas y mecánica de ASTM A-106 Gr. B	202
B.11	Propiedades químicas y mecánica de AISI 1020	202
C.1	Codificación de la fuerza axial en las diferentes variables de estado	279
C.2	Codificación de la fuerza cortante en las diferentes variables de estado	281
C.3	Codificación del momento flexionante en las diferentes variables de estado	282

C.4	Codificación del desplazamiento neto en las diferentes variables de estado	283
D.1	Selección de columna de ejemplo de diseño de fundaciones	301
D.2	Selección de base de ejemplo de diseño de fundaciones	302
D.3	Selección de columna del diseño de fundación para CB-1	303
D.4	Selección de base del diseño de fundación para CB-1	304

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

<i>Abreviatura</i>	<i>Significado</i>
AISC	American Institute of Steel Construction
AISC-LRFD93	AISC-Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings
ANSI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
A_{trans}	Área de sección transversal
AWS	American Welding Society
CB	Columna Base de la estructura soporte de roca fosfática
CB-1	1 ^a Columna Base de oeste a este que sustenta la estructura soporte de roca fosfática
CB-2	2 ^a Columna Base de oeste a este que sustenta la estructura soporte de roca fosfática
CB-3	3 ^a Columna Base de oeste a este que sustenta la estructura soporte de roca fosfática
CB-4	4 ^a Columna Base de oeste a este que sustenta la estructura soporte de roca fosfática
CB-5	5 ^a Columna Base de oeste a este que sustenta la estructura soporte de roca fosfática
CB-6	6 ^a . Columna Base de oeste a este que sustenta la estructura soporte de roca fosfática
CB-7	7 ^a Columna Base de oeste a este que sustenta la estructura soporte de roca fosfática
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales
CPM	Critical Path Method (Método del Camino Crítico)
DE	Diámetro externo
DI	Diámetro interno

Ec	Ecuación
Edo.	Estado
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
Instalación 369	Planta donde se realiza el secado de roca fosfática
Instalación 350A	Planta de molienda de roca fosfática
Instalación 370A	Planta de producción de ácido fosfórico
m.s.n.m.	Metros Sobre el Nivel del Mar
Maq.	Máquina
MP	Maquinaria Pesada
NBC	National Building Code
Niv.	Nivel
NPK	Fertilizante basado en una composición determinada de Nitrógeno, Fósforo y Potasio
P ₂ O ₅	Pentóxido de difósforo, contenido en la roca fosfática
PDVSA	Petróleos de Venezuela
PEQUIVEN	Petroquímica de Venezuela
PERT	Program Evaluation and Review Technique (Técnica de Evaluación y Revisión de Programas)
RF	Roca Fosfática
RPA	Roca Parcialmente Acidulada
S	Módulo elástico de la sección
Sch.	Schedule
Sección 01	Recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática
Sección 02	Secado de la roca
Sección 03	Molienda de la roca
Sección 04	Reacción
Sección 05	Filtración
Sección 06	Evaporación del ácido fosfórico

Sección 07	Clarificación y almacenaje del ácido fosfórico
Sección 08	Disposición del agua y yeso
SI	Sistema Internacional
SRARR	Sección de Recepción, Almacenamiento y Reclamo de la Roca
TMH	Toneladas Métricas por Hora
UBC	Uniform Building Code

Abreviaturas de Numeración

40-SI-01A	1ª tolva de oeste a este receptora de flujo de roca fosfática proveniente de los vagones ferroviarios o de las palas mecánicas del complejo, la cual descarga a la cinta 40-ET-01A
40-SI-01B	2ª tolva de oeste a este receptora de flujo de roca fosfática proveniente de los vagones ferroviarios o de las palas mecánicas del complejo, la cual descarga a la cinta 40-ET-01B
40-SI-02A	3ª tolva de oeste a este receptora de flujo de roca fosfática proveniente de los vagones ferroviarios o de las palas mecánicas del complejo, la cual descarga a la cinta 40-ET-02A
40-SI-02B	4ª tolva de oeste a este receptora de flujo de roca fosfática proveniente de los vagones ferroviarios o de las palas mecánicas del complejo, la cual descarga a la cinta 40-ET-02B
40-ET-01	Cinta transportadora receptora de flujo de roca fosfática de 40-ET-01A/ 01B/02A/02B. Capacidad 1.000 TMH
40-ET-01A	Cinta transportadora de flujo de roca fosfática de la tolva 40-SI-01A. Esta descarga a la cinta 40-ET-01. Capacidad 250 TMH

40-ET-01B	Cinta transportadora de flujo de roca fosfática de la tolva 40-SI-01B. Esta descarga a la cinta 40-ET-01. Capacidad 250 TMH
40-ET-02	Cinta transportadora receptora de flujo de roca fosfática de 40-ET-01. Capacidad 1.000 TMH
40-ET-02A	Cinta transportadora de flujo de roca fosfática de la tolva 40-SI-02A. Esta descarga a la cinta 40-ET-01. Capacidad 250 TMH
40-ET-02B	Cinta transportadora de flujo de roca fosfática de la tolva 40-SI-02B. Esta descarga a la cinta 40-ET-01. Capacidad 250 TMH
40-ET-03	Cinta transportadora de doble sentido receptora de flujo de roca fosfática de 40-ET-02. Capacidad 1.000 TMH
40-ET-04	Cinta transportadora, receptora de flujo de roca fosfática proveniente de la pila de almacenamiento que forma la cinta 40-ET-03. Capacidad 250 TMH

Cárdenas G., Leonardo

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COLUMNA BASE
PARA LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DE MATERIAL
DE ROCA FOSFÁTICA PARA LA PLANTA
DE ÁCIDO FOSFÓRICO**

Tutor Académico: Prof. Cadenas, Pedro. Tutor Industrial: Ing. Carpio, Julio
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela
de Ingeniería Mecánica. 2004. 392 pág.

Palabras Claves: Columna Base, Construcción, Diseño, Planta, Ácido Fosfórico.

Resumen: En el presente trabajo especial de grado se diseña y construye una columna base para la estructura de soporte de material de roca fosfática para una planta de ácido fosfórico, para ello se ejecuta la planificación del proyecto; el diagnóstico mediante el estudio causa-raíz que proporcione las causas que originaron el pandeo de la columna base a ser sustituida; el análisis de cargas presentes por peso propio de la estructura, posibles terremotos, viento, carga de impacto por maquinaria pesada y el efectos por acumulación de roca fosfática; la selección de la columna base ha ser diseñada por medio de la técnica matriz de decisión; el modelo matemático de simulación de la nueva columna base bajo condiciones iniciales y circunstancias operacionales propuestas con la ayuda de un software computacional (MATLAB®), chequeando el diseño por los códigos AISC-LRFD93 y ASTM; el diseño de la nueva fundación; y por último las instrucciones de excavación del terreno, construcción de la nueva fundación, proceso de soldadura de los elementos estructurales, montaje, instalación y pintado de la nueva columna base.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Para la producción de ácido fosfórico a partir del proceso dihidratado en el Complejo Petroquímico Morón, se requiere de grandes cantidades de roca fosfática (RF) proveniente de las minas de Riecito, Edo. Falcón. Dichos volúmenes de RF son transportados mediante un sistema ferroviario que conecta tales minas con el complejo. Mediante un conjunto de cintas transportadoras, se lleva la mencionada RF a una estructura de acero de 14 metros sobre la superficie; y por medio de una cinta deslizable (40-ET-03) se distribuye a lo largo de la misma en caída libre, formando conos de almacenamiento.

La estructura muestra un grave pandeo en sus columnas bases, principalmente la CB-1 (Véase Figuras de la A.10 a la A.15), ésta se ha ido incrementando con el tiempo; lo que ha provocado una inestabilidad en la estructura, que puede llegar a inducir su colapso. Esto implicaría la parada de la planta de ácido fosfórico y con ella la subsecuente paralización de otras plantas que dependen directamente de ésta, como lo son: la planta de NPK, RPA y ácido sulfúrico, es decir, las pertenecientes a la sección de fosfatado. En consecuencia, esto produciría incalculables pérdidas económicas a la empresa y el desabastecimiento de dichos fertilizantes al mercado. Es por ello que resulta imperioso el implemento de un correctivo que evite dicha situación.

El autor de este trabajo especial de grado, tiene como objetivo: diseñar y construir una columna base (CB-1) para la estructura de soporte de material de roca fosfática para la planta de ácido fosfórico; a fin de solventar la problemática expuesta.

Este trabajo ha sido dividido en tres grandes partes. En la primera parte, se plantea la descripción del problema de investigación; motivación; antecedentes; objetivos; y alcances del trabajo. En la segunda, se desarrolla el marco teórico que fundamenta la

tercera parte, formada por la orientación metodológica donde se ejecuta la planificación del proyecto; el diagnóstico mediante el estudio causa-raíz que proporcione las causas que originaron el pandeo; el análisis de cargas presentes por peso propio de la estructura, posibles terremotos, viento, carga de impacto por MP y el efectos por acumulación de RF; la selección de la CB ha ser diseñada por medio de la técnica matriz de decisión; el modelo matemático de simulación de la nueva CB bajo condiciones iniciales y circunstancias operacionales propuestas con la ayuda de un software computacional (MATLAB®), chequeando el diseño por los códigos AISC-LRFD93 y ASTM; el diseño de la nueva fundación; y por último las instrucciones de excavación del terreno, construcción de la nueva fundación, proceso de soldadura de los elementos estructurales, montaje, instalación y pintado de la nueva CB.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

La planta de ácido fosfórico del Complejo Petroquímico Morón, formada por un conjunto de secciones, siendo una de estas la sección 01 perteneciente a la recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, conformada por una serie de cintas transportadoras, tolvas y estructuras que hacen posible recibir desde los vagones de los trenes u otro medio la roca fosfática, para ser almacenada en un sistema de granel al aire libre, para su posterior reclamo por parte de la sección de secado para así poder producir el ácido fosfórico que posteriormente será empleado como materia prima para la producción de fertilizantes NPK y RPA.

La problemática que actualmente presenta dicha sección es que la estructura metálica que soporta la cinta transportadora 40-ET-03 de 14 metros de altura, 150 metros de largo y 3 metros de ancho, formada por 6 Columnas Base (CB) y 1 TNC (Véase figuras A.1 y A.2), presenta graves signos de pandeo en su CB-1 y moderada en las otras, lo cual puede provocar la inestabilidad de la estructura y llegar a su colapso. La Gerencia previendo esta situación ha decidido, la sustitución de la actual CB-1, por un nuevo diseño funcional, seguro, confiable, de fácil fabricación, estandarizado y económico. Y que además no se tenga que recurrir a la paralización del proceso de producción de H_3PO_4 , durante su instalación:

- *Funcional.* La estructura deberá ser capaz de soportar todos los esfuerzos que se produzcan en su tiempo de servicio, sin la formación de deflexiones máximas a la permitida por la ASTM.
- *Seguridad.* La estructura no debe ser peligrosa para los operadores que allí elaboran y en general para todo personal que pueda estar en dichas instalaciones.
- *Confiable.* La estructura debe cumplir con los estándares de diseño estipulados en forma satisfactoria, durante su lapso de vida.
- *Economía.* El proceso de diseño debe ejecutarse con el menor costo posible, sin poner en riesgo los estándares de diseño.

- *Facilidad de fabricar.* Se debe escoger la metodología de fabricación de la nueva columna con la mayor simplicidad a favor de la economía del proyecto.
- *Estandarizada.* El diseño debe cumplir con los estándares internacionales (ASTM, ASME, AISC, AWS, etc.), nacionales (COVENIN) e internos de la empresa (PDVSA, INTEVEP, PEQUIVEN).

1.2 Motivación

La inestabilidad de la estructura puede provocar su colapso; esto implicaría la parada de la planta de ácido fosfórico y con ello la subsiguiente paralización de otras plantas que dependen directamente de ésta, como lo son: la planta de NPK, RPA y H_2SO_4 . En consecuencia, esto produciría incalculables pérdidas económicas a la empresa y el desabastecimiento de fertilizantes en el mercado nacional, debido a que su producción representa el 60% de lo requerido por el mercado interno.

Desde el punto de vista personal, la ejecución del presente trabajo especial de grado posee una gran importancia para mi formación profesional, ya que me permitiría tener una experiencia profesional en el mercado laboral, además de poder aplicar los conocimientos adquiridos en mi formación académica para la solución de un proyecto de ingeniería real en el Complejo.

La importancia de esta trabajo para la Escuela de Ingeniería Mecánica es la de poder demostrar, mediante la ejecución de mi trabajo, que los alumnos de la presente institución, poseen gran capacidad para asumir retos y llevarlos a fin término, lo que podría garantizar futuros cupos para la Escuela en la realización de pasantías, trabajo especial de grado y contrataciones para los estudiantes y egresados respectivamente.

1.3 Antecedentes

La planta de ácido fosfórico en el Complejo Petroquímico Morón fue instalada en el año de 1963 a cargo del Instituto Venezolano Petroquímico (IVP), su producción se basó en el proceso húmedo patentado por Dorr-Oliver. Los trabajos de diseño e instalación fueron realizados por la compañía norteamericana Panamerican Service, Inc. La instalación 369, que actualmente conforma la sección 01 y 02 no fue construida para ese entonces, ya que el P_2O_5 lo absorbían directamente en forma líquida mediante productos importados o los originados en los procesos de refinación del petróleo nacional. La instalación 369 fue creada en el año de 1989 por medio de una licitación, entregada a la empresa INELECTRA S.A. para que se encargase de su diseño e instalación con la finalidad de aprovechar los yacimientos de roca fosfática, ubicados en las minas de Riecito, Edo. Falcón, a 100 Km del Complejo, el cual sería transportado mediante una vía ferroviaria. Especialmente la construcción de la sección 01 fue iniciada a mediados de 1990 y culminada a finales de 1991. Formada por equipos transportadores GLEASON. La cinta transportadora deslizante 40-ET-03, fue ubicada sobre una estructura metálica de 150 m de largo, 14 m de alto y 3 m de ancho, conformada por 6 CB y 1 TNC, cuyas columnas estaban construidas por perfiles Properca 240.

Los criterios de diseño empleados fueron realizados en cuenta la ausencia de existencia de significativos gradientes de presión provenientes de la presión que la roca fosfática ejerce sobre la estructura por acumulación de la roca fosfática (Véase figura A.30), ya que se supuso que en todo momento el granel de almacenamiento sería uniforme a lo largo de toda la estructura (Véase figura B.1), situación no lograda en la realidad por el inadecuado proceso operacional de la planta (Véase figuras de la A.30 a la A.35).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar y construir una columna base para la estructura de soporte de material de roca fosfática para la planta de ácido fosfórico.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Efectuar un diagnóstico de la situación actual de la estructura soporte de la cinta deslizable 40-ET-03.
- Determinar las cargas axiales y de flexión bajo las cuales esta sometida la estructura en servicio.
- Formular un modelo matemático que simule las condiciones operacionales actuales de la columna base.
- Situar las causas que motivaron el pandeo de la columna base.
- Diseñar la nueva columna base en función de las condiciones operacionales actuales.
- Formular un modelo matemático que simule las condiciones operacionales del nuevo diseño de la columna base.
- Diseñar la fundación que sustentará la nueva columna base.
- Obtener un estudio de factibilidad económica de la construcción de la nueva columna base.
- Establecer las instrucciones de excavación del terreno, construcción de la nueva fundación, proceso de soldadura de los elementos estructurales, montaje, instalación y pintado de la nueva columna base.
- Dirigir a la cuadrilla de civil, de soldadura y pintura para ejecutar la construcción de la nueva columna base.

1.5 Alcance

Los alcances que se proponen son los siguientes:

- Contar con un modelo matemático de las cargas axiales bajo las cuales se encuentra la estructura soporte 40-ET-03, mediante un análisis de su peso muerto y otras variables de operación.
- Tener un modelo matemático de las cargas de flexión bajo las cuales se encuentra la estructura soporte 40-ET-03, por medio de un estudio operacional en dicha zona.
- Determinar las condiciones de diseño que no fueron tomadas en cuenta en la construcción de la actual estructura soporte en función de los modelos matemáticos obtenidos y de la memoria de cálculos proporcionados por INELECTRA S.A..
- Conocer las causas que originaron el pandeo de las columnas base, en función de las consideraciones de diseño y de la metodología operacional.
- Determinar la posibilidad de eliminar o en su defecto disminuir la influencia de los factores que producen el pandeo.
- Contar con un estudio de factibilidad económica, donde se incluya los recursos internos y los externos que se requieren para la construcción de la obra.
- Obtener una nueva columna base que cumpla con los requerimientos operacionales actuales y que sea económica su construcción.
- Contar con un modelo matemático, que simule las condiciones operacionales del nuevo diseño que sustituirá la actual CB-1, para demostrar su confiabilidad.
- Elaborar el plano de las nuevas fundaciones con la ayuda del programa AutoCad.
- Elaborar las instrucciones de excavación del terreno, construcción de las nuevas fundaciones, soldadura, montaje, instalación y pintado de la nueva CB-1, con la ayuda de las normativas internas (PDVSA, INTEVEP, PEQUIVEN), nacionales (COVENIN) e internacionales (ASTM, ASME, AISC, AWS, etc.).

- Ejecutar la construcción de la nueva CB-1, tal que esta cumpla con los estándares de diseño y su fabricación resulte fácil y económica.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Consideraciones Generales

Una vez definido el planteamiento del problema y precisado sus objetivos generales y específicos que determinan los fines de la investigación, es necesario establecer los aspectos teóricos que sustentarán el estudio en cuestión. En consecuencia, dentro del marco teórico se muestran las bases de las diversas teorías y conceptos relativos a la mecánica de sólidos, que orienten el análisis estructural del presente estudio. Resulta evidente, que ante cada problema de investigación ya se poseen referentes teóricos y conceptuales, así como informaciones, aun cuando estas sean difusas o sistemáticas, cuyo propósito es dar al estudio un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan integrar el problema a un ámbito donde este cobre sentido.

Teniendo en cuenta, estas consideraciones y el esencial carácter teórico práctico del proceso de conocimientos, el cometido que cumplirá el marco teórico en esta investigación, es exactamente, situar al problema objeto de estudio dentro de un conjunto de conocimientos, lo más sólido posible, a fin de orientar la búsqueda y ofrecer una conceptualización adecuada de los términos utilizados, pudiendo ser manejado y convertidos en acciones concretas. A tal fin, será necesario delimitar los parámetros conceptuales que sustentarán y complementarán el estudio; implicando esto, la inclusión de todos los elementos teóricos ya conocidos y valorados, como los nuevos y confiables, que servirán de apoyo a elementos implicados en la búsqueda investigativa.

En este escenario, en el marco teórico, se presenta el esquema operacional de la planta de ácido fosfórico; en segundo término, orientada a la investigación de las causas del pandeo de la actual columna base 1, se presenta la teoría de análisis causa raíz, haciendo referencia a la definición de “Análisis Causa Raíz” y su importancia; la descripción de las técnicas de investigación; así como la explicación de las etapas de la investigación.

En este orden de ideas, se introduce el análisis de cargas, la cual consta de un conjunto de hipótesis y desarrollos, orientados a la consolidación de una teoría adecuada acerca del comportamiento de las cargas externas que se solicitarán en la columna base. En cuarto lugar, se presenta la técnica matriz de decisión, con el objetivo de ostentar una herramienta que permita elegir una columna base óptima de un universo de opciones.

Del mismo modo, se referirán teorías de la mecánica de sólidos que permitan relacionar las cargas de diseño aplicadas a los elementos estructurales de la columna base para así conseguir las deformaciones y fuerzas internas que actuarán dentro de ellas. Aplicando métodos de obtención de: fuerza axial; desplazamiento longitudinal producto de carga axial y de esfuerzo térmico; fuerza cortante; momento flexionante; pendiente de la curva elástica; y el desplazamiento transversal producto de carga transversal.

Por otra parte, aprovechando los avances de la tecnología en herramientas de computación y de los conocimientos de álgebra lineal, se unificarán ambas herramientas para formar matrices que permitan la resolución de complejos miembros flexocomprimidos, los cuales conformarán pórticos. Por tanto se establecerán un ordenamiento matricial que relacione los elementos que conforman al pórtico y que incluyan las teorías de la mecánica de sólidos.

Luego se introducirá la teoría de ensambles soldados y atornillados para así determinar las soldaduras requeridas y los pernos de anclaje necesarios para sustentar la nueva CB-1. Posteriormente se introducirá el código AISC-LRFD93 y ASTM en deflexiones para determinar si el diseño de la nueva columna base es seguro y confiable desde el punto de vista técnico. Por último se establece los fundamentos teóricos del diseño de fundaciones, para así poder determinar la nueva fundación ha ser construida.

2.2 Esquema Operacional de la Planta de Ácido Fosfórico

2.2.1 Generalidades

El ácido fosfórico es un intermediario químico ampliamente utilizado en la industria de los fertilizantes fosfatados como vehículo portador de fósforo soluble. La totalidad del H_3PO_4 producidos a escala mundial, en niveles comerciales significativos, se obtiene a partir de roca fosfática a través de dos rutas básicas de producción (Jacobs, 1996):

- ☉ *Vía Térmica:* Este proceso involucra la reducción del mineral fosfático en un horno eléctrico a altas temperaturas, utilizando coque como agente reductor.
- ☉ *Vía Húmeda:* El ácido fosfórico es producido por la acción y ataque de un ácido inorgánico más fuerte que el fosfórico sobre la roca fosfática, produciéndose de esta manera ácido fosfórico y sal de calcio del ácido inorgánico usado, más sales de algunos metales y no metales contenidos en la roca. De los ácidos que pueden ser utilizados, destacan por su potencial comercial: Ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido clorhídrico.

En este sentido, el ácido sulfúrico es el ácido inorgánico preferido y más utilizado por su disponibilidad y costo. Produce en la reacción sulfato de calcio el cual es insoluble en el medio y, por ende, puede ser separado por filtración y ocasiona menores problemas de corrosión. El sulfato puede ser precipitado como una sal dihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a la cual se hace referencia comúnmente con el nombre de yeso, hemihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) o anhidra (CaSO_4).

Los principales objetivos en cualquier proceso comercial de H_3PO_4 deben ser los siguientes:

- Extraer la máxima cantidad de P_2O_5 de la roca fosfática.

- Precipitar cristales de sulfato de calcio rápidamente filtrables y fácilmente lavables.
- Producir un ácido fosfórico con el mayor contenido posible de P_2O_5 .
- Reducir al mínimo los costos de mantenimiento y operación.
- Operar la planta de una manera segura y limpia, sin producir contaminación al ambiente.

Otro punto importante en la producción de ácido fosfórico es el uso del agua. En general, en las plantas de fertilizantes fosfatados el agua tiene gran variedad de uso (enfriamiento, lavado, dilución, fluidización, condensación, etc.).

La economía del proceso requiere que esta agua se utilice de manera efectiva y se recicle siempre y cuando sea posible, especialmente en aquellas localidades donde es escasa y costosa. Adicionalmente, los procesos de tratamiento de agua brindan la opción de recuperar componentes químicos importantes al proceso y que pueden ser causa de contaminación ambiental (Becker, 1989).

2.2.2 Descripción del Proceso de Producción en la Planta de Ácido Fosfórico

La planta de ácido fosfórico del complejo Morón de Petroquímica de Venezuela (PEQUIVEN) se produce mediante la reacción entre roca fosfática, proveniente de las minas de Riecito, Edo. Falcón, y ácido sulfúrico, generándose además de esta reacción, una serie de subproductos, siendo los de mayor importancia el yeso insoluble, compuestos fluorados volátiles y dióxido de carbono.

Una vez completa la reacción y la cristalización del yeso, los compuestos líquidos, sólidos y gaseosos se separan y la solución de ácido fosfórico se envía a un sistema de evaporación donde es llevada a la concentración requerida. Los sólidos remanentes son separados de la solución y el ácido bajo especificaciones se envía a los tanques de

almacenamiento. El yeso insoluble generado, va a un sistema de disposición adecuado para tal fin, donde se mantendrá sin afectar las áreas vecinas.

La producción de ácido fosfórico se lleva a cabo de acuerdo al proceso húmedo dihidratado correspondiente a la licencia de producción de la empresa norteamericana Dorr-Oliver con las mejoras y modificaciones desarrolladas por la compañía norteamericana de Ingeniería Panamerican Service, Inc. El proceso comprende en ocho etapas, distribuidas en las siguientes tres instalaciones (PEQUIVEN, 1990):

1. Instalación 369 (Planta de secado de roca fosfática):
 - 1.1 Sección de Recepción, Almacenamiento y Reclamo de la Roca
 - 1.2 Sección de Secado de la Roca

2. Instalación 350.A (Planta de molienda de roca fosfática):
 - 2.1 Sección de Molienda de la Roca

3. Instalación 370A (Planta de producción de ácido fosfórico):
 - 3.1 Sección de Reacción
 - 3.2 Sección de Filtración
 - 3.3 Sección de Evaporación del Ácido Fosfórico
 - 3.4 Sección de Clarificación y Almacenaje del Ácido Fosfórico
 - 3.5 Sección de Disposición del Agua y Yeso

2.2.2.1 Sección de Recepción, Almacenamiento y Reclamo de la Roca (SRARR)

En la presente sección se ejecutará el trabajo especial de grado, específicamente en la estructura 40-ET-03, a continuación, se indican los equipos que la conforman, para así contextualizar la importancia de la estructura mencionada.

Los equipos y accesorios para manejo de roca fosfática a granel en el área del Complejo Petroquímico de Morón son suministrados por GLEASON & CIA., S.A. están dirigidos al transporte, distribución y almacenamiento de roca fosfática con densidad de 15.700 N/m^3 (1.602 Kg/m^3) a una rata estimada entre 250 TMH y 1.000 TMH y con una granulometría $\leq 6.35 \text{ mm}$ ($1/4''$) bajo condiciones ambientales severas, corrosivas y variables (PEQUIVEN, 1990).

Las condiciones ambientales, tomadas para el diseño son:

Elevación	5 m.s.n.m.
Δ Temp. Amb.	(24 – 31) C
Veloc. Prom. Viento	30 m/s
Zona de terremoto	4
Presión atmosférica	101,3 Kpa

En resumen, los equipos para transporte de roca fosfática, suministrados por GLEASON y componentes de esta sección son:

1. Transportadores 40-ET-01A, 01B, 02A y 02B.
2. Transportador 40-ET-01.
3. Transportador 40-ET-02.
4. Transportador 40-ET-03.
5. Transportador 40-ET-04.

2.2.2.1.1 Transportadores 40-ET-01A, 01B, 02A y 02B

Estos transportadores reciben el flujo procedente de las tolvas 40-SI-01A, 01B, 02A y 02B y los transfieren en caída libre sobre la banda del transportador 40-ET-01. Su capacidad instalada es de 250 TMH, por transportador, con un ancho de banda de 1,07 m (42"). Y un largo relativo medido en la posición más recogida del tensor, de

7,2 m entre centros de poleas. Su posición presenta una inclinación de 11° con respecto a la horizontal. La potencia es de 8,95 KW (12 HP) y la velocidad lineal de 0,41 m/s (80 ft/min).

2.2.2.1.2 Transportador 40-ET-01

El transportador 40-ET-01, es receptor de flujo múltiple desde los transportadores 40-ET-01A, 01B, 02A y 02B, con transferencia al transportador 40-ET-02. Este transportador tiene una capacidad instalada de 1.000 TMH y se encuentra en un plano horizontal con ligera inclinación de $1,5^\circ$ en el cabezal motriz. El largo entre ejes es de 23 m y el ancho de banda es de 1,07 m (42”).

2.2.2.1.3 Transportador 40-ET-02

El transportador 40-ET-02, es receptor de flujo desde el transportador 40-ET-01 y lo transfiere al transportador reversible 40-ET-03. Tiene una capacidad de 1.000 TMH a velocidad de 2,03 m/s (400 ft/min), con un ancho de banda de 1,07 m (42”). Este transportador presenta una inclinación de 18° con respecto a la horizontal. El largo total es de 69 m entre centros de poleas (Véase figura B.5).

2.2.2.1.4 Transportador 40-ET-03

El transportador 40-ET-03 es un transportador especial de flujo en dos direcciones, recibe flujo del transportador 40-ET-02 a una tasa de 1.000 TMH capacidad que debe distribuir a lo largo de 120 m en caída libre a una altura máxima de 14 m sobre la pila central de almacenamiento. Tiene un largo de 58,4 m medidos centro a centro de poleas con un ancho de banda de 1,07 m (42”). Este transportador es completamente horizontal y se desplaza sobre rieles ubicados en la galería metálica que sirve de apoyo al mismo. En su desplazamiento recorre unos 120 m para distribuir

equitativamente producto sobre el área establecida para almacenamiento a granel (Véase figuras B.1 y B.6).

2.2.2.1.5 Transportador 40-ET-04

El transportador 40-ET-04, es receptor de flujo procedente de la pila central de almacenamiento, a través de veinte alimentadores vibratorios ubicados a lo largo del transportador, a una capacidad máxima de 250 TMH y una velocidad de 1,52 m/s (300 ft/min). Tiene un ancho de banda de 0,61 m (24"). Y un largo de 162 m, presentando un tramo curvo con un radio de 200 m.

2.2.2.2 Esquema Operacional de la SRARR

El objetivo de los equipos básicamente esta destinado a la recepción de roca fosfática procedente de cuatro tolvas acumuladoras de material con descarga libre a cuatro transportadores: 40-ET-01A, 01B, 02A y 02B, los cuales captan y distribuyen 250 TMH cada uno, al transportador 40-ET-01, este; a su vez transfiere unas 1.000 TMH a los equipos 40-ET-02 y 40-ET-03 ubicados en secuencia, con descarga posterior en caída libre a una pila de almacenamiento central a la intemperie; completándose posteriormente la distribución a través de alimentadores vibratorios al transportador 40-ET-04, que a su vez entrega el material al proceso de secado ubicado propiamente en el Complejo Petroquímico.

2.3 Principios de Planificación de Proyectos

2.3.1 Definición de Planificación

La planificación, es el proceso que permite racionalizar la toma de decisiones, y está dirigido a definir las operaciones, convirtiendo las estrategias en acciones específicas, utilizando para ello diversas técnicas de pronóstico y programación, requiriendo un planteamiento sistemático para que sea eficaz.

Una planificación para que sea efectiva, tiene que cumplir con cuatro condiciones básicas; la primera es que tiene que ser sistemática; la segunda es que debe estar proyectada a futuro; la tercera es el límite en el tiempo, y la cuarta es la relación costo beneficio que guarda con el fin que se desea alcanzar (Dolande, 2r002).

2.3.2 Principios de la Planificación

La planificación debe cumplir tres principios básicos:

1. *Principio del compromiso.* La planificación debe ser definida en un tiempo, fijando una fecha de inicio, ejecución y finalización de las actividades.
2. *Principio de la flexibilidad.* Los planes deben tener la suficiente flexibilidad, para poder tomar rumbos diferentes de los iniciales previstos, cuando las circunstancias lo exijan.
3. *Principio del factor límite.* La objetividad debe prevalecer ante la ilusión o el optimismo desmedido, al tener que escoger entre varias alternativas o cursos de acción, para lograr un objetivo, siendo la búsqueda del factor límite de la planeación permanente.

2.3.3 La Planeación y sus Procesos

El inicio de cualquier plan, es la apreciación inicial de un logro deseado, y asumir la determinación de alcanzarlo. La planeación es autónoma en sí, además de estar regida por unos principios, existen unos pasos generales a seguir en cualquier circunstancia, los cuales exponemos a continuación:

1. *Fijar metas.* Una meta es un logro específico, medible y cuantificable, que debe ser alcanzado dentro de un tiempo determinado y con un costo determinado.
2. *Definir los objetivos.* El objetivo en un proceso de planificación lo podemos definir, como el logro final hacia donde se dirigen todos los esfuerzos de un grupo, enfocados por un plan. El establecimiento de un objetivo ó de objetivos, es el primer paso que se debe dar en el proceso de planeación.
3. *Establecimiento de premisas.* Toda planeación, es una acción proactiva de situaciones futuras, y por tanto debe anticiparse en un horizonte de tiempo y espacio.
4. *Escoger las alternativas.* Es la acción dirigida a la selección de las distintas opciones, y es donde entran en acción los dos puntos anteriores, con los principios de la planeación.
5. *Valoración de las alternativas.* Es el desarrollo, donde son evaluadas, las opciones escogidas, y donde se deben analizar las relaciones costo beneficio, que cada alternativa supone.
6. *Definición del camino.* Cumplido con todos los pasos anteriores, se disponen las alternativas y se implementa el plan.

2.3.4 Procedimientos Básicos para Formular un Plan de Acción

Para formular un plan de acción, se debe tener en cuenta un conjunto de acciones, que deben ser ejecutadas con la siguiente ordenación:

1. Escoja metas.
2. Enlistar los procedimientos clave para alcanzar la meta.
3. Detalle los resultados o consecuencias deseadas.
4. Contraste las metas con los procedimientos y los resultados esperados.
5. Ordenar los procedimientos de acuerdo con la secuencia en que se realizan.
6. Determine los recursos necesarios.
7. Indique todo un esquema de distribución de tiempo.
8. Señale las fechas para la realización de los procedimientos y logros de las metas.

2.3.5 Métodos de Planificación

En el pasado, la planeación de proyecto, se realizaba con muy poca planeación. En la actualidad, existen sistemas ideográficos, que tienen tantas ventajas, en cuanto a claridad, facilidad de operación y seguridad de la información, que prácticamente son los únicos sistemas que se utilizan, como insustituibles auxiliares para la Planificación, Programación e Impulsión (Balestrini, 2001). Los sistemas más utilizados son:

1. Método de Gantt.
2. Método de Ruta Crítica (CPM).
3. Técnica de Evaluación y Revisión de Proyectos (PERT).

Estas técnicas de planificación se basan en una red de actividades, establecidas en una determinada secuencia, para definir e integrar acciones que deben realizarse oportunamente, asegurando así el desarrollo del proyecto en forma que no consuma ni más tiempo ni más dinero de lo programado. Para la realización de estos métodos se utilizará el software Microsoft Projects ®.

Estos métodos aportan los elementos necesarios para formar el método del camino crítico actual, también llamado Técnica de Programación de Proyectos, o simplemente PERT-CPM. Utiliza el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

2.3.5.1 Fases Básicas del PERT-CPM

Las fases que corresponde al método PERT-CPM son:

1. *Planeación.* En esta fase se estudia los diferentes trabajos en detalle (estimaciones de tiempo, diagrama de flechas), sugiriendo mejoras antes de que el proyecto se ejecute.
2. *Programación.* En esta fase está relacionada con la construcción del diagrama de precedencias, es decir, tiempos de iniciación y terminación para cada actividad, así como la relación con otras actividades del proyecto. Además, se puntualizan las actividades críticas (en función del tiempo) que requieren especial atención.
3. *Control.* En esta fase se combina el uso del diagrama de flechas y el diagrama de precedencias para hacer reportes periódicos del proyecto.

2.3.5.2 Beneficios del PERT-CPM

La programación de un proyecto, a través del empleo del PERT-CPM, ofrece los siguientes beneficios:

1. Facilita bases serias para planear un proyecto, en forma:
 - a. Segura;
 - b. Ordenada;
 - c. Completa;
 - d. Lógica;
 - e. Consistente.
2. Determinación de la duración y costo de un proyecto.
3. Suministra un diagrama claro sobre el objetivo de un proyecto, que puede ser fácilmente leído y entendido.
4. Presenta un medio o un procedimiento para evaluar alternativas y objetivos.
5. Tiende a evitar omisiones de trabajo que en forma natural pertenecen al proyecto.
6. Muestra la interconexión entre los trabajos, los puntos clave del mismo y las responsabilidades de los diferentes grupos o departamentos involucrados.
7. Es un sistema excelente para el entrenamiento del personal.
8. Permite conocer el margen disponible para la realización de algunas actividades.
9. Visualización de fallas antes de que ocurran.
10. Es una ayuda eficaz para realizar los diseños.

2.4 Técnica de Análisis Causa-Raíz

Esta técnica fue concebida por la empresa (PEQUIVEN, 1998) con el fin de determinar las investigaciones de accidentes antes y después que ocurran, el cual busca en el comportamiento humano y de equipos la causa de los accidentes. En este caso en particular, se utilizará para determinar las causas que ocasionaron el pandeo, el sistema es flexible y consta de tres partes:

1. Flujo de investigación del accidente.
2. Propósito de cada etapa del proceso.
3. Lista de técnicas utilizadas en cada etapa del proceso.

2.4.1 Técnicas de Investigación

Para el análisis, se emplearán un conjunto de técnicas de investigación que pueden ocurrir en paralelo o incluso con interacciones entre ellas, estas son:

1. *Diagrama de eventos y factores causales*. Es una representación gráfica de la secuencia de eventos que dieron origen al incidente y a los factores causales para cada uno de los eventos.
2. *Árbol de falla*. Éste provee al investigador una amplia lista de causas que deben ser consideradas para el incidente.
3. *Análisis de barrera*. Es un método formal para identificar los eventos que, si se evitan, previenen el incidente de ocurrir o reducen significativamente los efectos de éste.
4. *Análisis de Cambio*. Está basada en la teoría de que en una tarea ejecutada con anterioridad exitosamente, algo debió cambiar para que se convierta en un accidente. Este método es particularmente útil para identificar cambios inapropiados.

5. *CHAP (Perfil de Acción Humana Crítica)*. Es una combinación de análisis de cambio detallado y técnicas de análisis de comportamiento humano en la evaluación de una tarea específica. CHAP debe usarse cuando la identificación de las causas de un evento es difícil o controversial.

2.4.2 Descripción de las Etapas de la Investigación

1. *Notificación*. Es la parte inicial donde se observa el incidente y es notificado para determinar las causas del incidente, con la finalidad de aplicar correctivos. En esta etapa se organiza el Comité Organizador de la Investigación.
2. *Planificación*. Una vez decidido iniciar el proceso de investigación, la información inicial del evento permitirá en el diagrama E&FC entender que pasó, dónde hay información conflictiva y dónde se requiere más información. La estrategia inicial de la investigación se planifica para:
 - Identificar los parámetros clave de la planta y los tiempos en que ocurrieron los eventos que necesitan ser verificados para mayor precisión de la secuencia de eventos.
 - Identificar las piezas y evidencias claves que necesitan ser recolectadas y preservadas.
 - Requiere copia de los procedimientos que debieron ser utilizados durante el incidente.
 - Seleccionar las personas que deberán ser entrevistadas con el propósito de llenar las brechas de información y/o resolver información conflictiva.
3. *Colectar información*. Colectar información por entrevistas o análisis de piezas y documentos es un proceso continuo y crucial en la investigación.
4. *Determinar la secuencia de eventos*. Al desarrollar el diagrama E&FC, la información se organiza en un gráfico simple para mejor entendimiento y

generalmente este proceso implica una re-evaluación de las percepciones o hechos en conflicto.

5. *Identificar Factores Causales.* Una vez entendida la secuencia de eventos el investigador debe identificar aquellos factores o condiciones que si se eliminan, hubieran ayudado a prevenir el incidente o minimizado sus consecuencias. Una técnica muy útil es el análisis de barreras identificando aquellas que son barreras destruidas.
6. *Identificar Causa Raíz.* La siguiente etapa en el proceso es identificar las causas raíces al ser sometido cada uno de los factores causales a través del árbol de fallas.
7. *Identificar Causas Genéricas.* Al revisar las estadísticas de la base de datos del sistema se pueden identificar causas genéricas; definidas como causas-raíces que se repiten en incidentes diferentes; y que por lo tanto; requieren un plan más amplio de acciones correctivas. Corregir las acciones genéricas tiene un mayor impacto en la prevención de accidentes, seguridad de las instalaciones y confiabilidad de los equipos.
8. *Desarrollar Acciones Correctivas.* Las causas genéricas y raíces identificadas en el proceso de investigación requieren acciones correctivas implantadas en el tiempo; así pues proponer acciones correctivas individuales para cada causa raíz genera múltiples acciones correctivas que aseguran un plan ampliamente preventivo para evitar que el incidente ocurra de nuevo.

A continuación se muestra *el flujo de procesos en los sistemas de investigación*, que servirá de guía para la identificación de las causas que originaron el pandeo en las CB de la estructura 40-ET-03:

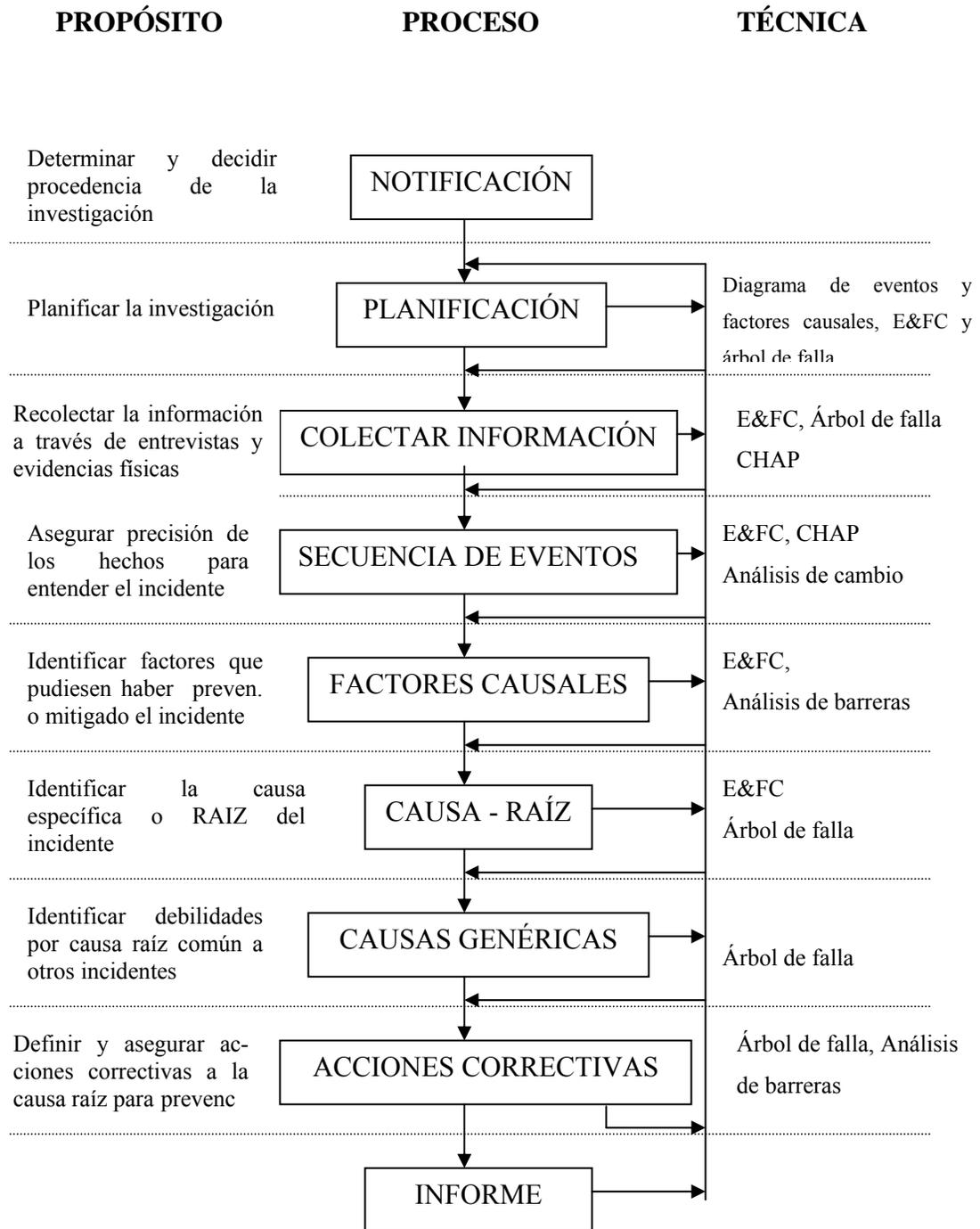


Figura 2.1 Flujo de procesos en sistemas de investigación de incidentes.

Fuente: El autor

2.5 Análisis de Cargas

2.5.1 Carga por Efecto del Viento

La evaluación de los efectos del viento (Gaylord, 1980) sobre un objeto en su trayectoria es un problema complejo de aerodinámica. Si consideramos el aire como no viscoso e incompresible, lo cual es razonable para la magnitud de las velocidades con que se diseñará la estructura, la ecuación de Bernoulli para flujo laminar se puede utilizar para determinar la presión básica del viento, como una columna de aire que golpea (a 90°) a un cuerpo inmóvil. Así:

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \text{Ec 2.1}$$

En donde: q = presión básica del viento [Pa]
 ρ = densidad de la masa de aire [Kg/m³]
 v = velocidad del viento promedio [m/s]

Para describir la presión en puentes, edificios y estructuras metálicas en general, la presión (p) por metro cuadrado, normal a la superficie expuesta, se expresa en términos de un factor de forma, también llamado coeficiente de presión, C_s y un factor de ráfaga, que toma en cuenta los efectos dinámicos, C_f :

$$p = C_s C_f q = C_s C_f \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{Ec 2.2}$$

El Código Nacional para Edificios “National Building Code” (NBC) recomienda emplear valores para el factor de forma C_s entre 1 y 1,5; siendo el 1,3 el que más se usa; mientras que para el factor de ráfaga C_f varía entre 1 y 1,3.

Considerando que la presión se reparte uniformemente a lo largo de la estructura, si se multiplica por el ancho (w) del área que propicia la presión, se obtiene la carga uniformemente distribuida, producto del viento, por metro lineal (q_v):

$$q_v = pw = \left(C_s C_f \frac{\rho v^2}{2} \right) w \quad \text{Ec 2.3}$$

2.5.2 Carga Sísmica

La respuesta de una estructura a un sismo (INTEVEP, 1986), depende principalmente de su localización en la región afectada, su orientación con relación a la dirección de los movimientos más violentos del terreno, sus periodos naturales de vibración, sus características de amortiguamiento, las propiedades físicas del material estructural y la naturaleza del suelo en que se apoya la cimentación. Sin embargo, en el diseño de estructuras de dimensiones menores a una altura de 20 metros es innecesario tomar en cuenta todos estos factores. Las recomendaciones del Uniform Building Code (UBC) son, en general, consistentes con fuerzas y desplazamientos determinados por desplazamientos por procedimientos más elaborados. Una estructura diseñada de acuerdo con estas recomendaciones permanecerá en un estado de esfuerzo elástico, o casi, bajo sismos moderados de ocurrencia frecuente, pero debe estar en condiciones de que se presente fluencias locales sin consecuencias serias.

El UBC recomienda que la fuerza sísmica total lateral mínima V :

$$V = ZKCW \quad \text{Ec 2.4}$$

En donde:

- Z = Factor de zona
- K = Coeficiente de la tabla 2.1
- W = Peso muerto total [N]

Tabla 2.1 Factor K de fuerzas horizontales para edificios y otras estructuras.

Tipo o arreglo de elementos resistentes	K
Todos los sistemas estructurales para edificios, excepto los clasificados a continuación	1.00
Edificios con un sistema de cajones†	1.33
Edificios con sistemas dobles de rigidez lateral, consistentes de marcos espaciales dúctiles resistentes al momento y muros de cortante; en los cuales (a) el marco y los muros de cortante se diseñan para soportar las fuerzas laterales en función de sus rigideces relativas, (b) los muros de cortante, actuando en forma independiente, se diseñan para resistir toda la fuerza lateral y (c) el marco espacial se diseña para resistir no menos del 25% de la fuerza lateral	0.80
Edificios con marcos espaciales dúctiles, resistentes al momento, diseñados para resistir la fuerza lateral completa	0.67
Tanques elevados completamente llenos, de cuatro o más patas contraventeadas, no apoyadas en edificios	3.00†
Estructuras diferentes de las de edificios y de las cubiertas por la Ec. (1-10)	2.00

* Del Uniform Building Code. Conferencia Internacional de Funcionarios de Edificios, Los Angeles, Calif., 1970.
 † Definido como un sistema estructural sin un marco espacial vertical completo que soporte carga. Las fuerzas laterales son absorbidas por muros de cortante.
 ‡ KC en la Ec. (1-5) deberá ser cuando menos 0.12, pero no mayor de 0.25. Usese $J = 1$ en la Ec. (1-11). Para tanques no soportados en la forma descrita y tanques apoyados en edificios, úsese la Ec. 1-10 con $c_p = 0.2$.

El coeficiente C está dado por

$$C = \frac{0,05}{T^{1/3}} \quad C < 0,10 \quad \text{Ec 2.5}$$

$$C = 0,10 \quad C \geq 0,10 \quad \text{Ec 2.6}$$

Donde T es el período fundamental de vibración en segundos; en ausencia de información técnica para la estructura, respaldada en forma apropiada, T se determinará como:

$$T = \frac{0,05h}{\sqrt{D}} \quad \text{Ec 2.7}$$

En donde (h) es la altura en metros a partir de la base, del nivel superior del cuerpo principal de la estructura, y D en metros es la dimensión del largo de la estructura.

2.5.3 Carga de Impacto Originada por Choque de Maquinaria Pesada

En principio, para una evaluación completa de la colisión de la Maquinaria Pesada (MP) sobre las CB se debe determinar las probabilidades y consecuencias asociadas con los eventos y compararlas con los criterios de aceptación dados. Sin embargo, tal procedimiento sería muy complejo y poco factible. En su lugar, se usará como base para el análisis “situaciones accidentales de diseño” definidas a tal efecto (INTEVEP, 1989). En lo que respecta al riesgo de impactos, pueden ocurrir las siguientes situaciones:

1. La MP puede impactar directamente sobre las CB (Véase anexo B.3).
2. La MP en el momento de recoger la RF en el granel de almacenamiento, para recirculación del material, transmite la energía de impacto de la RF a la CB y está se encuentra descubierta de RF en su lado opuesto (Véase figuras A.30 y A.33).
3. La MP en el momento de recoger la RF en el granel de almacenamiento, para recirculación del material, transmite la energía de impacto de la RF a la CB, pero su lado opuesto también está cubierto de RF, por lo que la energía transmitida a la estructura es baja.

La situación más severa es la primera, por ello se analizará la carga de impacto para tal efecto. El análisis de este tipo de fuerza es complejo, pero para efectos prácticos, conociendo la potencia en el volante (P), velocidad (v) y dimensiones de la MP (Véase tabla B.3) en el momento del impacto, puede determinarse por dinámica, la carga puntual que se generará; con el fin de ir a favor del diseño, se asumirán la velocidad y potencia máximas que la maquinaria pueda alcanzar; además se

considerará que la carga puntual se ubicará en la mitad de la altura total de la MP. La carga de impacto (q_I) es:

$$q_I = P/v \quad \text{Ec 2.8}$$

En donde: q_I = carga de impacto [N]
 P = potencia en el volante [W]
 v = velocidad de la MP [m/s]

2.5.4 Carga por Acumulación de RF

Debido al inadecuado sistema de distribución de RF en el sistema de almacenamiento a granel, se acumula RF en uno de los planos de la CB (Véase figuras A.30 y A.33) originando una carga, cuya magnitud y posición pueden determinarse (Potter, 1998):

La fuerza total de la RF sobre la CB se obtiene integrando la presión sobre el área, esto es:

$$F = \int_A PdA \quad \text{Ec 2.9}$$

En donde: F = fuerza total de la roca fosfática [N]
 P = presión manométrica [Pa]
 A = área cubierta por RF [m²]

Suponiendo que $p = 0$ en $h = 0$, sabemos que:

$$p = \gamma h = \gamma y \sin \alpha \quad \text{Ec 2.10}$$

En donde: P = presión manométrica [Pa]
 γ = peso específico relativo [N/m³]
 y = distancia que se mide desde el punto O en la superficie libre hasta el centroide (Véase figura 2.2) [m]
 α = ángulo entre superficie libre y elemento sometido a presión (Véase figura 2.2) [°]

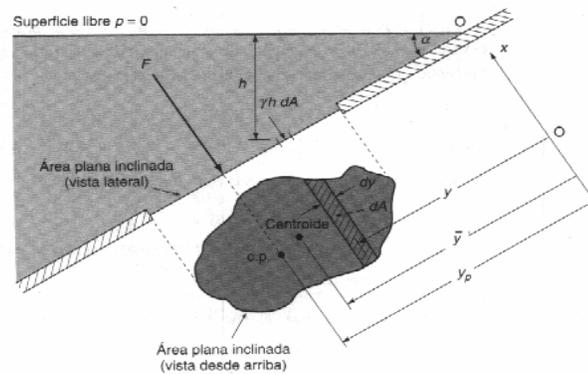


Figura 2.2 Fuerza sobre un área plana inclinada.

La fuerza puede entonces expresarse como:

$$F = \int_A \gamma h dA = \gamma \sin \alpha \int_A y dA \quad \text{Ec 2.11}$$

La distancia a un centroide se define como:

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \int_A y dA \quad \text{Ec 2.12}$$

La expresión para la fuerza se convierte entonces en:

$$F = \gamma \bar{y} A \sin \alpha = \gamma \bar{h} A \quad \text{Ec 2.13}$$

Donde \bar{h} en metros es la distancia perpendicular desde la superficie libre hasta el centroide del área. En general, la fuerza no actúa en el centroide.

Para encontrar la ubicación de la fuerza resultante F , observamos que la suma de los momentos de todas las fuerzas de presión infinitesimales que actúan sobre el área A debe ser igual al momento de la fuerza resultante. Es decir, su ubicación se halla en el centro de presión, a continuación se muestra los centros de presión para la distribución triangular y rectangular:

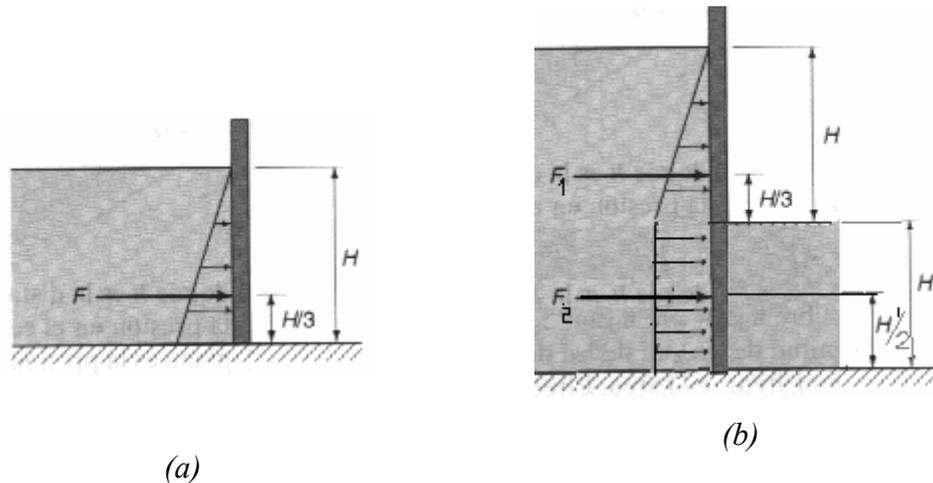


Figura 2.3 Prisma de presión: (a) Triangular. (b) Cuadrada + triangular.

La figura anterior (b) la magnitud de la fuerza F_1 se obtiene mediante el procedimiento anterior, mientras que la Fuerza F_2 , debido a que la presión es constante, es igual a:

$$F = p_2 A = \gamma H A \quad \text{Ec 2.14}$$

En donde:

- F = fuerza debido a la presión [N]
- γ = peso específico relativo [N/m³]
- H = distancia entre superficie libre y fin de carga triangular (Véase figura 2.3) [m]
- A = área de placa inmersa en el fluido generador de presión [m²]

2.6 Técnica “Matriz de decisión”

La presente técnica consiste en comparar las diferentes alternativas existentes, asignando una determinada valoración cualitativa, la cual se traducirá en una puntuación específica de cada variable a estudiar.

Tabla 2.2 Puntuación asignada a las variables en función de la valoración obtenida.

Valoración	Puntuación
Excelente	3
Buena	2
Regular	1
Mala	0

Luego de ser asignado las puntuaciones respectivas de cada uno de los parámetros, estos serán totalizados y aquel que obtenga la mayor puntuación, será la mejor opción. Para una misma variable, las diferentes opciones deben poseer diferentes puntuaciones, es por ello, que para “n” alternativas, la puntuación mayor será igualmente “n”; es decir, que la tabla anterior está adaptada a tres opciones.

2.6.1 Variables que se Compararán para Determinar la CB Óptima:

1. *Aspecto técnico.* Se evaluarán las diferentes alternativas, en igualdad de condiciones, mediante el estudio estático de sus elementos estructurales, asumiéndolos como viga-columnas. El fin será conseguir los diversos factores de seguridad (FS); el que posea el mayor FS obtendrá la mayor calificación, y así sucesivamente. Si el $FS \leq 1$ la calificación será igual a cero y será descartada inmediatamente como alternativa viable.

2. *Aspectos financieros.* Se realizará un estudio de costos, obteniendo la mayor calificación el más económico.
3. *Instalación.* Se realizará una comparación cualitativa con respecto a la facilidad de instalación de las diferentes opciones, obteniendo la mayor puntuación el más sencillo de instalar.

2.7 Teorías de la Mecánica de Sólidos

A continuación se realizará un basamento teórico (Beer, 1993) (Hibbeler, 1997) (SIDOR, 1982) del conjunto de expresiones que servirán de apoyo a la siguiente sección para la modelación de pórticos tridimensionales.

Antes de iniciar con dichas expresiones, mencionemos las consideraciones que se han supuesto:

Material

- Continuo.
- Cohesivo.
- Homogéneo.
- Isótropo.
- Comportamiento elástico lineal.
- Dúctil.
- Módulo de Elasticidad es igual a tensión que a compresión.

Esfuerzo Normal

- Uniforme sobre el área de sección transversal.
- Se despreciará los posibles efectos de concentraciones de esfuerzos, ya que serán considerados en los diversos factores de seguridad.

Principio de Superposición

- La carga está relacionada linealmente con el esfuerzo o el desplazamiento que va a determinarse.
- La carga no cambia significativamente la geometría o configuración del miembro.

Deformaciones por Flexión

- Eje neutro no experimenta ningún cambio de longitud.
- Todas las secciones transversales de la viga permanecen planas y perpendiculares al eje longitudinal durante la deformación.
- Cualquier deformación de la sección transversal dentro de su propio plano será despreciada.

Carga Axial

- Se aplica a lo largo del eje centroidal de la sección transversal.

Esfuerzo Térmico

- La dilatación o contracción está linealmente relacionada con el incremento o disminución de temperatura que se presenta.

Las cargas son estáticas y el material dúctil, por lo que no se considerarán los factores de concentración de esfuerzo.

2.7.1 Carga Axial

Se analizará el método para determinar el esfuerzo normal en miembros cargados axialmente; además se determinará el desplazamiento relativo longitudinal entre dos nodos del miembro. Se presentará también un análisis del efecto por esfuerzo térmico:

Usando el método de las secciones, un elemento diferencial dx y área $A(x)$ es aislado de la barra en la posición arbitraria x . El diagrama de cuerpo libre de este elemento se muestra en la figura siguiente. La fuerza axial interna resultante se representa por $F(x)$, puesto que la carga externa hará que varíe a lo largo de la longitud de la barra. Esta carga, $F(x)$, deformará el elemento en la forma indicada por el perfil punteado y, por consiguiente, el desplazamiento de un extremo del elemento respecto al otro extremo será $d\delta$. El esfuerzo y la deformación unitaria del elemento son:

$$\sigma = \frac{F(x)}{A(x)} \quad \text{Ec 2.15}$$

$$\varepsilon = \frac{d\delta}{dx} \quad \text{Ec 2.16}$$

Relacionándola por medio de la ley de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{Ec 2.17}$$

$$\frac{F(x)}{A(x)} = E\left(\frac{d\delta}{dx}\right) \quad \text{Ec 2.18}$$

$$d\delta = \frac{F(x)dx}{A(x)E} \quad \text{Ec 2.19}$$

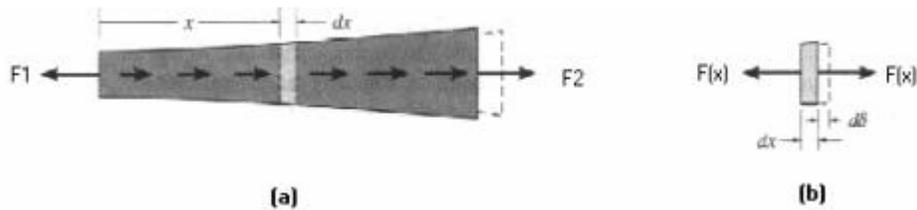


Figura 2.4 (a) Elemento con carga axial distribuida. (b) DCL de dx del elemento.

Integrando la expresión del desplazamiento longitudinal para una longitud x genérica obtenemos:

$$\delta = \int_0^x \frac{F(x)dx}{A(x)E} \quad \text{Ec 2.20}$$

donde: δ = desplazamiento de un punto de la barra relativa a otro punto [m]

L = distancia entre los puntos [m]

$F(x)$ = fuerza axial interna en la sección, localizada a una distancia x de un extremo [m]

$A(x)$ = área de la sección transv. De la barra, expresada como función de x [m²]

E = módulo de elasticidad del material [MPa]

En muchos casos la barra tendrá un área A transversal constante y el material será homogéneo, por lo que E será constante. Además, si una fuerza interna F es constante, esa fuerza provocará un desplazamiento a lo largo de x igual a la integración de la ecuación anterior:

$$\delta = \frac{Fx}{AE} \quad \text{Ec 2.21}$$

Analicemos el caso de un elemento cargado con una carga axial distribuida de función continua a lo largo del mismo, como el mostrado en la figura siguiente:

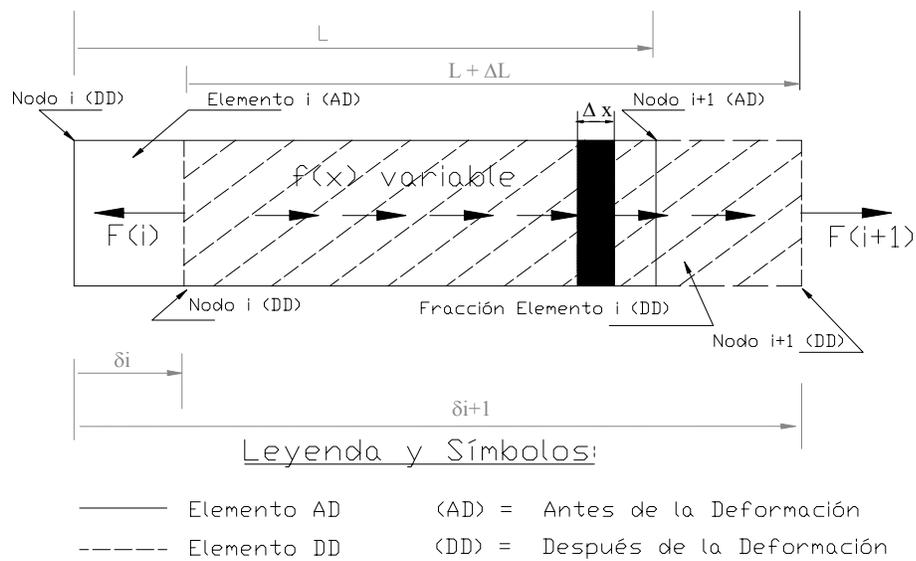


Figura 2.5 DCL de un elemento con carga axial distribuida.

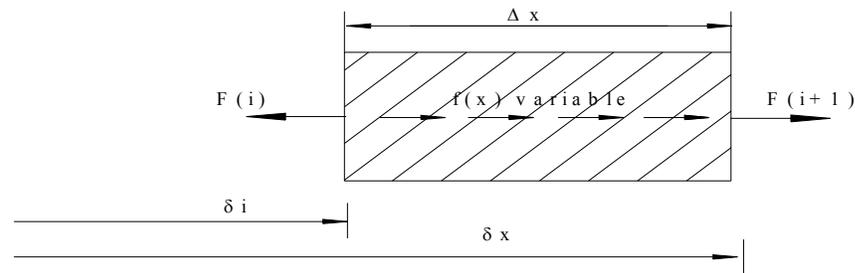


Figura 2.6 DCL de un Δx del elemento i.

Las ecuaciones se obtienen mediante la elaboración del diagrama de cuerpo libre de la figura 2.2, aplicando equilibrio estático y la relación de desplazamientos con la ayuda de las ecuaciones anteriores obtenemos:

2.7.1.1 Equilibrio Estático

$$F(i+1) = F_i - \int_0^x f(x)dx \quad \text{Ec 2.22}$$

Donde, $\int_0^x f(x)dx$, es la resultante de la magnitud fuerza axial variable.

2.7.1.2 Relaciones de Desplazamientos

$$\delta_x = \delta_i + \frac{F_i x}{AE} - \int_0^x \frac{f(x)dx}{AE} \quad \text{Ec 2.23}$$

2.7.2 Efectos Térmicos

Un cambio de temperatura puede ocasionar que un material cambie sus dimensiones. Si la temperatura aumenta, generalmente un material se dilata, mientras que si la temperatura disminuye, el material se contrae. Ordinariamente esta dilatación o

contracción está linealmente relacionada con el incremento o disminución de temperatura que se presenta. Si este es el caso y el material es homogéneo e isótropo, se ha encontrado experimentalmente que la deformación de un miembro de longitud L puede calcularse usando la fórmula:

$$\delta_T = \alpha(\Delta T)L \quad \text{Ec 2.24}$$

donde: α = Coeficiente lineal de dilatación térmica [1/C]
 ΔT = Cambio algebraico en la temperatura del miembro [C]
 L = Longitud original del miembro [m]
 δ_T = Cambio algebraico en la longitud del miembro [m]

2.7.3 Deformación por Flexión en Vigas Prismáticas

En la presente sección se estudia las deformaciones que ocurren cuando una viga prismática es sometida a flexión. Esto permitirá la obtención de ecuaciones que predigan los desplazamientos transversales y la rotación de la curva elástica para determinadas distribuciones de cargas. El fin principal, es determinar el desplazamiento transversal máximo, ya que en los códigos de diseño, como lo es la *ASTM* establece que la $Y_{\text{máx.}} \leq \text{long}_{\text{TOTAL}} / 1000$.

Se inicia con la deducción de la ecuación diferencial ordinaria, lineal, de segundo orden, gobernante de la curva elástica. En segundo término se resuelve la ecuación diferencial, obteniéndose las ecuaciones genéricas de pendientes y deflexiones en vigas. En este orden de ideas, se particulariza el empleo de estas ecuaciones, desarrollando expresiones específicas para casos donde se presentan cargas concentradas; uniformes; y triangulares.

2.7.3.1 Ecuación Diferencial Gobernante de la Curva Elástica

Suponiendo que la viga se deforma, como muestra la figura 2.7, ρ vendrá dada por el radio del círculo DE , θ por el ángulo central que corresponde a DE , y la longitud DE es igual a la longitud L del elemento no deformado, por tanto se tiene:

$$L = \rho\theta \quad \text{Ec 2.25}$$

Considerando ahora el arco JK localizado a una distancia y sobre la superficie neutra, se observa que su longitud L' es:

$$L' = (\rho - y)\theta \quad \text{Ec 2.26}$$

Como la longitud original del arco JK era igual a L , la deformación de JK es:

$$\delta = L' - L \quad \text{Ec 2.27}$$

Sustituyendo la Ec. 25 y 26 en 27,

$$\delta = (\rho - y)\theta - \rho\theta = -y\theta \quad \text{Ec 2.28}$$

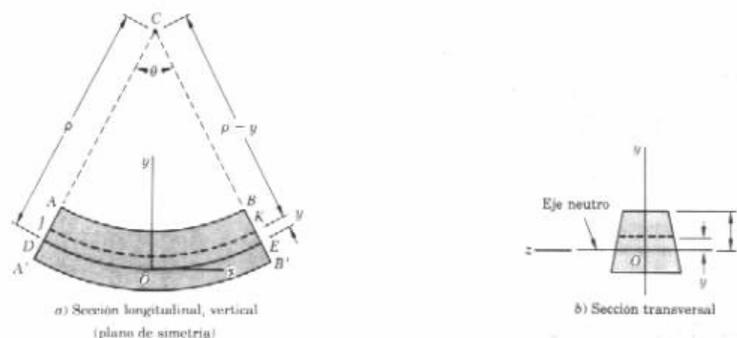


Figura 2.7 Sección longitudinal y transversal de viga.

La deformación longitudinal ε_x de los elementos de JK se obtiene dividiendo δ por la longitud original L de JK :

$$\varepsilon_x = \frac{\delta}{L} = -\frac{y}{\rho\theta} \quad \text{Ec 2.29}$$

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{\rho} \quad \text{Ec 2.30}$$

El signo menos se debe a que se ha supuesto positivo el momento flector y por tanto que la viga es cóncava hacia arriba.

Debido a que las secciones deben permanecer planas, se producen deformaciones idénticas en todos los planos paralelos al plano de simetría. Así, el valor de la deformación, dado en la Ec 2.30, es válido en todos los puntos y se concluye que la deformación longitudinal normal ε_x alcanza su máximo valor absoluto cuando y es máxima. Llamando c la distancia máxima a la superficie neutra (que corresponde a la superficie superior o inferior del elemento) y ε_m el máximo valor absoluto de la deformación:

$$\varepsilon_m = \frac{c}{\rho} \quad \text{Ec 2.31}$$

Dividiendo la Ec 2.30 con la 2.31, resulta:

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{c}\varepsilon_m \quad \text{Ec 2.32}$$

Debido a que se supuso que el material se comporta de manera elástica lineal, se puede aplicar la ley de Hooke, esto es, $\sigma = E\varepsilon$, por lo que la Ec 2.32 puede convertirse en:

$$\sigma_x = -\frac{y}{c} \sigma_m \quad \text{Ec 2.33}$$

A continuación, se muestra un diagrama de cuerpo libre de la barra prismática, para obtener sus ecuaciones de equilibrio

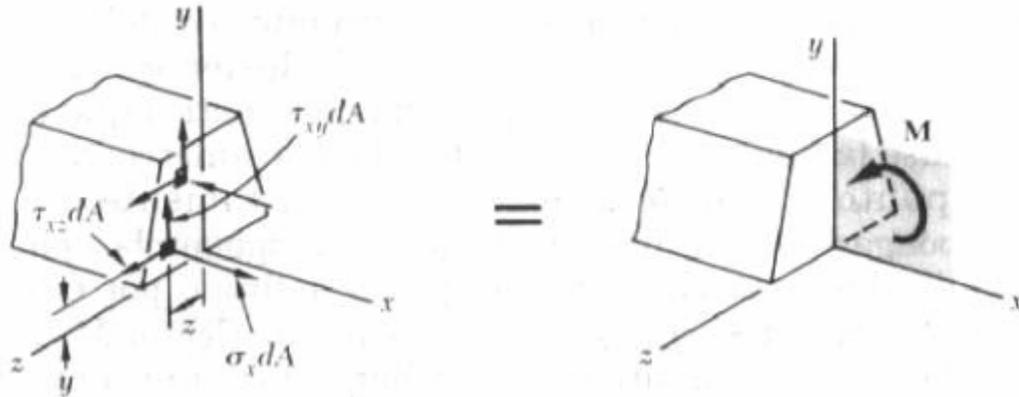


Figura 2.8 Fuerzas internas elementales y par M de viga.

Las ecuaciones de equilibrio son:

Componente x: $\int \sigma_x dA = 0$ Ec 2.34

Momento con respecto al eje y: $\int z \sigma_x dA = 0$ Ec 2.35

Momento con respecto al eje z: $\int (-y \sigma_x dA) = M$ Ec 2.36

De la sustitución de la Ec 2.33 en la 2.36, resulta:

$$\int (-y) \left(-\frac{y}{c} \sigma_m \right) dA = M \quad \text{Ec 2.37}$$

$$\frac{\sigma_m}{c} \int y^2 dA = M \quad \text{Ec 2.38}$$

Dado que la $\int y^2 dA = I$ correspondiente al momento de inercia, la Ec 2.38 queda

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec 2.39}$$

La deformación del elemento causado por el momento flector M se mide por la curvatura de la superficie neutra. La curvatura se define como el inverso del radio de curvatura ρ y puede obtenerse resolviendo la Ec 2.31 por $1/\rho$:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_m}{c} \quad \text{Ec 2.40}$$

Pero en el rango elástico $\varepsilon_m = \sigma_m/E$. Sustituyendo por ε_m en la Ec 2.40, y recordando la Ec 2.39:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_m}{Ec} = \frac{1}{Ec} \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec 2.41}$$

Ó

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad \text{Ec 2.42}$$

Sin embargo, el momento flector y la curvatura de la superficie neutra variarán en diversas secciones. Si x es la distancia de la sección al extremo izquierdo de la viga se tiene:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M(x)}{EI} \quad \text{Ec 2.43}$$

Para determinar la pendiente y la deflexión de la viga en cualquier punto, se requiere hallar la curva elástica de la viga. Para ello, recordando, del calculo elemental, que la curvatura de una curva plana en un punto Q(x,y) de la curva es:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad \text{Ec 2.44}$$

En donde dy/dx y d^2y/dx^2 son la primera y segunda derivadas de la función $y(x)$ representada por esa curva. Pero, en el caso de la curva elástica de una viga, la pendiente dy/dx es muy pequeña y su cuadrado es despreciable comparado con la unidad. Entonces:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad \text{Ec 2.45}$$

Sustituyendo la Ec 2.43 en la Ec 2.45, se obtiene:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad \text{Ec 2.46}$$

La ecuación obtenida es una ecuación diferencial ordinaria, lineal, de segundo orden; es la ecuación diferencial gobernante de la curva elástica.

2.7.4 Ecuaciones Genéricas de Pendientes y Deflexiones en Vigas

Para determinar la expresión que gobierna la pendiente de la viga, se procede a integrar la Ec 2.46 con respecto a x :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{EI} \int_0^x M(x) dx + C_1 \quad \text{Ec 2.47}$$

Siendo C_1 una constante de integración. Si $\theta(x)$ es el ángulo en radianes que la tangente a la curva elástica forma con la horizontal, y recordando que este ángulo es pequeño, se tiene:

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta \cong \theta(x) \quad \text{Ec 2.48}$$

En consecuencia la ecuación de pendiente de la viga puede escribirse en la forma alternativa:

$$\theta(x) = \frac{1}{EI} \int_0^x M(x) dx + C_1 \quad \text{Ec 2.49}$$

Integrando los dos miembros de la Ec 2.47 en x , se obtiene la deflexión de la viga a lo largo del eje x :

$$y = \frac{1}{EI} \int_0^x \left[\int_0^x M(x) dx \right] dx + C_1 x + C_2 \quad \text{Ec 2.50}$$

Siendo C_2 la segunda constante de integración. Ambas constantes pueden ser determinadas por las condiciones de fronteras entre dos nodos pertenecientes a la viga (Véase figura 2.6).

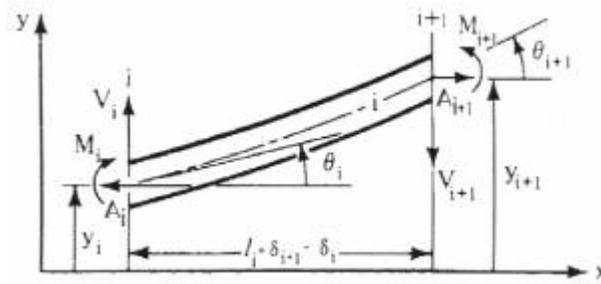


Figura 2.9 Elemento prismático de viga conectado a dos nodos.

La constante C_1 y C_2 se obtienen sustituyendo de las Ec 2.49 y 2.50 con las siguientes condiciones de fronteras respectivamente:

$$x = l \quad \theta(x) = \theta_{i+1}$$

$$x = 0 \quad y(x) = y_i$$

Obteniéndose:

$$C_1 = \theta_i$$

$$C_2 = y_i$$

Sustituyendo estas condiciones de frontera se obtienen las siguientes ecuaciones generales de pendiente y deflexión en viga:

$$\theta(x) = \frac{1}{EI} \int_0^x M(x) dx + \theta_i \quad \text{Ec 2.51}$$

$$y(x) = \frac{1}{EI} \int_0^x \left[\int_0^x M(x) dx \right] dx + \theta_i x + y_i \quad \text{Ec 2.52}$$

Donde $M(x)$ se consigue con las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos para el miembro bajo estudio. Para el estudio de estos problemas los miembros se

dividirán en elementos conectados mediante nodos; se colocará un nodo donde existan cambios en la geometría de la sección transversal, cambio de material, cargas concentradas, o cambios en la orientación de los elementos. Con el fin de comprender esto y de adquirir ecuaciones más específicas a continuación se estudian casos para cargas concentradas, uniformes y triangulares, representada por las figuras 2.10, 2.11, y 2.12 respectivamente.

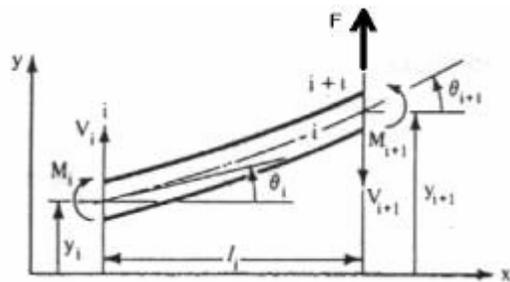


Figura 2.10 Elemento prismático de viga conectado a dos nodos, con carga puntual F.

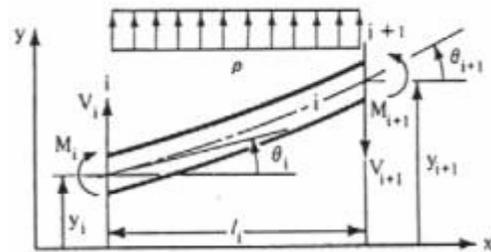


Figura 2.11 Elemento prismático de viga con carga distribuida uniforme.

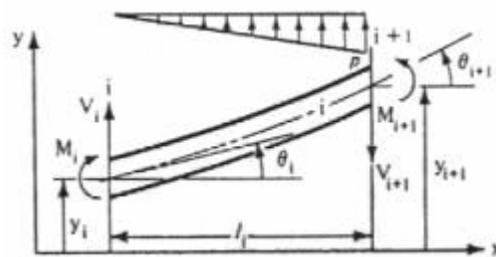


Figura 2.12 Elemento prismático de viga con carga triangular creciente.

2.7.4.1 Estudio para Carga Concentrada

En este caso, las ecuaciones de equilibrio permiten determinar el cortante y momento flector, siendo estos:

$$V_{i+1} = F + V_i \quad \text{Ec 2.53}$$

$$M_{i+1} = M_i + l_i V_i \quad \text{Ec 2.54}$$

Integrando la Ec 2.49 y 2.50, sustituyendo previamente la expresión de momento flector obtenida y para una distancia de separación entre nodos de l_i ; se obtienen las siguientes expresiones de pendiente y deflexión respectivamente:

$$\theta_{i+1} = \theta_i + \frac{l_i}{EI} M_i + \frac{l_i^2}{2EI} V_i \quad \text{Ec 2.55}$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{l_i^2}{2EI} M_i + \frac{l_i^3}{6EI} V_i \quad \text{Ec 2.56}$$

2.7.4.2 Estudio para Carga Uniforme

Para el caso de un elemento de viga solicitado con carga uniforme, como el mostrado en la figura 2.11, las ecuaciones de equilibrio y de deformación son:

$$V_{i+1} = pl_i + V_i \quad \text{Ec 2.57}$$

$$M_{i+1} = M_i + l_i V_i + \frac{pl_i^2}{2} \quad \text{Ec 2.58}$$

$$\theta_{i+1} = \theta_i + \frac{l_i}{EI} M_i + \frac{l_i^2}{2EI} V_i + \frac{pl_i^3}{6EI} \quad \text{Ec 2.59}$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{l_i^2}{2EI} M_i + \frac{l_i^3}{6EI} V_i + \frac{pl_i^4}{24EI} \quad \text{Ec 2.60}$$

2.7.4.3 Estudio para Carga Triangular

Para el caso de un elemento de viga solicitado con carga triangular, como el mostrado en la figura 2.12, las ecuaciones de equilibrio y de deformación son:

$$V_{i+1} = \frac{pl_i}{2} + V_i \quad \text{Ec 2.61}$$

$$M_{i+1} = M_i + l_i V_i + \frac{pl_i^2}{6} \quad \text{Ec 2.62}$$

$$\theta_{i+1} = \theta_i + \frac{l_i}{EI} M_i + \frac{l_i^2}{2EI} V_i + \frac{pl_i^3}{24EI} \quad \text{Ec 2.63}$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{l_i^2}{2EI} M_i + \frac{l_i^3}{6EI} V_i + \frac{pl_i^4}{120EI} \quad \text{Ec 2.64}$$

2.8 Modelación de Pórticos Tridimensionales

Los pórticos estructurales se modelaran mediante líneas, donde los valores de las variables de estado (fuerza axial, fuerza cortante, momento flector, desplazamientos y rotación) en una sección transversal, solo dependerán de lo que ocurra en puntos vecinos. Este tipo de problema será analizado mediante matrices de transferencia, las cuales dependerán de la geometría asociada a cada línea y de las cargas en ellas contenidas (Cruz, 2002).

El sistema tridimensional, puede ser modelado mediante el análisis separado de los planos donde actúen las diversas cargas, para luego sobreponerlos por el principio de superposición, debido a que todas las expresiones que se emplean son de primer orden. Cada plano de acción formará un sistema bidimensional como el mostrado en la figura 2.13.

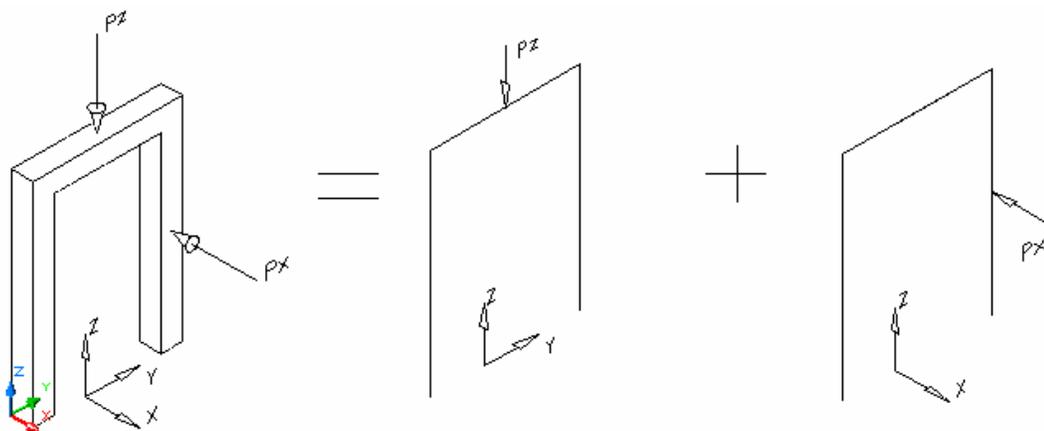


Figura 2.13 Modelación de pórtico tridimensional (Sistema de referencia global).

El pórtico, formado por elementos estructurales, será dividido en elementos y nodos, que representaran los planos donde comienzan y terminan los elementos. Esta primera consideración nos indica que debemos colocar nodos donde existan cambios en la geometría de la sección transversal o cambios de material o presencia de cargas

concentradas (axial, transversal o momento flector) o cambios en la orientación de los elementos.

Para describir completamente la situación de cada nodo, para un determinado plano de ocurrencia, se necesitara conocer por plano, seis cantidades: el desplazamiento δ en la dirección longitudinal del elemento, el desplazamiento y en la dirección normal al elemento, la pendiente θ que gira la sección transversal respecto a la orientación original del elemento, la fuerza axial A en la dirección paralela al elemento, el momento M , y la fuerza cortante V en la dirección normal al elemento.

En la figura 2.14 se muestra un elemento deformado i del sistema, entre los nodos i e $i+1$ para un determinado plano de acción, con la convención de signos adoptados en las secciones anteriores. Los desplazamientos axiales δ_i y δ_{i+1} medidos desde las posiciones iniciales de las respectivas secciones se han omitido por claridad en el dibujo. Las variables de estado que describirán el comportamiento de la sección solo dependerá de lo que ocurra en las secciones vecinas, y estas serán obtenidas por medio de las expresiones deducidas en los apartados anteriores, ordenadas en una matriz de transferencia, que permita su cálculo lógico en un ordenador.

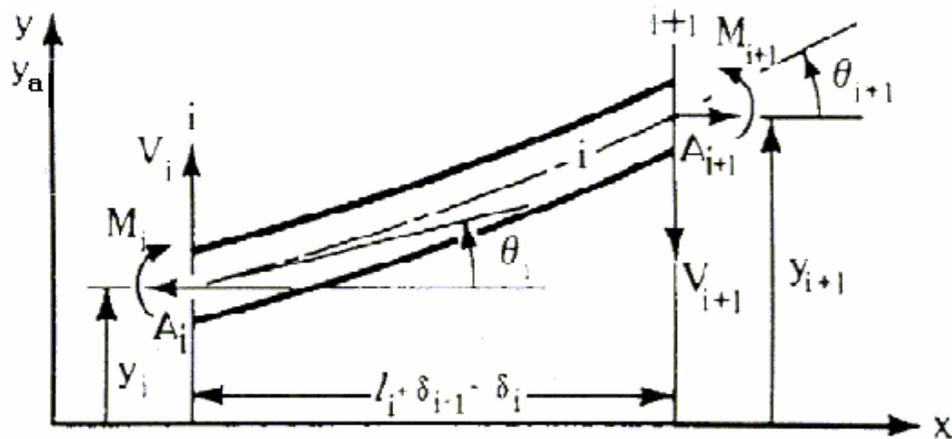


Figura 2.14 Elemento del sistema en condición deformada.

Nótese que estas variables de estado están relacionadas con la orientación del elemento. Esto nos conduce a la necesidad de establecer dos sistemas de referencia, uno que en la literatura se llama global y define las coordenadas de todos los nodos y la orientación de todos los elementos respecto a dicho sistema de referencia; y el segundo que se lo denomina local y es solidario con cada elemento, en el que uno de los ejes, generalmente el eje X, es paralelo al eje recto del elemento.

La simplificación del problema tridimensional, en sistemas bidimensionales (Véase figura 2.13), implicará el uso de dos sistemas locales de referencia, identificados por $(x-y)$ y $(x-y_a)$ (Véase figura 2.14), correspondientes al efecto de la combinación de cargas en los sistemas coordenados global $(y-z)$ y $(x-z)$ respectivamente. La distinción de las variables de estado entre los sistemas globales, se hará mediante el subíndice a para el sistema $(x-z)$.

Los vectores de estado de los diversos planos y la resultante (aplicando el principio de superposición), en el nodo i serán:

$$Z(i) = \begin{pmatrix} \delta(i) \\ y(i) \\ \theta(i) \\ A(i) \\ M(i) \\ V(i) \end{pmatrix} \quad Z_a(i) = \begin{pmatrix} \delta_a(i) \\ y_a(i) \\ \theta_a(i) \\ A_a(i) \\ M_a(i) \\ V_a(i) \end{pmatrix} \quad Z_t(i) = \begin{pmatrix} \delta_t(i) \\ y_t(i) \\ \theta_t(i) \\ A_t(i) \\ M_t(i) \\ V_t(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{\delta(i) + \delta_a(i)} \\ \sqrt{y(i) + y_a(i)} \\ \sqrt{\theta(i) + \theta_a(i)} \\ \sqrt{A(i) + A_a(i)} \\ \sqrt{M(i) + M_a(i)} \\ \sqrt{V(i) + V_a(i)} \end{pmatrix}$$

A continuación se expresa en forma genérica, es decir, sin especificar el plano en que se esté trabajando, las ecuaciones y ordenamiento matricial a emplear para resolver los pórticos tridimensionales; por supuesto que cada ordenamiento matricial corresponderá a un plano específico de estudio, donde la resultante se obtendrá por superposición, tal como se hizo en el ejemplo anterior.

Por medio del empleo de las ecuaciones adquiridas en los módulos anteriores, si no hay fuerzas que actúen entre los nodos (i) e ($i+1$), las variables de estado en el nodo ($i+1$), serán:

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \frac{F_i l_i}{E_i A_i} \quad \text{Ec 2.65}$$

$$y_{i+1} = y_i + l_i \theta_i + \frac{l_i^2}{2EI} M_i + \frac{l_i^3}{6EI} V_i \quad \text{Ec 2.66}$$

$$\theta_{i+1} = \theta_i + \frac{l_i}{EI} M_i + \frac{l_i^2}{2EI} V_i \quad \text{Ec 2.67}$$

$$A_{i+1} = A_i \quad \text{Ec 2.68}$$

$$M_{i+1} = M_i + l_i V_i \quad \text{Ec 2.69}$$

$$V_{i+1} = V_i \quad \text{Ec 2.70}$$

Las tres últimas ecuaciones expresan el equilibrio de fuerzas y momentos, y las tres primeras, el desplazamiento longitudinal, el desplazamiento transversal y la rotación de la curva elástica debido a estos momentos y fuerzas.

Este conjunto de ecuaciones puede escribirse en forma matricial así:

$$Z_{i+1} = L_i Z_i \quad \text{Ec 2.71}$$

donde:

$$L_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_i}{EA} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \frac{(l_i)^2}{2EI} & \frac{(l_i)^3}{6EI} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_i}{EI} & \frac{(l_i)^2}{2EI} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Z_i = \begin{pmatrix} \delta_i \\ \gamma_i \\ \theta_i \\ A_i \\ M_i \\ V_i \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{i+1} = \begin{pmatrix} \delta_{i+1} \\ \gamma_{i+1} \\ \theta_{i+1} \\ A_{i+1} \\ M_{i+1} \\ V_{i+1} \\ 1 \end{pmatrix}$$

La columna 7 y la fila 7 se han agregado por conveniencia computacional. Es importante notar que la matriz de transferencia L_i fue obtenida conforme a un sistema de referencia local, es decir, uno de los ejes es paralelo al eje recto del elemento y el otro es perpendicular a dicho eje.

La ecuación indica que el vector de estado del nodo $(i+1)$ es el vector de estado del nodo (i) premultiplicado por la matriz cuadrada L_i de 7×7 , la cual depende solo de las propiedades del elemento, que son generalmente conocidas. Esta matriz L_i se denomina matriz de transferencia. Por cada elemento viga-columna existe una matriz de transferencia.

Repitiendo el proceso para los elementos $(i+1)$, $(i+2)$, que tengan toda la misma orientación, utilizando la relación previa, obtenemos:

$$Z_{i+1} = L_i Z_i \quad \text{Ec 2.72}$$

$$Z_{i+2} = L_{i+1} Z_{i+1} = L_{i+1} L_i Z_i \quad \text{Ec 2.73}$$

$$Z_{i+3} = L_{i+2} Z_{i+2} = L_{i+2} L_{i+1} L_i Z_i \quad \text{Ec 2.74}$$

Cuando se unen dos elementos con diferente orientación como los mostrados en la figura 2.15 debemos obtener la matriz de transferencia que relaciona las variables de estado de la sección común que une a los dos elementos.

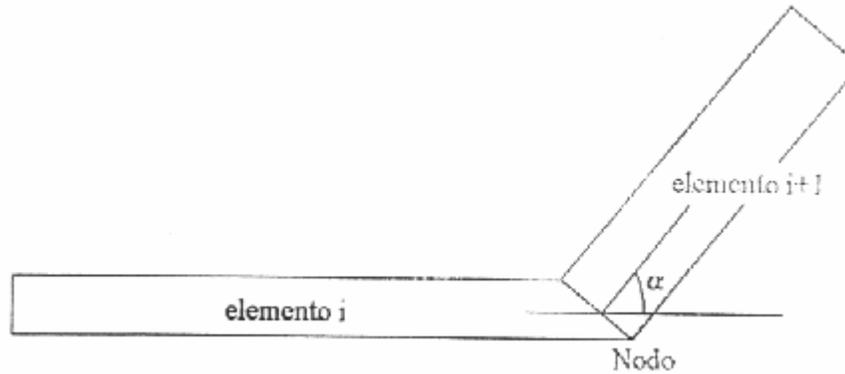


Figura 2.15 Unión de elementos diferentes.

En la figura 2.16 tenemos dos sistemas de referencia denominados XY y $X'Y'$ ambos con un origen de coordenadas común en O que corresponde a la posición de un punto de un sólido deformable antes de la deformación. Supongamos que el punto ubicado en O , luego de la deformación pasó a la posición b . Las componentes del desplazamiento del punto respecto al sistema XY son Oa (x) y Oc (y). Y las componentes del desplazamiento del punto respecto al sistema $X'Y'$ son Od (x') y Oe (y').

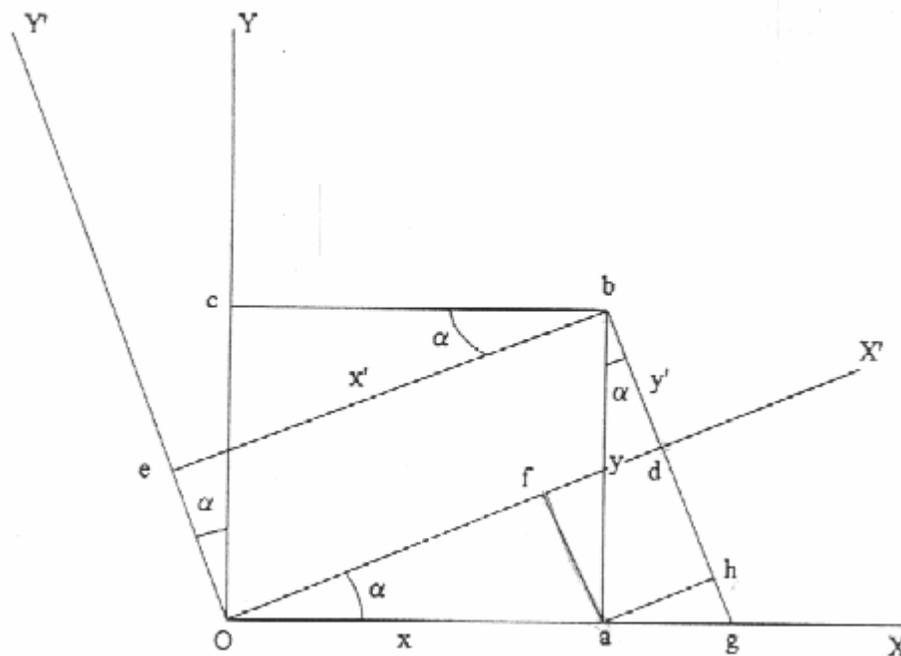


Figura 2.16 Componentes del desplazamiento de un punto respecto a dos sistemas de coordenada.

De la figura se obtiene:

$$\overline{Od} = \overline{Of} + \overline{fd} \quad \text{Ec 2.75}$$

$$\overline{Of} = \overline{Oa} \cos \alpha \quad \text{Ec 2.76}$$

$$\overline{fd} = \overline{ah} = \overline{ab}(\text{sen} \alpha) = \overline{Oc}(\text{sen} \alpha) \quad \text{Ec 2.77}$$

En términos de los sistemas de coordenadas lo anterior se expresa:

$$x' = x \cos \alpha + y \text{sen} \alpha \quad \text{Ec 2.78}$$

Análogamente:

$$\overline{Oe} = \overline{bd} = \overline{bh} - \overline{dh} \quad \text{Ec 2.79}$$

$$\overline{bh} = \overline{ba} \cos \alpha \quad \text{Ec 2.80}$$

$$\overline{dh} = \overline{fa} = \overline{Oc}(\text{sen} \alpha) = \overline{Oa}(\text{sen} \alpha) \quad \text{Ec 2.81}$$

Igual que antes:

$$y' = y \cos \alpha - x \text{sen} \alpha \quad \text{Ec 2.82}$$

Las ecuaciones anteriores indican que podemos relacionar los desplazamientos de un punto respecto de dos sistemas de coordenadas que tengan un mismo origen. Estas expresiones en forma matricial son:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \text{sen} \alpha \\ -\text{sen} \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Lo anterior tiene la siguiente utilidad. Supongamos que en un nodo concurren dos elementos que forman un ángulo α . Coloquemos dos sistemas de coordenadas en los que los ejes X y X' coincidan con las direcciones longitudinales de los elementos que concurren al nodo, como se muestra en la figura 2.17.

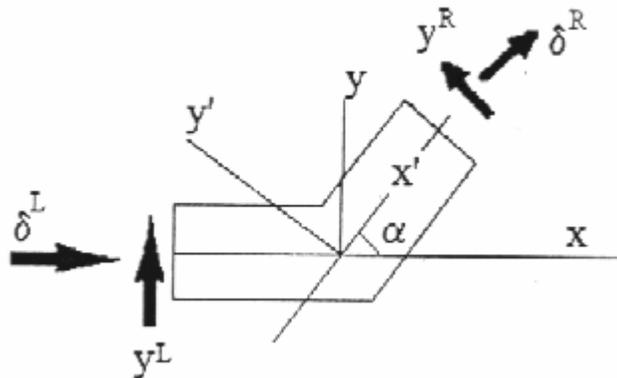


Figura 2.17 Desplazamientos de un nodo respecto a dos sistemas de referencia orientados en las direcciones longitudinales de los elementos que concurren a dicho nodo.

Como el desplazamiento del nodo es único, la transformación anterior permite relacionar las componentes de los desplazamientos del nodo respecto a dos sistemas de referencia ubicados en él y que se diferencian exclusivamente en la rotación α . En este caso esos desplazamientos pueden verse como los desplazamientos antes y después del nodo, que a su vez son los desplazamientos longitudinales y transversales de las secciones de los elementos que concurren al nodo. Pudiendo expresarse así.

$$\begin{pmatrix} \delta \\ y \end{pmatrix}_R = \begin{pmatrix} \cos\alpha & \text{sen}\alpha \\ -\text{sen}\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \\ y \end{pmatrix}_L$$

En lo que respecta a la rotación, no se presenta ningún inconveniente, debido a la consideración de junta rígida que indica que las secciones que concurren a un nodo rotan el mismo ángulo.

$$\theta_R = \theta_L \quad \text{Ec 2.83}$$

Ampliándose la transformación anterior a:

$$\begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_R = \begin{pmatrix} \cos\alpha & \text{sen}\alpha & 0 \\ -\text{sen}\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_L$$

Que en forma compacta podemos expresar:

$$Zd_R = Rd * Zd_L \quad \text{Ec 2.84}$$

Con:

$$Zd_R = \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_R \quad Rd = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \text{sen } \alpha & 0 \\ -\text{sen } \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Zd_L = \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_L$$

Similar análisis se realiza con respecto a la transformación de fuerzas axiales y cortantes en los elementos que concurren al nodo. Para ello nos valemos de la figura 2.18.

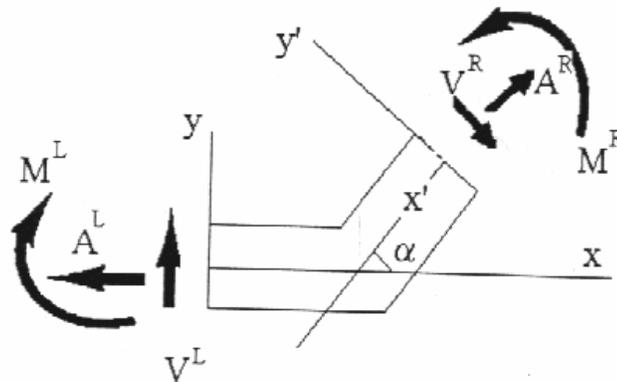


Figura 2.18 Fuerzas sobre el nodo de los elementos que concurren en él.

Por equilibrio se encuentra:

$$A^R = A^L \cos \alpha - V^L \text{sen } \alpha \quad \text{Ec 2.85}$$

$$V^R = A^L \text{sen } \alpha - V^L \cos \alpha \quad \text{Ec 2.86}$$

$$M^R = M^L \quad \text{Ec 2.87}$$

Y en forma matricial:

$$\begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_R = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\text{sen } \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen } \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_L$$

En forma compacta:

$$Zf_R = Rf * Zf_L \quad \text{Ec 2.88}$$

Con:

$$Zf_R = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_R \quad Rf = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\text{sen } \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen } \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad Zf_L = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_L$$

La ecuación anterior expresa las fuerzas a la derecha del nodo orientadas con el sistema de referencia alineado con el elemento a la derecha del nodo, en función de las fuerzas a la izquierda del nodo orientadas de acuerdo al sistema de referencia alineado con el elemento a la izquierda del nodo.

En algunos casos se requiere lo contrario, es decir, expresar las fuerzas de la izquierda en términos de las fuerzas de la derecha. Por equilibrio de la figura 2.18 obtenemos:

$$A^L = A^R \cos \alpha + V^R \text{sen } \alpha \quad \text{Ec 2.89}$$

$$V^L = -A^R \text{sen } \alpha + V^R \cos \alpha \quad \text{Ec 2.90}$$

$$M^L = M^R \quad \text{Ec 2.91}$$

En forma matricial:

$$\begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_L = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & \text{sen } \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen } \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_R$$

De acuerdo a la figura 2.18, esto puede ser también obtenido por el intercambio de ejes, es decir, el sistema xy solidario al elemento de la derecha y el sistema x'y'

solidario al elemento de la izquierda. Nótese que en este caso el ángulo α es horario, por lo tanto sería negativo y la matriz de rotación es la traspuesta de Rf .

$$Zf_L = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_L \quad Rf^T = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & \text{sen } \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen } \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad Zf_R = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_R$$

En forma compacta:

$$Zf_L = Rf^T * Zf_R \quad \text{Ec 2.92}$$

Reuniendo todas las variables de estado y las matrices de rotación anteriormente halladas, obtenemos la siguiente expresión, que relaciona las variables de estado antes y después de un nodo que une elementos con orientaciones diferentes.

$$\begin{pmatrix} Zd_R \\ Zf_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Rd & 0 \\ 0 & Rf \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Zd_L \\ Zf_L \end{pmatrix}$$

Que ampliada es:

$$\begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \\ A \\ M \\ V \\ 1 \end{pmatrix}_R = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \text{sen } \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\text{sen } \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & 0 & -\text{sen } \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{sen } \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \\ A \\ M \\ V \\ 1 \end{pmatrix}_L$$

Y de manera compacta se expresa:

$$Z^R = R * Z^L$$

Ec 2.93

Nótese que el ángulo es positivo en sentido anti-horario, midiéndose a partir del eje x correspondiente al elemento que llega al nodo. Para este cálculo los dos ejes se colocan en un mismo origen (sobre el nodo) (Véase figura 2.19).

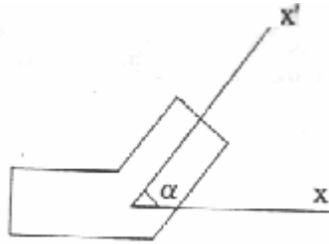


Figura 2.19 Detalle del cálculo del ángulo entre elementos.

Para el caso de un nodo con una carga axial P_A , una transversal P_T y un momento flector M_o , con los sentidos indicados en la figura 2.20, la matriz de transferencia se obtiene por la superposición de las matrices de transferencia que se han deducido antes para cada uno de estos casos en forma individual.

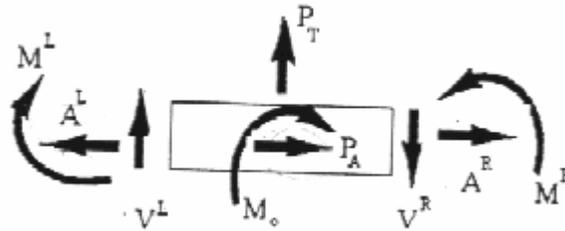


Figura 2.20 Nodos sometidos a cargas concentradas.

La matriz de carga puntual es:

$$\begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \\ A \\ M \\ V \\ 1 \end{pmatrix}_R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -P_A \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & M_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \\ A \\ M \\ V \\ 1 \end{pmatrix}_L$$

Para el caso de un elemento sometido simultáneamente a la acción de una carga transversal uniformemente distribuida, a una carga axial distribuida continua y a un cambio de temperatura uniforme la matriz de transferencia se obtiene por superposición de estos casos de cargas que fueron estudiados con anterioridad en forma individual. Esta matriz es:

$$q_u = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l}{EA} & 0 & 0 & -\int_0^l \frac{\int_0^x f(x) dx}{EA} dx + \alpha L \Delta T \\ 0 & 1 & l & 0 & \frac{l^2}{2EI} & \frac{l^3}{6EI} & \frac{pl^4}{24EI} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l}{EI} & \frac{l^2}{2EI} & \frac{pl^3}{6EI} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -\int_0^L f(x) dx \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l & \frac{pl^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & pl \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Para el caso de un elemento sometido simultáneamente a la acción de una carga transversal linealmente creciente, con intensidad inicial cero e intensidad final p , a una carga axial distribuida continua y a un cambio de temperatura uniforme la matriz de transferencia se obtiene por superposición de estos casos de cargas que fueron estudiados con anterioridad en forma individual. Esta matriz es:

$$q_u = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l}{EA} & 0 & 0 & - \int_0^l \frac{\int_0^x f(x) dx}{EA} dx + \alpha L \Delta T \\ 0 & 1 & l & 0 & \frac{l^2}{2EI} & \frac{l^3}{6EI} & \frac{pl^4}{120EI} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l}{EI} & \frac{l^2}{2EI} & \frac{pl^3}{24EI} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & - \int_0^L f(x) dx \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l & \frac{pl^2}{6} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \frac{pl}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

De lo anterior se concluye que en un pórtico como el de la figura 2.13, el sistema de ecuaciones que lo modela es de la forma:

$$Z_n = L_{n-1} * L_{n-2} * R_{n-2} * \dots * L_{i+1} * R_{i+1} * P_i * L_i * \dots * L_1 * Z_1 \tag{Ec 2.94}$$

ó

$$Z_n = A * Z_1 \tag{Ec 2.95}$$

Con

$$A = L_{n-1} * L_{n-2} * R_{n-2} * \dots * L_{i+1} * R_{i+1} * P_i * L_i * \dots * L_1 \tag{Ec 2.96}$$

Que consiste en la multiplicación de matrices cuadradas de 7×7 en las que sus términos son propiedades geométricas y orientaciones de los elementos del pórtico. Esto conduce a un sistema de 6 ecuaciones y 12 variables de estado que corresponden a los desplazamientos, rotaciones, fuerzas y momentos en las secciones iniciales y final del pórtico. De estas doce variables de estado, cualquiera que sean las condiciones de contorno, siempre 6 de ellas son conocidas, por lo que el sistema solo involucra 6 incógnitas que se determinan al resolver el sistema.

Otros casos que se pueden presentar son los pórticos en los que a un nodo concurren más de dos elementos, (nodos 2 y 5 del pórtico de la figura 2.21). Una forma de analizar esta situación es trabajando con subsistemas a los cuales se les aplica el método de Holzer, y luego unir estos subsistemas mediante ecuaciones de equilibrio y compatibilidad de desplazamientos en los puntos de unión. Por ejemplo el pórtico de la figura 2.21 pudiese ser descompuesto en los subsistemas de la figura 2.22.

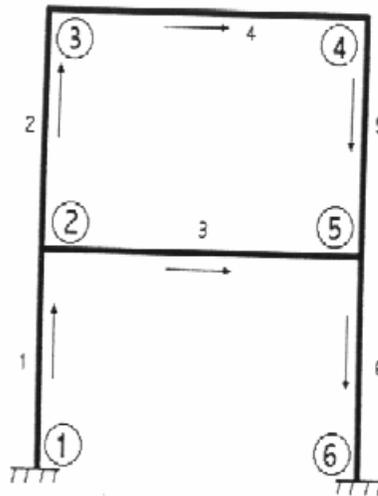


Figura 2.21 Pórticos de dos pisos. Las flechas indican la orientación de los elementos.

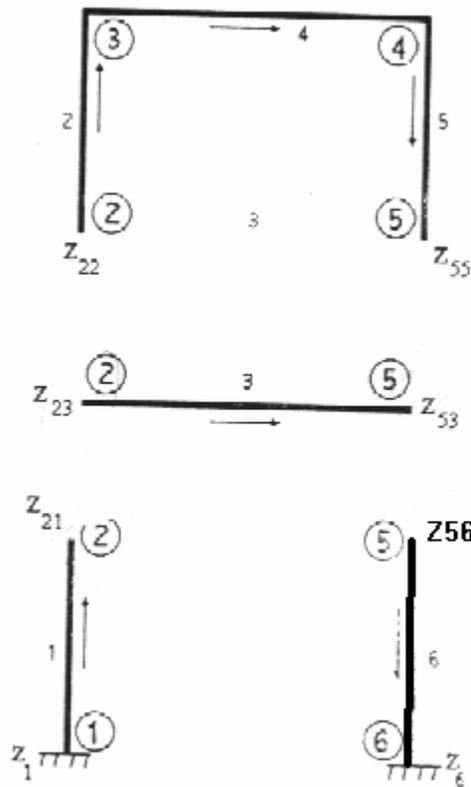


Figura 2.22 Despiece del pórtico en subsistemas.

Las ecuaciones para cada subsistema son:

$$Z_{55} = L_5 * L_4 * L_3 * L_2 * Z_{22} \quad \text{Ec 2.97}$$

$$Z_{53} = L_3 * Z_{23} \quad \text{Ec 2.98}$$

$$Z_{21} = L_1 * Z_1 \quad \text{Ec 2.99}$$

$$Z_6 = L_6 * Z_{56} \quad \text{Ec 2.100}$$

A las cuales se les agregan las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad de las juntas 2 y 5, que relacionan las variables de estado z_{21} , z_{22} y z_{23} , y las variables de estado z_{55} , z_{53} y z_{56} . Los vectores de variables de estado escritos de la forma z_{ij} se ha utilizado la convención siguiente: el primer subíndice (i) expresa el número del nodo y el

segundo (j) indica a cual elemento que concurre el nodo corresponden el vector de estado.

Para el establecimiento de las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad de los desplazamientos el nodo se elabora de la figura 2.23 que corresponde a un nodo genérico en el cual llegan dos elementos y salen dos elementos. Lo que se obtendrá a continuación será extrapolable al caso que sea un número mayor o menor de elementos que concurran al nodo.

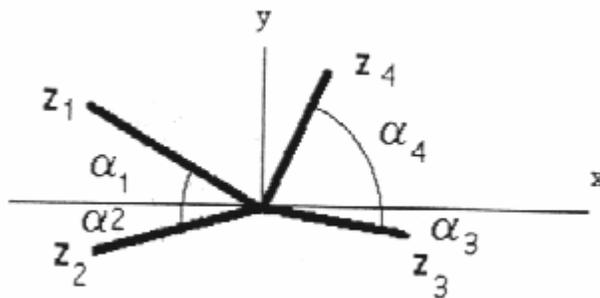


Figura 2.23 Nodo con cuatro barras concurrentes.

Los elementos que llegan al nodo son los que su sección final se une al nodo, mientras que los que salen del nodo son aquellos que su sección inicial está unida al nodo. Para el caso de la figura se considera que los elementos 1 y 2 llegan al nodo y los elementos 3 y 4 salen.

Para el equilibrio se pueden realizar dos sumatorias de fuerzas en dos direcciones ortogonales, que por costumbre se han indicado en la figura como las direcciones horizontal x y vertical y.

Las fuerzas al final del elemento 1 y en la dirección del elemento son z_{f1} . Dichas fuerzas se pueden expresar en la dirección xy mediante la rotación de los ejes anteriormente indicada, esto es:

$$Zf_R^1 = Rf_1 * Zf_L^1 \quad \text{Ec 2.101}$$

$$(Zf_R)^1 = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_R \quad Rf_1 = \begin{pmatrix} \cos\alpha_1 & 0 & -\text{sen}\alpha_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}\alpha_1 & 0 & \cos\alpha_1 \end{pmatrix} \quad (Zf_L)^1 = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_L$$

Recuérdese que el ángulo es entre el eje del elemento y la dirección del eje sobre el cual se desean proyectar las fuerzas y/o desplazamientos, ambos situados sobre el mismo origen (Véase figura 2.19).

En forma análoga para el elemento 2:

$$Zf_R^2 = Rf_2 * Zf_L^2 \quad \text{Ec 2.102}$$

$$(Zf_R)^2 = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_R \quad Rf_2 = \begin{pmatrix} \cos(-\alpha_2) & 0 & -\text{sen}(-\alpha_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(-\alpha_2) & 0 & \cos(-\alpha_2) \end{pmatrix} \quad (Zf_L)^2 = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_L$$

Las fuerzas sobre el nodo en las direcciones xy de los elementos 3 y 4 que salen del nodo son respectivamente:

$$Zf_R^3 = Rf_3 * Zf_L^3 \quad \text{Ec 2.103}$$

$$(Zf_R)^3 = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_R \quad Rf_3 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix} \quad (Zf_L)^3 = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_L$$

$$Zf_R^4 = Rf_4 * Zf_L^4 \quad \text{Ec 2.104}$$

$$(Zf_R)^4 = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_R \quad Rf_4 = \begin{pmatrix} \cos(-\alpha_4) & 0 & -\text{sen}(-\alpha_4) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(-\alpha_4) & 0 & \cos(-\alpha_4) \end{pmatrix} \quad (Zf_L)^4 = \begin{pmatrix} A \\ M \\ V \end{pmatrix}_L$$

El equilibrio es:

$$Zf_R^1 + Zf_R^2 = Zf_R^3 + Zf_R^4 \quad \text{Ec 2.105}$$

Ecuación que puede ser expandida a una sumatoria de fuerzas de los elementos que concurren al nodo.

La compatibilidad se expresa en forma análoga basándose en la misma figura 2.23. Los desplazamientos de todas las secciones de los elementos que concurren al nodo en las direcciones x e y son:

$$Zd_R^1 = Rd_1 * Zd_L^1 \quad \text{Ec 2.106}$$

$$(Zd_R)^1 = \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_R \quad Rd_1 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (Zd_L)^1 = \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_L$$

$$Zd_R^2 = Rd_2 * Zd_L^2 \quad \text{Ec 2.107}$$

$$(Zd_R)^2 = \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_R \quad Rd_2 = \begin{pmatrix} \cos(-\alpha_2) & \text{sen}(-\alpha_2) & 0 \\ -\text{sen}(-\alpha_2) & \cos(-\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (Zd_L)^2 = \begin{pmatrix} \delta \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_L$$

$$Zd_R^3 = Rd_3 * Zd_L^3 \quad \text{Ec 2.108}$$

$$(Zd_R)^3 = \begin{pmatrix} \delta \\ \gamma \\ \theta \end{pmatrix}_R \quad Rd_3 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (Zd_L)^3 = \begin{pmatrix} \delta \\ \gamma \\ \theta \end{pmatrix}_L$$

$$Zd_R^4 = Rd_4 * Zd_L^4 \quad \text{Ec 2.109}$$

$$(Zd_R)^4 = \begin{pmatrix} \delta \\ \gamma \\ \theta \end{pmatrix}_R \quad Rd_4 = \begin{pmatrix} \cos(-\alpha_4) & \text{sen}(-\alpha_4) & 0 \\ -\text{sen}(-\alpha_4) & \cos(-\alpha_4) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (Zd_L)^4 = \begin{pmatrix} \delta \\ \gamma \\ \theta \end{pmatrix}_L$$

Por lo que las ecuaciones de compatibilidad son:

$$Zd_R^1 = Zd_R^2 = Zd_R^3 = Zd_R^4 \quad \text{Ec 2.110}$$

Estas ecuaciones de equilibrio y de compatibilidad se unen al conjunto de ecuaciones de los subsistemas y se obtiene un sistema de ecuaciones determinado.

2.9 Ensambles Soldados

Para el diseño de ensambles soldados se empleará una fuente bibliográfica (Mott, 1995) que considera la manera en que se aplica la carga en los ensambles, los tipos de materiales en la soldadura y en los miembros en que van a ensamblar así como la geometría del ensamble. La carga puede estar distribuida de manera uniforme a lo largo de la soldadura de manera que todas las partes de la soldadura se someten al mismo nivel de tensión, o bien, la carga puede aplicarse en forma excéntrica.

Los materiales de la soldadura y de los miembros originales determinan las tensiones permisibles. La tabla 2.3 incluye diversos ejemplos para acero. Para acero, soldado mediante el método de arco eléctrico, el tipo de electrodo es una indicación de la resistencia del esfuerzo de tracción del material de relleno.

Tabla 2.3 Tensiones por esfuerzo de corte permisible.

<i>Acero</i>		
<i>Tipo de electrodo</i>	<i>Metales típicos que se ensamblan (Grado ASTM)</i>	<i>Tensión por esfuerzo de corte permisible</i>
E60	A36, A500	18 Ksi (124 MPa)
E70	A242, A441	21 Ksi (145 MPa)
E80	A572 Grado 65	24 Ksi (165 MPa)
E90	—	27 Ksi (186 MPa)
E100	—	30 Ksi (207 MPa)
E110	—	33 Ksi (228 MPa)

2.9.1 Tipos de Ensamblajes

El tipo de ensamble se refiere a la relación entre las partes que enlazan, como se ilustra en la figura 2.24. La soldadura a tope permite que un ensamble tenga el mismo espesor nominal que las partes que se enlazan y por lo regular se carga a tensión. Si el ensamble se hace en forma correcta con el material de soldadura adecuado, el ensamble será más resistente que el metal original. Por consiguiente, no se requiere realizar un análisis especial del ensamble si se demuestra que los propios miembros ensamblados son seguros. No obstante, se sugiere tener cuidado cuando los materiales que se van a ensamblar se ven afectados de manera inversa por el calor que se genera en el proceso de soldadura; los aceros que se someten a tratamiento térmico son ejemplo de ello. Se supone que los otros tipos de soldadura que se muestran en la figura 2.24 colocan a la soldadura en esfuerzo de corte.

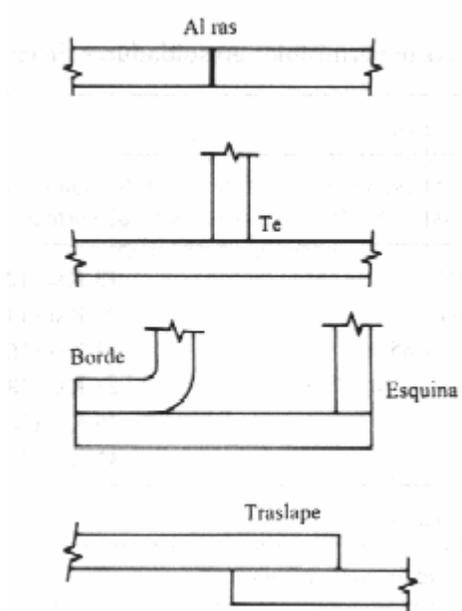


Figura 2.24 Tipos de ensamblajes soldados.

2.9.2 Tipos de Soldadura

La figura 2.25 muestra varios tipos de soldadura a los que se denomina de acuerdo con la geometría de los bordes de las partes que se van a ensamblar. Observe que la preparación especial que se requiere para los bordes, sobre todo para placas gruesas, la cual permite que la varilla de soldadura entre el ensamble forme una costura de soldadura continua.

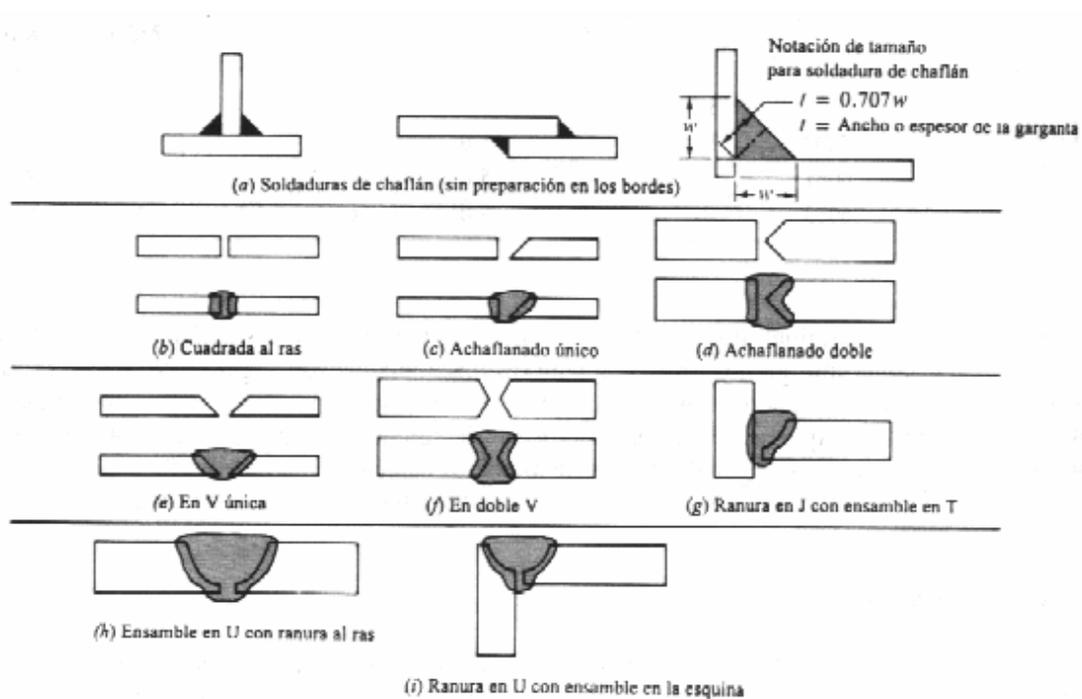


Figura 2.25 Algunos tipos de soldadura, se muestra la preparación de los bordes.

2.9.3 Tamaño de Soldadura

Las soldaduras en chaflanes, por lo regular, se hacen en ángulos rectos de lados iguales y el tamaño de la soldadura es indicado por la longitud del lado. Una soldadura de chaflán que se somete a carga de corte tenderá a fallar a lo largo de la dimensión más corta de la soldadura que es la línea a partir de la raíz de la soldadura

hasta la cara teórica de la soldadura y normal respecto a la cara. Con base en la trigonometría simple, se encuentra que la longitud de esta línea es $0,707w$; donde w es la dimensión del lado.

Los objetivos del diseño de un ensamble soldado con chaflán son especificar la longitud de los lados del chaflán; la forma de la soldadura; y su longitud. A continuación se presenta el método para tratar a la soldadura como una línea que no tiene espesor. El método implica determinar la fuerza máxima por pulgada de longitud de lado que se necesita.

La tabla 2.4 proporciona información correspondiente a la tensión por esfuerzo de corte permisible y la fuerza permisible por pulgada para algunas combinaciones de metal base y electrodo soldador. En general, las tolerancias para estructuras tipo edificio son para cargas constantes. A los valores para carga tipo puente se le asignan los efectos cíclicos.

2.9.4 Método para Tratar la Soldadura como una Línea

Este método considera cuatro tipos de cargas distintas: tensión directa o compresión, esfuerzo de corte vertical directo, flexión y torsión. El método le permite al diseñador realizar cálculos de manera muy similar a la que se utilizó para diseñar los propios miembros que soportan carga. En general, la soldadura se analiza por separado para cada tipo de carga a fin de determinar la fuerza por pulgada de tamaño de soldadura debido a cada carga. Después las fuerzas se combinan vectorialmente para calcular la fuerza máxima. Esta fuerza máxima se compara con las tolerancias de la tabla 2.6 para determinar el tamaño de la soldadura que se necesita.

Tabla 2.4 Tensiones por esfuerzo de corte permisible y fuerzas en soldaduras.

<i>Metal base Grado ASTM</i>	<i>Electrodo</i>	<i>Tensión por esfuerzo de corte permisible</i>	<i>Fuerza permisible por pulgada de lado</i>
<i>Estructuras tipo edificio</i>			
A36, A441	E60	13 600 psi	9 600 lb/pulg.
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg.
<i>Estructuras tipo puente</i>			
A36	E60	12 400 psi	8 800 lb/pulg.
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg.

Enseguida se resumen las relaciones que se utilizan, en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Resumen de fórmulas del método de estudio de soldadura.

Tipo de carga	Fórmula para fuerza	
	[N/m en SI]	[lbf/inc.]
Tensión directa o compresión	$f = P/A_w$	Ec 2.111
Corte vertical directo	$f = V/A_w$	Ec 2.112
Flexión	$f = M/A_w$	Ec 2.113
Torsión	$f = Tc/J_w$	Ec 2.114

En estas fórmulas, la geometría de la soldadura se utiliza para evaluar los términos A_w , Z_w y J_w , recurriendo a las relaciones que se muestran en la figura 2.26. Debido a que la soldadura se considera como una línea que carece de espesor, las unidades correspondientes a los factores geométricos son distintas a las propiedades del área, como lo indica la figura 2.26.

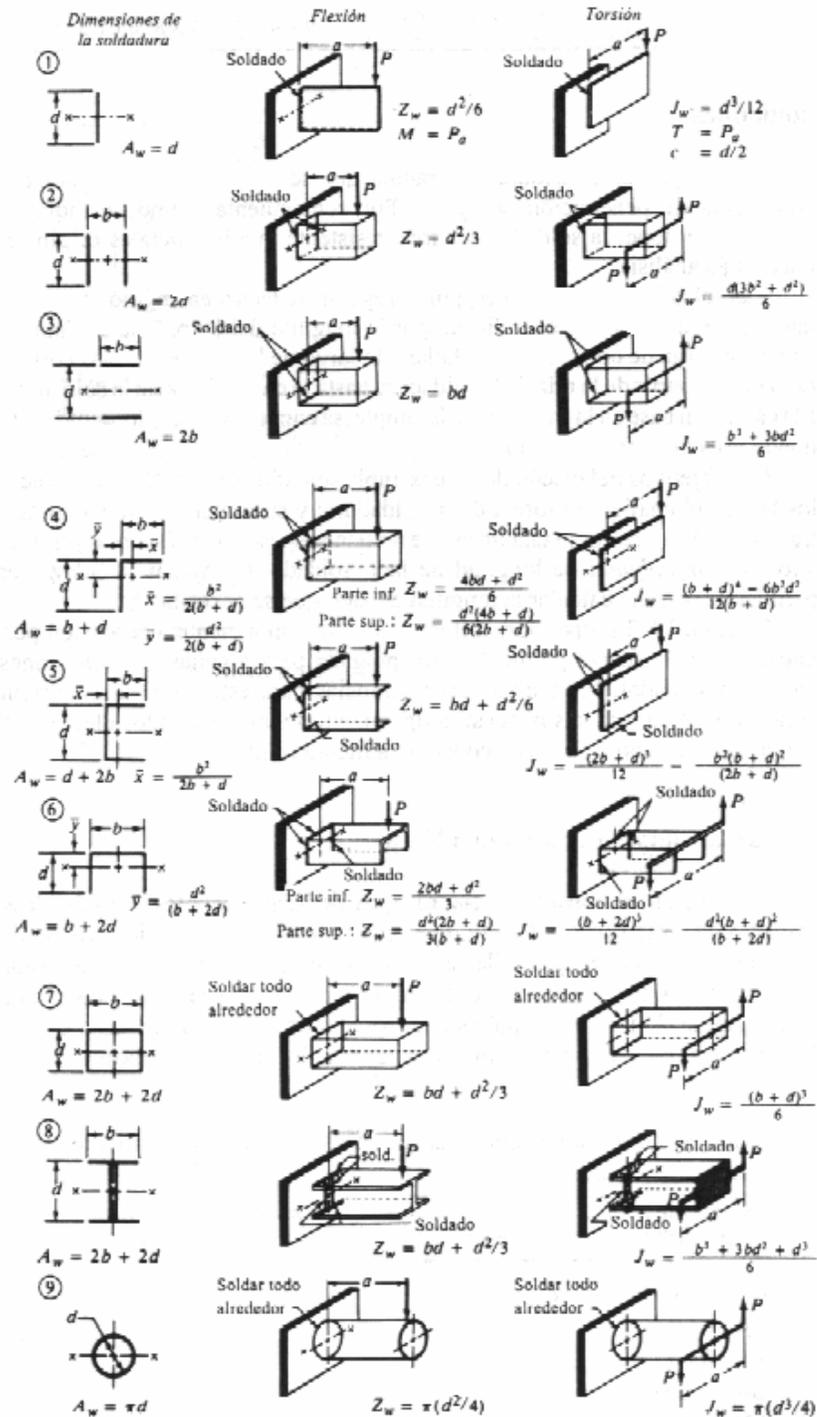


Figura 2.26 Factores de geometría para análisis de soldadura.

En general el método requiere de los pasos siguientes:

1. Proponer la geometría del ensamble y el diseño de los miembros que se van a ensamblar.
2. Identificar los tipos de tensiones a los que está expuesta el ensamble, flexión, torsión, corte vertical, tensión directa o compresión.
3. Analizar el ensamble a fin de determinar la magnitud y el sentido de la fuerza en la soldadura debido a cada tipo de carga.
4. Combinar las fuerzas vectorialmente en el punto o los puntos de la soldadura donde las fuerzas parecen alcanzar un máximo.
5. Dividir la fuerza máxima en la soldadura entre la fuerza permisible de la tabla 2.4 para determinar el tamaño de lado que se requiere para la soldadura. Observe que cuando se sueldan placas gruesas, existen tamaños mínimos aceptables para las soldaduras como se señalan en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Tamaños mínimos de lado para soldaduras de chaflán.

Espesor de la placa		Tamaño mínimo de lado	
		para soldadura de chaflán	
[pulg.]	[mm]	[pulg.]	[mm]
$\leq 1/2$	≤ 13	3/16	5
$> 1/2 - 3/4$	$> 13 - 19$	1/4	6
$> 3/4 - 1 1/2$	$> 19 - 38$	5/16	8
$> 1 1/2 - 2 1/4$	$> 38 - 57$	3/8	10
$> 2 1/4 - 6$	$> 57 - 152$	1/2	13
> 6	> 152	5/8	16

2.10 Ensambles Atornillados

El método básico de análisis y diseño de ensambles atornillados (Mott,1995) (Shigley, 2002) consiste en determinar las fuerzas que actúan sobre cada perno debido a las cargas que se aplican. Así, mediante un proceso de superposición, las cargas se combinan vectorialmente para determinar cuál tornillo soporta la carga más considerable, para asignarle luego un tamaño.

El Instituto Americano de la Construcción en Acero “American Institute of Steel Construction” (AISC) señala esfuerzos permisibles para pernos y tornillos que se fabrican con acero de grado ASTM, como lo muestra la tabla 2.7. Estos datos corresponden a pernos o tornillos que se utilizan en orificios de tamaño estándar 1/16” más grande que el tornillo. También se supone un tipo de conexión de fricción, en la que la fuerza de afianzamiento es lo suficientemente grande de tal forma que la fricción entre las partes que se enlazan contribuye a soportar una parte de la carga por esfuerzo de corte.

Tabla 2.7 Esfuerzos permisibles para pernos.

<i>Grado ASTM</i>	<i>Tensión por esfuerzo de corte permisible</i>	<i>Tensión por esfuerzo de tracción permisible</i>
A307	10 Ksi (69 MPa)	20 Ksi (138 MPa)
A325 y A449	17.5 Ksi (121 MPa)	44 Ksi (303 MPa)
A490	22 Ksi (152 MPa)	54 Ksi (372 MPa)

En el diseño de ensambles atornillados, debe asegurarse de que no existan cuerdas en el plano en el que se origina el esfuerzo de corte. Así, el cuerpo del tornillo tendrá un diámetro mayor de la cuerda, Las tablas 2.8 y 2.9 pueden utilizarse para seleccionar el tamaño estándar de un tornillo.

Tabla 2.8 Estándares ASTM para aceros para fabricar pernos.

Grado ASTM	Tamaño de perno (pulg)	Resistencia al esfuerzo de tracción (Ksi)	Resistencia a punto cedente (Ksi)	Resistencia de prueba o probada (Ksi)	Marca en la cabeza
A307	1/4-4	60	(No reportada)		Ninguna
A325	1/2-1	120	92	85	
	>1-1 1/2	105	81	74	
A354-BC	1/4-2 1/2	125	109	105	
A354-BD	1/4-2 1/2	150	130	120	
A449	1/4-1	120	92	85	
	>1-1 1/2	105	81	74	
	>1 1/2-3	90	58	55	
A574	0.060-1/2	180	—	140	(Tornillos de presión con cabeza emboquillada)
	5/8-4	170	—	135	

Tabla 2.9 Dimensiones American Standard de cuerdas, tamaños fraccionarios.

Tamaño	Diámetro mayor básico (pulg)	Cuerdas gruesas: UNC		Cuerdas finas: UNF	
		Hilos de cuerda por pulgada	Área de esfuerzo de tracción (pulg. ²)	Hilos de cuerda por pulgada	Área de esfuerzo de tracción (pulg. ²)
1/4	0.250 0	20	0.031 8	28	0.036 4
5/16	0.312 5	18	0.052 4	24	0.058 0
3/8	0.375 0	16	0.077 5	24	0.087 8
7/16	0.437 5	14	0.106 3	20	0.118 7
1/2	0.500 0	13	0.141 9	20	0.159 9
9/16	0.562 5	12	0.182	18	0.203
5/8	0.625 0	11	0.226	18	0.256
3/4	0.750 0	10	0.334	16	0.373
7/8	0.875 0	9	0.462	14	0.509
1	1.000	8	0.606	12	0.663
1 1/8	1.125	7	0.763	12	0.856
1 1/4	1.250	7	0.969	12	1.073
1 3/8	1.375	6	1.155	12	1.315
1 1/2	1.500	6	1.405	12	1.581
1 3/4	1.750	5	1.90	—	—
2	2.000	4 1/2	2.50	—	—

2.10.1 Procedimiento para la Resolución de Ensamblados Atornillados

1. Proponga un número de pernos en el patrón. Esta es una decisión de diseño, que se basa en el criterio del diseñador y en la geometría de las partes conectadas.
2. Determine la fuerza de corte directo en el patrón de los tornillos y en cada uno de estos, suponiendo que todos los tornillos comparten la carga por esfuerzo de corte en partes iguales.
3. Calcule el momento a que debe resistir el patrón de tornillos: el producto de la carga indirecta y la distancia respecto al centroide del patrón de tornillos.
4. Calcule la distancia radial del centroide del patrón de tornillos al centro de cada tornillo.
5. Calcule la suma de los cuadrados de todas las distancias radiales hacia todos los tornillos.
6. Calcule la fuerza que se necesita en cada tornillo para que resistan al momento de flexión de la relación:

$$F_i = \frac{Mr_i}{\sum r^2} \quad \text{Ec 2.115}$$

Donde:

- r_i = Distancia radial del centroide del patrón de tornillos al i ésimo tornillo [m]
- M = Momento flector [Nm]
- F_i = Fuerza en el i ésimo tornillo debido al momento. La fuerza actúa perpendicular al radial [N].

7. Determine la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre cada perno. Se puede realizar una sumatoria de vectores ya sea analítica o gráficamente, o bien, cada fuerza se puede resolver en componentes horizontal y vertical. Las componentes se suman y después se calcula la resultante.
8. Especifique el material para el tornillo; calcule el área que se necesita para el tornillo; y seleccione un tamaño adecuado.

2.11 Código de Diseño AISC-LRFD93

El criterio de diseño, (AISC, 1993) consiste en conocer si el elemento prismático es capaz de resistir los esfuerzos que en ella se solicitan. Esto se logra, comparando las relaciones de capacidad, con la unidad. Es decir, si la razón es menor a uno, el diseño es seguro, mientras que de lo contrario no es satisfactorio. A continuación se indica los procedimientos a seguir para determinar dichas relaciones:

2.11.1 Relación de Capacidad de los Esfuerzos Axiales y de Flexión

1. Calcular la relación

$$\frac{P_u}{\gamma_a P_n} \quad \text{Ec 2.116}$$

Donde: P_u = Esfuerzo axial en el elemento [Pa]
 γ_a = Coeficiente de esfuerzo axial = 0,75
 P_n = Esfuerzo axial permisible [Pa]

2. Para $\frac{P_u}{\gamma_a P_n} > 0,2$; la relación de capacidad del esfuerzo axial y de flexión es:

$$\frac{P_u}{\gamma_a P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{u33}}{\gamma_b M_{n33}} + \frac{M_{u22}}{\gamma_b M_{n22}} \right) \quad \text{Ec 2.117}$$

Para $\frac{P_u}{\gamma_a P_n} < 0,2$; la relación de capacidad del esfuerzo axial y de flexión es:

$$\frac{P_u}{\gamma_a P_n} + \left(\frac{M_{u33}}{\gamma_b M_{n33}} + \frac{M_{u22}}{\gamma_b M_{n22}} \right) \quad \text{Ec 2.118}$$

- Donde: $\gamma_b =$ Coeficiente de resistencia a la flexión = 0,7
 $M_{u33} =$ Esfuerzo de flexión del elemento en la dirección mayor [Pa]
 $M_{u22} =$ Esfuerzo de flexión del elemento en la dirección menor [Pa]
 $M_{n33} =$ Esfuerzo de flexión permisible del elemento en la dirección mayor [Pa]
 $M_{n22} =$ Esfuerzo de flexión permisible del elemento en la dirección menor [Pa]

$$M_{n22} = M_{n22} = 415 \text{ Mpa}$$

El Esfuerzo de flexión es:

$$M_{uxx} = \frac{M}{S_{xx}} \quad \text{Ec 2.119}$$

- Donde: $M =$ Momento flector en la sección de estudio [Nm]
 $S_{xx} =$ Módulo elástico de la sección en la dirección xx [m³]

Relación de Capacidad de los Esfuerzos de Corte

$$\frac{V_u}{\gamma_v V_n} \quad \text{Ec 2.120}$$

- Donde: $\gamma_v =$ Coeficiente de resistencia al corte = 0,9
 $V_u =$ Esfuerzo de corte del elemento [Pa]
 $V_n =$ Esfuerzo de corte permisible del elemento = 415 Mpa

El Esfuerzo de corte máximo para una viga H es:

$$V_u = \frac{VQ}{I_x t_w} \quad \text{Ec 2.121}$$

- Donde: $V =$ Fuerza cortante en la sección de estudio [N]
 $Q =$ Primer momento del área (mitad de sección con respecto a eje x-x) [m³]
 $I_x =$ Momento de inercia de la sección con respecto al eje x-x [m⁴]
 $t_w =$ Espesor del alma [m]

El primer momento del área, compuesta por la mitad de la sección de una viga H con respecto al eje x-x, es:

$$Q = (t_f b_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(\frac{d}{2} - t_f \right) t_w \frac{\left(\frac{d}{2} - t_f \right)}{2} \quad \text{Ec 2.122}$$

En donde la simbología y valores se localizan en la figura B.7 y tabla B.8.

El Esfuerzo de corte máximo para una tubería es:

$$V_u = \frac{VQ}{I(2e)} \quad \text{Ec 2.123}$$

- Donde: $V =$ Fuerza cortante en la sección de estudio [N]
 $Q =$ Primer momento del área (mitad de sección) [m³]
 $I =$ Momento de inercia de la tubería [m⁴]
 $e =$ Espesor de la pared de la tubería [m]

El primer momento del área, compuesta por la mitad de la sección de la tubería es:

$$Q = \left(\frac{\pi D_e^2}{8} \right) 0,212 D_e - \left(\frac{\pi D_i^2}{8} \right) 0,212 D_i \quad \text{Ec 2.124}$$

- Donde: $D_e =$ Diámetro externo de la tubería [m]
 $D_i =$ Diámetro interno de la tubería [m]

2.12 Código de Diseño ASTM en Deflexiones Permisibles

El criterio de diseño ASTM establece las deflexiones máximas permisibles (ASTM, 1990), estableciendo:

$$Y_{m\acute{a}x} = L/1000 \qquad \text{Ec 2.125}$$

Donde: $Y_{m\acute{a}x}$ = Deflexión máxima permisible
 L = Longitud total de la estructura

2.13 Diseño de Fundaciones

2.13.1 Mecanismo Suelo-Estructura

La fundación de una estructura es aquella parte que transmite la carga de la parte superior de la misma, “la súper estructura”, al suelo o a la roca. Se asumirá que el suelo y la estructura son rígidos, siempre y cuando no superen sus capacidades admisibles. El diseño de fundaciones rígidas se basa en la hipótesis de que las deformaciones propias de la fundación sean pequeñas comparadas con los asentamientos del suelo; por consiguiente, consideramos la fundación como un cuerpo rígido, indeformable, cuya elástica es una línea recta, o un plano, resultando una distribución uniforme(UCV, 1964).

2.13.2 Selección del Tipo de Fundación

A continuación se indica los tipos de fundaciones más extendidas:

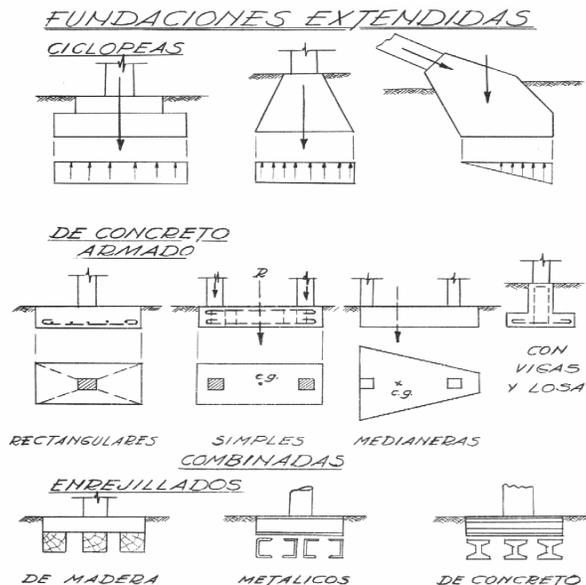


Figura 2.27 Fundaciones extendidas

2.13.3 Construcción de Fundación de Concreto Armado

En el anexo D se ilustran tablas elaboradas por la Comisión de Normas para el Concreto Armado del Ministerio de Obras Públicas de Venezuela que permiten la construcción de fundaciones de viga y losas, llamados también de pedestal y zapata, de forma sencilla y confiable.

La carga axial (vertical) identificada con P y la carga cortante (horizontal) con V serán transformadas en una resultante R . Estas y el momento flector M se representan en la siguiente figura:

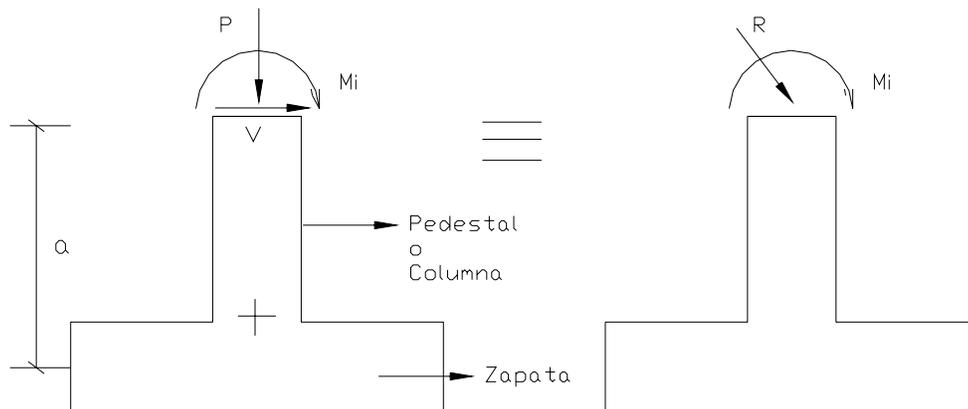


Figura 2.28 Representación de fuerzas externas actuantes en la fundación.

Estas fuerzas externas se utilizarán para determinar la fundación idónea. Para comprender cómo se utilizan las tablas, se procede a resolver el siguiente ejemplo:

P = 100 Ton	V = 50 Ton	M _i = 6.000 Kgf.m	R _s = 4,5 Kgf/cm ²	R _{cr} = 200 Kgf/cm ²
-------------	------------	------------------------------	--	---

Donde: R_s = Resistencia del suelo a la cohesión (Véase tabla 2.10)
 R_{cr} = Resistencia del concreto

Para determinar las dimensiones del pedestal o columna del concreto armado, se procede así:

1. Se procede a calcular la sección del concreto aproximada:

$$Área_{aprox} = \frac{R}{R_{cr}/3} = \frac{\sqrt{(100.000Kgf)^2 + (50.000Kgf)^2}}{200Kgf/cm^2/3} = 1.677cm^2 \quad \text{Ec 2.126}$$

2. De las tablas de pedestal elegimos una columna de 50x50, para R = 112 Ton y M_i = 6.000 Kgf.m, se obtiene un pedestal:

$$10 \phi \frac{7}{8}'' \quad P_{adm} = 113,4 \text{ Ton}$$

$$M_{adm} = 6.500 \text{ Kgf.m}$$

$$a = 1,62 \text{ m}$$

Cabillas del pedestal = $10 \phi \frac{3}{8}''$, distribuidas uniformemente.

3. Obtenido el pedestal, se procede a determinar la zapata, de las tablas de bases:

Base Lados = 1,7 m

Espesor = 0,5 m

Cabillas de la base, para armado = $19 \phi \frac{5}{8}$ ", distribuidas uniformemente.

Tabla 2.10 Resistencia de suelos a la cohesión.

I. Tierra suelta sin mejoras artificiales:	
Según la clase, espesor y regularidad del suelo y sus capas	Kg/cm ² . 0 - 1
II. Tierra firme (en su forma natural):	
a) Légamos, cienos, turba en general	0
b) Suelo de acarreo asentado:	
1. Arena fina y mediana hasta granos de 1 mm. ...	2
2. Arena gruesa con granos de 1 a 3 mm.	3
3. Cascajo con un tercio de canto rodado y grava hasta 70 mm. de tamaño	4
c) Suelos aglutinados (tierra, arcilla, marga)	
1. flúidos	0
2. flojos	0,4
3. tenaces	0,8
4. semiduros (compactos)	1,5
5. duros	3,0
Esta clase de terrenos son propicios a asentarse y deben tomarse precauciones especiales.	
d) Rocas con pocas grietas o erosiones y buena estructura. (Si la disposición de las capas es desfavorable o tiene grandes grietas, los valores indicados a continuación, deben reducirse a la mitad):	
1. En capas o filones (Grauwaca, arenisca, caliza, mármol, marga, dolomita, pizarra cristalina o arcillosa)	
a) Poco resistente	Kg/cm ² . 10
β) Muy resistente	15
2. En masa (granito, sienita, diorita, pórfido, diabasa, basalto, andesita y gneis)	30

2.13.4 Análisis Comparativo de los Tipos de Fundaciones

El análisis comparativo de los diversos tipos de fundaciones que pueden aplicarse a la solución de un problema dado, es necesario estudiar, sucesivamente, los siguientes factores:

1. Factores técnicos. Que hacen que un tipo determinado de fundación sea más adecuada para las condiciones locales y de carga del problema en cuestión.
2. Factores económicos. Que en igualdad de condiciones técnicas, hacen que un tipo de fundación resulte más económica en las circunstancias del problema en cuestión.

Dado que la misión fundamental del ingeniero es obtener la solución más adecuada y más económica de los problemas de diseño, se revisarán a continuación detalladamente esos factores y su influencia en los diversos tipos de fundaciones.

Los *factores técnicos* que es preciso analizar al hacer la comparación entre los diversos tipos de fundación que pueden aplicarse a la solución de un problema dado son principalmente los siguientes:

- Limitaciones prácticas de las dimensiones y capacidad de carga del suelo.
- Peso propio del macizo de fundación, circunstancia que adquiere relevante importancia es los suelos de débil poder de soporte.
- Concentración de las cargas.
- Estabilidad del conjunto, de especial interés en las fundaciones que reciben reacciones horizontales.
- Permanencia de la fundación ante el peligro de sofocación, circunstancia fundamental en las fundaciones para puentes, malecones o muros de defensa de inundaciones.

El *factor económico* determinante en la elección definitiva del tipo de fundación es su costo total, al cual contribuyen dos factores esenciales:

- El tiempo de ejecución, que al fin y al cabo se convierte en un costo en gastos indirectos y de supervisión y en un alargamiento del período improductivo de la obra.
- El costo directo de los equipos, materiales y personal necesarios para ejecutar la fundación.

2.13.5 Programa de Trabajo en la Construcción de Fundaciones

El proceso de fundación se divide en las siguientes operaciones elementales:

1. Excavación hasta el nivel de la base de apoyo, que incluye preparación y limpieza de la superficie de apoyo.
2. Ubicación de protección del área de trabajo, y su ubicación hasta la profundidad.
3. Colocación del concreto ó mampostería del macizo de fundación, que incluye encofrado y desencofrado de los moldes, preparación y colocación de los refuerzos y cura del concreto.
4. Remoción de los sistemas de protección y relleno de la excavación.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Consideraciones Generales

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, se planteó la metodología que se presenta a continuación:

Se procedió a determinar con salidas a campos en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, todas las posibles causas que originaron el pandeo en las CB mediante visualización de los procesos operativos, entrevistas con los operadores, análisis de la memoria de cálculos del diseño original de la estructura y conversación con los ingenieros del departamento de Gerencia Técnica.

Se determinó todas las cargas que actúan sobre las CB mediante el cálculo de la carga muerta producto de la plataforma, techo de la estructura, grouting, equipos y accesorios; carga distribuida por el peso de la RF sobre la cinta transportadora 40-ET-03; carga puntual debido a la reacción que origina la estructura de soporte de la 40-ET-02; carga distribuida por el viento, sísmica y de impacto ocasionada por la maquinaria pesada; carga crítica producida por la acumulación de RF sobre las CB que originan diferenciales de presión ocasionando altas cargas de flexión sobre las CB.

Empleando las cargas críticas antes expuestas y con el previo conocimiento de la CB que deberá ser sustituida por las deformaciones causadas, se procedió a la realización de un programa computacional, mediante el software matemático “MatLab®” para determinar las fuerzas axiales, cortantes; momentos; deflexiones; esfuerzos y tamaño del cateto de la soldadura de perfil empleada para la unión de las diferentes juntas del ensamble sugerido en el plano No. 1 (soporte lado oeste transportador 40-ET-03). Para su realización se empleo la teoría de Pórticos. La columna base a ser sustituida será la CB-1 (Véase figuras de la A.10 a la A.15), debido a que la misma es la que presenta los mayores efectos de pandeo.

Para el montaje de esta CB se requiere de fundaciones que soporten los esfuerzos de sustentación, por ello se procedió a calcular las nuevas fundaciones.

Los lineamientos de fabricación y montaje de las nuevas CB se basaron en normas y estándares de PDVSA, AISC y ASTM, además de otros códigos indicados en la sección de instrucciones de trabajo.

3.2 Planificación del Proyecto

3.2.1 Metas:

1. Generar un estudio de cargas axiales presentes en la plataforma de la estructura y la CB-1.
2. Contar con un estudio de cargas de flexión presentes en la en la plataforma de la estructura y la CB-1.
3. Determinar la metodología operacional actual en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática de la planta de H_3PO_4 .
4. Identificar las causas que originaron el pandeo que actualmente presenta la CB-1, contrastando las consideraciones asumidas por la constructora de la estructura y la metodología operacional actual.
5. Proponer una nueva metodología operacional eficiente que impida la continuidad del fenómeno de pandeo en las CB.
6. Definir los recursos económicos y técnicos que se dispondrán para el diseño y construcción de la nueva CB-1.
7. Desarrollar tres propuestas para la nueva columna base, y escoger la óptima.
8. Elaborar un modelo matemático, que permita diseñar y simular las condiciones operacionales del nuevo diseño que sustituirá la actual CB-1, para demostrar su confiabilidad.
9. Elaborar los planos de la nueva CB-1.
10. Diseñar las fundaciones de la nueva CB-1.
11. Crear los planos de las nuevas fundaciones.
12. Elaborar las instrucciones de excavación del terreno, construcción de las nuevas fundaciones, soldadura, montaje, instalación y pintado de la nueva CB-1, con la ayuda de las normativas internas (PDVSA, INTEVEP, PEQUIVEN), nacionales (COVENIN) e internacionales (AISC, ASTM, ASME, AWS, etc.).
13. Ejecutar la construcción de la nueva CB-1, tal que esta cumpla con los

estándares de diseño y su fabricación resulte fácil y económica.

3.2.2 Plan de Trabajo:

Para la ejecución del presente proyecto se ha estimado una duración de dieciséis (16) semanas, iniciándose con la recopilación de la información bibliográfica referente al diseño de estructuras metálicas y normativas existentes para las mismas y culminando con la presentación del trabajo especial de grado ante la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV. Para lograr el fin propuesto se ha diseñado el siguiente plan de trabajo:

1. Recopilar la información bibliográfica referente al diseño de estructuras metálicas y normativas existentes para las mismas.
2. Estudiar y analizar los procesos operacionales en la producción de ácido fosfórico.
3. Realizar un estudio de las cargas axiales y de flexión presentes en la plataforma de la estructura y la CB-1.
4. Analizar la metodología operacional actual en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática de la planta de H_3PO_4 .
5. Determinar los criterios de diseño empleados por la constructora de la estructura soporte de la cinta transportadora deslizable 40-ET-03.
6. Identificar las causas que originaron el pandeo que actualmente presenta la CB-1, contrastando las consideraciones asumidas por la constructora de la estructura y la metodología operacional actual.
7. Proponer una nueva metodología operacional eficiente que impida la continuidad del fenómeno de pandeo en las CB.
8. Definir los recursos económicos y técnicos que se dispondrán para el diseño y construcción de la nueva CB-1.
9. Desarrollar tres propuestas para la nueva columna base, y escoger el óptimo.

10. Elaborar un modelo matemático, que permita diseñar y simular las condiciones operacionales del nuevo diseño que sustituirá la actual CB-1, para demostrar su confiabilidad.
11. Elaborar el plano de la nueva CB-1.
12. Diseñar las fundaciones de la nueva CB-1.
13. Crear el plano de las fundaciones de la nueva CB-1.
14. Solicitar la autorización para emplear los recursos disponibles en la empresa.
15. Gestionar la compra de materiales no disponibles en el complejo.
16. Realizar las instrucciones de trabajo (Soldadura, Pintura, Fabricación e Instalación) siguiendo normativas internas, nacionales e internacionales.
17. Excavar el terreno para la construcción de las nuevas fundaciones.
18. Construir las nuevas fundaciones y esperar tiempo de fraguado.
19. Cortar las piezas metálicas, según plano de nueva CB-1.
20. Aplicar el proceso de sandblasting a las piezas cortadas.
21. Armar y soldar las piezas metálicas, según plano de nueva CB-1.
22. Aplicar la pintura, según instrucciones de trabajo.
23. Instalar la nueva CB-1.
24. Re-pintar la nueva CB-1.
25. Elaborar y revisar el informe ha ser presentado ante la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV.
26. Presentar el trabajo especial de grado.

3.2.3 Diagrama Gantt:

A continuación se presenta el diagrama de Gantt, elaborado por medio del software “Microsoft Projects®”, el cual permitirá esquematizar el plan de trabajo, con el fin de poder supervisar su puesta en marcha.

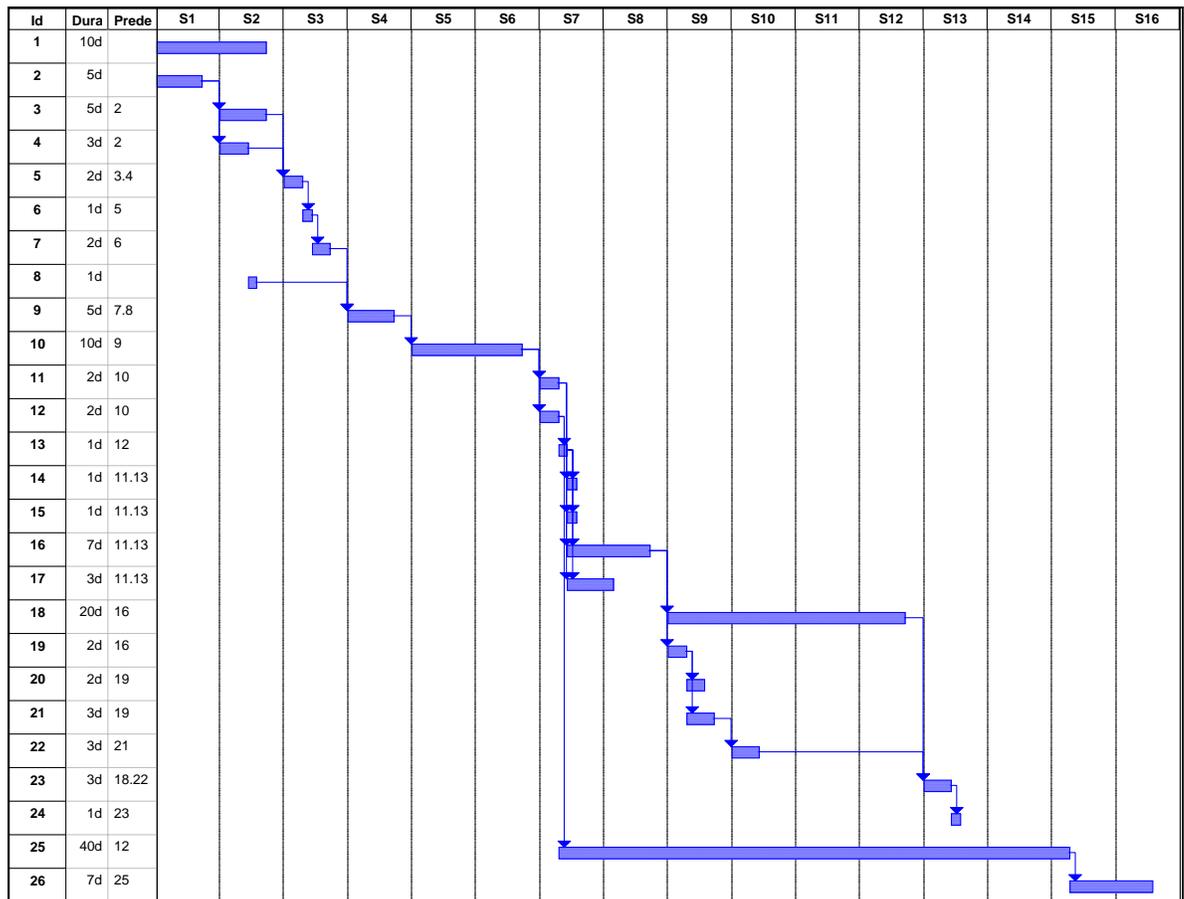


Figura 3.1 Diagrama Gantt del proyecto.

3.2.4 Diagrama PERT:

En la figura 3.2 se muestra el diagrama PERT, elaborado por medio del software “Microsoft Projects®”, el cual permitirá visualizar esquemáticamente la correlación entre las actividades del plan de trabajo y la identificación de la ruta crítica del proyecto.

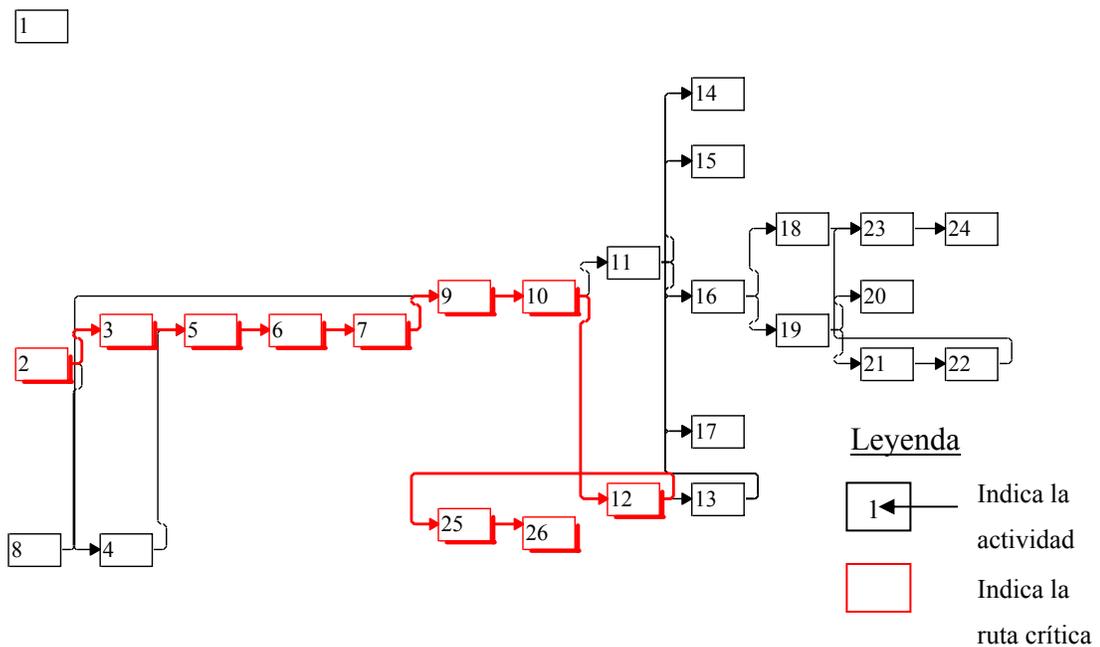


Figura 3.2 Diagrama PERT del proyecto.

3.3 Análisis Causales del Pandeo (Causa-Raíz)

Posterior al análisis realizado mediante el flujo de procesos en sistemas de investigación de incidentes, mostrado en la figura 2.1, con las técnicas de investigación, por medio del análisis de los procesos operacionales en la sección bajo estudio, de entrevistas al superintendente del área de fosfatado; supervisor de la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de RF; y a trabajadores con antigüedad superior a la instalación de la estructura 40-ET-03 se llegó a identificar las dos causas que provocaron el pandeo, con el orden de importancia, tal como se indica:

- Impacto producido por la maquinaria pesada en el momento de recolección de la roca fosfática para su posterior recirculación en la sección 01.
- Inadecuada distribución de la RF a lo largo de la estructura 40-ET-03, producto del mal funcionamiento de los dispensadores vibratorios ubicados en el suelo por debajo de la estructura, generándose diferenciales de presión causadas por la misma RF.

3.4 Cálculo de Cargas en Estructura 40-ET-03

En la presente sección del trabajo se realiza un estudio de todas las cargas que actúan sobre las CB mediante el cálculo de la carga muerta producto de la plataforma, techo de la estructura, grouting, equipos y accesorios; carga distribuida por el peso de la RF sobre la cinta transportadora 40-ET-03; carga puntual debido a la reacción que origina la estructura de soporte de la 40-ET-02; carga distribuida por el viento, sísmica y de impacto ocasionada por la maquinaria pesada; carga crítica producida por la acumulación de RF sobre las CB que originan diferenciales de presión ocasionando altas cargas de flexión sobre las CB. Las tablas de la presente sección fueron elaboradas en el software “Microsoft Excel®”.

En la tabla 3.1 se realiza un estudio detallado de todos los elementos que conforman la plataforma de la estructura 40-ET-03, con el fin de determinar la carga muerta distribuida. La unidad de distribución empleada es el “div” que es equivalente a 1,82 m. La plataforma está formada por seis CB y una TNC, entre CB existen 10 divisiones, mientras que en la TNC dos divisiones (Véase figura B.6).

Tabla 3.1 Carga distribuida por estructura metálica en plataforma (Niv-14).

Componentes por división	Peso [Kgf/div]
2 Viga H175 x 14.7	54
2 Viga H 175x17.5	53
1 Viga L 90 x 90 x 7 (Diagonal)	25
Sub-Total ----->>	132
2 (Unión de 2L de 75 x 75 x 7)	81
2 Viga L 90 x 90 x 7 (Diagonal)	49
2 Viga H 175 x 14.7	54
Sub-Total ----->>	184

Tabla 3.1 (Cont.)

2 Viga H140 x 13.9	42
2 Viga H 175x14.7	54
1 Viga L 90 x 90 x 7 (Diagonal)	25
Grating	90
Sub-Total ----->>	211
TOTAL ESTRUCTURA METÁLICA ----->>	529
	5.184 N/div
	2.848 N/m

En la tabla 3.2 y 3.3 se realiza un análisis similar al anterior con la diferencia que el estudio de la carga muerta es sobre la base de la carga originada por el techo, y por los equipos y accesorios ubicados sobre la plataforma, respectivamente. De esta última el peso de todos los elementos se distribuirá a lo largo de la estructura.

Tabla 3.2 Carga distribuida por techo (Niv-17).

Cantidad y Descripción	Peso [Kgf/div]
Viga H140x13.9	46
6 Viga C 100x10.8	118
8 laminas por div. Peso/lamina = 2,38 Kgf.	19
Techo	9
TOTAL TECHO Y LAMINAS ----->>	192
	1.882 N/div
	1.034 N/m

Tabla 3.3 Carga distribuida por equipos y accesorios.

Pieza	Peso [Kgf/m]
Viga carril y riel	22
Motor-Reductor ET-03(Rotac) se supondrá presente en toda la viga	16
Motor-Reductor ET-03(Tras) se supondrá presente en toda la viga	92
Correas	16
Estación triple de impacto (Se supondrá presente en toda la viga)	8
Estación triple de retorno (Se supondrá el peso en toda la viga)	5
Barandas de 1 1/2 inc. Estimación de 7500 Kg/m ³	47
Otros equipos	5
TOTAL EQUIPOS Y ACCESORIOS ----->>	211
	2.068 N/m

En la tabla 3.4 se analiza la carga distribuida por el peso de la roca fosfática sobre las cintas transportadoras, en el momento de su puesta en marcha. El peso de la RF se obtiene del producto de la capacidad máxima y la longitud de la cinta para posteriormente dividirlo por la velocidad. Dicho peso (8.000 Kgf) se divide entre la longitud de la cinta, para obtener el peso distribuido por metro lineal; los datos utilizados se encuentran en la tabla B.7.

Tabla 3.4 Carga Distribuida por peso de roca fosfática.

Capacidad máxima de transporte [TMH]	1.000
Longitud parcial de cinta [m]	58,40
Velocidad lineal de la cinta (400 FPM) [m/H]	7.315
Peso de Roca Fosfática [TM] ----->>	8
TOTAL ROCA FOSFÁTICA ----->>	137 Kgf/m
	1.342 N/m

En la tabla 3.5 se ejecuta un estudio similar al hecho en la tabla 3.3, pero ahora se analizan específicamente los equipos y accesorios ubicados en la TNC.

Tabla 3.5 Carga puntual por equipos y accesorios en TNC.

Componentes	Peso [Kgf]
Estructura de soporte de Motor ET-02	100
Motor ET-02 144 HP	684
Reductor ET-02	1.000
Rodillo	8
Tolva de carga	5
Otros elementos (Escaleras, pasamanos, etc.)	30
TOTAL EQUIPOS Y ACCESORIOS EN TNC ----->>	1.827
	17.905 N

En la tabla 3.6 el estudio es de la carga puntual que proporciona el apoyo de la estructura 40-ET-02 sobre la 40-ET-03, para lograr esto, primero se ejecuta un análisis de la carga distribuida de la 40-ET-02, para posteriormente con el programa “Vigas” de la calculadora gráfica HP-48GX, obtener dicha reacción con el conocimiento de que la misma esta formada por cuatro apoyos (Véase figura B.5).

Tabla 3.6 Carga puntual por apoyo de estructura 40-ET-02.

Componente	Peso [Kgf/m]
Carga por peso de roca fosfática	137
Correas	20
Estación triple de impacto (Se supondrá presente en toda la viga)	20
Estación triple de retorno (Se supondrá presente en toda la viga)	10
Vigas y elementos de soporte	250
Grating	50
Barandas	30
Luces	150
Otros elementos	300
Total Carga Distribuida en ET-02 ----->>	967
CARGA PUNTUAL EN ET-03 DEBIDO A ET-2 ----->>	6.700 Kgf.
	65.660 N

La tabla 3.7 indica el análisis del efecto del viento sobre la estructura 40-ET-03, la carga se distribuirá uniformemente sobre el plano XY (Véase figura 2.13). Los datos son obtenidos de las tablas B.1, B.2 y B.7; el total de carga distribuida es calculado por la Ec.2.2.

Tabla 3.7 Carga distribuida por viento.

Velocidad de diseño del viento [m/s]	30
Factor de forma (C_s)	1,3
Factor de ráfaga (C_f)	1
Densidad del aire (ρ) [Kg/m^3]	1,16
Presión que genera el viento [Pa]	679
Ancho de área de incidencia (w) [m]	3
TOTAL CARGA UNIF. DIST. (VIENTO) ----->>	2.037 N/m

La tabla 3.8 indica el análisis del efecto de futuras cargas sísmicas, para ello se totaliza el peso muerto y se emplean las tablas 2.1 y B.7; y las Ec 2.4, 2.6 y 2.7.

Tabla 3.8 Carga sísmica.

Factor de zona (Z)	4
Coefficiente (K)	1
Altura de estructura (h) [m]	17
Largo de estructura (D) [m]	113
Período de vibración (T)	0,08
Coefficiente C	0,1
Peso Muerto Total (W) [N]	925.831
TOTAL CARGA SÍSMICA ----->>	370.332 N

A continuación, en la tabla 3.9 se indica un resumen de las cargas anteriores, clasificadas por su plano de acción (Véase figura 2.13).

Tabla 3.9 Resumen de cargas en estructura ET-3.

Plano	Descripción	Carga	Carga equivalente	
XZ	Carga por estructura metálica	2.848	N/m	7.292
	Carga por techo y láminas	1.034		
	Carga por equipos y accesorios	2.068		
	Carga por roca fosfática	1.342		
	Carga por equipos y accesorios en TNC	17.905	N	83.565
	Carga puntual en ET-03 debido a ET-02	65.660		
XY	Carga por viento	2.037	N/m	N/m
	Carga sísmica	370.332	N	N

Obtenida las cargas actuantes sobre la estructura 40-ET-03, se procede a determinar las reacciones que originan sobre las CB y la TNC en los diferentes planos de acción (Véase figura 2.13, 3.3 y 3.4), para esto se considerará a la estructura como una viga, para posteriormente con el programa “Vigas” de la calculadora gráfica HP-48GX, obtener dichas reacciones, que se muestran en la tabla 3.10.

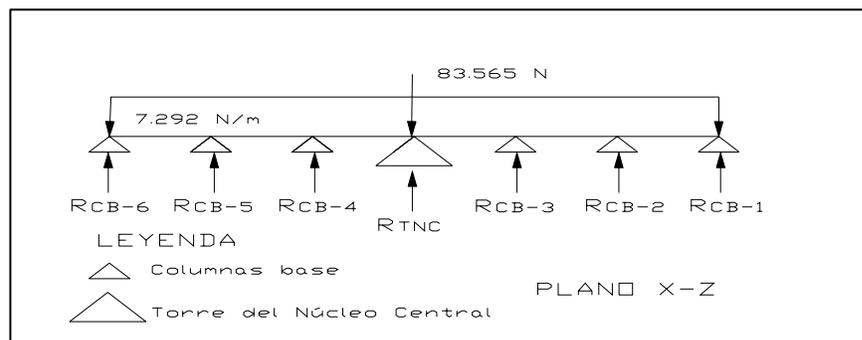


Figura 3.3 Diagrama para determinar reacciones en las CB y TNC (Plano X-Z).

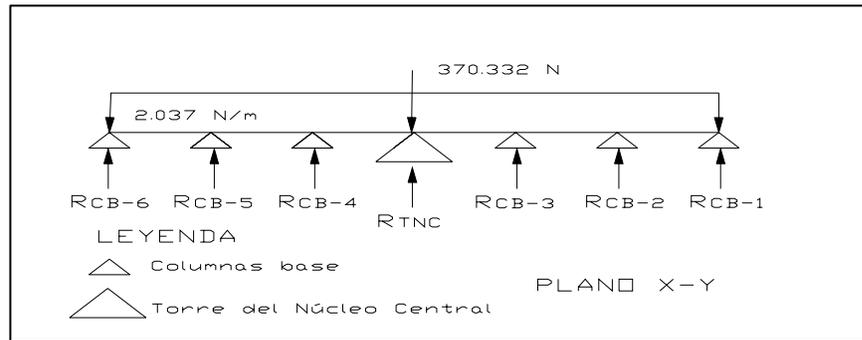


Figura 3.4 Diagrama para determinar reacciones en las CB y TNC (Plano X-Y).

Tabla 3.10 Reacciones de las CB y TNC en la ET-03.

		<i>Carga [N]</i>	
		<i>Plano XZ</i>	<i>Plano XY</i>
Reacción	CB – 1	54.165	15.131
	CB – 2	155.846	43.535
	CB – 3	132.009	36.877
	TNC	223.523	409.429
	CB – 4	132.009	36.877
	CB – 5	155.846	43.535
	CB – 6	54.165	15.131

La CB de interés es la CB-1 (resultados resaltados en la tabla 3.10); se procederá a determinar el efecto de la maquinaria pesada (Véase tabla 3.11) y la acumulación de roca fosfática (Véase tabla 3.12) sobre la CB-1.

La tabla 3.11, fue realizada por medio de los datos de la tabla B.3 y de la Ec 2.8. Esta fuerza de impacto será ubicada a 5,7 m; medida desde el suelo, perteneciente al plano XZ, paralelo a la viga, en sentido positivo al eje x global, en ambos laterales de las vigas HEA, repartido en partes iguales en el elemento 2 y 10, identificados como PMP1 y PMP2 respectivamente en la codificación de fuerzas del programa: “Estudio de

Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)” (Para visualizar este código y correr el programa, ubicar el archivo “CB1.m” en el CD que se anexa al presente trabajo).

Tabla 3.11 Carga de impacto por maquinaria pesada.

Potencia máxima en el volante [W]	179.000
Velocidad máxima [m/s]	9
CARGA DE IMPACTO POR MP ----->>	19.889 N

La tabla 3.12, fue realizada suponiendo que la presión que ejerce la RF sobre la CB, producto de la inadecuada distribución de RF, originan distribuciones de presión triangular y rectangular, como lo indica las figuras B.3 y B.4. Como la superficie libre de RF se encuentra rotada -35° con respecto a la horizontal (Véase tabla B.7) la longitud efectiva para la distribución triangular es $\bar{h} = (2,6/2 \text{ sen}35^\circ)m = 0,7m$. Mientras que la longitud efectiva para la distribución uniforme es $H = (2,6 \text{ sen}35^\circ)m = 1,5m$. Las dos áreas calculadas en la tabla corresponden a dos veces el producto del espesor de la viga HEA elegida y la distancia neta de la distribución triangular o uniforme, según sea el caso. Las cargas puntuales de las dos distribuciones son determinadas por la Ec 2.13.

Tabla 3.12 Carga producto de acumulación de roca fosfática sobre columna base.

Peso específico de la RF [N/m ³]	15.680
Altura de cubrimiento máximo de RF [m]	7,6
Altura de RF en lado opuesto [m]	5
Distancia de distribución de presión triangular [m]	2,6
\bar{h} efectiva por presión triangular [m]	0,7
Distancia de distribución de presión uniforme [m]	5
H efectiva por presión uniforme [m]	1,5
Área que soportará la presión de RF (Distribución triangular) [m ²]	1,6
Área que soportará la presión de RF (Distribución uniforme) [m ²]	3
Carga puntual, debido a distribución triangular ----->>	17.562 N
Carga puntual, debido a distribución uniforme ----->>	70.560 N

La tabla 3.13 indica la codificación y la magnitud de las cargas empleadas en el programa “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”. Los signos corresponden según sea el caso a la convención descrita en la sección “Modelación de pórticos tridimensionales” del presente trabajo. La ubicación de las cargas se detalla en las figuras del anexo C.1. Los pesos de la tubería empleada y los diferentes tipos de vigas HEA se detallan en las tablas B.5 y B.8 respectivamente.

Tabla 3.13 Cargas de nueva CB-1.

<i>Abrev.</i>	<i>Carga</i>	<i>Plano YZ [N]</i>	<i>Plano XZ [N]</i>
PRFa1	RF, propiciada por distribución uniforme	-	35.280
PRFa2	RF, propiciada por distribución triangular	-	8.781
PRFa10	RF, propiciada por distribución uniforme	-	35.280
PRFa20	RF, propiciada por distribución triangular	-	8.781
PMP1	Carga de impacto por maquinaria pesada	-	9.945
PMP2	Carga de impacto por maquinaria pesada	-	9.945

Tabla 3.13 (Cont.)

P_{5x}	Proyección en x (local) de la carga concentrada, equivalente al peso propio de los primeros 5 elementos estructurales	
	[Viga HEA-260]	9.352
	[Viga HEA-320]	13.384
	[Viga HEA-360]	15.609
	[Viga HEA-450]	19.208
P_{5y}	Proyección en y (local) de la carga concentrada, equivalente al peso propio de los primeros 5 elementos estructurales	
	[Viga HEA-260]	- 1.649
	[Viga HEA-320]	- 2.360
	[Viga HEA-360]	- 2.711
	[Viga HEA-450]	- 3.387
P₆	Peso propio del elemento 6	
	[Viga HEA-260]	- 1.002
	[Viga HEA-320]	- 1.434
	[Viga HEA-360]	- 1.647
	[Viga HEA-450]	- 2.058
P_{t6}	Carga por efecto de plataforma (plano xz)	- 54.165
P_{a6}	Carga por efecto de plataforma (plano xy)	- 15.131
P_{P10x}	Proyección en x (local) de la carga concentrada, equivalente al peso propio de los primeros 5 elementos estructurales	
	[Viga HEA-260]	- 9.352
	[Viga HEA-320]	- 13.384
	[Viga HEA-360]	- 15.609
	[Viga HEA-450]	- 19.208
P_{P10y}	Proyección en y (local) de la carga concentrada, equivalente al peso propio de los primeros 5 elementos estructurales	
	[Viga HEA-260]	
	[Viga HEA-320]	1.649
	[Viga HEA-360]	2.360
	[Viga HEA-450]	2.711
		3.387
P₁₂	Peso propio del elemento 12	- 2.829
P₁₃	Peso propio del elemento 13	- 1.248
P₁₄	Peso propio del elemento 14	1.248
P₁₅	Peso propio del elemento 15	- 999
P₁₆	Peso propio del elemento 16	999
P₁₇	Peso propio del elemento 17	- 2.419

Tabla 3.13 (Cont.)

P18x	Proyección en x del peso propio del elemento 18	- 1133
P18y	Proyección en y del peso propio del elemento 18	- 985
P19x	Proyección en x del peso propio del elemento 19	- 1133
P19y	Proyección en y del peso propio del elemento 19	985
P20x	Proyección en x del peso propio del elemento 20	- 1.004
P20y	Proyección en y del peso propio del elemento 20	- 1.332
P21x	Proyección en x del peso propio del elemento 21	- 1.004
P21y	Proyección en y del peso propio del elemento 21	1.332

3.5 Selección de CB Mediante Técnica Matriz de Decisión

A continuación se indicarán tres alternativas, que serán confrontadas entre sí, en los aspectos técnicos, económicos y de instalación, con la ayuda de la técnica de matriz de decisión, para elegir la CB que sustituirá la actual CB-1 pandeada.

3.5.1 Aspectos Técnicos

El presente estudio tiene como finalidad la evaluación de tres alternativas, para el diseño de la nueva CB-1.

- La primera es la fabricación y montaje de una estructura similar a la pandeada, pero con un marco en su CB formado por perfiles superiores al actual, de HEA 320 y las cerchas con perfiles de alas iguales 75 y 100 mm (Véase figura 3.5).
- La segunda consiste en una CB, donde sus columnas estarán formada por un arreglo triangular de tubos de 152 mm (6") de diámetro nominal, con protección de concreto en la periferia de hasta 2 metros por encima de la base, con el objeto de proteger la estructura de impactos generados por la maquinaria pesada (Véase figura 3.7 (a)).
- La tercera es el empleo de un perfil estructural HEA 320, los cuales formarán las columnas de apoyo, colocando entre ellas cerchas horizontales cada 3 metros de altura con tubos de 152 mm (6") de diámetro nominal para reforzarla; la distribución de las cerchas será modificada como lo muestra la figura 3.9.

Para ejecutar el análisis se extraerá de la tabla 3.10, las reacciones en los diferentes planos de acción de la CB-1, para ser usados en la evaluación de las tres opciones propuestas. Las cargas axiales están formadas por la reacción del plano X-Z, mientras que las cargas de flexión por el plano X-Y (Véase figura 2.13).

Para evaluar las tres alternativas, se procederá al siguiente procedimiento:

1. Identificar las propiedades del elemento estructural ha ser empleado (Véase tabla B.5 y B.8).
2. Determinar las fuerzas de flexión que actuarán sobre la CB, para ello se recurrirá a la reacción de flexión originada por el viento, a la Ec 2.8 y 2.13 para determinar los efectos del viento, impacto de maquinaria pesada y acumulación de roca fosfática respectivamente. Sólo se estudiarán los efectos de flexión, debido a que las cargas axiales son despreciables con respecto a éstas.
3. Modelar la CB como una viga, y al emplear el software de la HP-48GX “Vigas”, obtener las magnitudes de: $M_{\text{máx}}$, $V_{\text{máx}}$ y desplazamiento máximo. La viga poseerá tantos apoyos como cerchas posea la alternativa ha ser evaluada.
4. Obtenido los datos anteriores, aplicando las Ec 2.119 y 2.121 se obtendrá los esfuerzos de flexión y de corte máximos.
5. Obtener los factores de seguridad dividiendo cada uno de los esfuerzos permisibles con los obtenidos en el paso cuatro; reportando el menor de ellos.

3.5.1.1 Alternativa 01

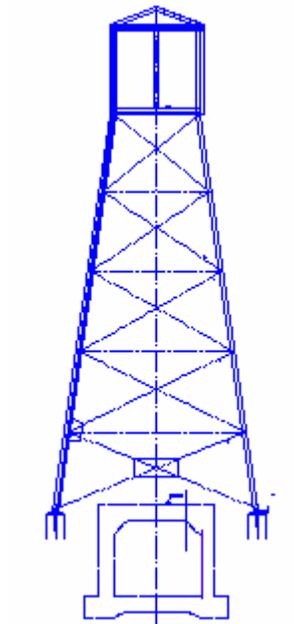


Tabla 3.14 Fuerzas de flexión sobre CB [1].

Fuerza	[KN]	Ubicación [m]
Viento	4,6	14,15
Maq. pesada	10,7	4,7
Roca Fosfática	376,7	4,7

Figura 3.5 Altern. # 1
de nueva CB-1.

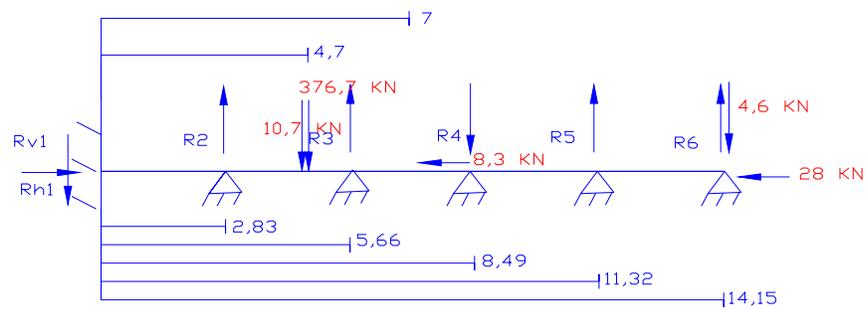


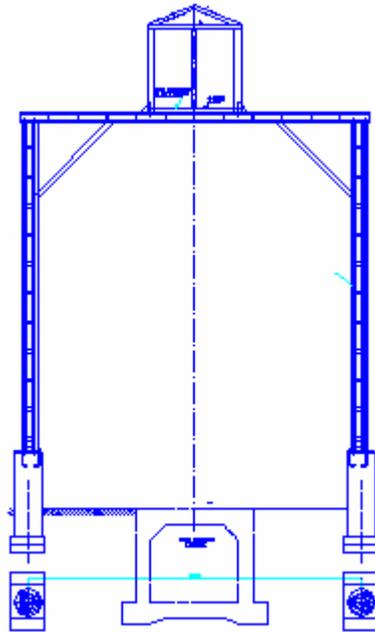
Figura 3.6 Cargas sobre CB de alternativa # 1.

Tabla 3.15 Tabla de resultados de alternativa # 1.

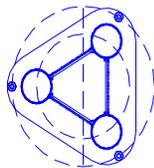
	Reacciones [KN]						
	Rh1	Rv1	R2	R3	R4	R5	R6
	36,3	36,1	159,3	304,9	51,5	12,9	2,5
M _{máx} [KNm]	162,5						
V _{máx} [KN]	264,2						
Y _{máx} [mm]	3,1						
σ máx [MPa]	195,6						
ζ máx [MPa]	128,8						
FS	2						

Según ASTM $Y_{máx} \leq 11,8$ mm.

3.5.1.2 Alternativa 02



(a)



(b)

Tabla 3.16 Fuerzas de flexión sobre CB [2].

Fuerza	[KN]	Ubicación [m]
Viento	4,6	12
Maq. pesada	21	4
Roca Fosfática	480	4

El apoyo que se encuentra a 45° entre la viga y las columnas (Véase figura 3.7 (a)) origina una carga axial y un momento flector de:

$$F_{axial} = 43.100 \text{ N (hacia abajo)}$$

$$M_{flector} = 150.850 \text{ Nm (Antihorario)}$$

Figura 3.7 (a) y (b) Altern. # 2
de nueva CB-1.

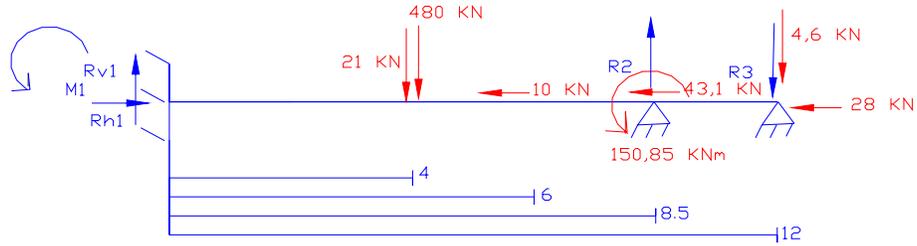


Figura 3.8 Cargas sobre columnas de trípode formada por tuberías.

Tabla 3.17 Tabla de resultados de alternativa # 2.

	Reacciones [kN]			
	Rh1	Rv1	R2	R3
	81,1	313,2	307,7	115,3
M _{máx} [kNm]	676,9			
V máx [kN]	313			
Y _{máx} [mm]	20			
σ máx [MPa]	410			
ζ máx [MPa]	88			
FS	0,95			

Según ASTM $Y_{máx} \leq 10$ mm.

De la tabla 3.17 se observa que debido a que el $FS < 1$ y que la $Y_{máx} > 10$ mm, el diseño no es aceptable.

3.5.1.3 Alternativa 03

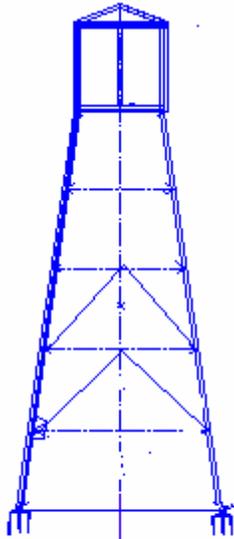


Tabla 3.18 Fuerzas de flexión sobre CB [3].

Fuerza	[KN]	Ubicación [m]
Viento	4,6	12,12
Maq. pesada	16,3	4,04
Roca Fosfática	393,2	4,04

Figura 3.9 Altern. # 3 de nueva CB-1.

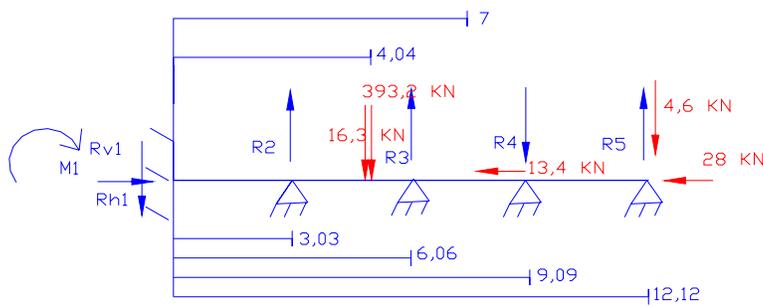


Figura 3.10 Cargas sobre CB de alternativa # 3.

Tabla 3.19 Tabla de resultados de alternativa # 3.

	Reacciones [KN]					
	Rh1	Rv1	R2	R3	R4	R5
		41,4	55,4	342,8	153,1	33,8
Mmáx[KNm]	178,5					
V máx [KN]	287,4					
Ymáx [mm]	0,9					
σ máx [MPa]	77,68					
ζ máx [MPa]	64					
FS	5					

Según ASTM $Y_{máx} \leq 10,1$ mm

3.5.2 Aspectos Financieros

Los principales costos que afectarán a la fabricación de la nueva CB-1 serán los devengados por la complejidad y cantidad de soldadura a emplear y los materiales requeridos para su fabricación. En función de ello se asignan las puntuaciones en los rubros nombrados, otorgándole la calificación mayor y menor a los que incurran en el inferior y superior costo respectivamente.

Tabla 3.20 Matriz de decisión de aspectos financieros.

Alternativa #	Puntuación por soldadura	Puntuación por materiales de construcción
01	1	1
02	3	3
03	2	2

3.5.3 Aspectos de Instalación

Con respecto a la instalación la conformada por las columnas de tuberías (02) es la más sencilla, seguida por la alternativa # 03 y por último la alternativa # 01.

En función de los resultados obtenidos, se crea la siguiente matriz de decisión:

Tabla 3.21 Matriz de decisión de alternativa a elegir.

Alternativa #	Puntuación técnica	Puntuación financiera	Puntuación instalación	Puntuación final
01	2	1	1	4
02	--	3	3	6
03	3	2	2	7

En función de los resultados obtenidos, se recomienda diseñar, construir e instalar la alternativa # 03.

3.6 Modelo Matemático de Simulación de Nueva Columna Base en Condiciones Iniciales y Bajo Circunstancias Operacionales Propuestas

El modelo matemático de simulación se realizó por medio de la construcción de las ecuaciones matriciales que simulan el comportamiento de los elementos estructurales y nodos que conforman la nueva CB, tal como se explicó en la sección: “Modelación de pórticos tridimensionales”. El desarrollo de cada una de estas matrices y ecuaciones se encuentran en los anexos C.1 (elementos) y C.2 (nodos); debido a la complejidad y gran cantidad de matriz ha ser relacionadas entre sí, se empleo la ayuda del software matemático “MatLab®”.

3.6.1 Codificación Empleada para los Elementos Estructurales y Nodos

Los elementos son codificados del número 1 al 21 como lo indica la figura 3.11, mientras que, los nodos son representados por la letra “ Z_{ij} ”, donde “ i ” expresa el número de nodo y “ j ” indica el elemento que concurre al nodo, como lo muestra la figura 3.12.

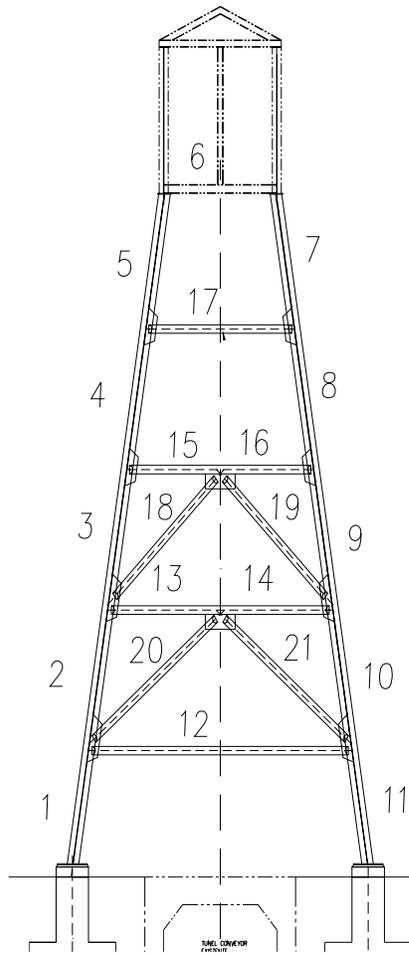


Figura 3.11 Codificación de elementos para estudio de pórticos tridimensionales.

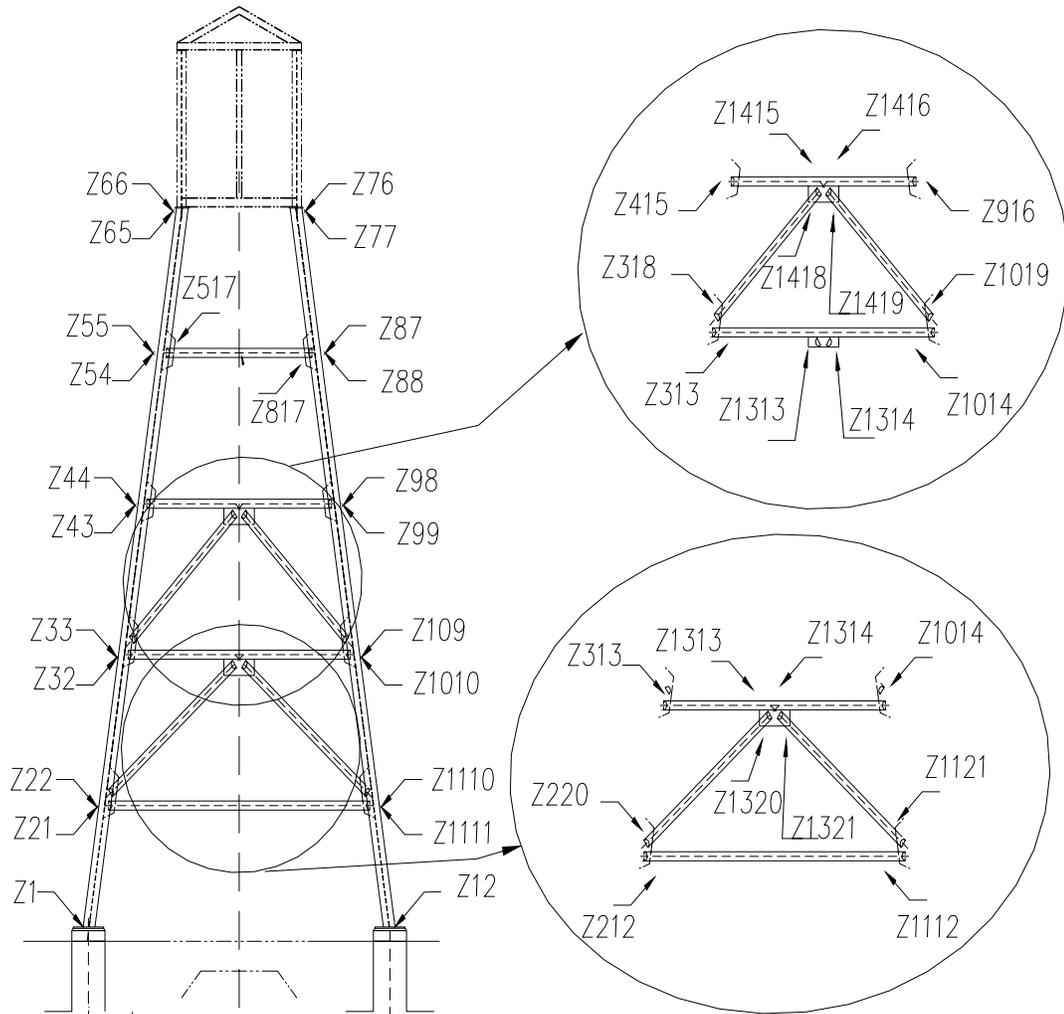


Figura 3.12 Codificación de nodos para estudio de pórticos tridimensionales.

3.6.2 Programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”

El programa: “Estudio de pórticos tridimensional (Columna Base 1)”, realizado por el autor del trabajo especial de grado, se construyó en el software informático “MatLab®” (MATH WORKS, 1996); para lograr se elaboró un código programacional formado por 2.698 líneas de comandos; éste código está realizado en función del diseño de la nueva columna base, tal como lo muestra el plano # 1 (Véase anexo E), en el mismo se evalúan cuatro alternativas de construcción, todas ellas con cerchas de tuberías Sch. 40 de diámetro nominal 152 mm (6”). Las diferentes opciones consisten en construir el marco de la CB con vigas HEA- 260, 320, 360 ó 450.

3.6.2.1 Ejecutar el programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”

Para ejecutar el programa se requiere que el computador dónde se corra, disponga del software “MatLab®” y de un procesador superior al Pentium 1, el tiempo aproximado de ejecución es de 13 min., los pasos para lograr su corrida son:

1. Abrir el software informático “MatLab®”.
2. Abrir del CD que se anexa al presente trabajo, archivo “CB1.m”.
3. Presionar la tecla “F5”.
4. Ir al command window del software “MatLab®” y seguir instrucciones del programa.

3.6.2.2 Resultados Obtenidos del Programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”

Los resultados que el programa arroja son:

1. Variables de estado de los apoyos de las nuevas fundaciones, para su diseño.
2. Diámetros mínimos en mm requeridos para los pernos de anclaje, diseñados con material AISI 1020.
3. Longitud mínima en mm que deben poseer los catetos en la soldadura tipo filete.
4. Gráfica de la fuerza axial en las diferentes variables de estado (Véase tabla C.1 para codificación).
5. Gráfica de la fuerza cortante en las diferentes variables de estado (Véase tabla C.2 para codificación).
6. Gráfica de los momentos flexionantes en las diferentes variables de estado (Véase tabla C.3 para codificación).
7. Gráfica de los desplazamientos netos en las diferentes variables de estado (Véase tabla C.4 para codificación).
8. Gráfica del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) en las diferentes variables de estado (Véase tabla C.1 para codificación).
9. Gráfica del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante) en las diferentes variables de estado (Véase tabla C.2 para codificación).
10. Gráfica del chequeo del diseño por medio del código ASTM (Véase tabla C.4 para codificación).

A continuación se muestra los resultados que el programa arroja para la opción 3 (Viga HEA – 360), las demás opciones se encuentran en el anexo C.4:

Opción 3: Viga HEA 360**Pantalla que se visualiza en Command Window**

PROGRAMA: 'DISEÑO DE COLUMNA BASE DE LA ESTRUCTURA
DISPENSADORA DE RF'

El programa está basado en la CB del plano 1; conformada en su interior por cerchas de tuberías de 6'' de diámetro Sch. 40, y en su marco por vigas H. A continuación se indica las opciones de los perfiles HEA a ser utilizado en el marco, el programa indicará si se cumplen los códigos AISC para los esfuerzos axiales, flexión y cortante; y el ASTM para las deflexiones.

- (1) Viga HEA 260
- (2) Viga HEA 320
- (3) Viga HEA 360
- (4) Viga HEA 450

Ingrese la numeración de su elección. ¿Cuál selección desea? = 3

Tiempo Estimado de Corrida = 13 minutos

Espere, por favor ...

Variables de Estado en Apoyos de Fundaciones (*)

	A [N]	V [N]	M [Nm]
Z1(**)	31899.9	43194	13139.5
Z12(**)	76486.4	65544.2	26019.8

(*) Información requerida para construcción de fundaciones.

(**) Véase Figura 3.12.

Diámetros Mínimos Requeridos para Pernos de Anclaje

Diámetro mínimo requerido para perno 1 [mm] = 14.1238

Diámetro mínimo requerido para perno 12 [mm] = 18.7601

Cateto Mínimo que Deben Poseer las Soldaduras de Filete

Cateto mínimo que deben poseer las soldaduras de filete [mm] = 8.577

Gráficas que ilustran el comportamiento de la estructura

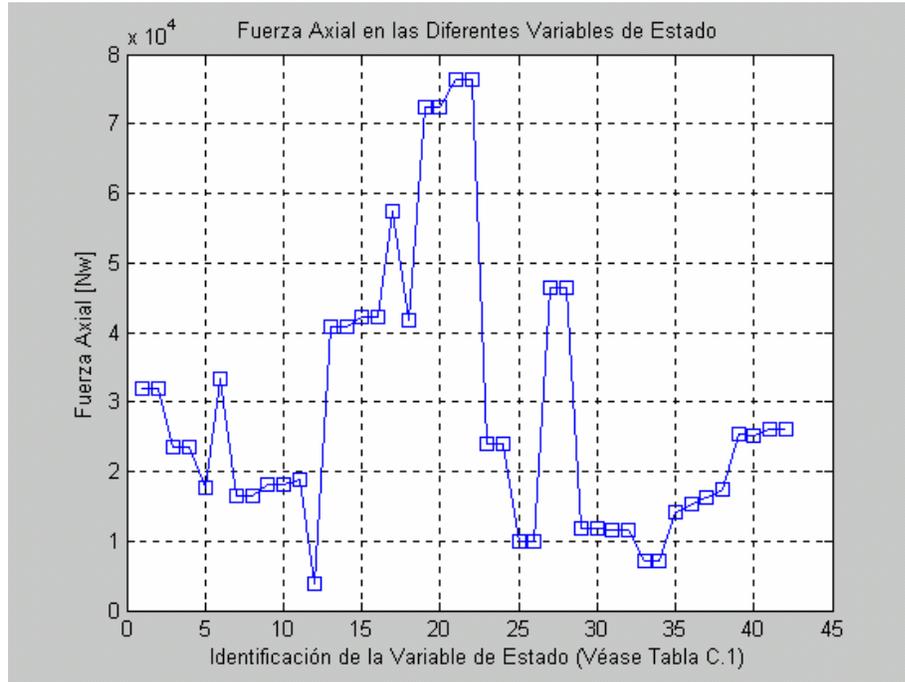


Figura 3.13 Fuerza axial en las diferentes variables de estado [Viga HEA-360].

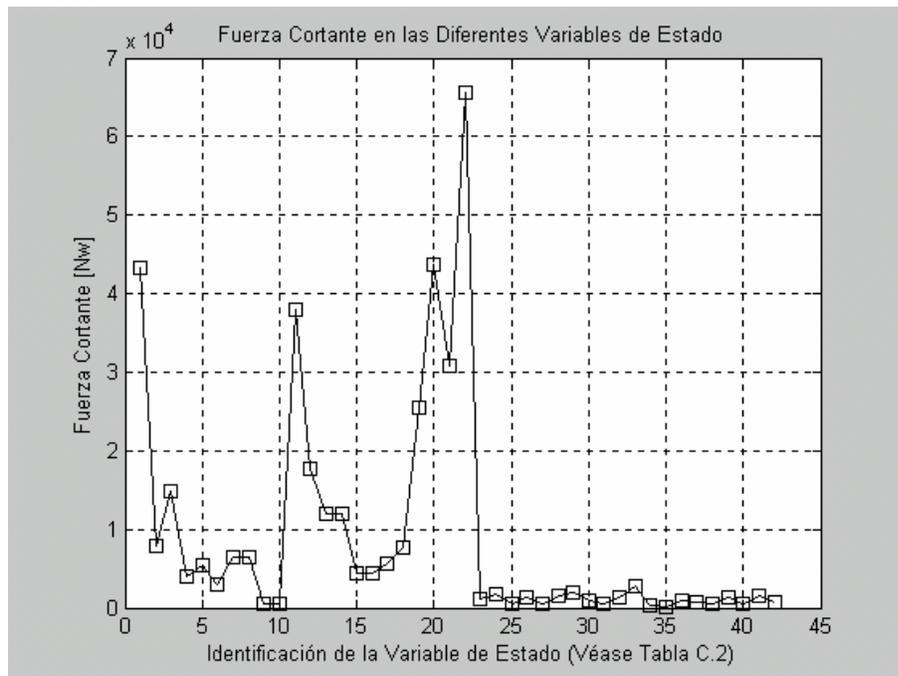


Figura 3.14 Fuerza cortante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-360].

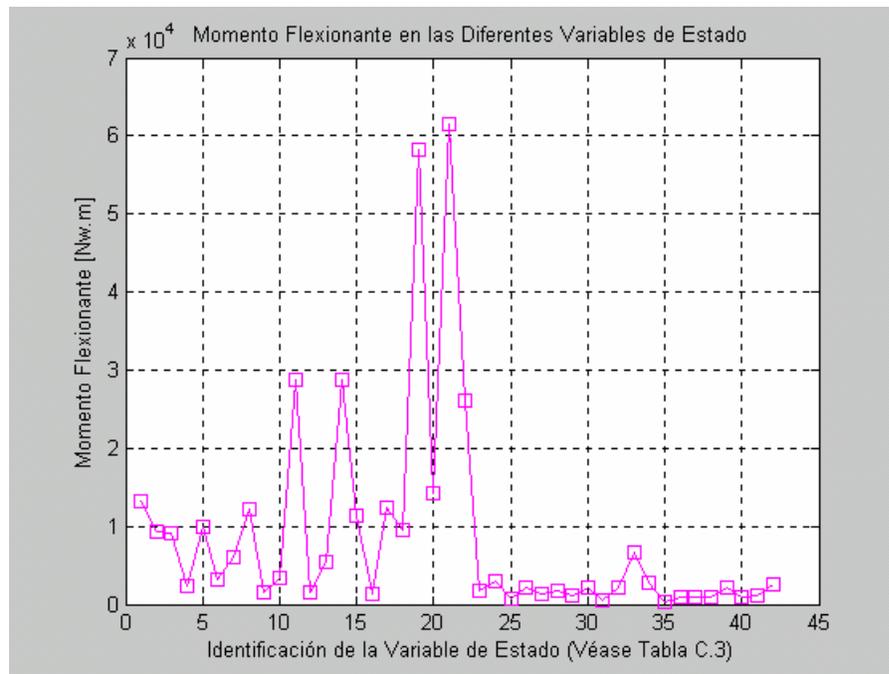


Figura 3.15 Momento flexionante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-360].

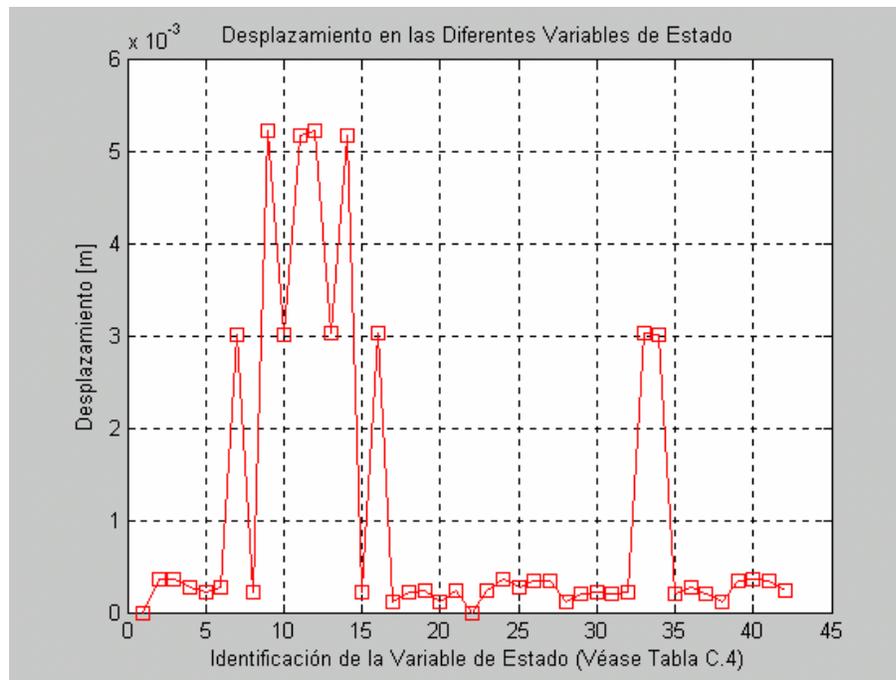


Figura 3.16 Desplazamiento en las diferentes variables de estado [Viga HEA-360]

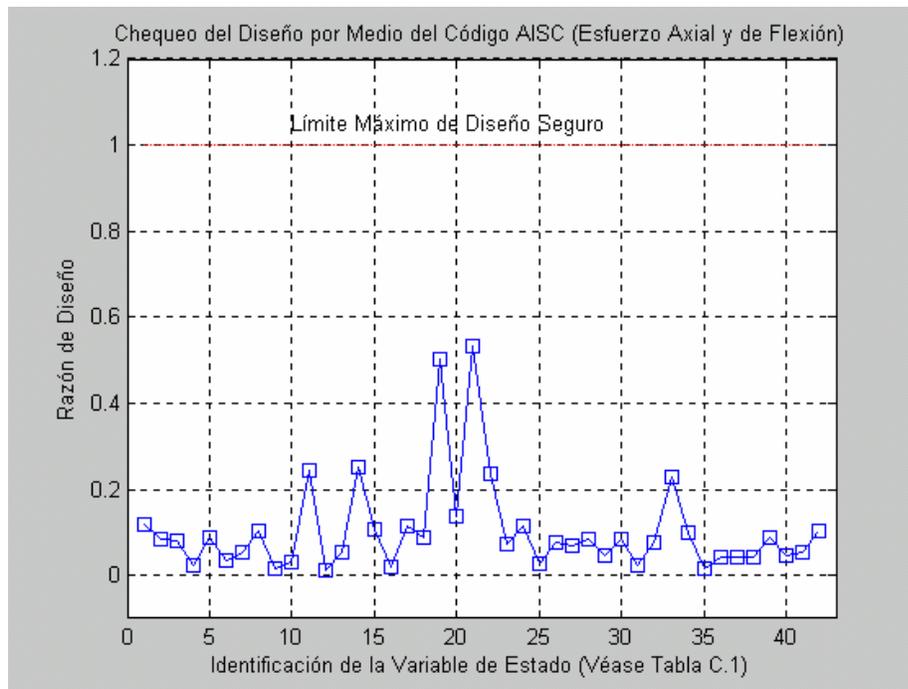


Figura 3.17 Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) [Viga HEA-360].

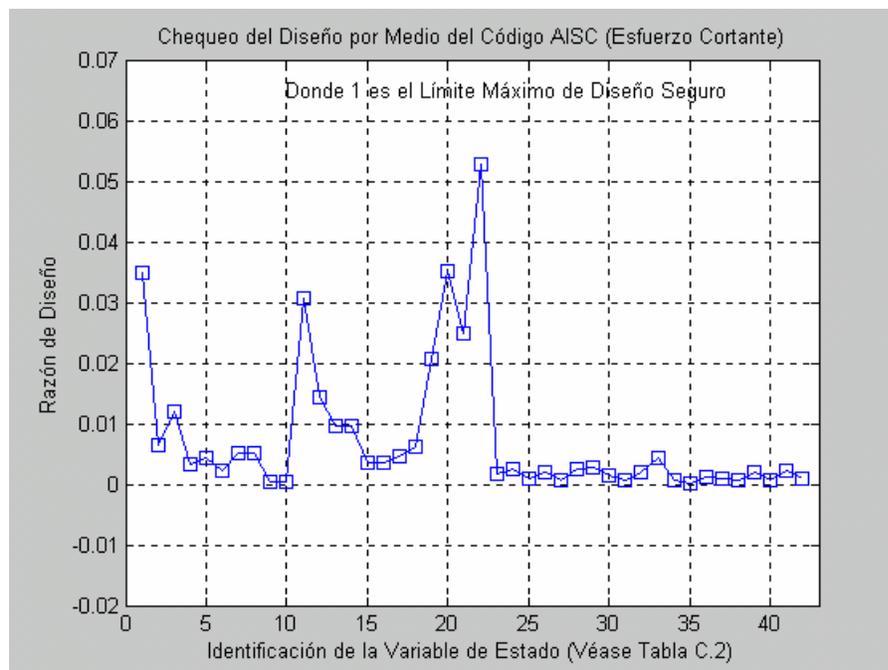


Figura 3.18 Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante) [Viga HEA-360].

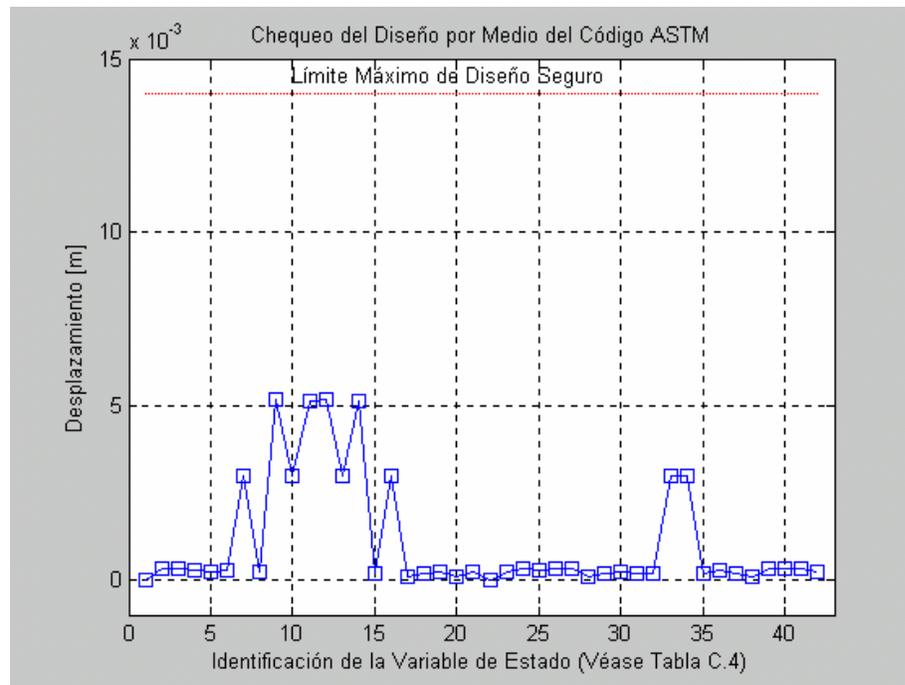


Figura 3.19 Chequeo del diseño por medio del código ASTM [Viga HEA-360].

3.7 Diseño de Nueva Fundación

Los datos obtenidos del programa, opción 03, para el diseño de la nueva fundación son:

Tabla 3.22 Datos de diseño de nuevas fundaciones.

Variables de Estado en Apoyos de Fundaciones (*)

	A [N]	V [N]	M [Nm]
Z1(**)	31899.9	43194	13139.5
Z12(**)	76486.4	65544.2	26019.8

(*) Información requerida para construcción de fundaciones.

(**) Véase figura 3.12.

Se diseñara en función de los valores máximos, se recomienda visualizar la sección de diseño de fundaciones del marco teórico, para comprender la simbología empleada, serán construidas dos fundaciones, una por apoyo de la CB.

$$P = 76.486 \text{ N} \quad V = 65.544 \text{ N} \quad M_i = 26.020 \text{ Nm} \quad R_s = 3,5 \text{ Kgf/cm}^2 \quad R_{cr} = 200 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\cong 8 \text{ Ton} \quad \cong 7 \text{ Ton} \quad \cong 2.655 \text{ Kgf.m}$$

Donde: $R_s =$ Resistencia del suelo a la cohesión (Véase tabla 2.10).

$R_{cr} =$ Resistencia del concreto

$$R = \sqrt{(8.000 \text{ Kgf})^2 + (7.000 \text{ Kgf})^2} = 10.630 \text{ Kgf}$$

De las tablas de pedestal del anexo D, se elige una columna de 45x45, con las siguientes descripciones:

Tabla 3.23 Datos de pedestal de la fundación ha ser construida.

<u>Pedestal</u>	$P_{adm} = 120 \text{ Ton}$ $M_{adm} = 2.260 \text{ Kgf.m}$ $a = 1,41 \text{ m}$ Cabillas del pedestal = $6 \phi \frac{3}{4}''$, distribuidas uniformemente.
-----------------	--

Obtenido el pedestal, se procede a determinar la zapata, para el P_{adm} de las tablas de bases (Véase anexo D):

Tabla 3.24 Datos de la base de la fundación ha ser construida.

<u>Base</u>	Lados = 1,9 m Espesor = 0,5 m Cabillas de la base, para armado = $17 \phi \frac{5}{8}''$, distribuidas uniformemente.
-------------	--

3.8 Estudio de Factibilidad Económica de la Construcción de la Nueva CB

A continuación se procederá a determinar la estimación de costo de la ejecución de la construcción e instalación de la obra; para ser presentado a la Gerencia Técnica con la finalidad de su aceptación o rechazo; todos los recursos son internos de la empresa.

Tabla 3.25 Estudio de factibilidad económica del proyecto.

Descripción	Costo [Bs.]
Cabilla para armado del concreto	600.000,00
Camión	500.000,00
Concreto Armado	1.000.000,00
Cuadrilla Civil	500.000,00
Cuadrilla Soldadura	1.500.000,00
Electricidad	300.000,00
Fabricación de Pernos de Anclaje	100.000,00
Montacargas de 12 Ton (4H)	600.000,00
Pintura	200.000,00
SandBlasting	150.000,00
Sueldo de diseñador y supervisor	400.000,00
Tubos ϕ 6'' Sch. 40 [40ml]	1.000.000,00
Viga H – 360 [35ml]	4.000.000,00
TOTAL ----->>	10.850.000,00

De la reunión efectuada en la Gerencia Técnica, los recursos fueron habilitados para la construcción de la nueva CB-1, con proyecto de sustituir a finales del presente año 2004 e inicios del 2005, las 5 CB restantes y de automatizar el proceso operativo de la sección 01 de la planta de ácido fosfórico (Sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática).

3.9 Instrucciones de Excavación del Terreno, Construcción de la Nueva Fundación, Procesos de Soldadura de los Elementos Estructurales, Montaje, Instalación y Pintado de la Nueva CB

3.9.1 Soldadura

Las soldaduras se harán de acuerdo a lo indicado en la norma AWS-D1.1 “Structural Welding Code” / AWS A51.1, E6010 y E7018 “Specification for Carbon Steel Covered Arc Welding Electrodes”. Las condiciones que debe poseer la soldadura son:

1. Las superficies que van a ser soldadas estarán libres de virutas, escoria, herrumbre, grasa, aceite, polvo, pintura, etc. Los cortes y biselados tendrán una superficie uniforme y lisa.
2. No se hará ninguna soldadura cuando las superficies estén húmedas; la humedad será removida por precalentamiento.
3. El área de soldadura tendrá una protección adecuada contra la lluvia, el viento y las corrientes de aire, por lo que se recomienda que se realicen en lo posible en el taller de soldadura.

3.9.1.1 Procedimiento de Soldadura

1. Asegure que las condiciones de soldadura se cumplan.
2. No se realizará tratamientos térmicos, al menos que se indique lo contrario.
3. La soldadura se realizará mediante tres pases, empleando electrodos AWS E-6010, en 1er. pase, y AWS E-7018, en 2do. y 3er. pase (Véase tabla 3.26).
4. El electrodo de bajo hidrógeno (AWS E-7018), deberá ser precalentado en hornos portátiles a una temperatura de 150 C.
5. La inspección a realizar será visual en todos los pases. Se debe asegurar la completa remoción de escoria entre pases.

Tabla 3.26 Procedimiento de soldadura.

PASES	ELECTRODO	MÉTODO	DIÁMETRO	POLARIDAD	CORRIENTE	AMPERAJE
1°	AWS E-6010	ARCO	3/32"	E (+)	CONTÍNUA	70 – 100
2°	AWS E-7018	ARCO	1/8"	E (+)	CONTÍNUA	100 – 140
3°	AWS E-7018	ARCO	5/32"	E (+)	CONTÍNUA	140 – 190

Es importante tener en cuenta las siguientes observaciones:

1. Las conexiones que van a ser soldadas y los intervalos de espesores se especifican en el plano No. 1 (Soporte lado oeste transportador 40-ET-03).
2. Todas las juntas / cordón se realizarán mediante soldadura de perfil en T, salvo donde se indique lo contrario.
3. Las reparaciones de soldaduras serán realizadas utilizando materiales (AWS E-7018) o procesos de bajo contenido de hidrógeno y aplicando un precalentamiento adecuado y una temperatura de trabajo apropiada.
4. Los materiales para soldaduras deberán ser suministrados en envases a prueba de humedad. El almacenamiento y manejo estarán en concordancia con lo señalado en la tabla 3.27.
5. Los materiales para soldaduras que hayan sido contaminados por humedad, óxido, aceite, grasa, suciedad, etc. deberán ser descartados.
6. Cualquier horneado del material de soldadura de bajo contenido de hidrógeno será llevado a cabo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
7. Los soldadores deben ser certificados de acuerdo a AWS D1.1, sección 4.

Tabla 3.27 Almacenamiento y manejo de materiales para soldaduras.

TIPO DE MATERIAL CONSUMIBLE	ENVASES DE SELLO HERMÉTICO	CONSUMIBLES EN ENVASES ABIERTOS	CONSUMIBLES DURANTE LA PRODUCCIÓN
Electrodos recubiertos			
- De bajo hidrógeno	(a)	150 – 200 C (b)	70 – 100 C (c)
- Rutilo, tipo ácido	(a)	≥ 70 C (b)	(d)
Cable de núcleo fundente			
- De bajo hidrógeno	(a)	150 – 200 C (b)	(c)
- Otros tipos	(a)	≥ 70 C (b)	(d)
Material fundente para soldadura de arco sumergido			
	(a)	≥ 70 C (b)	(d)

(a) La temperatura debe ser mayor que la del ambiente en 5 C

(b) Tiempo de almacenamiento de por lo menos 1 hora

(c) Durante la producción, los materiales de bajo hidrógeno deben mantenerse en envases calientes y usarse en un lapso de 4 horas, salvo si las tasas de absorción de humedad son bajas.

(d) Siga las instrucciones del fabricante.

3.9.2 Preparación de Superficie y Pintura Industrial

La limpieza se realizará mediante norma *PEQUIVEN* boletín ST – 001, (limpieza con chorro de arena a metal blanco SSPC-SP5, limpieza con solvente SSPC-SP1 y

limpieza con herramientas de mano (SSPC-SP2). La pintura industrial se regirá de acuerdo a la norma de PDVSA No. 0-201 y al manual de especificaciones de pintura de *PEQUIVEN* boletín ST – 001.

3.9.2.1 Preparación de Superficie

El objeto de la preparación de superficie es obtener una limpieza total y uniforme que ponga al descubierto el metal y garantice una buena adherencia del sistema anticorrosivo a aplicar. La vida útil de un recubrimiento depende mucho del grado de preparación de la superficie así como también, en el sistema de pintura que se aplique.

El método de limpieza se ejecutará con *chorro de arena a metal blanco SSPC-SP5*, debido a que la estructura estará expuesta a condiciones muy corrosivas. El método consiste en eliminar óxido, escorias de soldadura, pintura vieja, aceite, grasa u otra materia extraña usando arena del tipo sílica que no contenga sal o impurezas, aplicando la misma a presión.

3.9.2.2 Procedimiento

1. Se debe inspeccionar que la arena a utilizar sea arena virgen, completamente seca, cloruros máximos 20 ppm. Con granulometría debe ser entre 1,18 mm y 0,60 mm. No se deberá comenzar el chorreado de arena hasta no obtener los resultados y aprobación de Corrosión de Materiales o Inspección de Equipos.
2. Si esta limpiando y llueve, la superficie deberá ser limpiada nuevamente.
3. Si la superficie está contaminada con aceite, grasa, sucio y otra serie de componentes orgánicos deberán ser lavado con solventes, emulsiones o producto similares mediante especificación de norma SSPC - SP1.

- 2.1. Limpiar, frotar y sumergir la superficie ayudándose con trapos limpios o cepillos impregnados con solventes, hasta la eliminación total del aceite o sustancias contaminantes.
4. Si la superficie posee una cantidad excesiva de sales sueltas, costras de laminado pueden eliminarse mediante limpieza manual y/o mecánica según especificaciones SSPC – SP2 y SSPC – SP3.
 - 4.1 *SSPC – SP2*
 - 4.1.1 Se requiere la aplicación de la norma SSPC – SP1 antes de implementar la limpieza con herramientas.
 - 4.1.2 Se procede a remover todo el óxido, pintura vieja, costras, etc. con ayuda de cepillos de alambre manual, lijando a mano, raspando a mano o mediante una combinación de ambos métodos.
 - 4.2 *SSPC – SP3*
 - 4.2.1 Se requiere la aplicación de la norma SSPC – SP1 antes de implementar la limpieza con herramientas.
 - 4.2.2 Se procede a remover todo el óxido, escoria de soldadura, pintura vieja, costras, etc. con herramientas mecánicas. Cuando se use cepillo eléctrico o neumático debe evitarse el exceso de temperatura por fricción, ya que ocasiona alisamiento o pulido de la superficie; si esto ocurriese, debe eliminarse mediante lijado con lija de grano basto.
5. Finalmente la superficie se limpiará con chorro de arena a presión, con equipos adecuados para ello y con arena. El compresor utilizado debe tener filtro, separador de humedad y aceite.
6. La superficie limpiada con chorro de arena debe ser fondeada inmediatamente o antes de que se inicie la formación de óxido. El tiempo máximo sin pintar después del chorreado de arena es de 4 horas.

3.9.2.3 Aplicación de Pintura

La pintura es un paso muy importante, ya que la misma servirá como protector en contra de la corrosión. Por tanto, su aplicación debe ser ejecutada en el más estricto orden y no puede ser alterada sin antes consultar y obtener aprobación de Servicios Técnicos.

3.9.2.3.1 Procedimiento

1. No se deberán realizar procedimientos de limpieza y pintura, en días nublados o lluviosos. Sólo se debe pintar cuando la humedad relativa sea menor o igual a 85% y en ningún caso estará permitido pintar después de las 6:00 pm., ni antes de las 8:00 am.
2. Se deberán aplicar 4 manos, cuya pintura, color, tiempo de secado y espesor se expresan en la tabla 3.28.

Tabla 3.28 Especificaciones para aplicación de pinturas.

MANOS	PINTURA	COLOR	TIEMPO DE	ESPESOR
			SECADO [HORAS]	EN SECO [MILS]
1ra	Fondo rico en zinc inorgánico	Gris rojizo	7	3
2da	Acabado Epoxi Poliamida	Rojo	12	5
3ra	Acabado Epoxi Poliamida HB	Blanco	12	5
4ta	Acabado Epoxi Poliamida HB	Verde (*)	12	5

(*) Según el código de colores para estructuras metálicas y soportes corresponde el color verde (Norma *PEQUIVEN* boletín ST – 001).

(-) 1 MIL=0,001”

3. El espesor de pintura requerido para cada mano se debe cumplir sin importar cuantas aplicaciones deban hacerse para obtener el espesor deseado.
4. La medición de la película se hará en seco.
5. En un mismo trabajo, no se deberá permitir el uso de pinturas de marcas diferentes, aún cuando sean del mismo sistema.
6. Los recipientes de pintura deben mantenerse cerrados para evitar contaminación y evaporación.
7. Las superficies pintadas que se dañen durante el transporte, o por otra causa, deben ser repintadas.
8. En las estructuras metálicas que sean sometidas a un repintado y que para su instalación / conexión en planta requieran ser soldadas, se les debe aplicar chorreado con arena local en los cordones de soldadura y luego pintar según la especificación correspondiente.

3.9.3 Fabricación de Estructura e Instalación

Todos los trabajos serán hechos de acuerdo a la norma PDVSA JB-211 / Covenin 1618/82 / AWS D1.1 “Structural Welding Code” sección 5 / INTEVEP INT-01529,86 sección 7 / AWS A51.1 “Specification for Carbon Steel Covered Arc Welding Electrodes” / PDVSA AK - 211 / PDVSA A – 251 / PDVSA A – 213 / PDVSA L-STC-001 / PDVSA A – 211.

Los materiales a emplear serán:

- ◆ Viga H 500 HEA ASTM A-36 (Véase figura B.7, tabla B.8 y B.9a,b) 28 ml
- ◆ Tubos 6” de diámetro Sch. 40 ASTM A-106 Gr. B (Véase tabla B.10 a,b) 38,5 ml.
- ◆ Lamina espesor $\frac{1}{4}$ ” ASTM A-36 (ver tabla B.9 a,b) 1,2 m².

- ◆ Plancha espesor $\frac{1}{2}$ “ ASTM A-36 (Véase tabla B.9 a,b) 1,5 m².
- ◆ Pernos de diámetro 1” AISI 1020 (Véase tabla B.11 a,b), de acuerdo a norma COVENIN 1618.

El uso y localización de los diferentes tipos de materiales se especifica en el plano No. 1 (Soporte lado oeste transportador 40-ET-03).

3.9.4 Excavación del Terreno

Los trabajos de excavación serán hechos de acuerdo a la norma PDVSA AK-211

1. El trabajo de excavación se hará de acuerdo con las elevaciones y dimensiones indicadas en el plano No. 2 (Fundación para estructura 40-ET-03). Tomando en cuenta que las excavaciones se extenderán una distancia razonablemente retiradas de las paredes y cimentaciones para permitir la colocación o remoción del encofrado.
2. Colocar el material excavado a suficiente distancia del borde de la excavación para evitar que el material caiga dentro de la excavación o cause hundimientos.
3. Cuando la excavación sea hecha por debajo del nivel de las cotas indicadas en el plano No. 2, rellenar la excavación hasta la cota adecuada con concreto pobre de 140 kg/cm² de resistencia mínima a la compresión a los 28 días.
4. Rellenar la sobre excavación con material granular libre de materia orgánica, debidamente compactado para proporcionar una superficie de apoyo adecuada.
5. Almacenar los materiales excavados utilizables de modo que el agua de la superficie drene libremente.

3.9.5 Selección del Concreto

La selección del concreto serán hechos de acuerdo a la norma PDVSA A-211 y PDVSA L-STC-001

1. Se requiere de cemento ACI-301, ya sea tipo III, debido a que se necesita que el concreto posea una alta resistencia temprana. Pero como este tipo de cemento no es fabricado con regularidad en el país. En lugar del cemento Tipo III puede utilizarse el tipo I (uso normal) y un aditivo acelerador de fraguado, libre de cloruros.
2. Se debe efectuar pruebas en el cemento y los agregados para asegurar el cumplimiento de los requerimientos expresados en norma COVENIN 28 (Cemento - Especificaciones para cemento Pórtland), por lo que se presentarán diseño(s) de mezcla de concreto al laboratorio de ensayos y a la inspección para su revisión.
3. El concreto premezclado deberá poseer una resistencia mínima de 200 Kg/cm² a los 7 días para el concreto de fraguado rápido, éste deberá ser entregado en el sitio recién mezclado conforme a los requerimientos de COVENIN No. 633 (ASTM C94).

3.9.6 Fabricación de Fundación

La realización de la fundación serán hechos de acuerdo a la norma PDVSA A-211, el grouting de nivelación será hecho mediante norma PDVSA A – 213, PDVSA No. 0602.1.423 y PDVSA JB – 211.

1. Construir zapatas aisladas y pedestales, es decir, dos fundaciones por columna de soporte de estructura, en función del plano No. 2.

2. Posicionar estructura encabillada como lo indica el plano de fundación. Esta estructura deberá ser construida preferiblemente en el taller.
3. Realizar encofrado con madera sin cepillar libre de nudos sueltos de modo que no fluya el concreto hacia fuera, proporcionando así un acabado áspero.
4. Aplicar un lubricante sobre la superficie de las formaletas en contacto con el concreto, para facilitar la recuperación del encofrado.
5. Asegurarse de la exactitud del refuerzo (estructura encabillada).
6. Colocación de pernos de anclaje para posteriormente limpiar, engrasar y protegerlo (envolviendo con yute, fique, etc.).
7. Incluir una arandela y dos tuercas para los pernos de anclaje. Se emplearán pernos "Stud" (Tipo "J"). Estos en conjunto con las tuercas y arandelas deberán ser galvanizados en caliente. Si no es posible la galvanización en el sitio de la construcción, todas las tuercas, pernos y arandelas deben ser galvanizados en el taller.
8. Vaciado del concreto de acuerdo con las Normas COVENIN 1753, artículo 5.4 (ACI 318 y ACI 304).
 - 8.1 Vibrar todo el concreto para evitar cangrejeras (oquedades) y para asegurar la homogeneidad entre capas sucesivas de concreto. Los vibradores internos deben penetrar y ser retirados verticalmente. No debe permitirse vibrar las armaduras ni "correr" el concreto. Se vibrará cada punto hasta observar exudación (superficie brillante).
 - 8.2 La caída libre máxima permisible del concreto es 75 cm.
 - 8.3 Usar mangueras, canales o dispositivos similares, para evitar que el concreto golpee el acero de refuerzo y el encofrado, con fuerza excesiva como para causar la dispersión de los agregados.
 - 8.4 No retirar los moldes, puntales y riostras hasta que el concreto haya obtenido suficiente resistencia como para soportar su propio peso, cargas de construcción y otras cargas de diseño que le puedan ser impuestas.

- 8.5 Retirar las formaletas o encofrados en elementos que soportan su peso propio solamente cuando el concreto haya alcanzado el 75% de la resistencia a compresión requerida a los 28 días, siempre que la construcción sea reapuntalada.
9. Remoción de agua del fondo de la excavación.
10. Rellenar las excavaciones a la cota indicada en el plano No. 2.
11. Colocar el relleno uniformemente distribuido alrededor de las estructuras. Para prevenir la acción de acuñamiento del relleno contra una estructura, llevar el relleno en todos los lados a la misma elevación en cada levantamiento.
12. Volver a abrir las áreas rellenas indebidamente hasta la profundidad requerida o cuando ocurra asentamiento. Rellenar, compactar y restaurar la superficie al nivel requerido. Todo el material de relleno será acondicionado con agua antes de su colocación.
13. Compactar cada capa de relleno usando apisonadores manuales.
14. Los materiales de excavación no aprobados para relleno serán transportados fuera del sitio de la construcción y se dispondrá de ellos en forma adecuada.
15. Remoción de todas las basuras de la excavación.

3.9.7 Fabricación de Planchas de Base para Apoyos (Grouting)

Para la fabricación del grouting se deben seguir las siguientes instrucciones:

1. Antes de la colocación de las planchas de base, se deberá limpiar y escarificar la superficie de la base de concreto. Asimismo, se deberá limpiar la superficie inferior de la plancha de base.
2. La superficie del perno deberá estar totalmente libre de aceite, grasa u otras sustancias extrañas antes de aplicar el mortero. Usar un mortero fluido. Sí el fabricante del equipo o ingeniero requiere que los pernos de anclaje permanezcan

- aislados, usar camisa y rellenarlas con material flexible tal como compuestos siliconados de goma.
3. Colocar una mezcla pegante o adhesiva para crear cohesión o impermeabilidad entre el concreto nuevo y el existente (grouting de nivelación y el pedestal). Esta mezcla será una Lechada Pegante de Cemento, la cual consiste en un cemento puro y agua mezclados a la consistencia de pintura cremosa, se debe aplicar la mezcla pegante o adhesiva a la superficie con una brocha, humedeciendo antes la superficie de concreto.
 4. Una vez que los elementos a ser apoyados en la plancha hayan sido posicionados y aplomados, se procederá al ajuste de los pernos de anclaje. Se colocarán planchas de nivelación a la distancia que muestra plano No. 2
 5. Realizar el encofrado, asegurándolo firmemente para soportar las fuerzas producidas por la colocación del mortero.
 6. Ajustar fijamente el encofrado y sellar todas las juntas con cinta adhesiva, para mezcla a base de cemento sin retracción. Aplicar aceite al encofrado para facilitar su retiro.
 7. No aplicar la base de cemento sin retracción, cuando la temperatura ambiental esté entre 4°C y 32°C, o en tiempo lluvioso.
 8. Inyectar la lechada de cemento con la cantidad de agua requerida para la consistencia deseada. El mortero de cemento con acelerador de fraguado (base no retráctil), deberá tener en un mínimo de 7 días una resistencia a la compresión de 420 kg/cm².
 9. Proceder con la colocación de la mezcla y asegurarse de que ésta llene todos los espacios y haga contacto con todas las superficies. Vaciar la mezcla rápida y continuamente para evitar juntas frías por falta de continuidad por debajo de las planchas de asiento. Vaciar de un lado al otro en una dirección. Apisonar o aplanar para evitar vacíos.
 10. Ajustar o adaptar el mortero a base de cemento al nivel indicado en el plano No. 2, después que ésta haya alcanzado su fraguado inicial. Dejar las superficies del

mortero con una inclinación desde los bordes de la plancha de asiento. Rebajar los bordes sobresalientes.

11. Rellenar los orificios de Inyección y Venteo después de la colocación del mortero, con este mismo material.

3.9.8 Montaje

Para el montaje se deben seguir las siguientes instrucciones:

1. Después de concluido el ensamblaje de la estructura, se deberán alinear y ajustar con precisión los elementos que forman parte del marco o pórtico completo, antes de la fijación definitiva del mismo. Se deberán colocar elementos de arriostamiento temporal y demás precauciones, para balancear los efectos de las fuerzas inducidas por el montaje de la estructura, a fin de mantenerla aplomada, alineada y en condición segura hasta la culminación del proceso de montaje y la instalación de los elementos de arriostamiento permanente.
2. Los elementos estructurales no deberán cortarse o modificarse en campo, a menos que sea aprobado por escrito por gerencia técnica.

3.9.9 Retoques de Pintura en Sitio

Luego de concluido el montaje de la estructura, se deberá proceder a pintar, con imprimador, las soldaduras, peladuras y otras superficies que no hayan sido pintadas con imprimador en taller. Se exceptúan aquellas superficies que vayan a estar en contacto con concreto. El imprimador utilizado en campo, deberá ser compatible con el utilizado en taller.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de Resultados

Del análisis del procedimiento operacional de la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática se determinó que una de las principales causas del pandeo de las CB, se basa en los diferenciales de presión que generan cargas de flexión sobre las CB, producto de la acumulación de RF en uno de sus lados, mientras que del otro se encuentra descubierta, esto debido en gran medida a la distribución de las cerchas en dichas columnas, es por ello que se aconseja elaborar cerchas con tuberías con una distribución tal que no impida el paso de RF de un extremo al otro de la CB.

La carga de flexión que provoca la acumulación de la RF es agravada cuando la MP recolecta la RF para su recirculación en el sistema de alimentación, debido a que la MP genera cargas de impacto que son distribuidas a lo largo de la pila de almacenamiento de RF y descargadas a las columnas bases.

Otra de las causas de la acumulación de RF, es la inadecuada metodología de trabajo, debido a que en el momento de formar el granel de almacenamiento de RF, no se distribuye equitativamente a lo largo de toda la estructura 40-ET-03, sino en determinadas zonas, esto es así, en gran parte porque algunos de los alimentadores vibratorios, cuya función es la de transportar la RF del granel de almacenamiento a la cinta transportadora 40-ET-04, se encuentran inoperativos.

De observaciones realizadas en diferentes días de jornada laboral, se apreció que la metodología operacional en el uso de la MP, es incorrecta, debido a que las máquinas son usadas en una dirección constante, que coincide con el sentido del pandeo de las columnas, por esta causa se plantea un cambio de esa metodología, indicada en las recomendaciones del presente trabajo.

La técnica matriz de decisión indicó que de las tres alternativas propuestas, la que mejor satisface las variables evaluadas fue la alternativa No. 3, con 7 puntos obtenido, formada por un marco de vigas HEA y cerchas de tuberías; la alternativa No. 2 a pesar de que tuvo la mayor puntuación en los aspectos financieros y de instalación, el aspecto técnico demostró ser inviable, ya que su factor de seguridad fue inferior a uno; en contraste la alternativa No. 1 resultó ser la más costosa en su construcción, ya que requiere de una gran cantidad de soldadura, producto de la abundancia de cerchas y de lo engorroso que resultaría su construcción. Obtenido este resultado se procedió a crear la modelación matemática de la nueva CB.

En la construcción del modelo matemático de la nueva CB se dividió su estructura en 21 elementos y 12 nodos que fueron relacionados por medio de ecuaciones matriciales, resueltas con la ayuda de un software matemático; el programa arroja las variables de estado: fuerza axial, fuerza cortante, momento flexionante, desplazamiento transversal, desplazamiento longitudinal y pendiente de la deformación, estudiada en los dos diferentes planos de acción de las cargas, para luego por el principio de superposición ser relacionadas entre sí. El programa creado, estudia cuatro alternativas cuya diferencia se encuentra en la construcción del marco de la columna con diferentes calibres de vigas HEA, estas son: HEA 260, 320, 360 y 450, de ellas resultó:

1. La alternativa No.1 es inviable, ya que de la gráfica del chequeo del diseño por medio del código AISC-LRFD93, supera el límite máximo de diseño seguro, a pesar de que cumple perfectamente con el código ASTM con respecto a los desplazamientos.
2. La alternativa No. 2 cumple los dos códigos de diseño utilizados, pero la empresa cuenta con poca existencia en sus inventarios de este tipo de viga y su valor en el mercado resulta ser el doble del precio del complejo.
3. Tanto la alternativa tres como la cuatro, satisfacen todos los códigos de diseño, pero debido a los costos, la viga HEA 360 resulta más económica que

la 450, por ello se elige la tercera opción, ya que los inventarios de la empresa son de aproximadamente 115 ml de HEA-360, requerida de ellas 28 ml.

4. Las cerchas son elaboradas por tuberías Sch. 40 ϕ 152 mm (6''), para evitar la acumulación de RF, y debido que la empresa cuenta en sus inventarios con 300 tubos de 6 m. cada uno, requiriéndose 38,5 ml.

El programa determina la fuerza axial y cortante, y el momento flexionante del apoyo donde se encuentra la fundación requerida para la sustentación de la nueva CB, ésta fue diseñada por medio de las tablas de la Comisión de Normas para el Concreto Armado del Ministerio de Obras Públicas de Venezuela.

Además, el programa calcula el diámetro mínimo requerido para los pernos de anclaje de las fundaciones, en función de la opción elegida, el diámetro debe ser mayor de $18,7 \text{ mm} = \frac{3}{4}''$, por lo que se decidió diseñarlo sobre la base de un diámetro igual a $25,4 \text{ mm} (1'')$

El programa también, puede mostrar cada uno de los valores de los catetos mínimos de la soldadura de filete requeridos por nodos, pero para simplificar el proceso de construcción se decidió emplear un único valor de cateto para la soldadura de filete, mostrando el cateto mayor de todos los nodos existentes. El programa arrojó que éste debería ser superior a los 8,6 mm., por lo que se decidió que el cateto fuera 10 mm., con tres pases de soldadura, con electrodos AWS-E-6010 y AWS-E-7018 según lo establece la normativa interna de PDVSA.

El estudio de factibilidad económica de la construcción de la nueva CB, determinó que el costo neto del proyecto sería de Bs. 10.850.000,00, el cual fue aprobado en reunión efectuada en la Gerencia Técnica del complejo. De éste dinero es importante mencionar que el mayor costo resultó ser la cuadrilla de soldadura con Bs. 1.500.000,00 y el material de viga HEA-360, formada por tres vigas HEA cada una de 11,5 ml con Bs. 4.000.000,00, es importante mencionar que esa misma

cantidad de viga HEA en la calle resultaría de un costo sin impuestos de Bs. 7.500.000,00.

En el trabajo se anexa un conjunto de instrucciones de trabajo para la construcción e instalación de la nueva CB, y de la fundación, tomado de normativas internas, nacionales e internacionales. De la CB el proceso crítico es la soldadura y el proceso de pintado; mientras que la construcción de la nueva fundación es la elaboración del concreto armado y su período de fraguado, por lo que se aconseja su total cumplimiento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados del presente trabajo con respecto a las causas del pandeo presentado en la estructura soporte de la cinta transportadora 40-ET-03 construida a inicio de la década de los noventa del siglo pasado, se concluye:

- Incorrecta ingeniería de proceso durante la formación de las pilas de roca fosfática para la formación del granel de almacenamiento, ya que la misma actualmente está orientada al vaciado de RF en determinadas secciones y no a lo largo de la estructura, provocando que estas columnas base se esfuercen en mayor proporción.
- Inadecuado empleo en el uso de la maquinaria pesada para la remoción de roca fosfática en los contornos del granel de almacenamiento, generando así cargas de impacto que repercuten directamente sobre las columnas base.
- Deficiencia en el diseño original por no considerar la acumulación de roca fosfática en uno de los sentidos de las columnas base, lo cual genera altos diferenciales de presión causando elevadas cargas de flexión que traen como consecuencia el pandeo de dichas columnas. Agravada esta situación por la ingeniería de proceso en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática que se lleva a cabo y continúa aún así por la operación manual que se desarrolla en dicha sección de la planta de ácido fosfórico en el Complejo Petroquímico Morón.

Con el fin de solventar el posible colapso de la estructura 40-ET-03, producto del pandeo de sus CB, se decidió la sustitución de la actual CB-1, por ser la que presenta mayores efectos de pandeo, por la alternativa No. 3 del proceso de selección, la cual consta de un marco formado por vigas HEA y cerchas de tuberías, tal como lo muestra el plano No. 1.

Del modelo matemático de simulación de la nueva CB-1 se obtuvo las siguientes características de diseño:

- El contorno de la CB-1 será construido con vigas HEA-360.
- Las cerchas serán diseñadas con tuberías de ϕ 152 mm (6''), con la disposición que se indica en el plano No. 1.
- Se empleará la soldadura como método de unión de los elementos estructurales de la nueva CB-1. La soldadura será tipo filete, con catetos igual a 10 mm., para lograrlo, se realizarán tres pases. Empleando para el primero de ellos el electrodo AWS-E-6010 y para el segundo y tercero el AWS-E-7018.
- Cada apoyo de la CB-1, estará formado por cuatro pernos de anclaje que se mecanizarán con acero AISI 1020 como lo indica el plano No. 1, con un diámetro de 25,4 mm (1'').

Se construirán dos fundaciones por CB, con las siguientes especificaciones de diseño:

- El pedestal tendrá una altura de 1,41 m., con sección transversal de 0,45m x 0,45 m, construida con concreto armado de resistencia 200 Kgf/cm², formada por 6 cabillas de ϕ 3/4'', distribuidas uniformemente, tal como se indica en el plano No. 2.
- La zapata tendrá lados de 1,9 m. y un espesor de 0,5 m., construida con concreto armado de resistencia 200 Kgf/cm², formada por 17 cabillas de ϕ 5/8'', distribuidas uniformemente, tal como se indica en el plano No. 2.

Del estudio de factibilidad económica de la construcción de la nueva CB se concluye:

- Los recursos necesarios para la construcción de la nueva CB-1 se encuentran disponibles en el complejo.

→ El costo neto por CB construida e instalada, con recursos internos en la empresa, asciende a Bs. 10.850.000,00.

En la construcción de la nueva CB los procesos críticos son el soldado de los elementos estructurales y el pintado de la estructura.

En la construcción de la nueva fundación los procesos críticos son la elaboración del concreto, tipo Pórtland, y el cumplimiento de su período de fraguado.

RECOMENDACIONES

En función de las causas que provocaron el pandeo, se recomienda:

- Reparar los sistemas de alimentación vibratorios que se encuentran fuera de servicio y los que están funcionando deficientemente, de tal manera que el sistema opere en fases cíclicas con períodos de tiempo bien definidos. Cada fase estará compuesta por la puesta en marcha de tres alimentadores vibratorios consecutivos; para esto se requerirá de un control automatizado, garantizando así la remoción uniforme de RF a lo largo de toda la estructura.
- Automatizar el proceso o en su defecto que el operario este calificado para garantizar que la cinta transportadora deslizable 40-ET-03 en el momento de la formación de las pilas de almacenamiento el extremo de la cinta se encuentre ubicado en el medio de dos columnas base por un período de tiempo de ½ hora, posteriormente ubicarse en otra sección con la misma metodología anterior, con la finalidad de distribuir uniformemente la roca en la formación del granel de almacenamiento, evitando así la acumulación excesiva de RF en un solo sentido de las CB.
- Con el fin de disminuir el efecto negativo que trae consigo las cargas de impacto provocadas por la maquinaria pesada se sugiere que la remoción de RF por parte de esta, sea como lo muestra la siguiente figura:

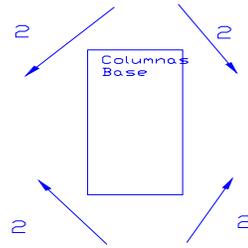


Figura R.1 Recomendación de operatividad de la maquinaria pesada.

NOTAS:

- Las flechas indican la dirección que debe tener la maquinaria pesada en el momento de la remoción de RF en ubicaciones próximas a las columnas base.
- El número dos indicado en la figura significa que la maquinaria pesada debe remover en dos oportunidades la roca bajo esa misma dirección, para posteriormente ubicarse en otra dirección siguiendo el sentido de las manecillas del reloj.

Con respecto al proceso de soldado se recomienda aplicar detalladamente el procedimiento de soldado que establece el código AWS-D1.1 y para el pintado la normativa interna PDVSA No. 0-201, los cuales se resumen en el marco metodológico.

Se aconseja que par la fabricación del concreto y tiempo de fraguado se aplica los códigos interno PDVSA A-211 y PDVSA L-STC-001, los cuales se resumen en el marco metodológico.

El presente trabajo especial de grado se baso en el diseño, construcción e instalación de una nueva CB-1, y no de las demás CB, por lo que se recomienda:

- Sustituir la CB-6, ya que está soporta grandes cargas de flexión, como lo muestran en los planos 1 y 2 siguiendo las instrucciones de trabajo que se encuentra en el presente informe.
- Para las CB internas se recomienda en primer término la sustitución de las cerchas actuales por tuberías como lo indica el plano No. 1, en segundo lugar reparar el grouting de nivelación de las fundaciones y sustituir si fuesen necesario los pernos de anclajes; además, la colocación mediante soldadura de refuerzos en áreas críticas de pandeo o deformaciones locales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDO, Dolande: Fundamentos de Planificación, Caracas, Edición Venezuela, 2002.

BALESTRINI, Mirian: ¿Cómo se Elabora el Proyecto de Investigación?, Caracas, Servicio Editorial BC, Quinta Edición, 2001.

BECKER, Pierrer: Phosphates and Phosphoric Acid, 6 Vols., U.S.A., Marcel Dekker Inc, 1989.

BEER, Fernand y RUSSELL, Johnston: Mecánica de Materiales, Colombia, Editorial Mc Graw Hill, 1993.

CRUZ, Jorge: Aplicación del Método de Holzer -Van Den Dungen en el Cálculo de Deflexiones Estáticas de Vigas Elásticas de Eje Recto. Revista de la Facultad de Ingeniería, (Universidad Central de Venezuela).

CRUZ, Jorge: [Aplicación del Método de Holzer -Van Den Dungen en la Solución de Pórticos], 2002, Trabajo no publicado.

GAYLORD, Edwin y GAYLORD, Charles: Técnicas Modernas de Ingeniería Civil, México, Editorial Continental, 1980.

GUTIERREZ, Neudo: Desarrollo del Estudio de la Ingeniería de Detalle de los Sistemas de Tuberías Presentes en una Planta de Regeneración de Amina. Trabajo de Grado de Especialización no publicado. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 2000.

HIBBELER, R.C.: Mecánica de Materiales, México, Prentice Hall Hispanoamericana, Tercera Edición, 1997.

INTEVEP: Guía para el Diseño, Construcción, Instalación, Inspección y Mantenimiento de Estructuras Metálicas en Áreas Marinas y Lacustres de Venezuela, Los Teques, Autor, 1986.

INELECTRA: Sistema de Recepción y Reclamo de RF, (Criterios de Diseño para Construcción de Instalación 369 - Sección 01 - Estación Morón), Caracas, Autor, 1990.

INTEVEP: Informe Técnico, (Evaluación de la Influencia de la Mezcla de Roca Fosfática de Riecito con Roca Fosfática de Florida y Roca Fosfórica de Bucra en la Producción de Ácido Fosfórico). Los Teques, Autor, 1997.

INTEVEP: Informe Técnico, (Transferencia de Tecnología en Producción PAPP). Los Teques, Autor, 1998.

JACOBS ENGINEERING GROUP INC: Phosphoric Acid Plant Conceptual Engineering Study, Morón, Autor, 1996.

LAWRENCE, W.B.: Contabilidad de Costos, 2 Ts., U.S.A., Prentice Hall, Cuarta Edición, 1964.

MARKS: Manual del Ingeniero Mecánico, 2 Ts., México, Editorial Mc Graw Hill, Novena Edición, 2000.

MATH WORKS Inc: Matlab®, (Edición de Estudiantes), España, Prentice Hall, 1996.

MOTT, Robert: Diseño de Elementos de Máquinas, México, Prentice Hall, Segunda Edición, 1995.

PEQUIVEN, Procedimientos Operacionales: (Administración del Sistema de Gerencia de la Seguridad de los Procesos). Zulia, Autor, 2000.

PEQUIVEN, Análisis Causa Raíz: (Gerencia de Seguridad de los Procesos). Caracas, Autor, 1990.

PEQUIVEN: Manual de Operaciones, (Planta de Ácido Fosfórico, Instalación 370A), 3 Vols., Morón, Autor, 1990.

PERRY, Robert y otros: Manual del Ingeniero Químico, 6 Ts., México, Editorial Mc Graw Hill, Sexta Edición, 1992.

POTTER, Merle y otros: Mecánica de Fluidos, México, Prentice Hall, Segunda Edición, 1998.

PRITCHARD, Philip: MathCad, (A Tool for Engineering Problem Solving), U.S.A., Editorial Mc Graw Hill, 1998.

ROBB, Luis: Diccionario para Ingenieros Español-Inglés / Inglés-Español, México, Editorial Mc Graw Hill, 1997.

SALAS, Guillermo: Manual para la Elaboración de Trabajos Especiales de Grado, Zulia, Universidad del Zulia – Facultad de Ingeniería, 1978.

SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles: Diseño en Ingeniería Mecánica, México, Editorial Mc Graw Hill, Sexta Edición, 2002.

SIDERÚRGICA DEL ORINOCO (SIDOR): Manual de Proyectos de Estructuras de Acero, 3 Ts., Bolívar, Autor, Segunda Edición, 1982.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA (UCV): Tercer Seminario de Mecánica de Suelos, (Análisis y Diseño de Fundaciones), Caracas, Autor, 1964.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR (UPEL): Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales, Caracas, Autor, Tercera Edición, 2003.

ZIENKIEWICZ, O.C.: El Método de los Elementos Finitos, España, Editorial Reverté, Tercera Edición, 1980.

Normas AWS:

D1.1 “Structural Welding Code”

A51.1 E6010 y E7018 “Specification for Carbon Steel Covered Arc Welding Electrodes”

Normas PEQUIVEN:

SSPC-SP2 “Limpieza con herramientas de mano”

SSPC-SP5 “Limpieza con solventes”

ST-001 “Limpieza con SandBlasting “

Normas PDVSA:

- A-211 “Instalaciones metálicas”
- A-213 “Realización de Fundaciones”
- AK-211 “Trabajos de excavación”
- JB-211 “Construcción en acero”
- L-STC-001 “Selección del concreto”
- No. 0-201 “Especificaciones de Pintura”

Normas INTEVEP:

- INT-01529,86 sec 7 “Construcciones metálicas expuestas a corrosión”

Normas ASTM (Propiedades de Materiales):

- ASTM A-36 “Acero Estructural”
- ASTM A-106 Gr. B “Acero para tuberías”

Normas AISC:

- AISC LRFD93 “AISC-Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings”

Normas AISI:

- AISI 1020 “Acero al Carbono”

ANEXOS

ANEXO A

**FIGURAS DEL ESTADO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DE ROCA
FOSFÁTICA CB-1, SITUACIÓN CORROSIVA, CONO DE
DEPRESIÓN FORMADO POR SUCCIÓN DE RF,
ACUMULACIÓN DE RF SOBRE CB, NUEVAS
FUNDACIONES, CONSTRUCCIÓN E
INSTALACIÓN DE NUEVA CB-1**

A.1 Estado de Estructura Soporte 40-ET-03

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, las condiciones de la estructura 40-ET-03 en el momento de iniciar el trabajo especial de grado:



Figura A.1 Estructura 40-ET-03, lado oeste.



Figura A.2 Estructura 40-ET-03, lado este.



Figura A.3 Estado de CB-1.



Figura A.4 Estado de CB-2.



Figura A.5 Estado de CB-3.



Figura A.6 Estado de CB-4.



Figura A.7 Estado de CB-5.



Figura A.8 Estado de CB-6.



Figura A.9 Estado de CB-7.

A.2 Columna Base Crítica [CB-1]

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, las condiciones de la columna base crítica, CB-1:



Figura A.10 Estado de pandeo de CB-1.



Figura A.11 Bases de CB-1 (Ambas en iguales condiciones).



Figura A.12 Consecuencia del pandeo en plataforma Niv-14.



Figura A.13 Acumulación de RF sobre cercha.



Figura A.14 Estado de la cercha.



Figura A.15 Pandeo local, producto de choque de Maq. Pesada.

A.3 Situación de Corrosión en la Estructura

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, la situación de corrosión en la estructura:



Figura A.16 Corrosión sobre CB-5 (1).



Figura A.17 Corrosión sobre CB-5 (2).



Figura A.18 Barandas en plataforma.



Figura A.19 Carriles en plataforma.

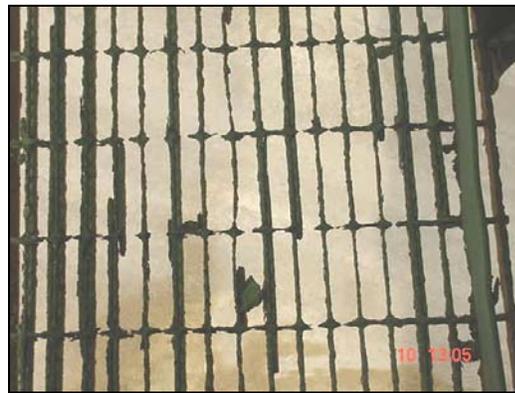


Figura A.20 Grating en plataforma.

A.4 Cono de Depresión Formado por Succión de RF (Alimentadores Vibratorios)

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, el cono de depresión formado por la succión de RF, debido al efecto de los alimentadores vibratorios, que causan los diferenciales de presión sobre las CB, produciendo la desigualdad de distribución en la RF:



Figura A.21 Ubicación de alimentadores vibratorios (1).



Figura A.22 Ubicación de alimentadores vibratorios (2).



Figura A.23 Cono de depresión (1).



Figura A.24 Cono de depresión (2).



Figura A.25 Cono de depresión (3).



Figura A.26 Cono de depresión (4).



Figura A.27 Cono de depresión (5).



Figura A.28 Cono de depresión (6).

A.5 Acumulación de RF sobre CB

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, la acumulación de RF sobre las CB, causantes de diferenciales de presión, que se traducen en cargas de flexión:



Figura A.29 Acumulación de RF sobre CB (1).



Figura A.30 Acumulación de RF sobre CB(2)



Figura A.31 Acumulación de RF sobre CB (3).



Figura A.32 Pandeo local producto de peso de RF.



Figura A.33 Recolección de RF mediante Maq. Pesada (1).



Figura A.34 Recolección de RF mediante Maq. Pesada (2).

A.6 Construcción de Nuevas Fundaciones de CB-1

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, la construcción de las nuevas fundaciones para la nueva CB-1:



Figura A.35 Montaje de sistema de seguridad.



Figura A.36 Zapata de fundaciones (Estructura armada).



Figura A.37 Construcción de pedestal (Estructura armada) [1].



Figura A.38 Construcción de pedestal (Estructura armada) [2].

A.7 Corte y Soldado de la Estructura de Acero (Nueva CB-1)

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en el taller del complejo, el proceso de corte de la viga HEA elegida y las tuberías, con sus respectivas soldaduras:



Figura A.39 Viga HEA-360 (1).



Figura A.40 Viga HEA-360 (2).



Figura A.41 Viga HEA-360 (3).



Figura A.42 Corte de viga HEA-360.

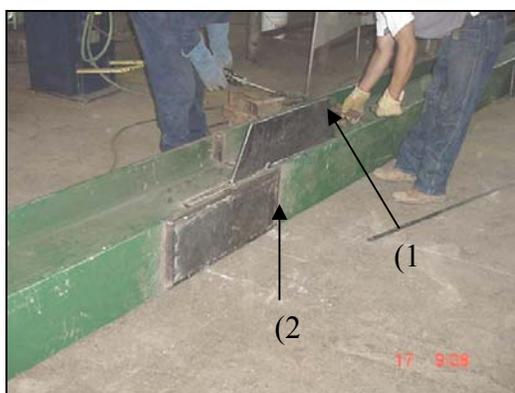


Figura A.43 Soldado de plancha para juntas tubulares (1) y plancha de refuerzo en unión de viga H (2)... [1].



Figura A.44 Soldado de plancha para juntas tubulares (1) y plancha de refuerzo en unión de viga H (2)... [2].



Figura A.45 Soldado de plancha para juntas tubulares (1) y plancha de refuerzo en unión de viga H (2)... [3].



Figura A.46 Plancha de unión tubular y de refuerzo.



Figura A.47 Plancha de uniones tubulares a ser soldadas.



Figura A.48 Medio de sujeción para instalación de CB-1.



Figura A.49 Esmerilado para posterior soldado de plancha.



Figura A.50 Soldado de plancha.



Figura A.51 Corte de tuberías que formarán la cercha.



Figura A.52 Forma de media luna de tuberías [1].



Figura A.53 Forma de media luna de tuberías [2].

A.8 Culminación de las Nuevas Fundaciones para la CB-1

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, las nuevas fundaciones construidas:



Figura A.54 Protección de seguridad de nuevas fundaciones.



Figura A.55 Antigua fundación.

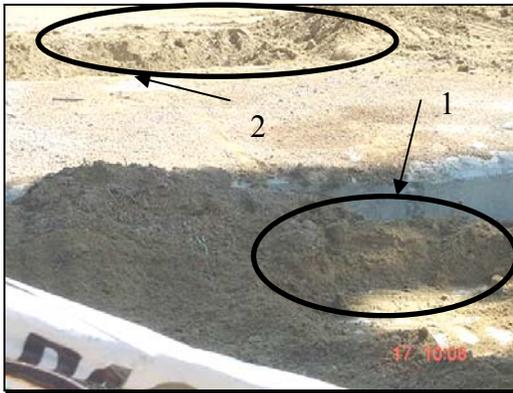


Figura A.56 (1) Fundación de CB-1 [Sur] (2) Fundación de CB-1 [Norte].



Figura A.57 Nueva fundación sur [1].



Figura A.58 Nueva fundación sur [2].



Figura A.59 Nueva fundación sur [3].



Figura A.60 Nueva fundación norte [1].



Figura A.61 Nueva fundación norte [2].



Figura A.62 Nueva fundación norte [3].

A.9 Instalación de la Nueva CB-1

En este anexo se ilustran, por medio de fotografías tomadas en la sección de recepción, almacenamiento y reclamo de roca fosfática, la instalación de la estructura que conforma la nueva CB-1:



Figura A.63 Vista de norte al sur de nueva CB-1, visualizando pandeo de antigua CB-1 [1].



Figura A.64 Vista de norte al sur de nueva CB-1, visualizando pandeo de antigua CB-1 [2].

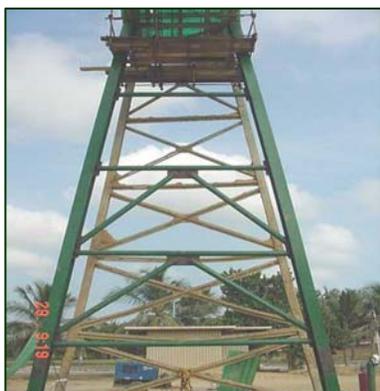


Figura A.65 Vista de cerchas formadas por tubos de ϕ 6'' Sch. 40 [1].



Figura A.66 Vista de cerchas formadas por tubos de ϕ 6'' Sch. 40 [2].



Figura A.67 Vista lateral de cerchas [1].



Figura A.68 Vista lateral de cerchas [2].

ANEXO B

**FORMACIÓN DEL GRANEL DE ALMACENAMIENTO DE RF,
PROPIEDADES DEL AIRE, CARACTERÍSTICAS DE LA MP,
MODELO EMPLEADO PARA DETERMINAR CARGA POR
ACUMULACIÓN DE RF, DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE
ACERO, PROPIEDADES DE TUBERÍA ϕ 6" SCH. 40, HOJA
DE DATOS DE ESTRUCTURA 40-ET-02 Y 40-ET-03 Y
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES HA SER
EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE
LA NUEVA CB-1**

B.1 Formación del Granel de Almacenamiento de RF

A continuación se muestra la correcta metodología operacional en la formación del granel de almacenamiento de RF:

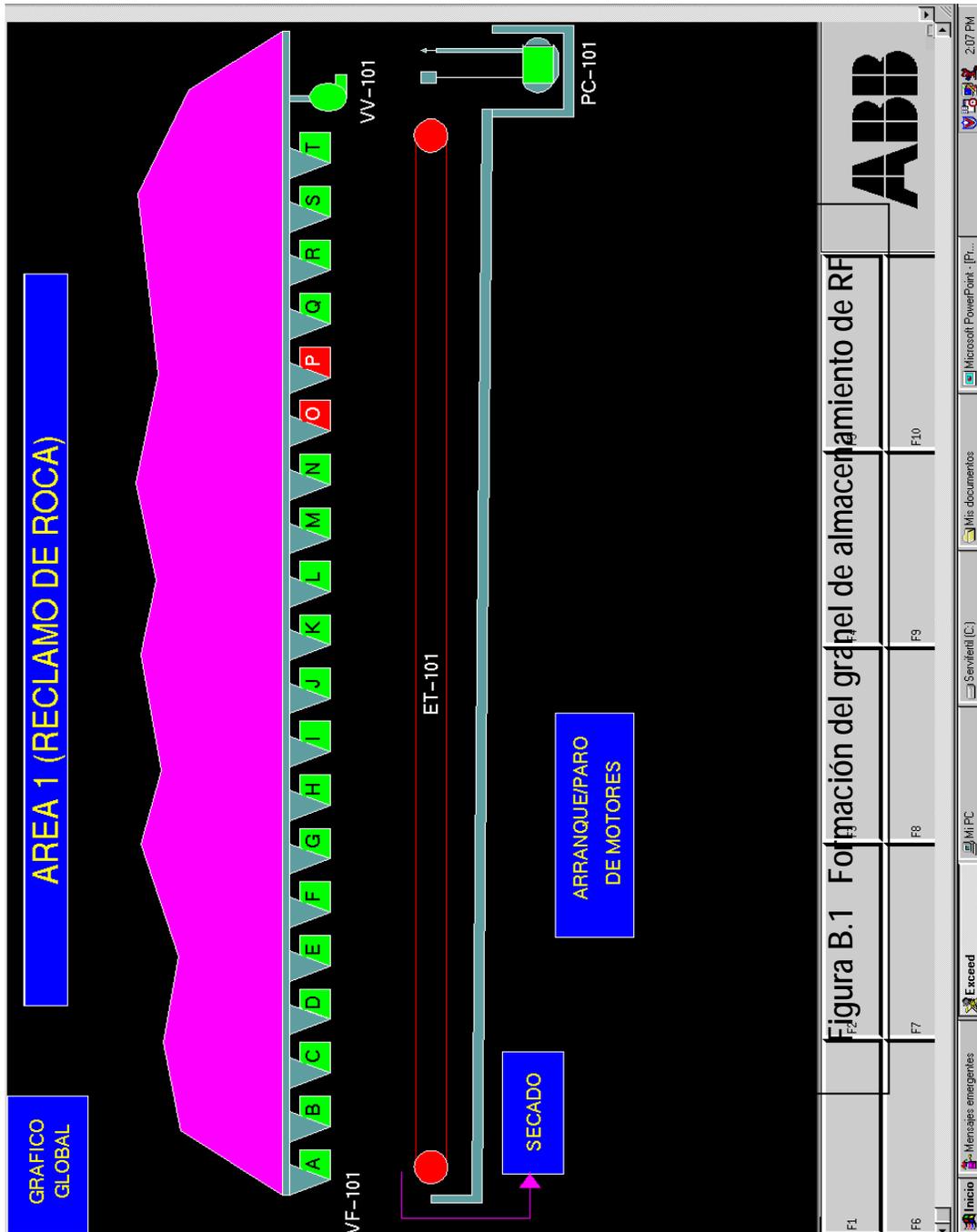


Figura B.1 Formación del granel de almacenamiento de RF

B.2 Tablas de Propiedades del Aire

A continuación se muestran dos tablas que indican las propiedades del aire a presión atmosférica en unidades del SI e inglés respectivamente:

Tabla B.1 Propiedades del aire a presión atmosférica en unidades del SI.

Temperatura T (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad μ (N · s/m ²)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Velocidad del sonido c (m/s)
-50	1.582	1.46×10^{-5}	0.921×10^{-6}	299
-30	1.452	1.56	1.08×10^{-6}	312
-20	1.394	1.61	1.16	319
-10	1.342	1.67	1.24	325
0	1.292	1.72	1.33	331
10	1.247	1.76	1.42	337
20	1.204	1.81	1.51	343
30	1.164	1.86	1.60	349
40	1.127	1.91	1.69	355
50	1.092	1.95	1.79	360
60	1.060	2.00	1.89	366
70	1.030	2.05	1.99	371
80	1.000	2.09	2.09	377
90	0.973	2.13	2.19	382
100	0.946	2.17	2.30	387
200	0.746	2.57	3.45	436
300	0.616	2.93×10^{-5}	4.75×10^{-6}	480

Tabla B.2 Propiedades del aire a presión atmosférica en unidades inglesas.

Temperatura (°F)	Densidad (slug/ft ³)	Viscosidad (lb-s/ft ²)	Viscosidad cinemática (ft ² /s)	Velocidad del sonido (ft/s)
-20	0.00280	3.34×10^{-7}	11.9×10^{-5}	1028
0	0.00268	3.38	12.6	1051
20	0.00257	3.50	13.6	1074
40	0.00247	3.62	14.6	1096
60	0.00237	3.74	15.8	1117
68	0.00233	3.81	16.0	1125
80	0.00228	3.85	16.9	1138
100	0.00220	3.96	18.0	1159
120	0.00213	4.07	18.9	1180
160	0.00199	4.23	21.3	1220
200	0.00187	4.50	24.1	1258
300	0.00162	4.98	30.7	1348
400	0.00144	5.26	36.7	1431
1000	0.000844	7.87×10^{-7}	93.2×10^{-5}	1839

B.3 Especificaciones Detalladas de MP

A continuación se especifica los detalles técnicos de la maquinaria pesada empleada para la recolección de RF en el granel de almacenamiento:



Figura B.2 Maquinaria Pesada empleada para la recolección de RF.

Tabla B.3 Especificaciones detalladas de la maquinaria pesada.

Motor	
Modelo de motor	Cat 3176C ATAAC
Gross Power	189 kW / 254 hp
Potencia en el volante	179 kW / 240 hp
Net Power - EEC 80/1269	179 kW / 240 hp
Net Power - ISO 9249	179 kW / 240 hp
Net Power - SAE J1349 (JAN90)	179 kW / 240 hp
Blade Specifications	
Blade Capacities	2.66 m ³ 3.49 yd ³
Straight Blade - Capacity	2.66 m ³ / 3.49 yd ³

Tabla B.3 (cont.)

Moldboard Length	3596 mm / 11.8 ft
Straight Blade - Height	1110 mm / 3.6 ft
Straight Blade - Digging Depth	528 mm / 1.73 ft
Maximum Lift Above Ground	718 mm / 2.36 ft
Straight Blade - Maximum Tilt	795 mm / 2.6 ft
Pesos	
Peso en orden de trabajo	21713 kg / 47877 lb
Transmisión	
Forward 1	5.8 kph / 3.6 mph
Forward 2	10.2 kph / 6.3 mph
Forward 3	17.7 kph / 10.9 mph
Forward 4	30.9 kph / 19.2 mph
Reverse 1	6.6 kph / 4.1 mph
Reverse 2	11.5 kph / 7.1 mph
Reverse 3	20.2 kph / 12.5 mph
Dimensions	
Height to Top of Cab	3326 mm / 10.91 ft
Height to Top of Exhaust Pipe	3304 mm / 10.84 ft
Height to Top of Hood	2373 mm / 7.79 ft
Ground Clearance to Bumper	748 mm / 2.45 ft
Height to Bottom of Ladder	441 mm / 1.45 ft
Center Line of Rear Axle to Edge	1871 mm / 6.14 ft
Wheelbase	3350 mm / 11 ft
Length with Blade on Ground	6881 mm / 22.58 ft
Ground Clearance	366 mm / 1.2 ft

B.4 Modelo Empleado para Determinar Carga por Acumulación de RF

Se muestran dos figuras, correspondientes a las medidas supuestas en el cálculo de la carga por acumulación de RF y la distribución de presiones y fuerzas generadas por la acumulación de RF:

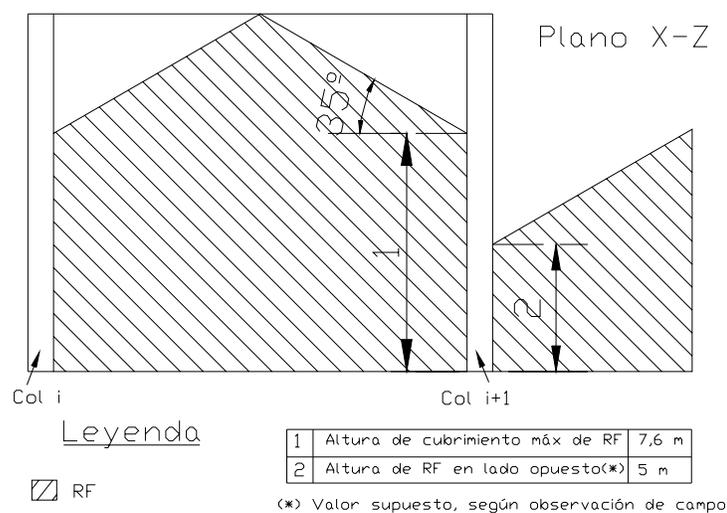


Figura B.3 Medidas supuestas en el cálculo de la carga por acumulación de RF.

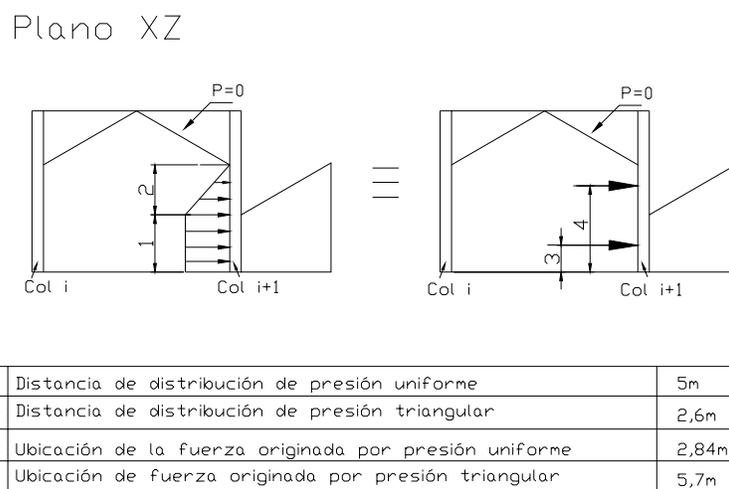


Figura B.4 Distribución de presiones y fuerzas generadas por acumulación de RF.

B.5 Dimensiones de Tuberías de Acero, Propiedades de Tubería ϕ 6'' Sch. 40 y Hoja de Datos de las Estructuras 40-ET-02 y 40-ET-03

En el presente anexo se señala las dimensiones de tuberías de acero y las propiedades de la tubería ϕ 6 Sch. 40; también las hoja de datos de las estructuras 40-ET-02 y 40-ET-03 incluyendo sus representaciones gráficas:

Tabla B.4 Dimensiones de tuberías de acero.

Tamaño nominal de tubería [pulg.]	DE [pulg.]	Número Sch.	Espesor de pared [pulg.]	DI [pulg.]	A_{trans} [pulg. ²]
1	1,315	40	0,133	1,049	0,494
		80	0,179	0,957	0,639
1½	1,900	40	0,145	1,610	0,799
		80	0,200	1,500	1,068
		160	0,281	1,338	1,429
2	2,375	40	0,154	2,067	1,075
		80	0,218	1,939	1,477
3	3,500	40	0,216	3,068	2,228
		80	0,300	2,900	3,016
4	4,500	40	0,237	4,026	3,173
		80	0,337	3,826	4,407
5	5,563	40	0,258	5,047	4,304
		80	0,375	4,813	6,122
		120	0,500	4,563	7,953
		160	0,625	4,313	9,696
6	6,625	40	0,280	5,761	8,405
		80	0,432	10,020	11,90
10	10,75	40	0,365	10,020	11,90
		80	0,500	9,750	16,10

Tabla B.5 Propiedades de la tubería ϕ 6 Sch. 40.

Tamaño nominal de tubería [pulg.]	No. Sch.	DE [m]	DI [m]	A_{trans} [m ²]	I [m ⁴]	J [m ⁴]	r [m]	P [N/m]	S [m ³]	Material
6	40	0,168	0,146	0,0054	$1,68 \times 10^{-5}$	$3,36 \times 10^{-5}$	0,056	416	2×10^{-4}	ASTM A106 Gr. B

Tabla B.6 Hoja de datos de estructura 40-ET-02.

ESTRUCTURA 40-ET-02	
HOJA DE DATOS	
<i>Planta:</i> Complejo Petroquímico Morón	CONDICIONES DEL SITIO
<i>Sección:</i> Recepción y Reclamo RF	<i>Elevación [m.s.n.m.]:</i> 5
<i>Fabricante:</i> GLEASON & CIA. S.A.	<i>Temperatura Ambiente [C]:</i> 30
<i>Servicio:</i> Cinta Receptora	<i>Carga de Viento [m/s]:</i> 30
DATOS DE OPERACIÓN	<i>Zona de Terremoto</i>
<i>Capacidad de carga[Ton/H]:</i> 1.000	<i>(Según UBC):</i> 4
<i>Material Transportado:</i> Roca Fosfática	<i>Presión Atmosférica [KPa]:</i> 101,3
<i>Densidad [N/m³]:</i> 15.680	DISPOSICIÓN DE TRANSPORTADOR
<i>Ángulo de Reposo:</i> 35°	<i>Distancia entre extremos [m]:</i> 69
<i>Tipo de Flujo:</i> Libre y Abrasivo	<i>Desnivel entre ejes:</i> 18°
<i>Método de Aliment:</i> Tolva de Transf.	<i>Ángulo de inclinación con respecto a horizontal:</i> 18°
<i>Método de Descarga:</i> Tolva de Transf.	DIMENSIONES PLATAFORMA
CINTA	<i>Ancho [m]:</i> 3
<i>Ancho de la cinta [inc.]:</i> 42	<i>Largo [m]:</i> 69
<i>Velocidad [FPM]:</i> 400	
Longitud Parcial [m]: 69	
<i>Longitud Total [m]:</i> 144	

Tabla B.7 Hoja de datos de estructura 40-ET-03.

ESTRUCTURA 40-ET-03	
HOJA DE DATOS	
<i>Planta:</i> Complejo Petroquímico Morón	CONDICIONES DEL SITIO
<i>Sección:</i> Recepción y Reclamo RF	<i>Elevación [m.s.n.m.]:</i> 5
<i>Fabricante:</i> GLEASON & CIA., S.A.	<i>Temperatura Ambiente [C]:</i> 30
<i>Servicio:</i> Cinta Móvil	<i>Carga de Viento [m/s]:</i> 30
DATOS DE OPERACIÓN	<i>Zona de Terremoto</i>
<i>Capacidad de carga[Ton/H]:</i> 1.000	<i>(Según UBC):</i> 4
<i>Material Transportado:</i> Roca Fosfática	<i>Presión Atmosférica [KPa]:</i> 101,3
<i>Densidad [N/m³]:</i> 15.680	DISPOSICIÓN DE TRANSPORTADOR
<i>Ángulo de Reposo:</i> 35°	<i>Distancia entre extremos [m]:</i> 58,4
<i>Tipo de Flujo:</i> Libre y Abrasivo	<i>Desnivel entre ejes:</i> 0°
<i>Método de Aliment:</i> Tolva de Transf.	<i>Ángulo de inclinación con respecto a horizontal:</i> 0°
<i>Método de Descarga:</i> Libre	DIMENSIONES PLATAFORMA
CINTA	<i>Ancho [m]:</i> 3
<i>Ancho de la cinta [inc.]:</i> 42	<i>Largo [m]:</i> 113
<i>Velocidad [FPM]:</i> 400	
Longitud Parcial [m]: 58,4	
<i>Longitud Total [m]:</i> 120	

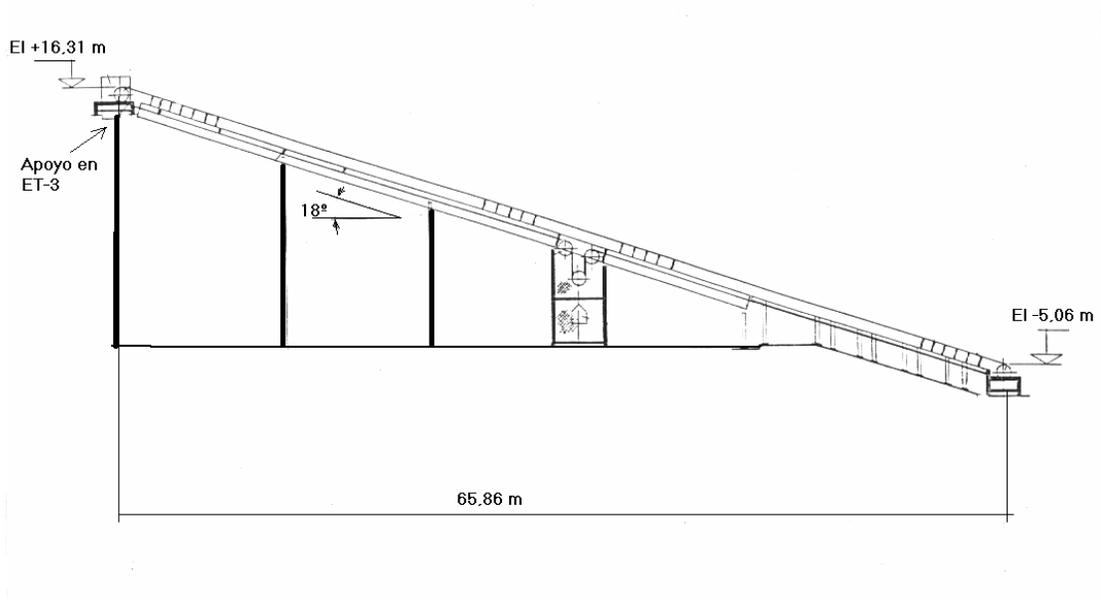


Figura B.5 Vista Lateral de Estructura 40-ET-02.

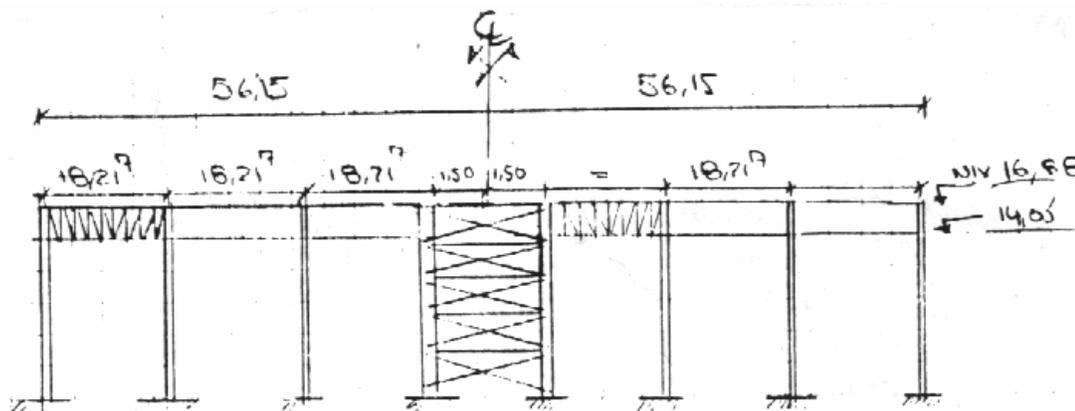


Figura B.6 Vista frontal de estructura 40-ET-03.

B.6 Propiedades de los Materiales ha ser Empleados

En el presente anexo se señala las propiedades de los materiales ha ser empleados en la construcción de la nueva CB-1:

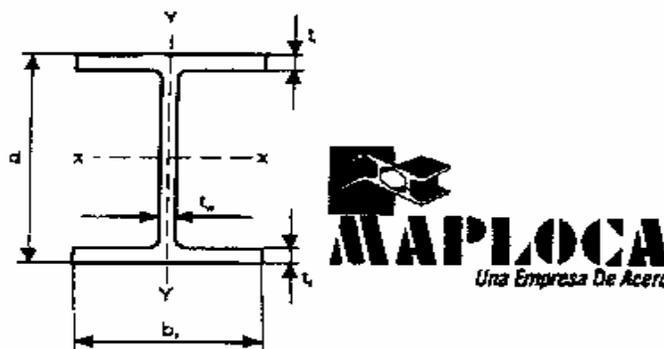


Figura B.7 Perfil estructural H.

Tabla B.8 Dimensiones y propiedades de viga H 500 HEA para el diseño.

PERFILES HEA												
DESIG.	PESO	ÁREA	DIMENSIONES				PROPIEDADES					
HEA d	P	A	Altura	Alas		Alma	Eje X – X			Eje Y – Y		
			d	b _f	t _f	t _w	I _x	S _x	r _x	I _y	S _y	r _y
mm	N/m	m ²	m				m ⁴	m ³	cm	m ⁴	m ³	cm
			[x10 ⁻³]				[x10 ⁻⁴]	[x10 ⁻³]		[x10 ⁻⁵]	[x10 ⁻⁴]	
HEA 260	668	0,009	250	260	12,5	7,5	1,05	0,836	11	3,66	2,82	6,5
HEA 320	956	0.012	310	300	15,5	9	2,29	1,48	14	6,98	4,65	7,5
HEA 360	1.098	0,014	350	300	17,5	10	3,31	1,89	15	7,88	5,25	7,43
HEA 450	1.372	0,018	440	300	21	11,5	6,37	2,9	19	9,46	6,31	7,29

Tabla B.9 a, b. Propiedades químicas y mecánica de ASTM A-36.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	
[%]	
Carbono	0,26
Manganeso	0,80 – 1,20
Fósforo	0,04
Azufre	0,05
Sílice	0,40
Cobre	0,20

(a)

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Resistencia a la tensión, flexión y cortante Kpsi (MPa)	58 – 80 (400 – 550)
Límite de fluencia Kpsi (MPa)	36 (250)

(b)

Tabla B.10 a,b. Propiedades químicas y mecánica de ASTM A-106 Gr. B.

COMPOSICIÓN QUÍMICA [%]	
Carbono	0,30
Manganeso	0,29 – 1,06
Fósforo	0,035
Azufre	0,035
Sílice	0,10
Cromo	0,40
Cobre	0,40
Molibdeno	0,15
Níquel	0,40
Vanadio	0,08

(a)

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Resistencia a la tensión, flexión y cortante Kpsi (MPa)	60 (415)
Límite de fluencia KPSS (Mpa)	35 (240)

(b)

Tabla B.11 a, b. Propiedades químicas y mecánica de AISI 1020.

COMPOSICIÓN QUÍMICA [%]	
Carbono	0,17 – 0,23
Manganeso	0,3 – 0,6
Fósforo	0,04
Azufre	0,05

(a)

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Resistencia a la tensión, flexión y cortante Kpsi (MPa)	69,9 (420)
Límite de fluencia Kpsi (Mpa)	50,8 (350)

(b)

ANEXO C

**ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS Y NODOS EN EL PÓRTICO
TRIDIMENSIONAL DE LA NUEVA CB-1, CODIFICACIÓN
EMPLEADA EN LOS RESULTADOS GRÁFICOS DEL
PROGRAMA Y RESULTADOS DE LAS OPCIONES
DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA NUEVA CB,
CON VIGAS HEA 260, 320 Y 450**

C.1 Estudio de los Elementos en el Pórtico Tridimensional de la Nueva CB-1

A continuación se indica las matrices que conformarán la modelación matemática de los elementos del 1 al 21 de la nueva CB-1; los nodos son representados por la letra “ Z_{ij} ”, donde “ i ” expresa el número de nodo y “ j ” indica el elemento que concurre al nodo:

Elemento 1

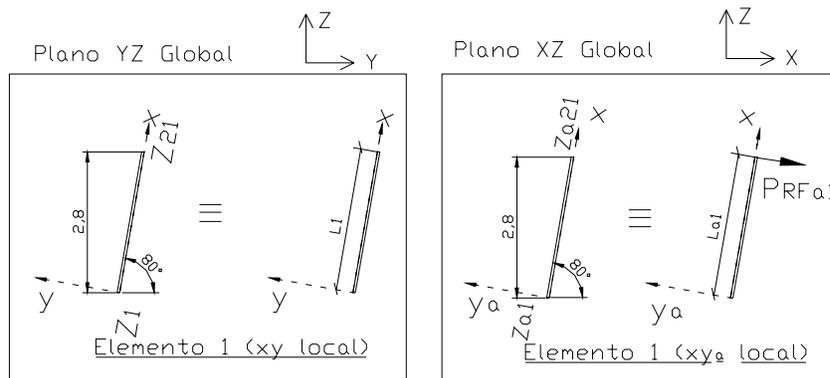


Figura C.1 Representación (elemento 1), en planos locales (xy) y (xya) .

Ecuación Matricial del Subsistema 1 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{21} = L_1 Z_1 \quad Z_{a21} = L_{a1} Q_{a1} Z_{a1}$$

$$Z_{21} = \begin{pmatrix} \delta_{21} \\ y_{21} \\ \theta_{21} \\ A_{21} \\ M_{21} \\ V_{21} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_1}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_1 & 0 & \frac{(l_1)^2}{2EI_1} & \frac{(l_1)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_1}{EI_1} & \frac{(l_1)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_1 = \begin{pmatrix} \delta_1 \\ y_1 \\ \theta_1 \\ A_1 \\ M_1 \\ V_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a21} = \begin{pmatrix} \delta_{a21} \\ y_{a21} \\ \theta_{a21} \\ A_{a21} \\ M_{a21} \\ V_{a21} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a1}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a1} & 0 & \frac{(l_{a1})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a1})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a1}}{EI_2} & \frac{(l_{a1})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{a1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{RFa1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{a1} = \begin{pmatrix} \delta_{a1} \\ y_{a1} \\ \theta_{a1} \\ A_{a1} \\ M_{a1} \\ V_{a1} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$E = 200 \text{ GPa}$	$l_{a1} = 2,84 \text{ m}$
$l_1 = 2,84 \text{ m}$	$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$
$A_1 = \text{Área del perfil elegido}$	$P_{RFa1} = - 35.280 \text{ N}$
$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido}$	

Elemento 2

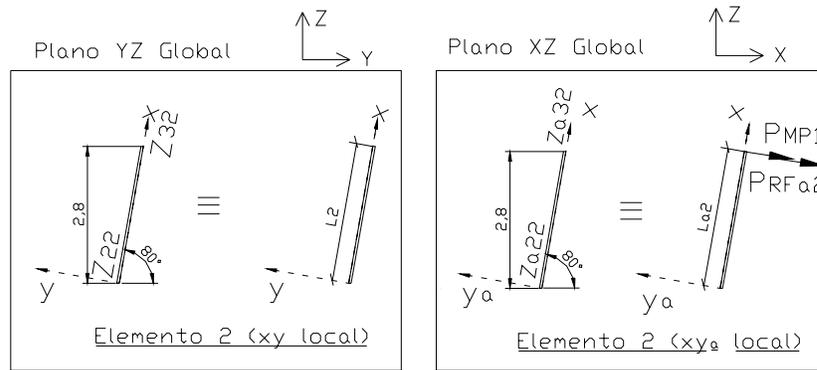


Figura C.2 Representación (elemento 2), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuación Matricial del Subsistema 2 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{32} = L_2 Z_{22} \quad Z_{a32} = L_{a2} Q_{a2} Z_{a22}$$

$$Z_{32} = \begin{pmatrix} \delta_{32} \\ y_{32} \\ \theta_{32} \\ A_{32} \\ M_{32} \\ V_{32} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_2}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_2 & 0 & \frac{(l_2)^2}{2EI_1} & \frac{(l_2)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_2}{EI_1} & \frac{(l_2)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{22} = \begin{pmatrix} \delta_{22} \\ y_{22} \\ \theta_{22} \\ A_{22} \\ M_{22} \\ V_{22} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a32} = \begin{pmatrix} \delta_{a32} \\ y_{a32} \\ \theta_{a32} \\ A_{a32} \\ M_{a32} \\ V_{a32} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a2}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a2} & 0 & \frac{(l_{a2})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a2})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a2}}{EI_2} & \frac{(l_{a2})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{a2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{RFa2} + P_{MP1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{a22} = \begin{pmatrix} \delta_{a22} \\ y_{a22} \\ \theta_{a22} \\ A_{a22} \\ M_{a22} \\ V_{a22} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a2} = 2,84 \text{ m}$$

$$l_2 = 2,84 \text{ m}$$

$$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$$

$$A_1 = \text{Área del perfil elegido} \quad P_{RFa2} = -8.781 \text{ N}$$

$$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido} \quad P_{MP1} = -9.945 \text{ N}$$

Elemento 3

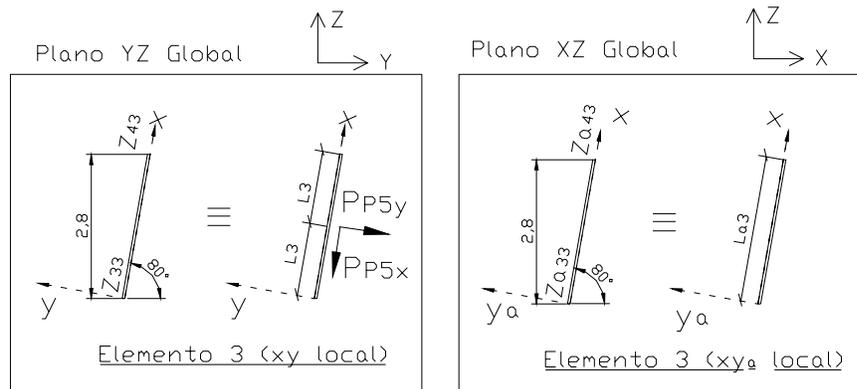


Figura C.3 Representación (elemento 3), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuación Matricial del Subsistema 3 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{43} = L_3 Q_3 L_3 Z_{33} \quad Z_{a43} = L_{a3} Z_{a33}$$

$$Z_{43} = \begin{pmatrix} \delta_{43} \\ Y_{43} \\ \theta_{43} \\ A_{43} \\ M_{43} \\ V_{43} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$L_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_3}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_3 & 0 & \frac{(l_3)^2}{2EI_1} & \frac{(l_3)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_3}{EI_1} & \frac{(l_3)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -P_{P5X} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{P5Y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{33} = \begin{pmatrix} \delta_{33} \\ y_{33} \\ \theta_{33} \\ A_{33} \\ M_{33} \\ V_{33} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a43} = \begin{pmatrix} \delta_{a43} \\ y_{a43} \\ \theta_{a43} \\ A_{a43} \\ M_{a43} \\ V_{a43} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a3}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a3} & 0 & \frac{(l_{a3})^2}{2EI_1} & \frac{(l_{a3})^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a3}}{EI_1} & \frac{(l_{a3})^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a33} = \begin{pmatrix} \delta_{a33} \\ y_{a33} \\ \theta_{a33} \\ A_{a33} \\ M_{a33} \\ V_{a33} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$\begin{aligned} E &= 200 \text{ GPa} & l_{a3} &= 2,84 \text{ m} \\ l_3 &= 1,42 \text{ m} & I_2 &= I_{xx} \text{ del perfil elegido} \\ A_1 &= \text{Área del perfil elegido} & P_{P5X} &= \text{Véase tabla 3.13} \\ I_1 &= I_{yy} \text{ del perfil elegido} & P_{P5Y} &= \text{Véase tabla 3.13} \end{aligned}$$

Elemento 4

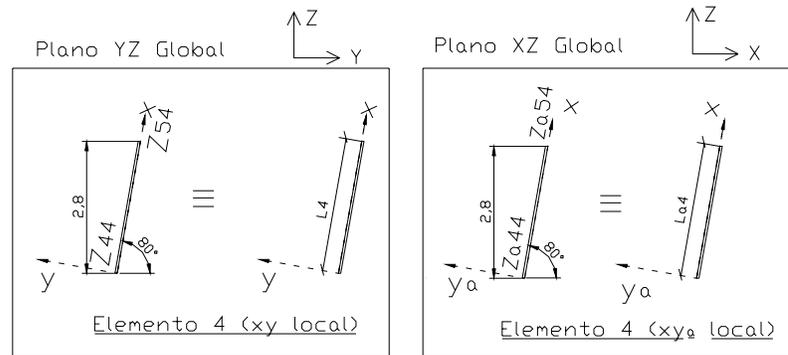


Figura C.4. Representación (elemento 4), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuación Matricial del Subsistema 4 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{54} = L_4 Z_{44} \quad Z_{a54} = L_{a4} Z_{a44}$$

$$Z_{54} = \begin{pmatrix} \delta_{54} \\ y_{54} \\ \theta_{54} \\ A_{54} \\ M_{54} \\ V_{54} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_4}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_4 & 0 & \frac{(l_4)^2}{2EI_1} & \frac{(l_4)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_4}{EI_1} & \frac{(l_4)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{44} = \begin{pmatrix} \delta_{44} \\ y_{44} \\ \theta_{44} \\ A_{44} \\ M_{44} \\ V_{44} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a54} = \begin{pmatrix} \delta_{a54} \\ y_{a54} \\ \theta_{a54} \\ A_{a54} \\ M_{a54} \\ V_{a54} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a4} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a4}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a4} & 0 & \frac{(l_{a4})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a4})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a4}}{EI_2} & \frac{(l_{a4})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a44} = \begin{pmatrix} \delta_{a44} \\ y_{a44} \\ \theta_{a44} \\ A_{a44} \\ M_{a44} \\ V_{a44} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a4} = 2,84 \text{ m}$$

$$l_4 = 2,84 \text{ m}$$

$$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$$

$$A_1 = \text{Área del perfil elegido}$$

$$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido}$$

Elemento 5

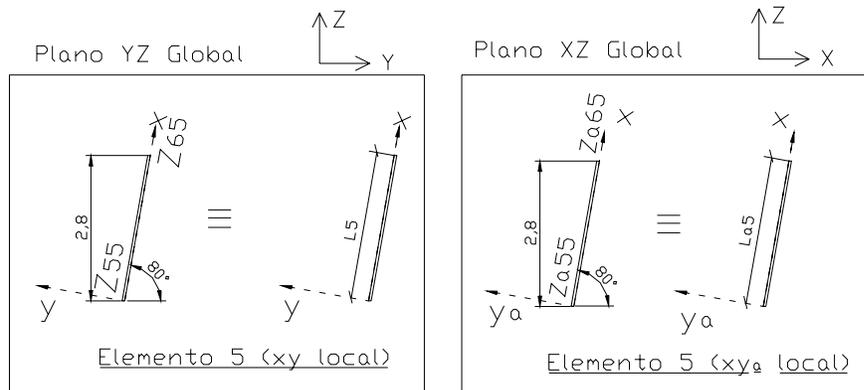


Figura C.5. Representación (elemento 5), en planos locales (xy) y (xya) .

Ecuación Matricial del Subsistema 5 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{65} = L_5 Z_{55} \quad Z_{a65} = L_{a5} Z_{a55}$$

$$Z_{65} = \begin{pmatrix} \delta_{65} \\ y_{65} \\ \theta_{65} \\ A_{65} \\ M_{65} \\ V_{65} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_5}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_5 & 0 & \frac{(l_5)^2}{2EI_1} & \frac{(l_5)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_5}{EI_1} & \frac{(l_5)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{55} = \begin{pmatrix} \delta_{55} \\ y_{55} \\ \theta_{55} \\ A_{55} \\ M_{55} \\ V_{55} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a65} = \begin{pmatrix} \delta_{a65} \\ y_{a65} \\ \theta_{a65} \\ A_{a65} \\ M_{a65} \\ V_{a65} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a5}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a5} & 0 & \frac{(l_{a5})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a5})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a5}}{EI_2} & \frac{(l_{a5})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a55} = \begin{pmatrix} \delta_{a55} \\ y_{a55} \\ \theta_{a55} \\ A_{a55} \\ M_{a55} \\ V_{a55} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a5} = 2,84 \text{ m}$$

$$l_5 = 2,84 \text{ m}$$

$$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$$

$$A_1 = \text{Área del perfil elegido}$$

$$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido}$$

Elemento 6

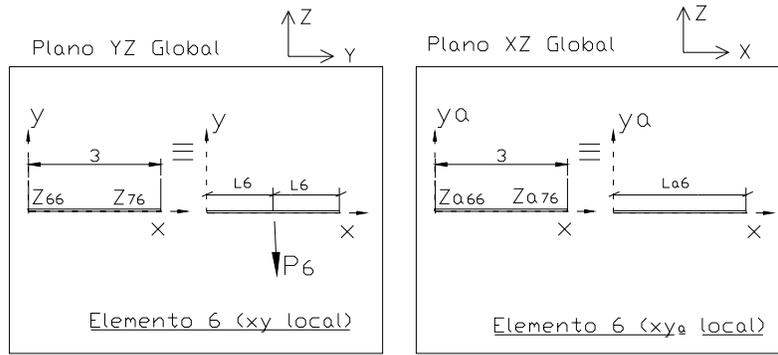


Figura C.6 Representación (elemento 6), en planos locales (xy) y (xya) .

Ecuación Matricial del Subsistema 6 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{76} = L_6 Q_6 L_6 Z_{66} \quad Z_{a76} = L_{a6} Z_{a66}$$

$$Z_{76} = \begin{pmatrix} \delta_{76} \\ y_{76} \\ \theta_{76} \\ A_{76} \\ M_{76} \\ V_{76} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_6}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_6 & 0 & \frac{(l_6)^2}{2EI_1} & \frac{(l_6)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_6}{EI_1} & \frac{(l_6)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_6 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -P_{a6} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_6 + P_{t6} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{66} = \begin{pmatrix} \delta_{66} \\ y_{66} \\ \theta_{66} \\ A_{66} \\ M_{66} \\ V_{66} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a76} = \begin{pmatrix} \delta_{a76} \\ y_{a76} \\ \theta_{a76} \\ A_{a76} \\ M_{a76} \\ V_{a76} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a6} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a6}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a6} & 0 & \frac{(l_{a6})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a6})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a6}}{EI_2} & \frac{(l_{a6})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a66} = \begin{pmatrix} \delta_{a66} \\ y_{a66} \\ \theta_{a66} \\ A_{a66} \\ M_{a66} \\ V_{a66} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$E = 200 \text{ GPa}$	$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$
$l_6 = 1,5 \text{ m}$	$Pa_6 = - 15.131 \text{ N}$
$A_1 = \text{Área del perfil elegido}$	$P_6 = \text{Véase tabla 3.13}$
$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido}$	$Pt_6 = - 54.165 \text{ N}$
$l_{a6} = 3 \text{ m}$	

Elemento 7

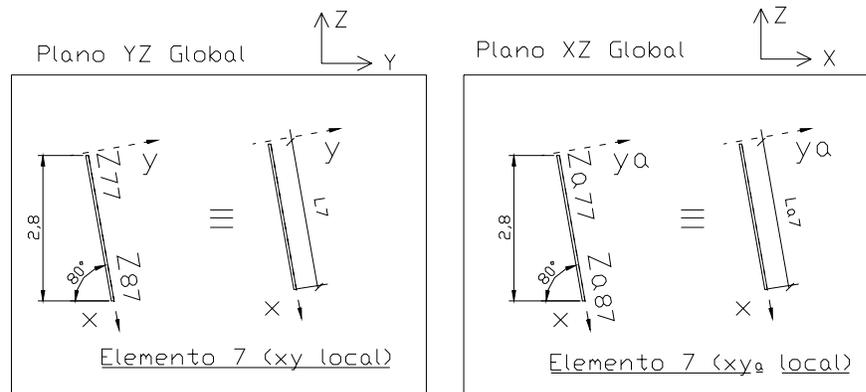


Figura C.7 Representación (elemento 7), en planos locales (xy) y (xy_a).

Ecuación Matricial del Subsistema 7 (Planos locales xy y xy_a)

$$Z_{87} = L_7 Z_{77} \quad Z_{a87} = L_{a7} Z_{a77}$$

$$Z_{87} = \begin{pmatrix} \delta_{87} \\ y_{87} \\ \theta_{87} \\ A_{87} \\ M_{87} \\ V_{87} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_7}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_7 & 0 & \frac{(l_7)^2}{2EI_1} & \frac{(l_7)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_7}{EI_1} & \frac{(l_7)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{77} = \begin{pmatrix} \delta_{77} \\ y_{77} \\ \theta_{77} \\ A_{77} \\ M_{77} \\ V_{77} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{Z}_{a87} = \begin{pmatrix} \delta_{a87} \\ y_{a87} \\ \theta_{a87} \\ A_{a87} \\ M_{a87} \\ V_{a87} \\ 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{L}_{a7} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a7}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a7} & 0 & \frac{(l_{a7})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a7})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a7}}{EI_2} & \frac{(l_{a7})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a7} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{Z}_{a77} = \begin{pmatrix} \delta_{a77} \\ y_{a77} \\ \theta_{a77} \\ A_{a77} \\ M_{a77} \\ V_{a77} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a7} = 2,84 \text{ m}$$

$$l_7 = 2,84 \text{ m}$$

$$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$$

$$A_1 = \text{Área del perfil elegido}$$

$$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido}$$

Elemento 8

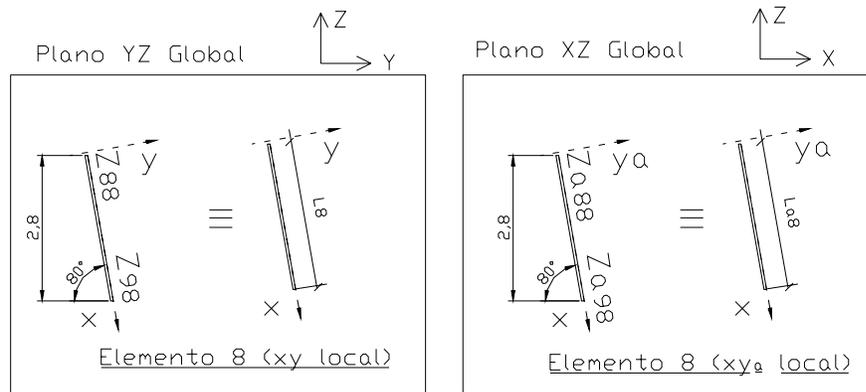


Figura C.8 Representación (elemento 8), en planos locales (xy) y (xya) .

Ecuación Matricial del Subsistema 8 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{98} = L_8 Z_{88} \quad Z_{a98} = L_{a8} Z_{a88}$$

$$Z_{98} = \begin{pmatrix} \delta_{98} \\ Y_{98} \\ \theta_{98} \\ A_{98} \\ M_{98} \\ V_{98} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_8 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_8}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_8 & 0 & \frac{(l_8)^2}{2EI_1} & \frac{(l_8)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_8}{EI_1} & \frac{(l_8)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{88} = \begin{pmatrix} \delta_{88} \\ y_{88} \\ \theta_{88} \\ A_{88} \\ M_{88} \\ V_{88} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a98} = \begin{pmatrix} \delta_{a98} \\ y_{a98} \\ \theta_{a98} \\ A_{a98} \\ M_{a98} \\ V_{a98} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a8} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a8}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a8} & 0 & \frac{(l_{a8})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a8})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a8}}{EI_2} & \frac{(l_{a8})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a8} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a88} = \begin{pmatrix} \delta_{a88} \\ y_{a88} \\ \theta_{a88} \\ A_{a88} \\ M_{a88} \\ V_{a88} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a8} = 2,84 \text{ m}$$

$$l_8 = 2,84 \text{ m}$$

$$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$$

$$A_1 = \text{Área del perfil elegido}$$

$$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido}$$

Elemento 9

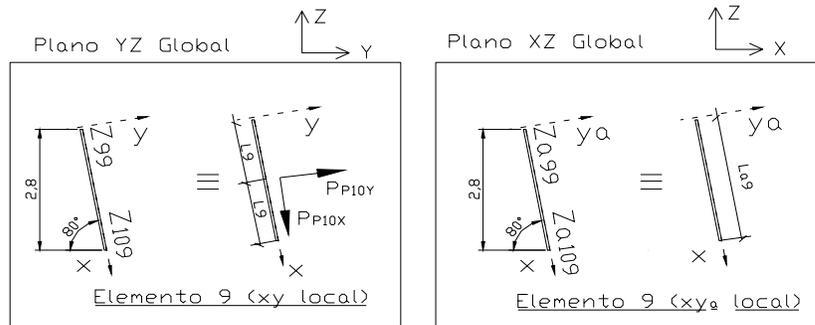


Figura C.9 Representación (elemento 9), en planos locales (xy) y (xya) .

Ecuación Matricial del Subsistema 9 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{109} = L_9 Q_9 L_9 Z_{99} \quad Z_{a_{109}} = L_{a_9} Z_{a_{99}}$$

$$Z_{109} = \begin{pmatrix} \delta_{109} \\ Y_{109} \\ \theta_{109} \\ A_{109} \\ M_{109} \\ V_{109} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_9 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_9}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_9 & 0 & \frac{(l_9)^2}{2EI_1} & \frac{(l_9)^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_9}{EI_1} & \frac{(l_9)^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_9 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -P_{P10X} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{P10Y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{99} = \begin{pmatrix} \delta_{99} \\ y_{99} \\ \theta_{99} \\ A_{99} \\ M_{99} \\ V_{99} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a109} = \begin{pmatrix} \delta_{a109} \\ y_{a109} \\ \theta_{a109} \\ A_{a109} \\ M_{a109} \\ V_{a109} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$L_{a9} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a9}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a9} & 0 & \frac{(l_{a9})^2}{2EI_1} & \frac{(l_{a9})^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a9}}{EI_1} & \frac{(l_{a9})^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a9} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Z_{a99} = \begin{pmatrix} \delta_{a99} \\ y_{a99} \\ \theta_{a99} \\ A_{a99} \\ M_{a99} \\ V_{a99} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a9} = 2,84 \text{ m}$$

$$l_9 = 1,42 \text{ m}$$

$$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$$

$$A_1 = \text{Área del perfil elegido}$$

$$P_{P10X} = \text{Véase tabla 3.13}$$

$$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido}$$

$$P_{P10Y} = \text{Véase tabla 3.13}$$

Elemento 10

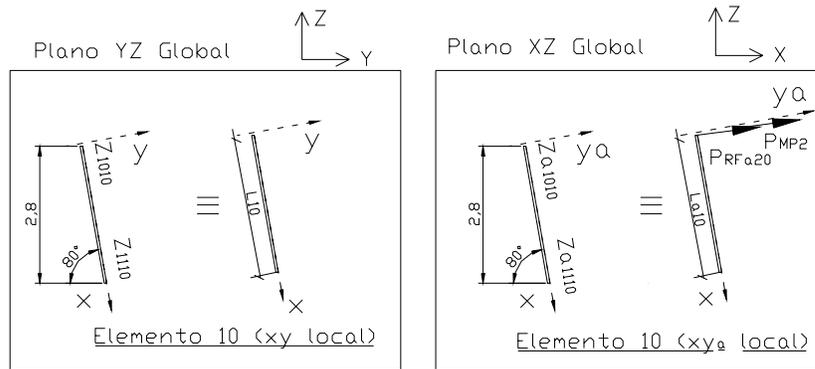


Figura C.10 Representación (elemento 10), en planos locales (xy) y (xy_a).

Ecuación Matricial del Subsistema 10 (Planos locales xy y xy_a)

$$Z_{1110} = L_{10} Z_{1010} \quad Z_{a1110} = L_{a10} Q_{a10} Z_{a1010}$$

$$Z_{1110} = \begin{pmatrix} \delta_{1110} \\ Y_{1110} \\ \theta_{1110} \\ A_{1110} \\ M_{1110} \\ V_{1110} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{10} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{10}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{10} & 0 & \frac{(l_{10})^2}{2EI_1} & \frac{(l_{10})^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{10}}{EI_1} & \frac{(l_{10})^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{10} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{1010} = \begin{pmatrix} \delta_{1010} \\ y_{1010} \\ \theta_{1010} \\ A_{1010} \\ M_{1010} \\ V_{1010} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1110} = \begin{pmatrix} \delta_{a1110} \\ y_{a1110} \\ \theta_{a1110} \\ A_{a1110} \\ M_{a1110} \\ V_{a1110} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a10} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a10}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a10} & 0 & \frac{(l_{a10})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a10})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a10}}{EI_2} & \frac{(l_{a10})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a10} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{a10} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{RFa20} + P_{MP2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{a1010} = \begin{pmatrix} \delta_{a1010} \\ y_{a1010} \\ \theta_{a1010} \\ A_{a1010} \\ M_{a1010} \\ V_{a1010} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$E = 200 \text{ GPa}$	$l_{a10} = 2,84 \text{ m}$
$l_{10} = 2,84 \text{ m}$	$I_2 = I_{xx} \text{ del perfil elegido}$
$A_1 = \text{Área del perfil elegido}$	$P_{RFa20} = -8.781 \text{ N}$
$I_1 = I_{yy} \text{ del perfil elegido}$	$P_{MP2} = -9.945 \text{ N}$

Elemento 11

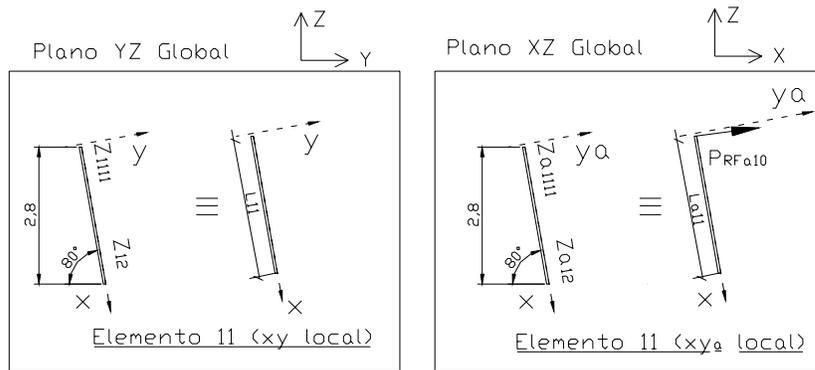


Figura C.11 Representación (elemento 11), en planos locales (xy) y (xy_a).

Ecuación Matricial del Subsistema 11 (Planos locales xy y xy_a)

$$Z_{1111} = L_{11}Z_{12} \quad Z_{a1111} = L_{a11}Q_{a11}Z_{a12}$$

$$Z_{1111} = \begin{pmatrix} \delta_{1111} \\ Y_{1111} \\ \theta_{1111} \\ A_{1111} \\ M_{1111} \\ V_{1111} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{11}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{11} & 0 & \frac{(l_{11})^2}{2EI_1} & \frac{(l_{11})^3}{6EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{11}}{EI_1} & \frac{(l_{11})^2}{2EI_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{11} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{12} = \begin{pmatrix} \delta_{12} \\ y_{12} \\ \theta_{12} \\ A_{12} \\ M_{12} \\ V_{12} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1111} = \begin{pmatrix} \delta_{a1111} \\ y_{a1111} \\ \theta_{a1111} \\ A_{a1111} \\ M_{a1111} \\ V_{a1111} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a11}}{EA_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a11} & 0 & \frac{(l_{a11})^2}{2EI_2} & \frac{(l_{a11})^3}{6EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a11}}{EI_2} & \frac{(l_{a11})^2}{2EI_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a11} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{a11} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{RFa10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{a12} = \begin{pmatrix} \delta_{a12} \\ y_{a12} \\ \theta_{a12} \\ A_{a12} \\ M_{a12} \\ V_{a12} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

	E = 200 GPa	l _{a11} = 2,84 m
	l ₁₁ = 2,84 m	I ₂ = I _{xx} del perfil elegido
	A ₁ = Área del perfil elegido	P _{RFa10} = - 35.280 N
	I ₁ = I _{yy} del perfil elegido	

Elemento 12

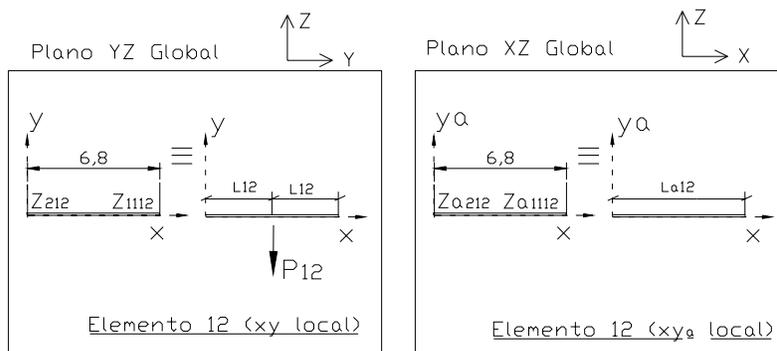


Figura C.12 Representación (elemento 12), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuación Matricial del Subsistema 12 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{1112} = L_{12} Q_{12} L_{12} Z_{212} \quad Z_{a1112} = L_{a12} Z_{a212}$$

$$Z_{1112} = \begin{pmatrix} \delta_{1112} \\ y_{1112} \\ \theta_{1112} \\ A_{1112} \\ M_{1112} \\ V_{1112} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{12}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{12} & 0 & \frac{(l_{12})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{12})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{12}}{EI_3} & \frac{(l_{12})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{212} = \begin{pmatrix} \delta_{212} \\ y_{212} \\ \theta_{212} \\ A_{212} \\ M_{212} \\ V_{212} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1112} = \begin{pmatrix} \delta_{a1112} \\ y_{a1112} \\ \theta_{a1112} \\ A_{a1112} \\ M_{a1112} \\ V_{a1112} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a12}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a12} & 0 & \frac{(l_{a12})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a12})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a12}}{EI_3} & \frac{(l_{a12})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a212} = \begin{pmatrix} \delta_{a212} \\ y_{a212} \\ \theta_{a212} \\ A_{a212} \\ M_{a212} \\ V_{a212} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a12} = 6,8 \text{ m}$$

$$l_{12} = 3,4 \text{ m}$$

$$P_{12} = -2.829 \text{ N}$$

$$A_2 = \text{Área de tubería}$$

$$I_3 = \text{I de tubería}$$

Elemento 13

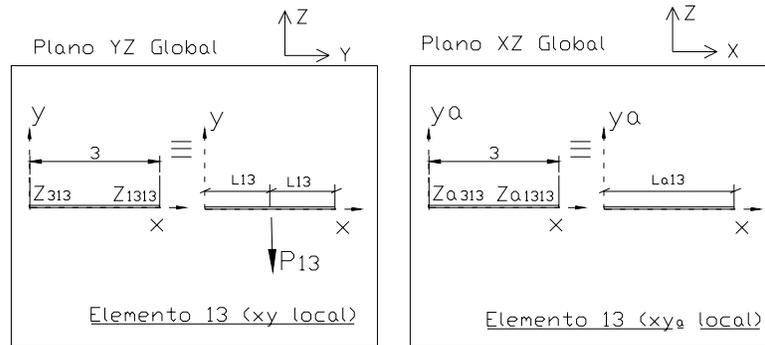


Figura C.13 Representación (elemento 13), en planos locales (xy) y (xya) .

Ecuación Matricial del Subsistema 13 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{1313} = L_{13} Q_{13} L_{13} Z_{313} \quad Z_{a_{1313}} = L_{a_{13}} Z_{a_{313}}$$

$$Z_{1313} = \begin{pmatrix} \delta_{1313} \\ y_{1313} \\ \theta_{1313} \\ A_{1313} \\ M_{1313} \\ V_{1313} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{13} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{13}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{13} & 0 & \frac{(l_{13})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{13})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{13}}{EI_3} & \frac{(l_{13})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{13} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{13} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{313} = \begin{pmatrix} \delta_{313} \\ y_{313} \\ \theta_{313} \\ A_{313} \\ M_{313} \\ V_{313} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1313} = \begin{pmatrix} \delta_{a1313} \\ y_{a1313} \\ \theta_{a1313} \\ A_{a1313} \\ M_{a1313} \\ V_{a1313} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a13} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a13}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a13} & 0 & \frac{(l_{a13})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a13})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a13}}{EI_3} & \frac{(l_{a13})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a313} = \begin{pmatrix} \delta_{a313} \\ y_{a313} \\ \theta_{a313} \\ A_{a313} \\ M_{a313} \\ V_{a313} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

E	$= 200 \text{ GPa}$	l_{a13}	$= 3 \text{ m}$
l_{13}	$= 1,5 \text{ m}$	P_{13}	$= - 1.248 \text{ N}$
A_2	$= \text{Área de tubería}$		
I_3	$= I \text{ de tubería}$		

Elemento 14

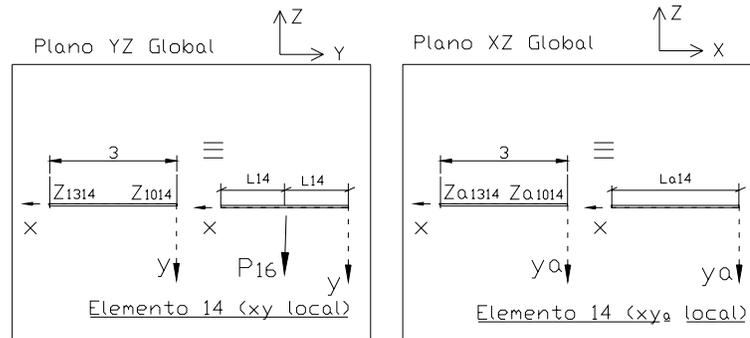


Figura C.14 Representación (elemento 14), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuación Matricial del Subsistema 14 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{1314} = L_{14} Q_{14} L_{14} Z_{1014} \quad Z_{a1314} = L_{a14} Z_{a1014}$$

$$Z_{1314} = \begin{pmatrix} \delta_{1314} \\ Y_{1314} \\ \theta_{1314} \\ A_{1314} \\ M_{1314} \\ V_{1314} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{14} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{14}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{14} & 0 & \frac{(l_{14})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{14})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{14}}{EI_3} & \frac{(l_{14})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{14} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{14} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{1014} = \begin{pmatrix} \delta_{1014} \\ y_{1014} \\ \theta_{1014} \\ A_{1014} \\ M_{1014} \\ V_{1014} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1314} = \begin{pmatrix} \delta_{a1314} \\ Y_{a1314} \\ \theta_{a1314} \\ A_{a1314} \\ M_{a1314} \\ V_{a1314} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a14} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a14}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a14} & 0 & \frac{(l_{a14})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a14})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a14}}{EI_3} & \frac{(l_{a14})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a1014} = \begin{pmatrix} \delta_{a1014} \\ y_{a1014} \\ \theta_{a1014} \\ A_{a1014} \\ M_{a1014} \\ V_{a1014} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

E	$=$	200 GPa	l_{a14}	$=$	3 m
l_{14}	$=$	1,5 m	P_{14}	$=$	1.248 N
A_2	$=$	Área de tubería			
I_3	$=$	I de tubería			

Elemento 15

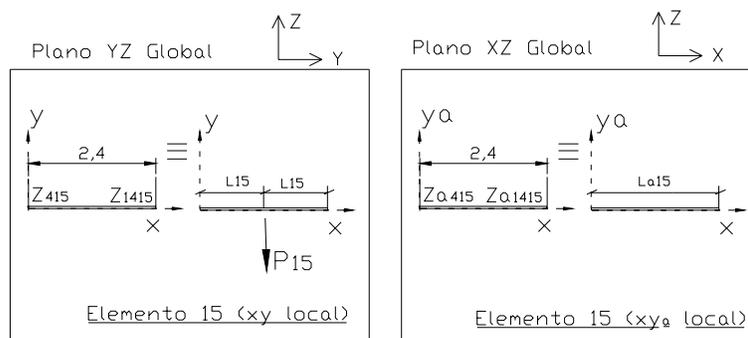


Figura C.15 Representación (elemento 15), en planos locales (xy) y (xy_{α}) .

Ecuación Matricial del Subsistema 15 (Planos locales xy y xy_{α})

$$Z_{1415} = L_{15} Q_{15} L_{15} Z_{415} \quad Z_{\alpha 1415} = L_{\alpha 15} Z_{\alpha 415}$$

$$Z_{1415} = \begin{pmatrix} \delta_{1415} \\ y_{1415} \\ \theta_{1415} \\ A_{1415} \\ M_{1415} \\ V_{1415} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{15} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{15}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{15} & 0 & \frac{(l_{15})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{15})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{15}}{EI_3} & \frac{(l_{15})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{15} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{15} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{415} = \begin{pmatrix} \delta_{415} \\ y_{415} \\ \theta_{415} \\ A_{415} \\ M_{415} \\ V_{415} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1415} = \begin{pmatrix} \delta_{a1415} \\ y_{a1415} \\ \theta_{a1415} \\ A_{a1415} \\ M_{a1415} \\ V_{a1415} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a15} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a15}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a15} & 0 & \frac{(l_{a15})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a15})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a15}}{EI_3} & \frac{(l_{a15})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a415} = \begin{pmatrix} \delta_{a415} \\ y_{a415} \\ \theta_{a415} \\ A_{a415} \\ M_{a415} \\ V_{a415} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a15} = 2,4 \text{ m}$$

$$l_{15} = 1,2 \text{ m}$$

$$P_{15} = -999 \text{ N}$$

$$A_2 = \text{Área de tubería}$$

$$I_3 = \text{I de tubería}$$

Elemento 16

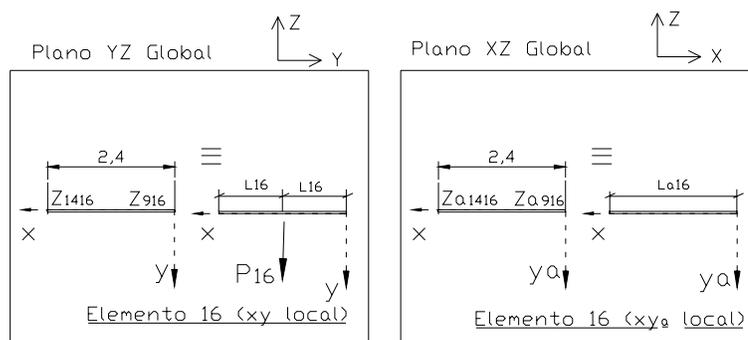


Figura C.16 Representación (elemento 16), en planos locales (xy) y (xy_0).

Ecuación Matricial del Subsistema 16 (Planos locales xy y xy_0)

$$Z_{1416} = L_{16} Q_{16} L_{16} Z_{916} \quad Z_{a_{1416}} = L_{a_{16}} Z_{a_{916}}$$

$$Z_{1416} = \begin{pmatrix} \delta_{1416} \\ Y_{1416} \\ \theta_{1416} \\ A_{1416} \\ M_{1416} \\ V_{1416} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{16} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{16}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{16} & 0 & \frac{(l_{16})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{16})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{16}}{EI_3} & \frac{(l_{16})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{16} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{16} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{16} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{916} = \begin{pmatrix} \delta_{916} \\ y_{916} \\ \theta_{916} \\ A_{916} \\ M_{916} \\ V_{916} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1416} = \begin{pmatrix} \delta_{a1416} \\ y_{a1416} \\ \theta_{a1416} \\ A_{a1416} \\ M_{a1416} \\ V_{a1416} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a16} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a16}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a16} & 0 & \frac{(l_{a16})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a16})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a16}}{EI_3} & \frac{(l_{a16})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a16} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a916} = \begin{pmatrix} \delta_{a916} \\ y_{a916} \\ \theta_{a916} \\ A_{a916} \\ M_{a916} \\ V_{a916} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a16} = 2,4 \text{ m}$$

$$l_{16} = 1,2 \text{ m}$$

$$P_{16} = 999 \text{ N}$$

$$A_2 = \text{Área de tubería}$$

$$I_3 = \text{I de tubería}$$

Elemento 17

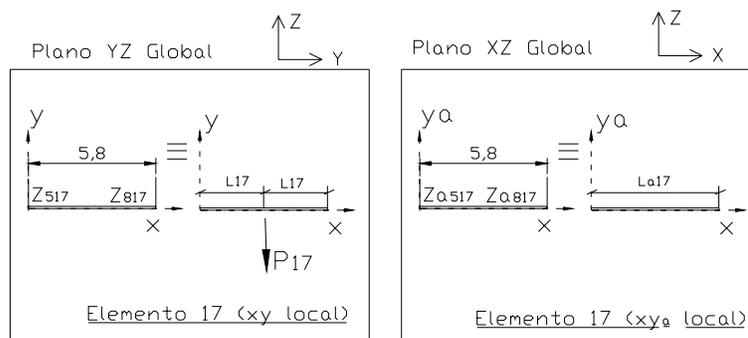


Figura C.17 Representación (elemento 17), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuación Matricial del Subsistema 17 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{817} = L_{17} Q_{17} L_{17} Z_{517} \quad Z_{a817} = L_{a17} Z_{a517}$$

$$Z_{817} = \begin{pmatrix} \delta_{817} \\ Y_{817} \\ \theta_{817} \\ A_{817} \\ M_{817} \\ V_{817} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{17} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{17}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{17} & 0 & \frac{(l_{17})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{17})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{17}}{EI_3} & \frac{(l_{17})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{17} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Q}_{17} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{17} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{Z}_{517} = \begin{pmatrix} \delta_{517} \\ y_{517} \\ \theta_{517} \\ A_{517} \\ M_{517} \\ V_{517} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{Z}_{a817} = \begin{pmatrix} \delta_{a817} \\ y_{a817} \\ \theta_{a817} \\ A_{a817} \\ M_{a817} \\ V_{a817} \\ 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{L}_{a17} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a17}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a17} & 0 & \frac{(l_{a17})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a17})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a17}}{EI_3} & \frac{(l_{a17})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a17} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{Z}_{a517} = \begin{pmatrix} \delta_{a517} \\ y_{a517} \\ \theta_{a517} \\ A_{a517} \\ M_{a517} \\ V_{a517} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l_{a17} = 5,8 \text{ m}$$

$$l_{17} = 2,9 \text{ m}$$

$$P_{17} = -2.419 \text{ N}$$

$$A_2 = \text{Área de tubería}$$

$$I_3 = \text{I de tubería}$$

Elemento 18

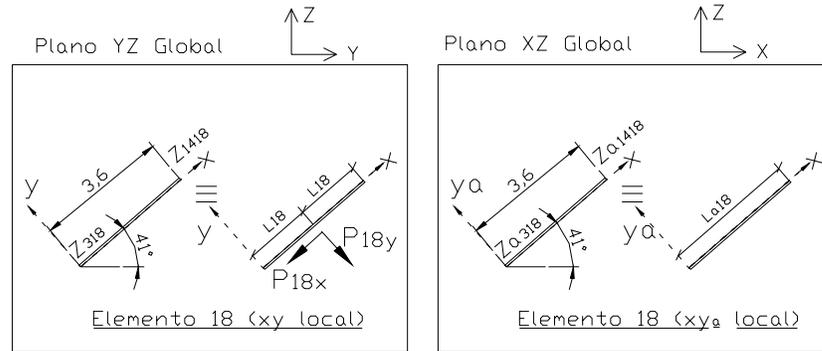


Figura C.18 Representación (elemento 18), en planos locales (xy) y (xy_a).

Ecuación Matricial del Subsistema 18 (Planos locales xy y xy_a)

$$Z_{1418} = L_{18} Q_{18} L_{18} Z_{318} \quad Z_{a1418} = L_{a18} Z_{a318}$$

$$Z_{1418} = \begin{pmatrix} \delta_{1418} \\ Y_{1418} \\ \theta_{1418} \\ A_{1418} \\ M_{1418} \\ V_{1418} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{18} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{18}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{18} & 0 & \frac{(l_{18})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{18})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{18}}{EI_3} & \frac{(l_{18})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{18} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{18} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -P_{18X} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{18Y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{318} = \begin{pmatrix} \delta_{318} \\ y_{318} \\ \theta_{318} \\ A_{318} \\ M_{318} \\ V_{318} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1418} = \begin{pmatrix} \delta_{a1418} \\ Y_{a1418} \\ \theta_{a1418} \\ A_{a1418} \\ M_{a1418} \\ V_{a1418} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a18} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a18}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a18} & 0 & \frac{(l_{a18})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a18})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a18}}{EI_3} & \frac{(l_{a18})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a18} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a318} = \begin{pmatrix} \delta_{a318} \\ y_{a318} \\ \theta_{a318} \\ A_{a318} \\ M_{a318} \\ V_{a318} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

E	$=$	200 GPa	I_{a18}	$=$	3,6 m
l_{18}	$=$	1,8 m	P_{18X}	$=$	- 1.133 N
A_2	$=$	Área del perfil elegido	P_{18Y}	$=$	- 985 N
I_3	$=$	I del perfil elegido			

Elemento 19

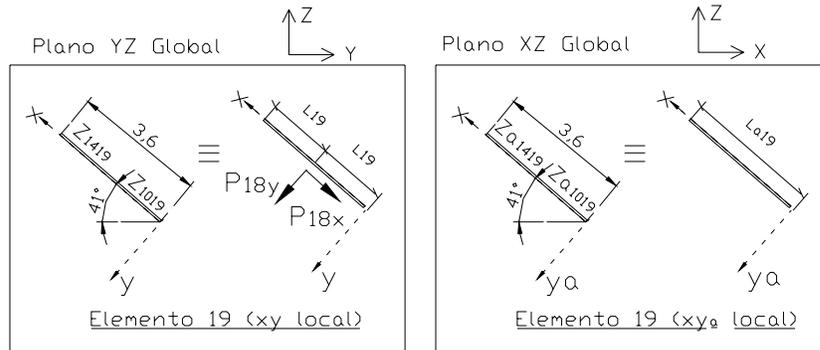


Figura C.19 Representación (elemento 19), en planos locales (xy) y (xy_a).

Ecuación Matricial del Subsistema 19 (Planos locales xy y xy_a)

$$Z_{1419} = L_{19} Q_{19} L_{19} Z_{1019}$$

$$Z_{a1419} = L_{a19} Z_{a1019}$$

$$Z_{1419} = \begin{pmatrix} \delta_{1419} \\ y_{1419} \\ \theta_{1419} \\ A_{1419} \\ M_{1419} \\ V_{1419} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{19} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{19}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{19} & 0 & \frac{(l_{19})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{19})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{19}}{EI_3} & \frac{(l_{19})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{19} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{19} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -P_{19X} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{19Y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{1019} = \begin{pmatrix} \delta_{1019} \\ y_{1019} \\ \theta_{1019} \\ A_{1019} \\ M_{1019} \\ V_{1019} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1419} = \begin{pmatrix} \delta_{a1419} \\ y_{a1419} \\ \theta_{a1419} \\ A_{a1419} \\ M_{a1419} \\ V_{a1419} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a19} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a19}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a19} & 0 & \frac{(l_{a19})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a19})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a19}}{EI_3} & \frac{(l_{a19})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a19} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a1019} = \begin{pmatrix} \delta_{a1019} \\ y_{a1019} \\ \theta_{a1019} \\ A_{a1019} \\ M_{a1019} \\ V_{a1019} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

E	=	200 GPa	l_{a19}	=	3,6 m
l_{19}	=	1,8 m	P_{19X}	=	- 1.133 N
A_2	=	Área del perfil elegido	P_{19Y}	=	985 N
I_3	=	I del perfil elegido			

Elemento 20

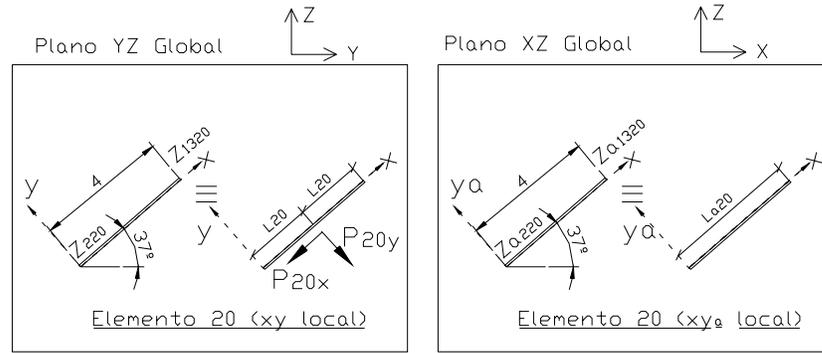


Figura C.20 Representación (elemento 20), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuación Matricial del Subsistema 20 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{1320} = L_{20} Q_{20} L_{20} Z_{220}$$

$$Z_{a1320} = L_{a20} Z_{a220}$$

$$Z_{1320} = \begin{pmatrix} \delta_{1320} \\ Y_{1320} \\ \theta_{1320} \\ A_{1320} \\ M_{1320} \\ V_{1320} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{20} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{20}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{20} & 0 & \frac{(l_{20})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{20})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{20}}{EI_3} & \frac{(l_{20})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{20} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{20} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -P_{20X} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{20Y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{220} = \begin{pmatrix} \delta_{220} \\ y_{220} \\ \theta_{220} \\ A_{220} \\ M_{220} \\ V_{220} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1320} = \begin{pmatrix} \delta_{a1320} \\ Y_{a1320} \\ \theta_{a1320} \\ A_{a1320} \\ M_{a1320} \\ V_{a1320} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a20} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a20}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a20} & 0 & \frac{(l_{a20})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a20})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a20}}{EI_3} & \frac{(l_{a20})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a20} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a220} = \begin{pmatrix} \delta_{a220} \\ y_{a220} \\ \theta_{a220} \\ A_{a220} \\ M_{a220} \\ V_{a220} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

E	$=$	200 GPa	I_{a20}	$=$	4 m
l_{20}	$=$	2 m	P_{20X}	$=$	$- 1.004 \text{ N}$
A_2	$=$	$\text{Área del perfil elegido}$	P_{20Y}	$=$	$- 1.332 \text{ N}$
I_3	$=$	$I \text{ del perfil elegido}$			

Elemento 21

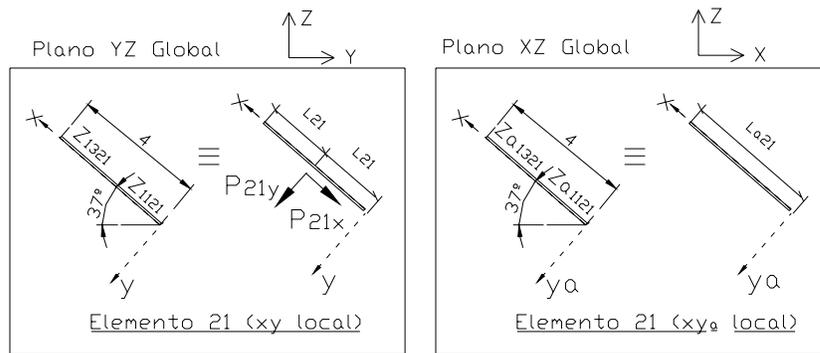


Figura C.21 Representación (elemento 21), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuación Matricial del Subsistema 21 (Planos locales xy y xya)

$$Z_{1321} = L_{21} Q_{21} L_{21} Z_{1121} \quad Z_{a1321} = L_{a21} Z_{a1121}$$

$$Z_{1321} = \begin{pmatrix} \delta_{1321} \\ Y_{1321} \\ \theta_{1321} \\ A_{1321} \\ M_{1321} \\ V_{1321} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{21} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{21}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{21} & 0 & \frac{(l_{21})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{21})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{21}}{EI_3} & \frac{(l_{21})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{21} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{21} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -P_{21X} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & P_{21Y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Z_{1121} = \begin{pmatrix} \delta_{1121} \\ y_{1121} \\ \theta_{1121} \\ A_{1121} \\ M_{1121} \\ V_{1121} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{a1321} = \begin{pmatrix} \delta_{a1321} \\ Y_{a1321} \\ \theta_{a1321} \\ A_{a1321} \\ M_{a1321} \\ V_{a1321} \\ 1 \end{pmatrix} \quad L_{a21} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{l_{a21}}{EA_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & l_{a21} & 0 & \frac{(l_{a21})^2}{2EI_3} & \frac{(l_{a21})^3}{6EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{l_{a21}}{EI_3} & \frac{(l_{a21})^2}{2EI_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & l_{a21} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{a1121} = \begin{pmatrix} \delta_{a1121} \\ y_{a1121} \\ \theta_{a1121} \\ A_{a1121} \\ M_{a1121} \\ V_{a1121} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

E	=	200 GPa	l_{a21}	=	4 m
l_{21}	=	2 m	P_{21X}	=	- 1.004 N
A_2	=	Área del perfil elegido	P_{21Y}	=	1.332 N
I_3	=	I del perfil elegido			

C.2 Estudio de los Nodos en el Pórtico Tridimensional de la Nueva CB-1

A continuación se indica las matrices y ecuaciones de equilibrio y compatibilidad que conformarán la modelación matemática de los nodos del 3 al 11 y del 13 al 14 de la nueva CB-1; los nodos son representados por la letra ‘Z_{ij}’, donde ‘i’ expresa el número de nodo y ‘j’ indica el elemento que concurre al nodo:

Nodo 2

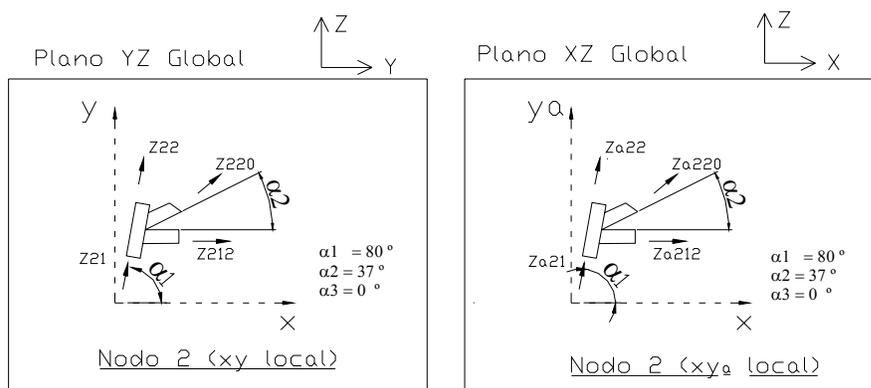


Figura C.22 Representación (nodo 2), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos

en Nodo 2 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_1 * Zd_{21} = Rd_2 * Zd_{22}$$

$$Rda_1 * Zda_{21} = Rda_2 * Zda_{22}$$

$$Rd_1 * Zd_{21} = Rd_{20} * Zd_{220}$$

$$Rda_1 * Zda_{21} = Rda_{20} * Zda_{220}$$

$$Rd_1 * Zd_{21} = Rd_{12} * Zd_{212}$$

$$Rda_1 * Zda_{21} = Rda_{12} * Zda_{212}$$

$$Rf_1 * Zf_{21} = Rf_2 * Zf_{22} + Rf_{20} * Zf_{220} + Rf_{12} * Zf_{212}$$

$$Rfa_1 * Zfa_{21} = Rfa_2 * Zfa_{22} + Rfa_{20} * Zfa_{220} + Rfa_{12} * Zfa_{212}$$

$$Rd_1 = Rda_1 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_2 = Rda_2 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{20} = Rda_{20} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & \text{sen}(\alpha_2) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{12} = Rda_{12} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_1 = Rfa_1 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_2 = Rfa_2 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{20} = Rfa_{20} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & 0 & -\text{sen}(\alpha_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_2) & 0 & \cos(\alpha_2) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{12} = Rfa_{12} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{21} = \begin{pmatrix} A_{21} \\ M_{21} \\ V_{21} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{22} = \begin{pmatrix} A_{22} \\ M_{22} \\ V_{22} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{220} = \begin{pmatrix} A_{220} \\ M_{220} \\ V_{220} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{212} = \begin{pmatrix} A_{212} \\ M_{212} \\ V_{212} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{21} = \begin{pmatrix} Aa_{21} \\ Ma_{21} \\ Va_{21} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{22} = \begin{pmatrix} Aa_{22} \\ Ma_{22} \\ Va_{22} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{220} = \begin{pmatrix} Aa_{220} \\ Ma_{220} \\ Va_{220} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{212} = \begin{pmatrix} Aa_{212} \\ Ma_{212} \\ Va_{212} \end{pmatrix}$$

Nodo 3

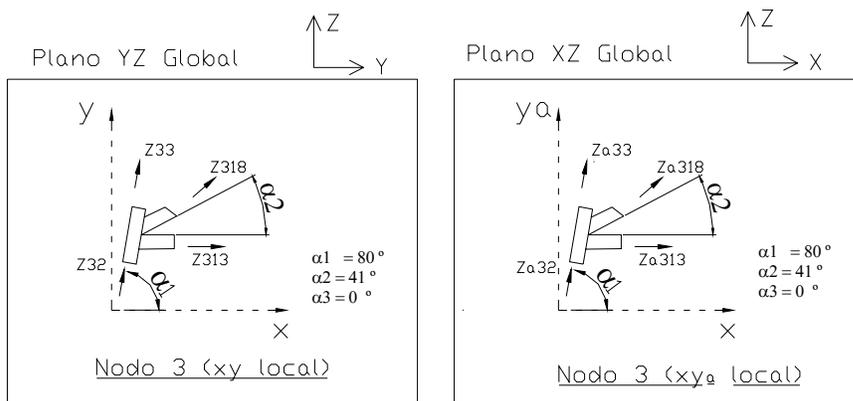


Figura C.23 Representación (nodo 3), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos en Nodo 3 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_2 * Zd_{32} = Rd_3 * Zd_{33}$$

$$Rda_2 * Zda_{32} = Rda_3 * Zda_{33}$$

$$Rd_2 * Zd_{32} = Rd_{18} * Zd_{318}$$

$$Rda_2 * Zda_{32} = Rda_{18} * Zda_{318}$$

$$Rd_2 * Zd_{32} = Rd_{13} * Zd_{313}$$

$$Rda_2 * Zda_{32} = Rda_{13} * Zda_{313}$$

$$Rf_2 * Zf_{32} = Rf_{13} * Zf_{313} + Rf_{18} * Zf_{318} + Rf_3 * Zf_{33}$$

$$Rfa_2 * Zfa_{32} = Rfa_{13} * Zfa_{313} + Rfa_{18} * Zfa_{318} + Rfa_3 * Zfa_{33}$$

$$Rd_2 = Rda_2 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_3 = Rda_3 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{18} = Rda_{18} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & \text{sen}(\alpha_2) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{13} = Rda_{13} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_2 = Rfa_2 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_3 = Rfa_3 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{18} = Rfa_{18} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & 0 & -\text{sen}(\alpha_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_2) & 0 & \cos(\alpha_2) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{13} = Rfa_{13} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{32} = \begin{pmatrix} A_{32} \\ M_{32} \\ V_{32} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{33} = \begin{pmatrix} A_{33} \\ M_{33} \\ V_{33} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{313} = \begin{pmatrix} A_{313} \\ M_{313} \\ V_{313} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{318} = \begin{pmatrix} A_{318} \\ M_{318} \\ V_{318} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{32} = \begin{pmatrix} Aa_{32} \\ Ma_{32} \\ Va_{32} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{33} = \begin{pmatrix} Aa_{33} \\ Ma_{33} \\ Va_{33} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{313} = \begin{pmatrix} Aa_{313} \\ Ma_{313} \\ Va_{313} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{318} = \begin{pmatrix} Aa_{318} \\ Ma_{318} \\ Va_{318} \end{pmatrix}$$

Nodo 4

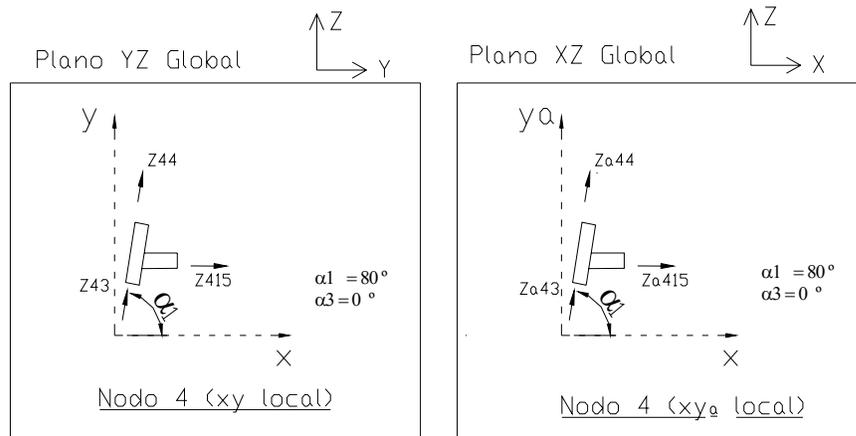


Figura C.24 Representación (nodo 4), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos

en Nodo 4 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_3 * Zd_{43} = Rd_4 * Zd_{44}$$

$$Rda_3 * Zda_{43} = Rda_4 * Zda_{44}$$

$$Rd_3 * Zd_{43} = Rd_{15} * Zd_{415}$$

$$Rda_3 * Zda_{43} = Rda_{15} * Zda_{415}$$

$$Rf_3 * Zf_{43} = Rf_{15} * Zf_{415} + Rf_4 * Zf_{44}$$

$$Rfa_3 * Zfa_{43} = Rfa_{15} * Zfa_{415} + Rfa_4 * Zfa_{44}$$

$$Rd_3 = Rda_3 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_4 = Rda_4 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{15} = Rda_{15} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_3 = Rfa_3 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix} \quad Rf_4 = Rfa_4 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{15} = Rfa_{15} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{43} = \begin{pmatrix} A_{43} \\ M_{43} \\ V_{43} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{44} = \begin{pmatrix} A_{44} \\ M_{44} \\ V_{44} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{415} = \begin{pmatrix} A_{415} \\ M_{415} \\ V_{415} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{43} = \begin{pmatrix} Aa_{43} \\ Ma_{43} \\ Va_{43} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{33} = \begin{pmatrix} Aa_{33} \\ Ma_{33} \\ Va_{33} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{415} = \begin{pmatrix} Aa_{415} \\ Ma_{415} \\ Va_{415} \end{pmatrix}$$

Nodo 5

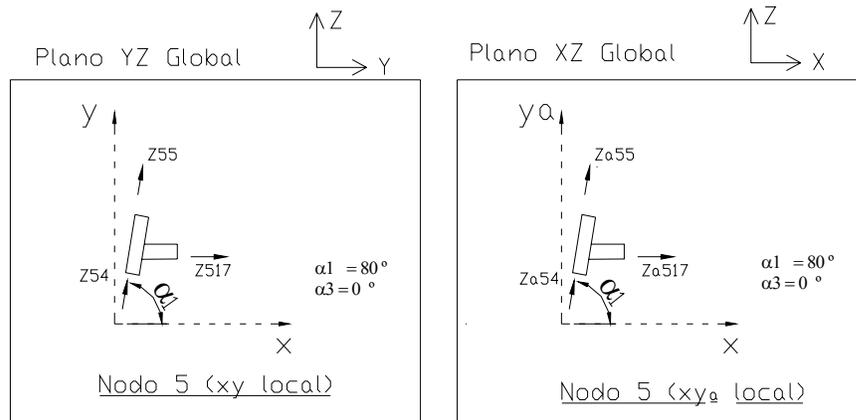


Figura C.25 Representación (nodo 5), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos **en Nodo 5 (Planos locales xy y xya)**

$$Rd_4 * Zd_{54} = Rd_5 * Zd_{55}$$

$$Rda_4 * Zda_{54} = Rda_5 * Zda_{55}$$

$$Rd_4 * Zd_{54} = Rd_{17} * Zd_{517}$$

$$Rda_4 * Zda_{54} = Rda_{17} * Zda_{517}$$

$$Rf_4 * Zf_{54} = Rf_{17} * Zf_{517} + Rf_5 * Zf_{55}$$

$$Rfa_4 * Zfa_{54} = Rfa_{17} * Zfa_{517} + Rfa_5 * Zfa_{55}$$

$$Rd_4 = Rda_4 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_5 = Rda_5 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{17} = Rda_{17} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_4 = Rfa_4 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix} \quad Rf_5 = Rfa_5 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{17} = Rfa_{17} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{54} = \begin{pmatrix} A_{54} \\ M_{54} \\ V_{54} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{55} = \begin{pmatrix} A_{55} \\ M_{55} \\ V_{55} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{517} = \begin{pmatrix} A_{517} \\ M_{517} \\ V_{517} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{54} = \begin{pmatrix} Aa_{54} \\ Ma_{54} \\ Va_{54} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{55} = \begin{pmatrix} Aa_{55} \\ Ma_{55} \\ Va_{55} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{517} = \begin{pmatrix} Aa_{517} \\ Ma_{517} \\ Va_{517} \end{pmatrix}$$

Nodo 6

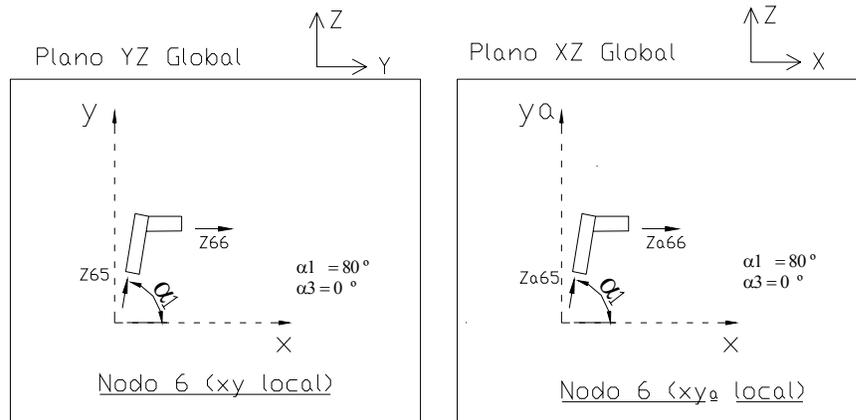


Figura C.26 Representación (nodo 6), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos en Nodo 6 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_5 * Zd_{65} = Rd_6 * Zd_{66}$$

$$Rda_5 * Zda_{65} = Rda_6 * Zda_{66}$$

$$Rf_5 * Zf_{65} = Rf_6 * Zf_{66}$$

$$Rfa_5 * Zfa_{65} = Rfa_6 * Zfa_{66}$$

$$Rd_5 = Rda_5 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_6 = Rda_6 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_5 = Rfa_5 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_6 = Rfa_6 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{65} = \begin{pmatrix} A_{65} \\ M_{65} \\ V_{65} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{65} = \begin{pmatrix} Aa_{65} \\ Ma_{65} \\ Va_{65} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{66} = \begin{pmatrix} A_{66} \\ M_{66} \\ V_{66} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{66} = \begin{pmatrix} Aa_{66} \\ Ma_{66} \\ Va_{66} \end{pmatrix}$$

Nodo 7

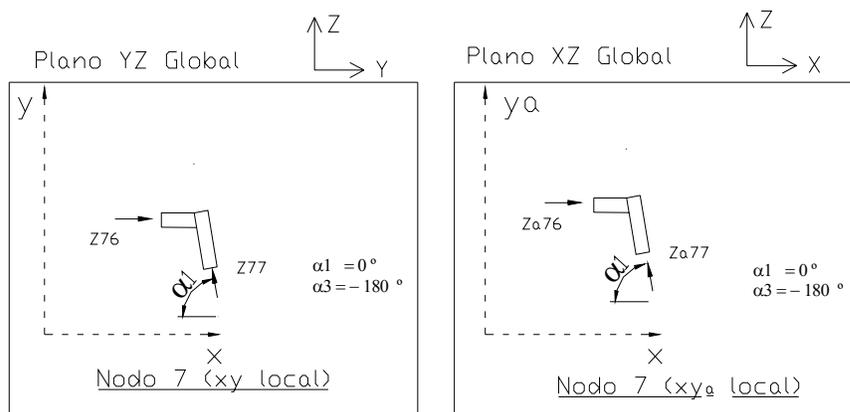


Figura C.27 Representación (nodo 7), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos en Nodo 7 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_7 * Zd_{77} = Rd_6 * Zd_{76}$$

$$Rda_7 * Zda_{77} = Rda_6 * Zda_{76}$$

$$Rf_7 * Zf_{77} = Rf_6 * Zf_{76}$$

$$Rfa_7 * Zfa_{77} = Rfa_6 * Zfa_{76}$$

$$Rd_7 = Rda_7 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_6 = Rda_6 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_7 = Rfa_7 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_6 = Rfa_6 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{76} = \begin{pmatrix} A_{76} \\ M_{76} \\ V_{76} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{76} = \begin{pmatrix} Aa_{76} \\ Ma_{76} \\ Va_{76} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{77} = \begin{pmatrix} A_{77} \\ M_{77} \\ V_{77} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{77} = \begin{pmatrix} Aa_{77} \\ Ma_{77} \\ Va_{77} \end{pmatrix}$$

Nodo 8

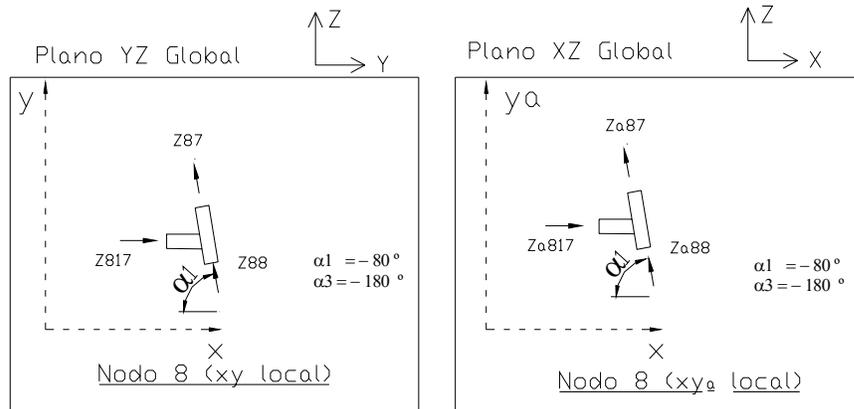


Figura C.28 Representación (nodo 8), en planos locales (xy) y (xy α).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos en Nodo 8 (Planos locales xy y xy α)

$$Rd_8 * Zd_{88} = Rd_7 * Zd_{87}$$

$$Rda_8 * Zda_{88} = Rda_7 * Zda_{87}$$

$$Rd_8 * Zd_{88} = Rd_{17} * Zd_{817}$$

$$Rda_8 * Zda_{88} = Rda_{17} * Zda_{817}$$

$$Rf_8 * Zf_{88} = Rf_7 * Zf_{87} + Rf_{17} * Zf_{817}$$

$$Rfa_8 * Zfa_{88} = Rfa_7 * Zfa_{87} + Rfa_{17} * Zfa_{817}$$

$$Rd_8 = Rda_8 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_7 = Rda_7 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{17} = Rda_{17} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_8 = Rfa_8 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix} \quad Rf_7 = Rfa_7 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{17} = Rfa_{17} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{87} = \begin{pmatrix} A_{87} \\ M_{87} \\ V_{87} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{88} = \begin{pmatrix} A_{88} \\ M_{88} \\ V_{88} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{817} = \begin{pmatrix} A_{817} \\ M_{817} \\ V_{817} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{87} = \begin{pmatrix} Aa_{87} \\ Ma_{87} \\ Va_{87} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{88} = \begin{pmatrix} Aa_{88} \\ Ma_{88} \\ Va_{88} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{817} = \begin{pmatrix} Aa_{817} \\ Ma_{817} \\ Va_{817} \end{pmatrix}$$

Nodo 9

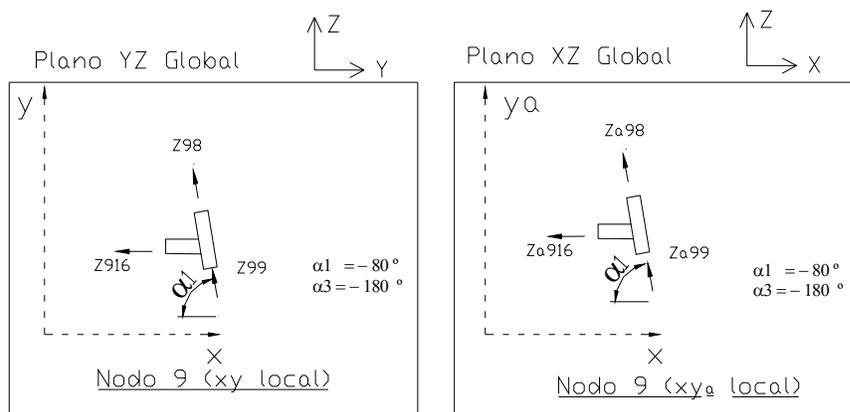


Figura C.29 Representación (nodo 9), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos

en Nodo 9 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_9 * Zd_{99} = Rd_8 * Zd_{98}$$

$$Rda_9 * Zda_{99} = Rda_8 * Zda_{98}$$

$$Rd_9 * Zd_{99} = Rd_{16} * Zd_{916}$$

$$Rda_9 * Zda_{99} = Rda_{16} * Zda_{916}$$

$$Rf_9 * Zf_{99} = Rf_8 * Zf_{98} + Rf_{16} * Zf_{916}$$

$$Rfa_9 * Zfa_{99} = Rfa_8 * Zfa_{98} + Rfa_{16} * Zfa_{916}$$

$$Rd_9 = Rda_9 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha 1) & \text{sen}(\alpha 1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha 1) & \cos(\alpha 1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_8 = Rda_8 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha 1) & \text{sen}(\alpha 1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha 1) & \cos(\alpha 1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{16} = Rda_{16} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_9 = Rfa_9 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix} \quad Rf_8 = Rfa_8 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{16} = Rfa_{16} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{98} = \begin{pmatrix} A_{98} \\ M_{98} \\ V_{98} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{99} = \begin{pmatrix} A_{99} \\ M_{99} \\ V_{99} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{916} = \begin{pmatrix} A_{916} \\ M_{916} \\ V_{916} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{98} = \begin{pmatrix} Aa_{98} \\ Ma_{98} \\ Va_{98} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{99} = \begin{pmatrix} Aa_{99} \\ Ma_{99} \\ Va_{99} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{916} = \begin{pmatrix} Aa_{916} \\ Ma_{916} \\ Va_{916} \end{pmatrix}$$

Nodo 10

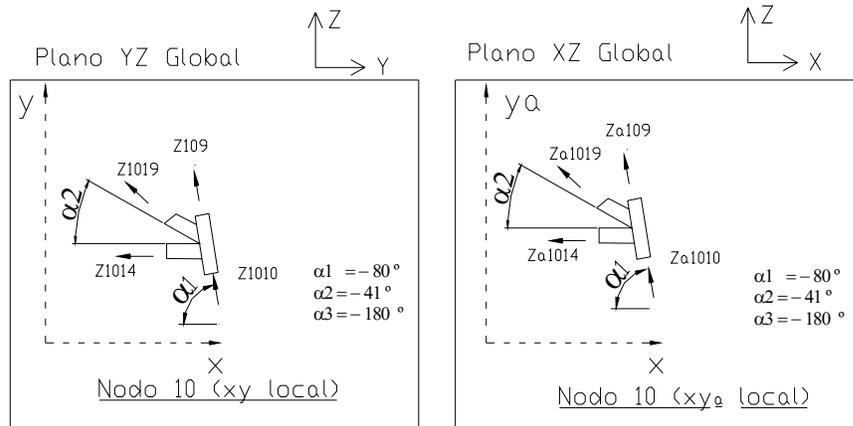


Figura C.30 Representación (nodo 10), en planos locales (xy) y (xy_a).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos en Nodo 10 (Planos locales xy y xy_a)

$$Rd_{10} * Zd_{1010} = Rd_9 * Zd_{109}$$

$$Rda_{11} * Zda_{1111} = Rda_{10} * Zda_{1110}$$

$$Rd_{10} * Zd_{1010} = Rd_{14} * Zd_{1014}$$

$$Rda_{10} * Zda_{1010} = Rda_{14} * Zda_{1014}$$

$$Rd_{10} * Zd_{1010} = Rd_{19} * Zd_{1019}$$

$$Rda_{10} * Zda_{1010} = Rda_{19} * Zda_{1019}$$

$$Rf_{10} * Zf_{1010} = Rf_9 * Zf_{109} + Rf_{14} * Zf_{1014} + Rf_{19} * Zf_{1019}$$

$$Rfa_{10} * Zfa_{1010} = Rfa_9 * Zfa_{109} + Rfa_{14} * Zfa_{1014} + Rfa_{19} * Zfa_{1019}$$

$$Rd_{10} = Rda_{10} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_9 = Rda_9 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{19} = Rda_{19} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & \text{sen}(\alpha_2) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{14} = Rda_{14} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_{10} = Rfa_{10} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_9 = Rfa_9 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{19} = Rfa_{19} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & 0 & -\text{sen}(\alpha_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_2) & 0 & \cos(\alpha_2) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{14} = Rfa_{14} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{109} = \begin{pmatrix} A_{109} \\ M_{109} \\ V_{109} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{1010} = \begin{pmatrix} A_{1010} \\ M_{1010} \\ V_{1010} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{1014} = \begin{pmatrix} A_{1014} \\ M_{1014} \\ V_{1014} \end{pmatrix}$$

$$Zf_{1019} = \begin{pmatrix} A_{1019} \\ M_{1019} \\ V_{1019} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{109} = \begin{pmatrix} Aa_{109} \\ Ma_{109} \\ Va_{109} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{1010} = \begin{pmatrix} Aa_{1010} \\ Ma_{1010} \\ Va_{1010} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{1014} = \begin{pmatrix} Aa_{1014} \\ Ma_{1014} \\ Va_{1014} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{1019} = \begin{pmatrix} Aa_{1019} \\ Ma_{1019} \\ Va_{1019} \end{pmatrix}$$

Nodo 11

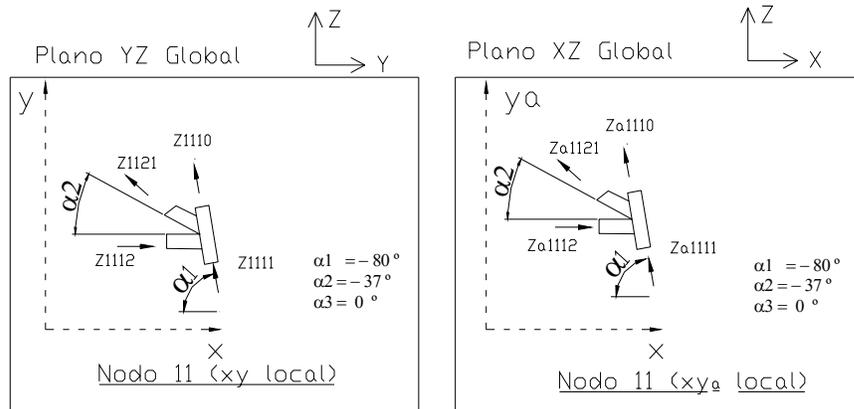


Figura C.31 Representación (nodo 11), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos en Nodo 11 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_{11} * Zd_{1111} = Rd_{10} * Zd_{1110}$$

$$Rda_{11} * Zda_{1111} = Rda_{10} * Zda_{1110}$$

$$Rd_{11} * Zd_{1111} = Rd_{12} * Zd_{1112}$$

$$Rda_{11} * Zda_{1111} = Rda_{12} * Zda_{1112}$$

$$Rd_{11} * Zd_{1111} = Rd_{21} * Zd_{1121}$$

$$Rda_{11} * Zda_{1111} = Rda_{21} * Zda_{1121}$$

$$Rf_{11} * Zf_{1111} = Rf_{10} * Zf_{1110} + Rf_{12} * Zf_{1112} + Rf_{21} * Zf_{1121}$$

$$Rfa_{11} * Zfa_{1111} = Rfa_{10} * Zfa_{1110} + Rfa_{12} * Zfa_{1112} + Rfa_{21} * Zfa_{1121}$$

$$Rd_{11} = Rda_{11} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{10} = Rda_{10} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{21} = Rda_{21} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & \text{sen}(\alpha_2) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{12} = Rda_{12} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_{11} = Rfa_{11} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{10} = Rfa_{10} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{21} = Rfa_{21} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & 0 & -\text{sen}(\alpha_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_2) & 0 & \cos(\alpha_2) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{12} = Rfa_{12} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{cccc} Zf_{1110} = \begin{pmatrix} A_{1110} \\ M_{1110} \\ V_{1110} \end{pmatrix} & Zf_{1111} = \begin{pmatrix} A_{1111} \\ M_{1111} \\ V_{1111} \end{pmatrix} & Zf_{1112} = \begin{pmatrix} A_{1112} \\ M_{1112} \\ V_{1112} \end{pmatrix} & Zf_{1121} = \begin{pmatrix} A_{1121} \\ M_{1121} \\ V_{1121} \end{pmatrix} \\ Zfa_{1110} = \begin{pmatrix} Aa_{1110} \\ Ma_{1110} \\ Va_{1110} \end{pmatrix} & Zfa_{1111} = \begin{pmatrix} Aa_{1111} \\ Ma_{1111} \\ Va_{1111} \end{pmatrix} & Zfa_{1112} = \begin{pmatrix} Aa_{1112} \\ Ma_{1112} \\ Va_{1112} \end{pmatrix} & Zfa_{1121} = \begin{pmatrix} Aa_{1121} \\ Ma_{1121} \\ Va_{1121} \end{pmatrix} \end{array}$$

Nodo 13

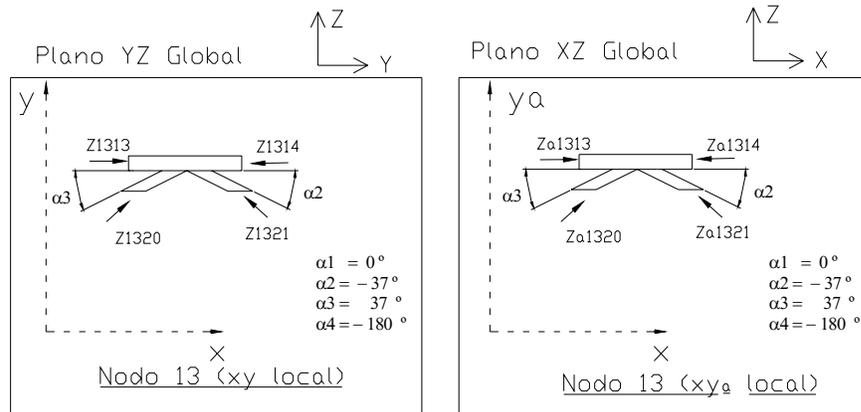


Figura C.32 Representación (nodo 13), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos en Nodo 13 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_{13} * Zd_{1313} = Rd_{14} * Zd_{1314}$$

$$Rda_{13} * Zda_{1313} = Rda_{14} * Zda_{1314}$$

$$Rd_{13} * Zd_{1313} = Rd_{21} * Zd_{1321}$$

$$Rda_{13} * Zda_{1313} = Rda_{21} * Zda_{1321}$$

$$Rd_{13} * Zd_{1313} = Rd_{20} * Zd_{1320}$$

$$Rda_{13} * Zda_{1313} = Rda_{20} * Zda_{1320}$$

$$Rf_{13} * Zf_{1313} = Rf_{14} * Zf_{1314} + Rf_{20} * Zf_{1320} + Rf_{21} * Zf_{1321}$$

$$Rfa_{13} * Zfa_{1313} = Rfa_{14} * Zfa_{1314} + Rfa_{20} * Zfa_{1320} + Rfa_{21} * Zfa_{1321}$$

$$Rd_{13} = Rda_{13} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{14} = Rda_{14} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_4) & \text{sen}(\alpha_4) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_4) & \cos(\alpha_4) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{21} = Rda_{21} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & \text{sen}(\alpha_2) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{20} = Rda_{20} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_{13} = Rfa_{13} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{14} = Rfa_{14} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{21} = Rfa_{21} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & 0 & -\text{sen}(\alpha_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_2) & 0 & \cos(\alpha_2) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{20} = Rfa_{20} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{1313} = \begin{pmatrix} A_{1313} \\ M_{1313} \\ V_{1313} \end{pmatrix} \quad Zf_{1314} = \begin{pmatrix} A_{1314} \\ M_{1314} \\ V_{1314} \end{pmatrix} \quad Zf_{1320} = \begin{pmatrix} A_{1320} \\ M_{1320} \\ V_{1320} \end{pmatrix} \quad Zf_{1321} = \begin{pmatrix} A_{1321} \\ M_{1321} \\ V_{1321} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{1313} = \begin{pmatrix} Aa_{1313} \\ Ma_{1313} \\ Va_{1313} \end{pmatrix} \quad Zfa_{1314} = \begin{pmatrix} Aa_{1314} \\ Ma_{1314} \\ Va_{1314} \end{pmatrix} \quad Zfa_{1320} = \begin{pmatrix} Aa_{1320} \\ Ma_{1320} \\ Va_{1320} \end{pmatrix} \quad Zfa_{1321} = \begin{pmatrix} Aa_{1321} \\ Ma_{1321} \\ Va_{1321} \end{pmatrix}$$

Nodo 14

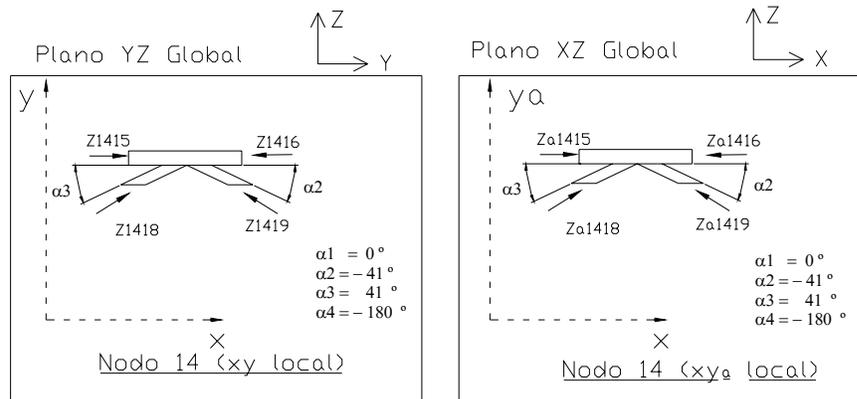


Figura C.33 Representación (nodo 14), en planos locales (xy) y (xya).

Ecuaciones de Equilibrio y Compatibilidad de Desplazamientos

en Nodo 14 (Planos locales xy y xya)

$$Rd_{15} * Zd_{1415} = Rd_{16} * Zd_{1416}$$

$$Rda_{15} * Zda_{1415} = Rda_{16} * Zda_{1416}$$

$$Rd_{15} * Zd_{1415} = Rd_{18} * Zd_{1418}$$

$$Rda_{15} * Zda_{1415} = Rda_{18} * Zda_{1418}$$

$$Rd_{15} * Zd_{1415} = Rd_{19} * Zd_{1419}$$

$$Rda_{15} * Zda_{1415} = Rda_{19} * Zda_{1419}$$

$$Rf_{15} * Zf_{1415} = Rf_{16} * Zf_{1416} + Rf_{18} * Zf_{1418} + Rf_{19} * Zf_{1419}$$

$$Rfa_{15} * Zfa_{1415} = Rfa_{16} * Zfa_{1416} + Rfa_{18} * Zfa_{1418} + Rfa_{19} * Zfa_{1419}$$

$$Rd_{15} = Rda_{15} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \text{sen}(\alpha_1) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{16} = Rda_{16} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_4) & \text{sen}(\alpha_4) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_4) & \cos(\alpha_4) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{19} = Rda_{19} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & \text{sen}(\alpha_2) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rd_{18} = Rda_{18} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & \text{sen}(\alpha_3) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rf_{15} = Rfa_{15} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{16} = Rfa_{16} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & -\text{sen}(\alpha_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{19} = Rfa_{19} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2) & 0 & -\text{sen}(\alpha_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_2) & 0 & \cos(\alpha_2) \end{pmatrix}$$

$$Rf_{18} = Rfa_{18} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_3) & 0 & -\text{sen}(\alpha_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_3) & 0 & \cos(\alpha_3) \end{pmatrix}$$

$$Zf_{1415} = \begin{pmatrix} A_{1415} \\ M_{1415} \\ V_{1415} \end{pmatrix} \quad Zf_{1416} = \begin{pmatrix} A_{1416} \\ M_{1416} \\ V_{1416} \end{pmatrix} \quad Zf_{1418} = \begin{pmatrix} A_{1418} \\ M_{1418} \\ V_{1418} \end{pmatrix} \quad Zf_{1419} = \begin{pmatrix} A_{1419} \\ M_{1419} \\ V_{1419} \end{pmatrix}$$

$$Zfa_{1415} = \begin{pmatrix} Aa_{1415} \\ Ma_{1415} \\ Va_{1415} \end{pmatrix} \quad Zfa_{1416} = \begin{pmatrix} Aa_{1416} \\ Ma_{1416} \\ Va_{1416} \end{pmatrix} \quad Zfa_{1418} = \begin{pmatrix} Aa_{1418} \\ Ma_{1418} \\ Va_{1418} \end{pmatrix} \quad Zfa_{1419} = \begin{pmatrix} Aa_{1419} \\ Ma_{1419} \\ Va_{1419} \end{pmatrix}$$

C.3 Codificación Empleada en los Resultados Gráficos que Arroja el Programa

A continuación se indica la codificación que se emplea en los resultados que arroja el programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)” para la fuerza axial, cortante, momento flector y desplazamiento neto. Estas variables de estado son las resultantes del efecto combinado (aplicando el principio de superposición) de los dos planos donde existe interacción de cargas; cada variables se encuentra formada por una numeración, donde el primer dígito corresponde el número de nodo y el segundo el elemento que concurre al nodo:

Tabla C.1 Codificación de la fuerza axial en las diferentes variables de estado.

Codificación	Variable de Estado	Codificación	Variable de Estado
1	At_1	22	At_{12}
2	At_{21}	23	At_{1112}
3	At_{22}	24	At_{212}
4	At_{32}	25	At_{313}
5	At_{43}	26	At_{1313}
6	At_{33}	27	At_{1314}
7	At_{54}	28	At_{1014}
8	At_{44}	29	At_{1415}
9	At_{65}	30	At_{415}
10	At_{55}	31	At_{1416}
11	At_{76}	32	At_{916}
12	At_{66}	33	At_{817}
13	At_{87}	34	At_{517}
14	At_{77}	35	At_{1418}

Tabla C.1 (Cont.)

15	At ₉₈	36	At ₃₁₈
16	At ₈₈	37	At ₁₄₁₉
17	At ₁₀₉	38	At ₁₀₁₉
18	At ₉₉	39	At ₁₃₂₀
19	At ₁₁₁₀	40	At ₂₂₀
20	At ₁₀₁₀	41	At ₁₃₂₁
21	At ₁₁₁₁	42	At ₁₁₂₁

Tabla C.2 Codificación de la fuerza cortante en las diferentes variables de estado.

Codificación	Variable de Estado	Codificación	Variable de Estado
1	V_{t_1}	22	$V_{t_{12}}$
2	$V_{t_{21}}$	23	$V_{t_{1112}}$
3	$V_{t_{22}}$	24	$V_{t_{212}}$
4	$V_{t_{32}}$	25	$V_{t_{313}}$
5	$V_{t_{43}}$	26	$V_{t_{1313}}$
6	$V_{t_{33}}$	27	$V_{t_{1314}}$
7	$V_{t_{54}}$	28	$V_{t_{1014}}$
8	$V_{t_{44}}$	29	$V_{t_{1415}}$
9	$V_{t_{65}}$	30	$V_{t_{415}}$
10	$V_{t_{55}}$	31	$V_{t_{1416}}$
11	$V_{t_{76}}$	32	$V_{t_{916}}$
12	$V_{t_{66}}$	33	$V_{t_{817}}$
13	$V_{t_{87}}$	34	$V_{t_{517}}$
14	$V_{t_{77}}$	35	$V_{t_{1418}}$
15	$V_{t_{98}}$	36	$V_{t_{318}}$
16	$V_{t_{88}}$	37	$V_{t_{1419}}$
17	$V_{t_{109}}$	38	$V_{t_{1019}}$
18	$V_{t_{99}}$	39	$V_{t_{1320}}$
19	$V_{t_{1110}}$	40	$V_{t_{220}}$
20	$V_{t_{1010}}$	41	$V_{t_{1321}}$
21	$V_{t_{1111}}$	42	$V_{t_{1121}}$

Tabla C.3 Codificación del momento flexionante en las diferentes variables de estado.

Codificación	Variable de Estado	Codificación	Variable de Estado
1	Mt ₁	22	Mt ₁₂
2	Mt ₂₁	23	Mt ₁₁₁₂
3	Mt ₂₂	24	Mt ₂₁₂
4	Mt ₃₂	25	Mt ₃₁₃
5	Mt ₄₃	26	Mt ₁₃₁₃
6	Mt ₃₃	27	Mt ₁₃₁₄
7	Mt ₅₄	28	Mt ₁₀₁₄
8	Mt ₄₄	29	Mt ₁₄₁₅
9	Mt ₆₅	30	Mt ₄₁₅
10	Mt ₅₅	31	Mt ₁₄₁₆
11	Mt ₇₆	32	Mt ₉₁₆
12	Mt ₆₆	33	Mt ₈₁₇
13	Mt ₈₇	34	Mt ₅₁₇
14	Mt ₇₇	35	Mt ₁₄₁₈
15	Mt ₉₈	36	Mt ₃₁₈
16	Mt ₈₈	37	Mt ₁₄₁₉
17	Mt ₁₀₉	38	Mt ₁₀₁₉
18	Mt ₉₉	39	Mt ₁₃₂₀
19	Mt ₁₁₁₀	40	Mt ₂₂₀
20	Mt ₁₀₁₀	41	Mt ₁₃₂₁
21	Mt ₁₁₁₁	42	Mt ₁₁₂₁

Tabla C.4 Codificación del desplazamiento neto en las diferentes variables de estado.

Codificación	Variable de Estado	Codificación	Variable de Estado
1	Despt ₁	22	Despt ₁₂
2	Despt ₂₁	23	Despt ₁₁₁₂
3	Despt ₂₂	24	Despt ₂₁₂
4	Despt ₃₂	25	Despt ₃₁₃
5	Despt ₄₃	26	Despt ₁₃₁₃
6	Despt ₃₃	27	Despt ₁₃₁₄
7	Despt ₅₄	28	Despt ₁₀₁₄
8	Despt ₄₄	29	Despt ₁₄₁₅
9	Despt ₆₅	30	Despt ₄₁₅
10	Despt ₅₅	31	Despt ₁₄₁₆
11	Despt ₇₆	32	Despt ₉₁₆
12	Despt ₆₆	33	Despt ₈₁₇
13	Despt ₈₇	34	Despt ₅₁₇
14	Despt ₇₇	35	Despt ₁₄₁₈
15	Despt ₉₈	36	Despt ₃₁₈
16	Despt ₈₈	37	Despt ₁₄₁₉
17	Despt ₁₀₉	38	Despt ₁₀₁₉
18	Despt ₉₉	39	Despt ₁₃₂₀
19	Despt ₁₁₁₀	40	Despt ₂₂₀
20	Despt ₁₀₁₀	41	Despt ₁₃₂₁
21	Despt ₁₁₁₁	42	Despt ₁₁₂₁

C.4 Resultados Obtenidos del Programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)”

A continuación se muestran los resultados que arroja el programa: “Estudio de Pórtico Tridimensional (Columna Base 1)” realizado en el software computacional MatLab ®; donde se exponen las opciones 1, 2 y 4; formadas por la utilización de vigas HEA 260, 320 y 450 respectivamente:

Opción 1: Viga HEA 260

Pantalla que se visualiza en Command Window

PROGRAMA: 'DISEÑO DE COLUMNA BASE DE LA ESTRUCTURA
DISPENSADORA DE RF'

El programa está basado en la CB del plano 1; conformada en su interior por cerchas de tuberías de 6'' de diámetro Sch. 40, y en su marco por vigas H. A continuación se indica las opciones de los perfiles HEA a ser utilizado en el marco, el programa indicará si se cumplen los códigos AISC para los esfuerzos axiales, flexión y cortante; y el ASTM para las deflexiones.

- (1) Viga HEA 260
- (2) Viga HEA 320
- (3) Viga HEA 360
- (4) Viga HEA 450

Ingrese la numeración de su elección. ¿Cuál selección desea? = 1

Tiempo Estimado de Corrida = 13 minutos

Espere, por favor ...

La viga elegida no satisface los criterios de diseño,
por favor elija un perfil de mayor calibre.

Autor = Leonardo Cárdenas González

E-mail= leonardocg@cantv.net

Gráficas que ilustran el comportamiento de la estructura

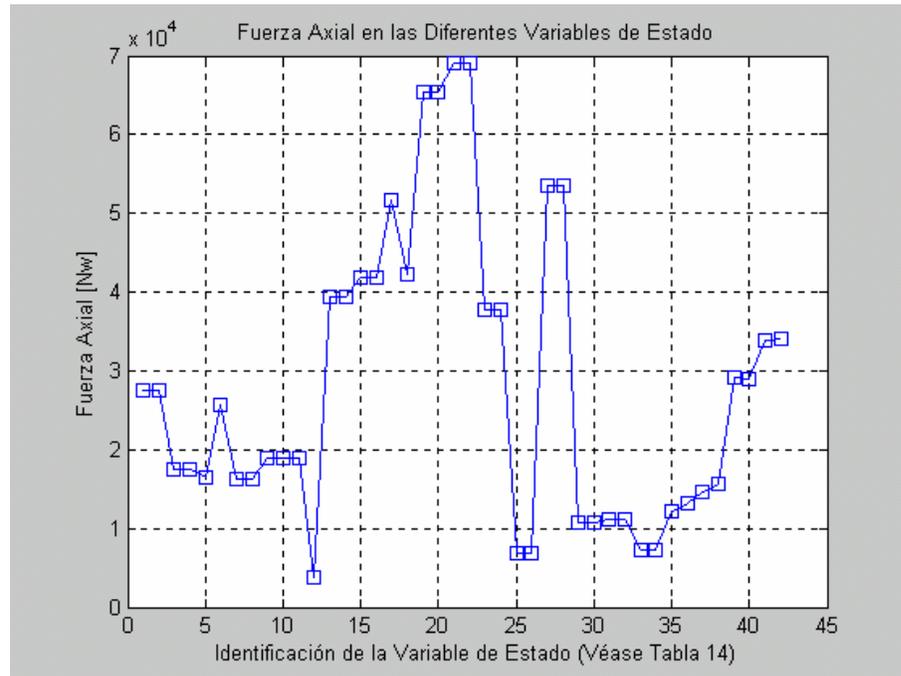


Figura C.34 Fuerza axial en las diferentes variables de estado [Viga HEA-260].

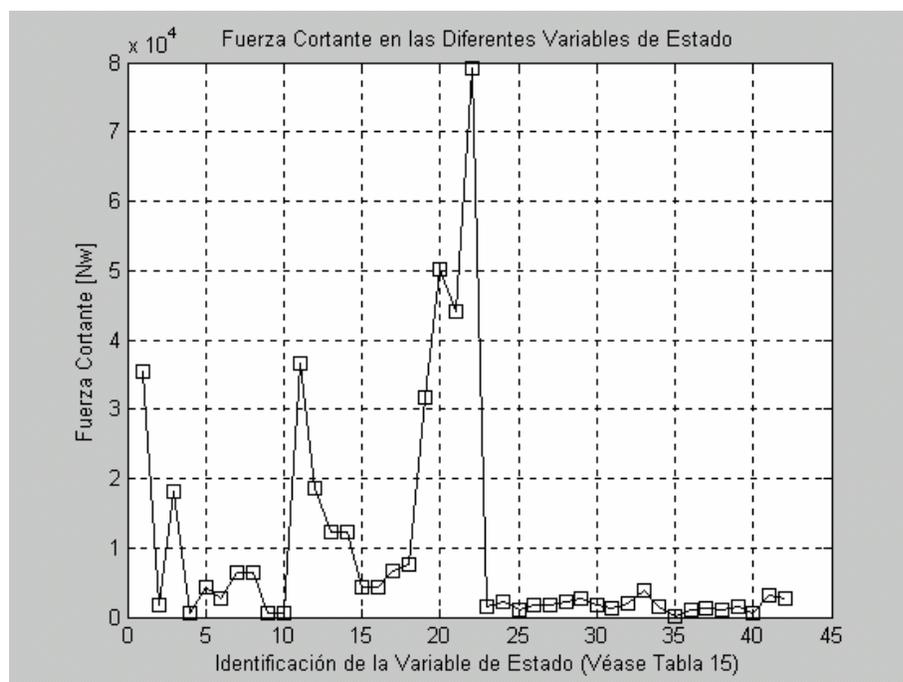


Figura C.35 Fuerza cortante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-260].

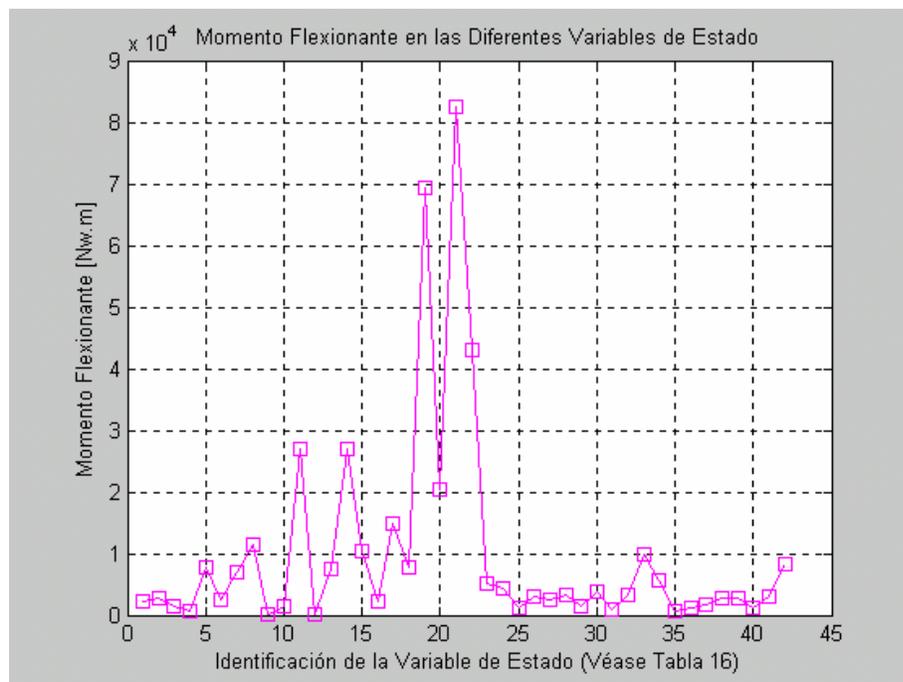


Figura C.36 Momento flexionante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-260].

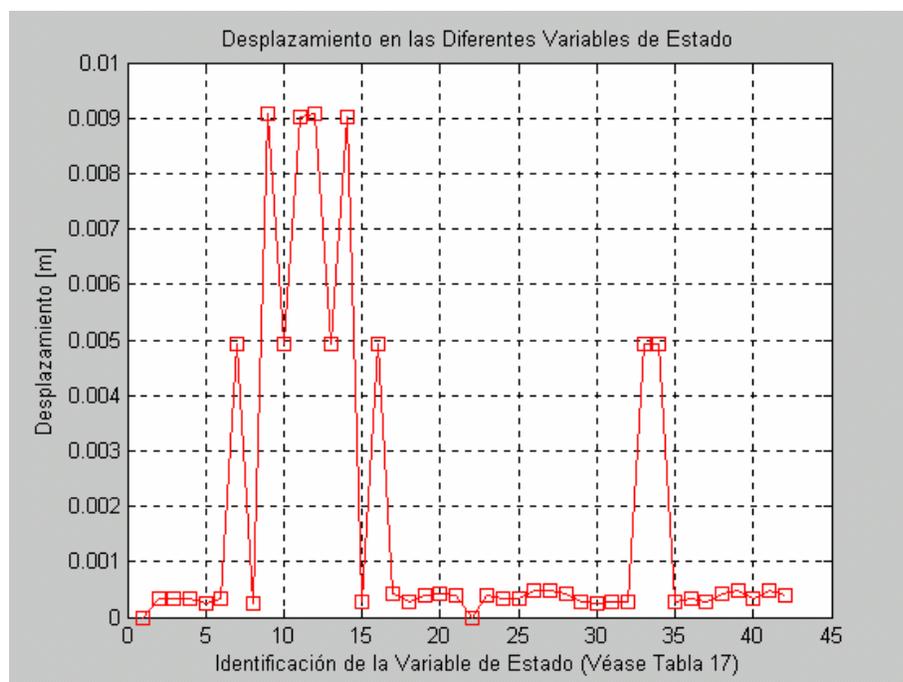


Figura C.37 Desplazamiento en las diferentes variables de estado [Viga HEA-260]

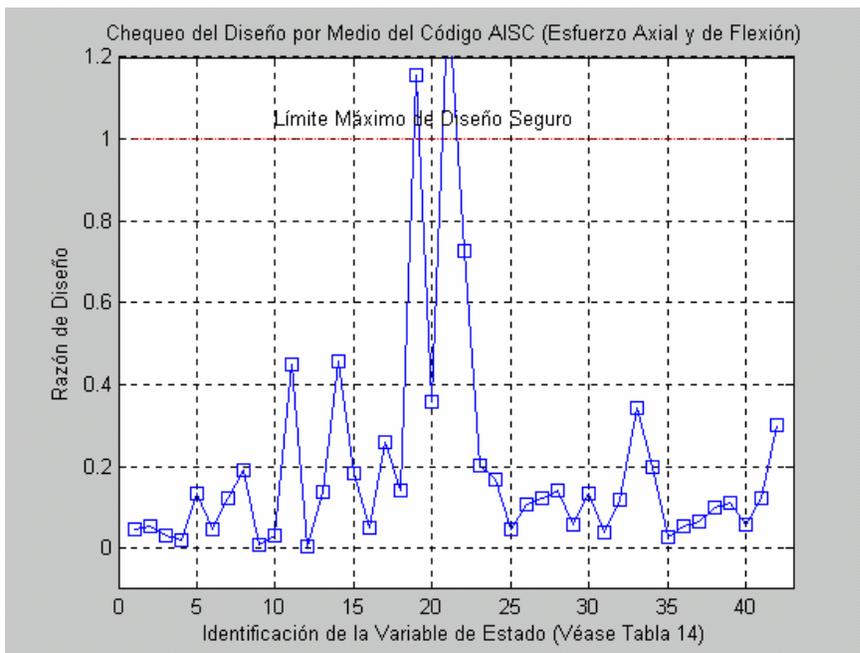


Figura C.38 Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) [Viga HEA-260].

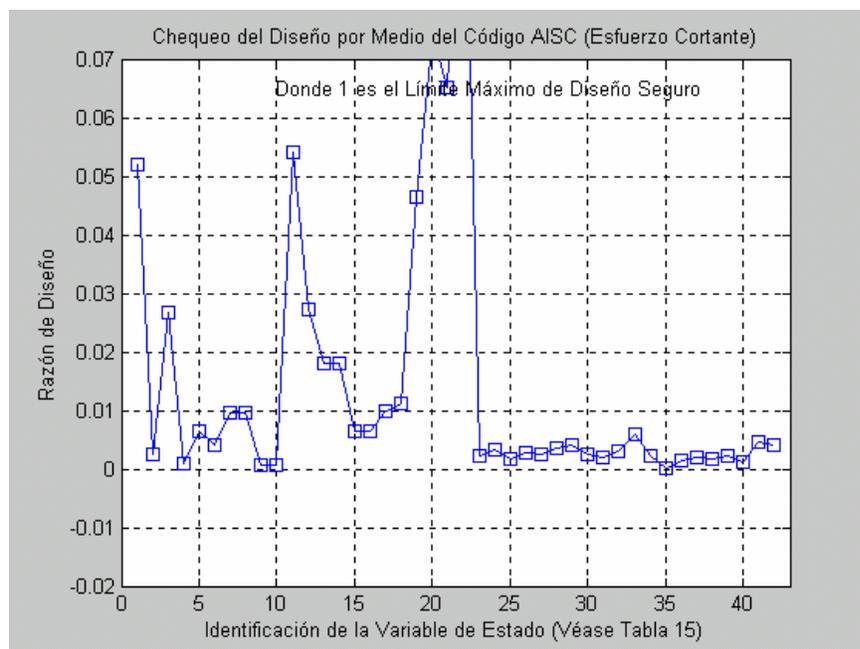


Figura C.39 Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante) [Viga HEA-260].

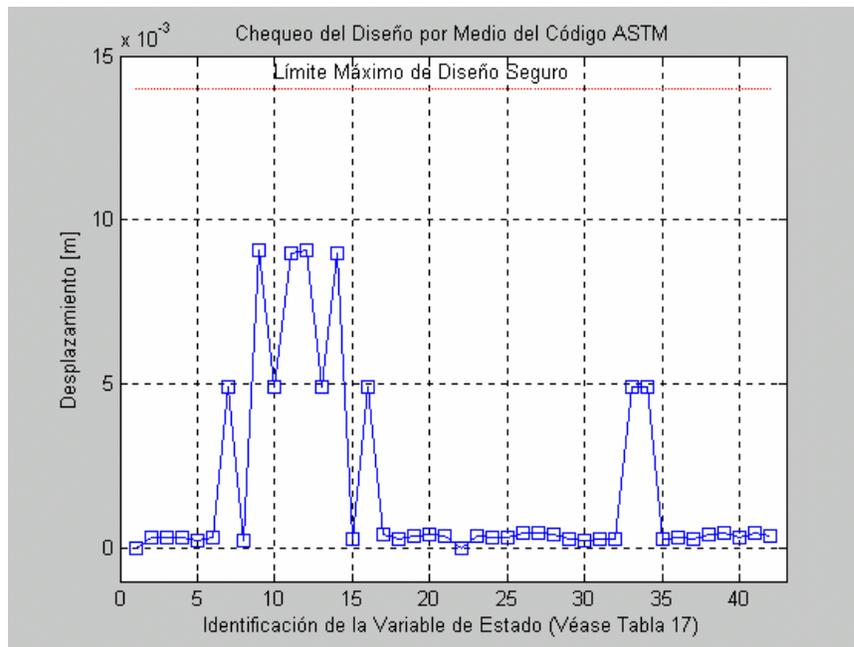


Figura C.40 Chequeo del diseño por medio del código ASTM [Viga HEA-260].

Opción 2: Viga HEA 320**Pantalla que se visualiza en Command Window**

PROGRAMA: 'DISEÑO DE COLUMNA BASE DE LA ESTRUCTURA
DISPENSADORA DE RF'

El programa está basado en la CB del plano 1; conformada en su interior por cerchas de tuberías de 6'' de diámetro Sch. 40, y en su marco por vigas H. A continuación se indica las opciones de los perfiles HEA a ser utilizado en el marco, el programa indicará si se cumplen los códigos AISC para los esfuerzos axiales, flexión y cortante; y el ASTM para las deflexiones.

- (1) Viga HEA 260
- (2) Viga HEA 320
- (3) Viga HEA 360
- (4) Viga HEA 450

Ingrese la numeración de su elección. ¿Cuál selección desea? = 2

Tiempo Estimado de Corrida = 13 minutos

Espere, por favor ...

Variables de Estado en Apoyos de Fundaciones (*)

	A [N]	V [N]	M [Nm]
Z1(**)	30413.3	41311.5	9999.73
Z12(**)	73869	70369.7	31366.7

(*) Información requerida para construcción de fundaciones.

(**) Véase Figura 3.12.

Diámetros Mínimos Requeridos para Pernos de Anclaje

Diámetro mínimo requerido para perno 1 [mm] = 13.2437

Diámetro mínimo requerido para perno 12 [mm] = 19.8905

Cateto Mínimo que Deben Poseer las Soldaduras de Filete

Cateto mínimo que deben poseer las soldaduras de filete [mm] = 9.53469

Gráficas que ilustran el comportamiento de la estructura

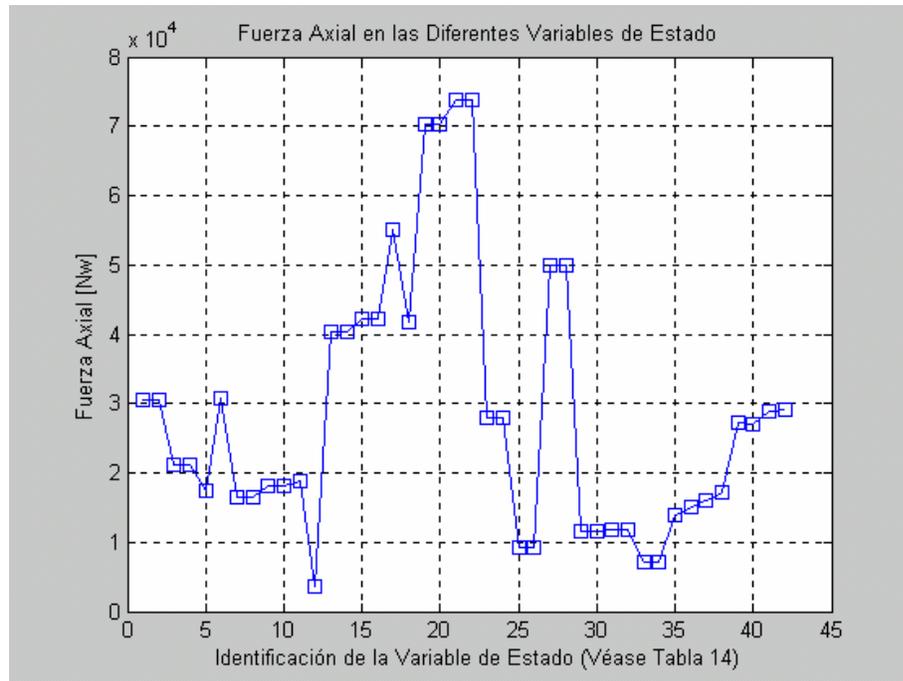


Figura C.41 Fuerza axial en las diferentes variables de estado [Viga HEA-320].

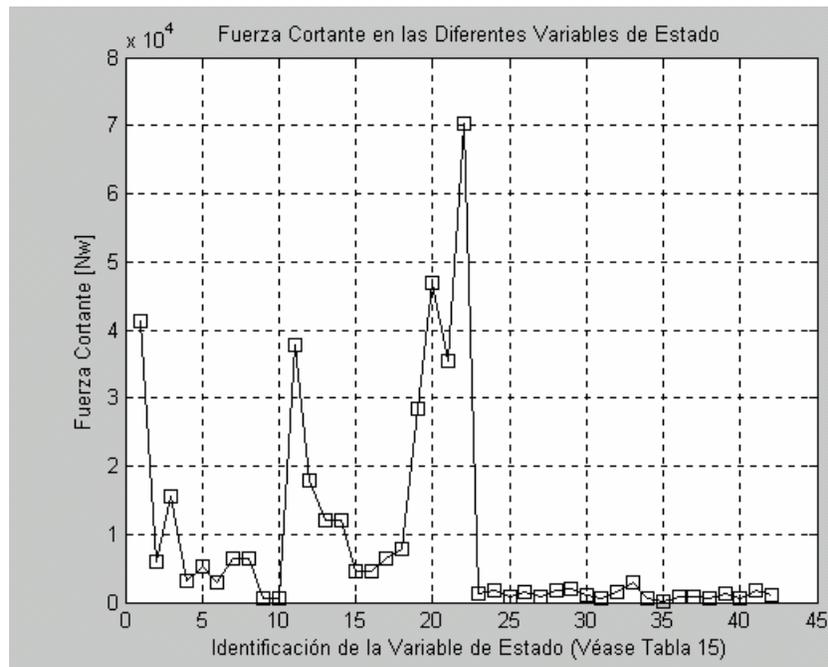


Figura C.42 Fuerza cortante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-320].

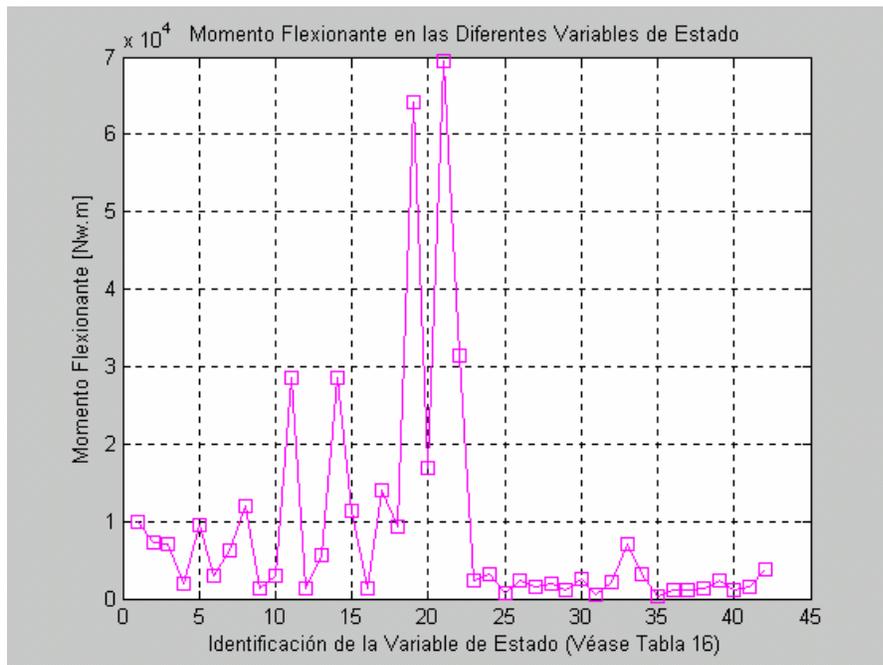


Figura C.43 Momento flexionante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-320].

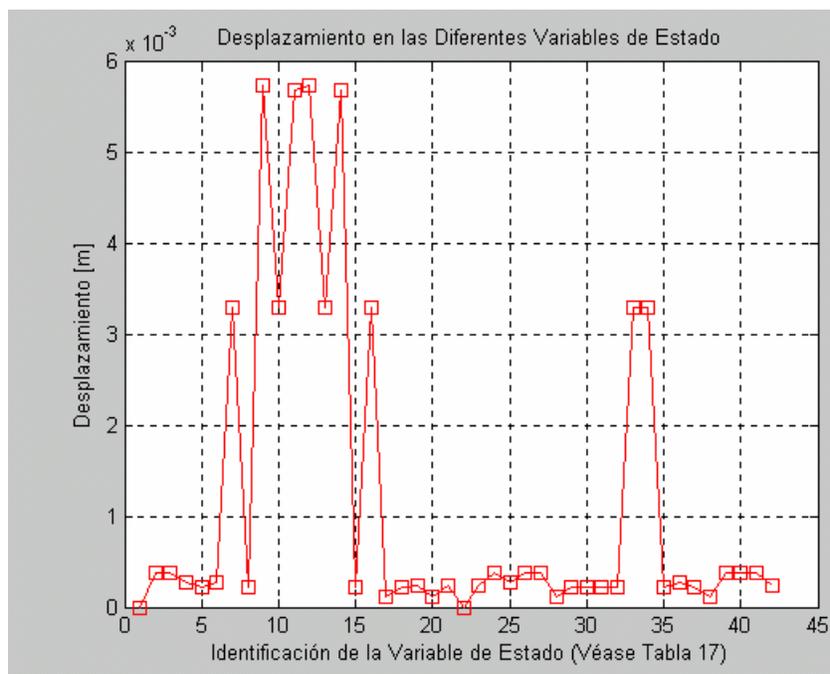


Figura C.44 Desplazamiento en las diferentes variables de estado [Viga HEA-320]

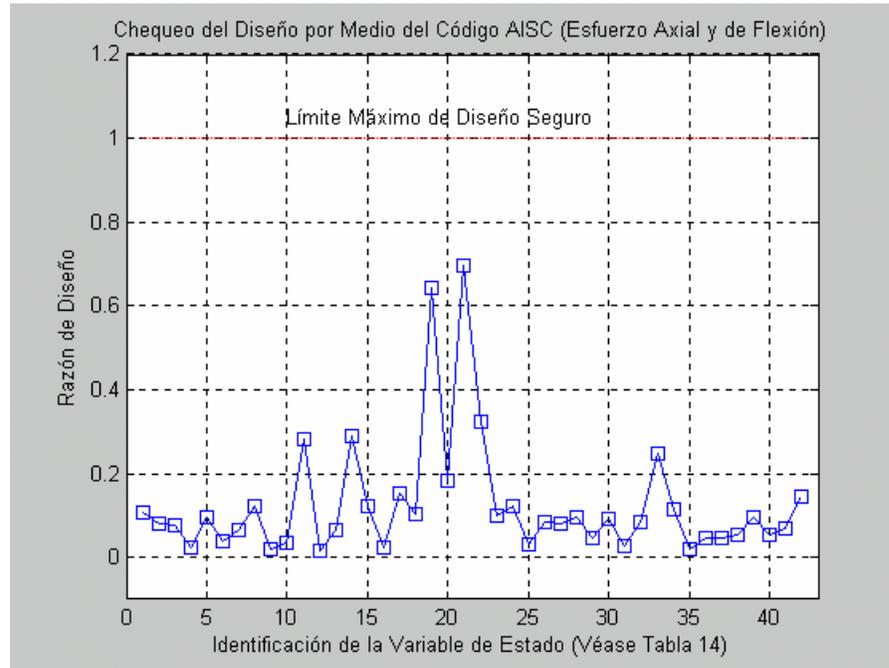


Figura C.45 Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) [Viga HEA-320].

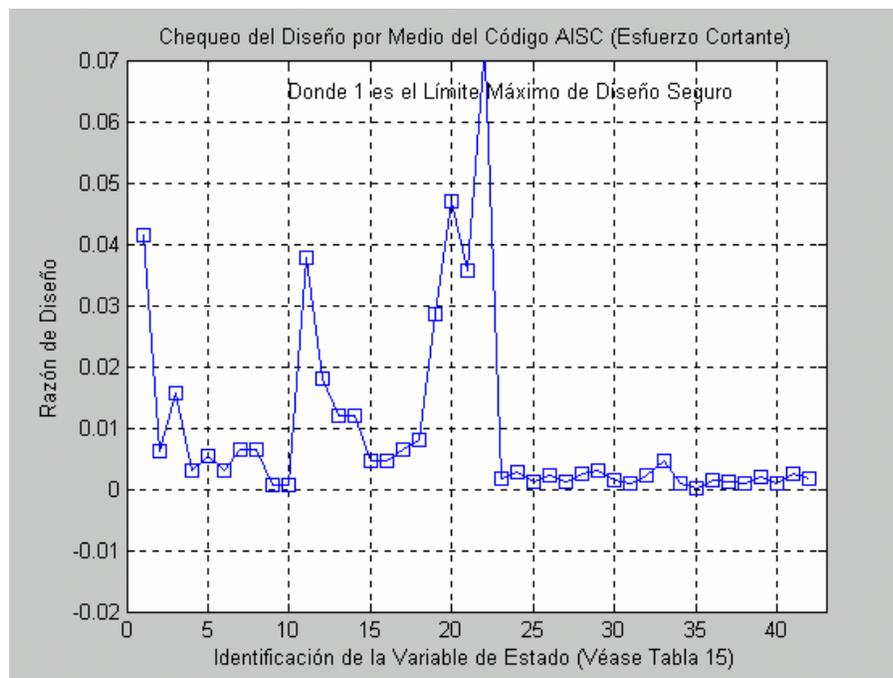


Figura C.46 Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante)

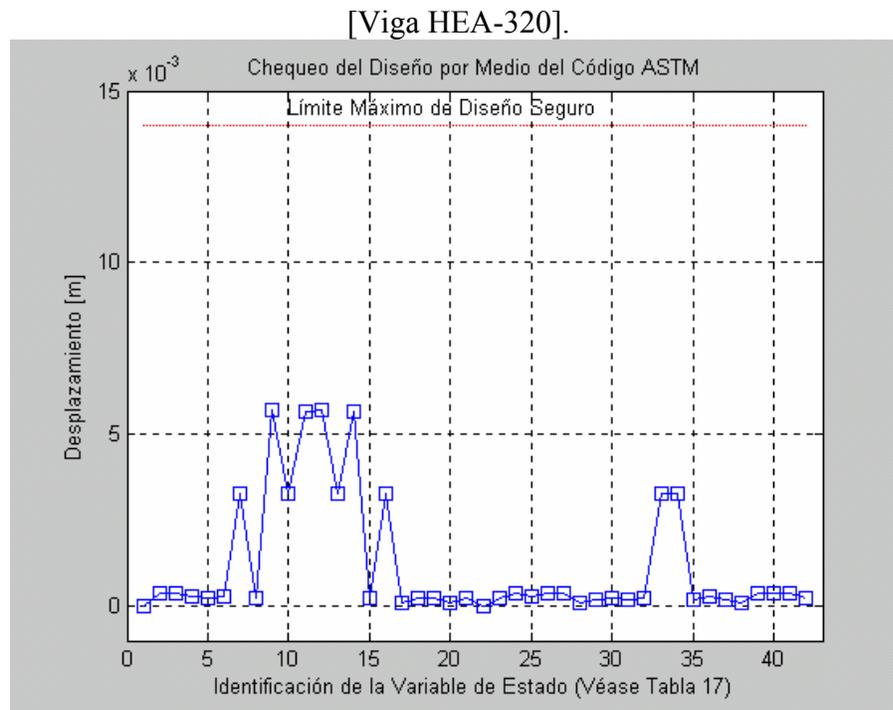


Figura C.47 Chequeo del diseño por medio del código ASTM [Viga HEA-320].

Opción 4: Viga HEA 450**Pantalla que se visualiza en Command Window**

PROGRAMA: 'DISEÑO DE COLUMNA BASE DE LA ESTRUCTURA
DISPENSADORA DE RF'

El programa está basado en la CB del plano 1; conformada en su interior por cerchas de tuberías de 6'' de diámetro Sch. 40, y en su marco por vigas H. A continuación se indica las opciones de los perfiles HEA a ser utilizado en el marco, el programa indicará si se cumplen los códigos AISC para los esfuerzos axiales, flexión y cortante; y el ASTM para las deflexiones.

- (1) Viga HEA 260
- (2) Viga HEA 320
- (3) Viga HEA 360
- (4) Viga HEA 450

Ingrese la numeración de su elección. ¿Cuál selección desea? = 4

Tiempo Estimado de Corrida = 13 minutos

Espera, por favor ...

Variables de Estado en Apoyos de Fundaciones (*)

	A [N]	V [N]	M [Nm]
Z1(**)	34201.5	45550.6	17166.5
Z12(**)	80853.7	55895.8	16503.6

(*) Información requerida para construcción de fundaciones.

(**) Véase Figura 3.12.

Diámetros Mínimos Requeridos para Pernos de Anclaje

Diámetro mínimo requerido para perno 1 [mm] = 15.1933

Diámetro mínimo requerido para perno 12 [mm] = 16.5037

Cateto Mínimo que Deben Poseer las Soldaduras de Filete

Cateto mínimo que deben poseer las soldaduras de filete [mm] = 6.46267
Gráficas que ilustran el comportamiento de la estructura

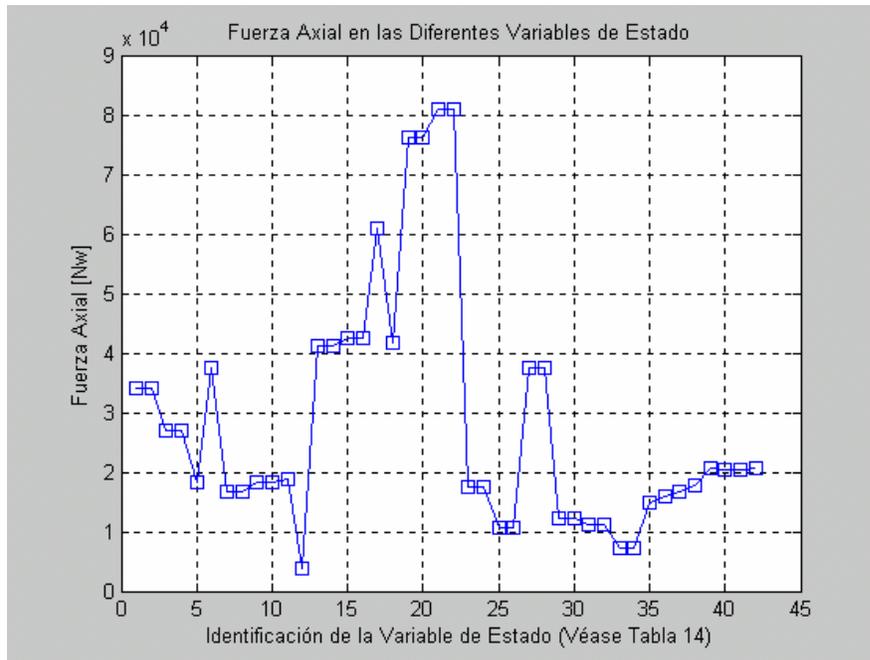


Figura C.48 Fuerza axial en las diferentes variables de estado [Viga HEA-450].

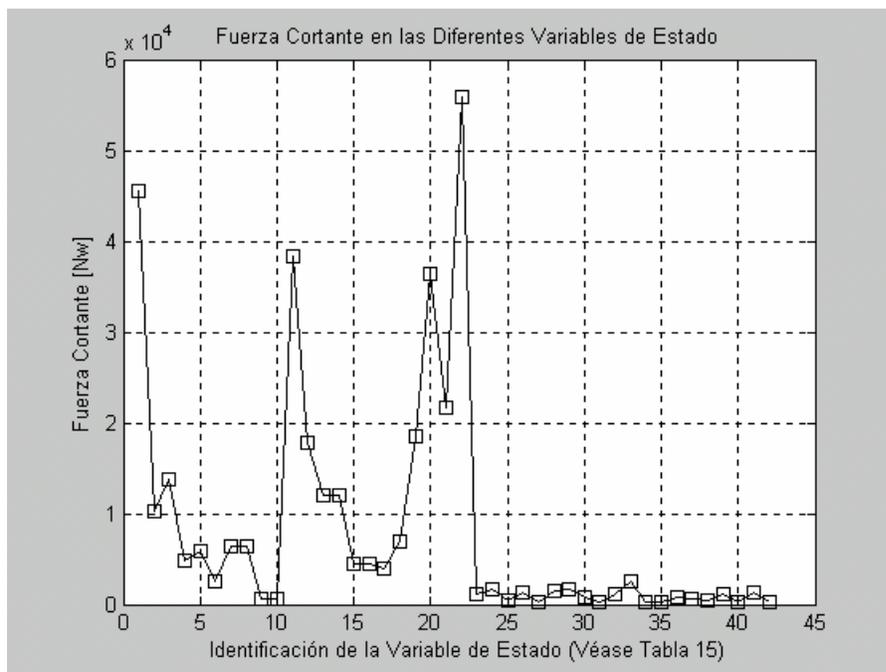


Figura C.49 Fuerza cortante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-450].

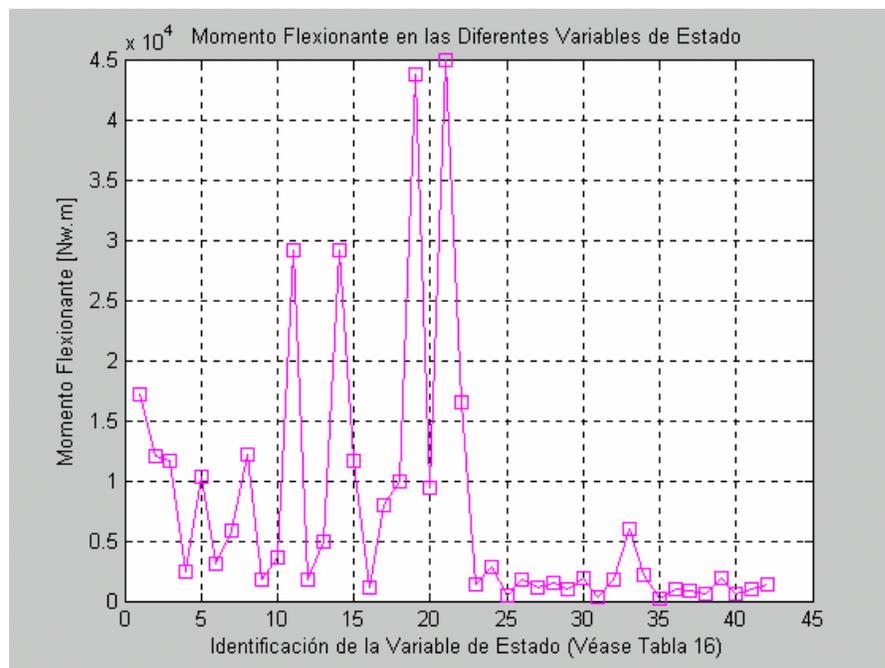


Figura C.50 Momento flexionante en las diferentes variables de estado [Viga HEA-450].

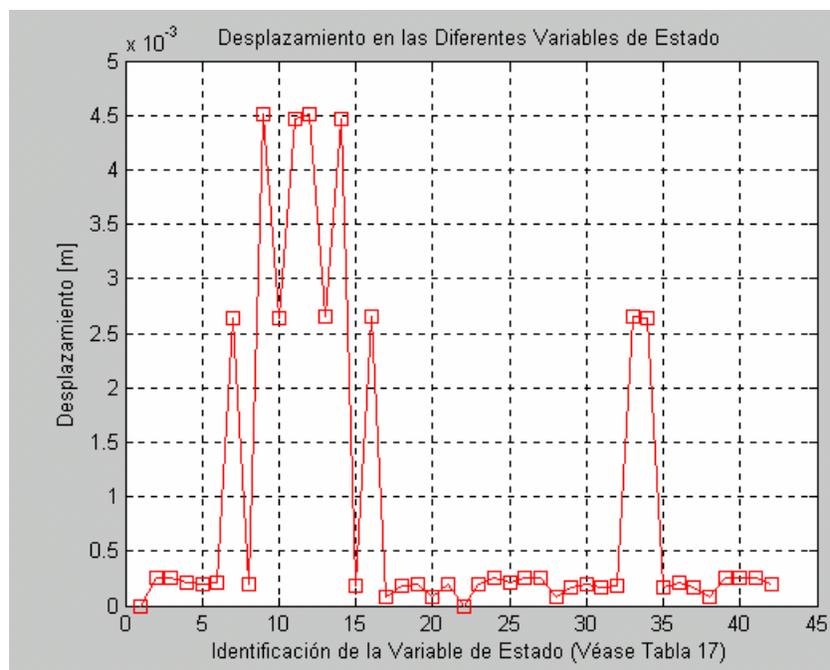


Figura C.51 Desplazamiento en las diferentes variables de estado[Viga HEA-450]

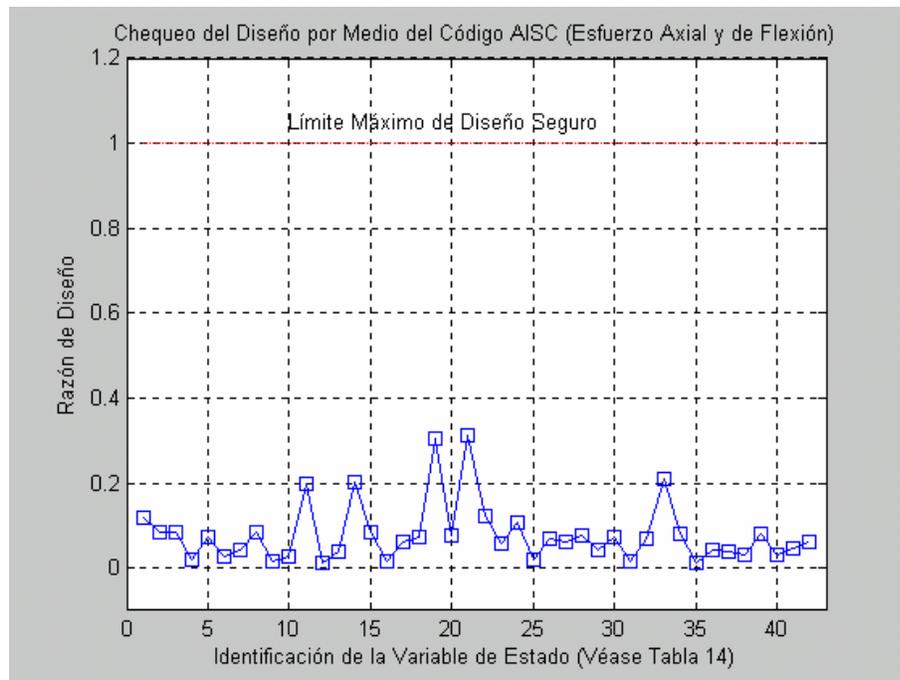


Figura C.52 Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo axial y de flexión) [Viga HEA-450].

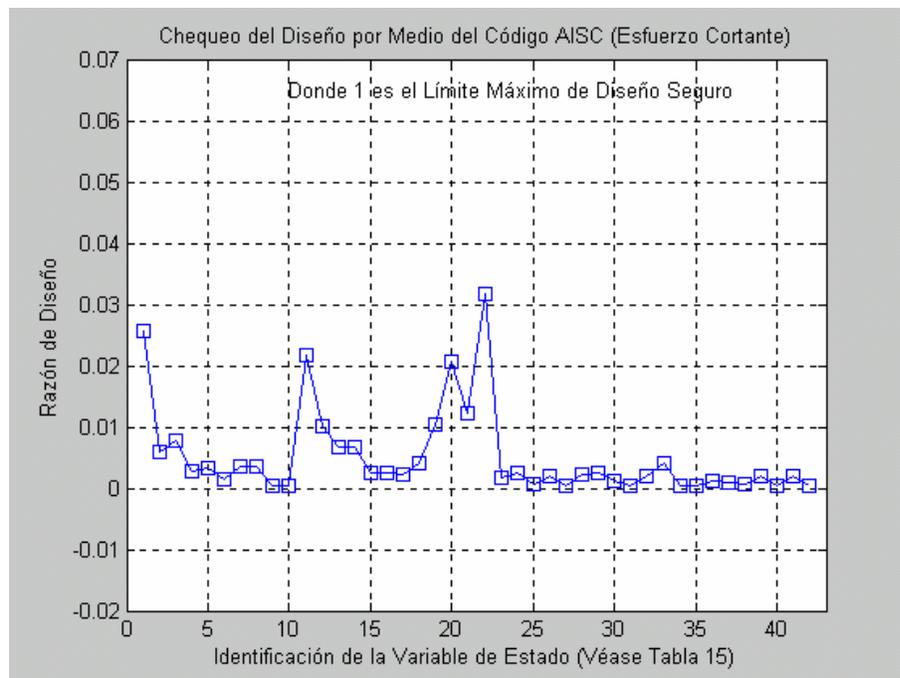


Figura C.53 Chequeo del diseño por medio del código AISC (Esfuerzo cortante) [Viga HEA-450].

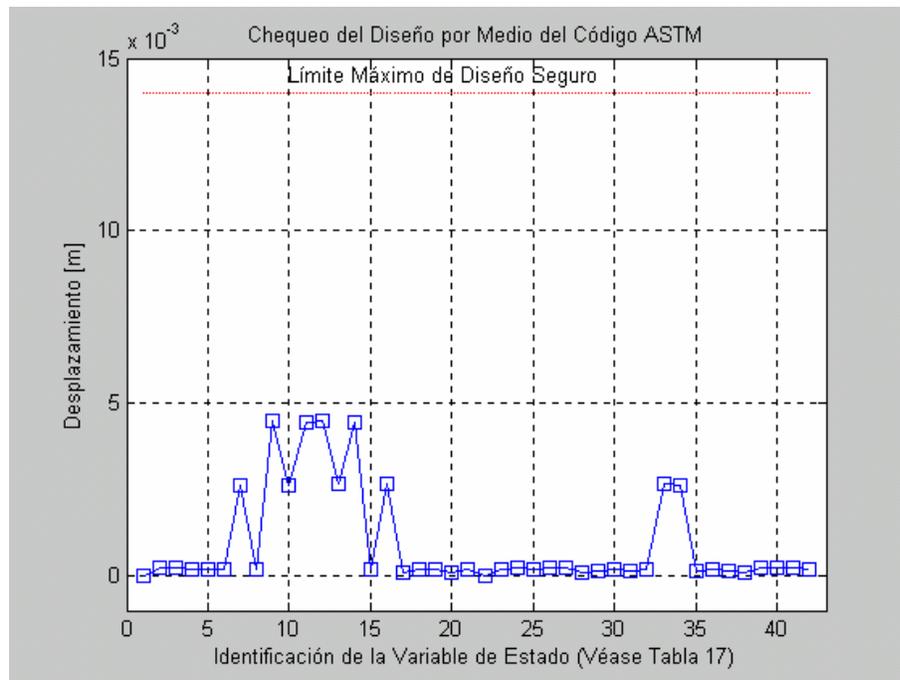


Figura C.54 Chequeo del diseño por medio del código ASTM [Viga HEA-450].

ANEXO D

TABLAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES

D.1 Tablas para el Diseño de las Fundaciones

A continuación se indica la figura del tipo de fundación ha ser elegida y cuatro tablas: selección de columna de ejemplo de diseño de fundaciones del marco teórico, selección de base de ejemplo de diseño de fundaciones, selección de columna del diseño de fundación para CB-1 y selección de base del diseño de fundación para CB-1:

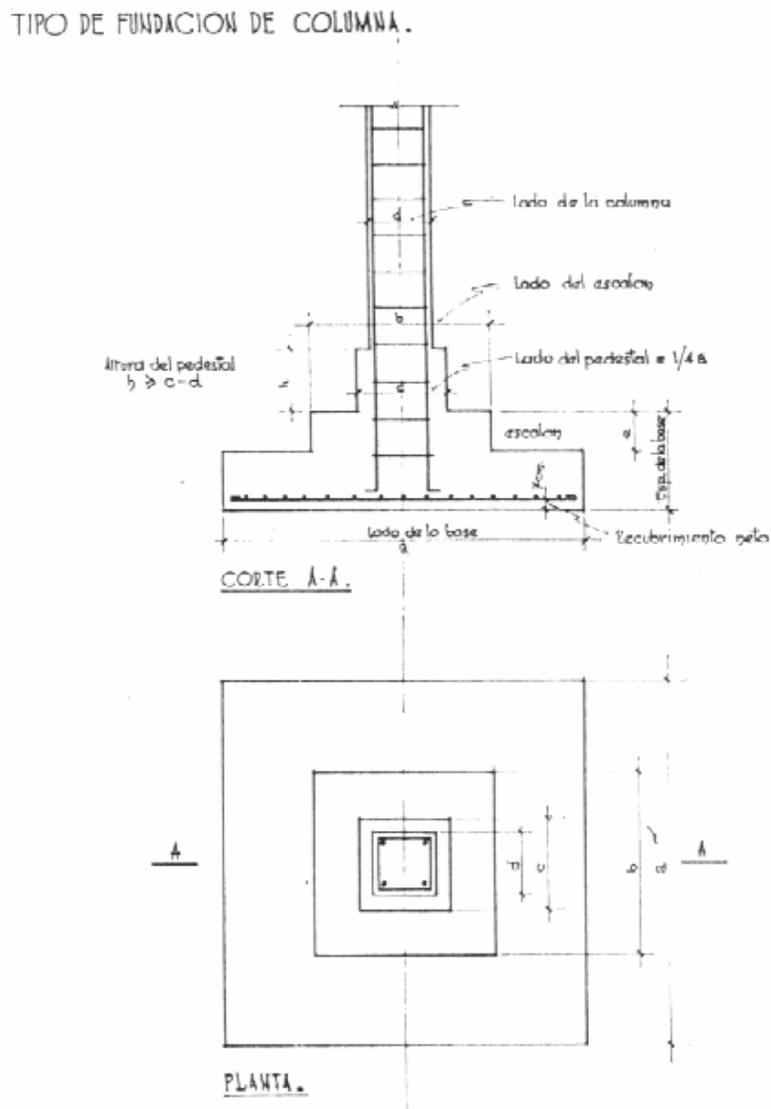


Figura D.1 Tipo de fundación elegida.

Tabla D.1 Selección de columna de ejemplo de diseño de fundaciones.

$R_{cr} = 200 \text{ kg/cm}^2$ COLUMNA $\phi 50$ $V/m = 0.196 \text{ m}^3$

BAZAS	LIGADURAS	PESO AC kg	P - CARGA VERT. Tons.				M - MOMENTO DE FLEX. kg/m.						
6 ϕ 3/8"	$\phi 3/8" \times 1.97 \text{ m}$	14.9	144.7	150.2	115.8	101.3	86.8	77.5	67.8	57.4	47.4	38.9	28.5
			M 3040	340	3950	2900	2400	2000	1700	1400	1100	900	700
8 ϕ 3/8"	$\phi 3/8" \times 1.97 \text{ m}$	19.8	149.2	154.5	119.4	104.4	89.1	79.6	69.2	58.9	48.7	39.8	29.7
			M 3130	340	4100	3050	2500	2100	1750	1450	1150	950	750
10 ϕ 3/8"	$\phi 3/8" \times 1.97 \text{ m}$	26.3	153.7	159.4	124.4	107.6	92.2	82.8	71.5	61.2	51.1	41.7	32.0
			M 3180	390	4170	3100	2550	2150	1800	1500	1200	1000	800
12 ϕ 3/8"	$\phi 3/8" \times 1.97 \text{ m}$	30.2	158.1	164.4	129.5	110.7	94.9	85.1	73.2	62.8	52.7	43.1	33.2
			M 3250	4300	3340	2700	2250	1850	1550	1250	1000	800	600
14 ϕ 3/8"	$\phi 3/8" \times 1.97 \text{ m}$	35.7	162.8	169.7	134.7	119.7	104.8	94.8	82.1	71.2	60.9	51.0	41.0
			M 3310	4600	3500	2800	2300	1900	1600	1300	1050	850	650
16 ϕ 3/8"	$\phi 3/8" \times 1.97 \text{ m}$	42.8	167.5	174.3	140.7	127.1	110.5	99.9	87.2	76.4	65.7	55.7	45.5
			M 3370	4900	3600	2900	2400	2000	1700	1400	1150	950	750
18 ϕ 3/8"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	33.7	162.0	168.8	127.6	113.4	97.7	87.1	74.8	64.0	53.6	43.4	33.2
			M 3220	4500	3410	2800	2300	1900	1600	1300	1050	850	650
20 ϕ 3/8"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	40.7	166.6	173.4	133.6	117.4	102.9	91.1	78.2	67.3	57.0	46.7	36.8
			M 3240	4470	3390	2720	2250	1850	1550	1250	1000	800	600
6 ϕ 1"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	27.4	161.4	167.9	124.8	108.8	93.3	82.7	70.2	59.2	48.8	38.1	28.0
			M 3160	4180	3170	2600	2100	1700	1400	1100	900	700	500
8 ϕ 1"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	35.3	165.5	171.1	130.8	114.4	98.1	87.1	74.2	63.2	52.7	42.1	32.0
			M 3280	4370	3400	2700	2200	1800	1500	1200	1000	800	600
10 ϕ 1"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	44.1	171.5	177.4	137.2	120.0	104.2	92.7	79.2	67.6	56.7	45.9	35.7
			M 3400	4540	3570	2800	2300	1900	1600	1300	1050	850	650
6 ϕ 1.1"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	34.0	167.0	173.0	134.6	117.4	101.0	89.0	75.0	63.0	52.0	41.0	31.0
			M 3260	4370	3400	2700	2200	1800	1500	1200	1000	800	600
8 ϕ 1.1"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	43.0	172.3	178.1	140.4	124.4	107.4	94.4	80.4	68.4	56.4	45.4	35.4
			M 3370	4500	3580	2800	2300	1900	1600	1300	1050	850	650
10 ϕ 1.1"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	52.6	177.6	183.3	146.0	129.4	111.4	97.4	82.4	69.4	57.4	46.4	36.4
			M 3480	4630	3670	2900	2400	2000	1700	1400	1150	950	750
6 ϕ 1.25"	$\phi 3/8" \times 1.62 \text{ m}$	38.8	171.5	177.5	137.4	119.4	103.4	91.4	77.4	65.4	54.4	43.4	33.4
			M 3400	4530	3570	2800	2300	1900	1600	1300	1050	850	650

Tabla D.2 Selección de base de ejemplo de diseño de fundaciones.

$\gamma_s = 2.50 \text{ Kg/cm}^3$

$\text{Var. } \gamma_s = 300 \text{ Kg/cm}^3$

$\text{Var. } \gamma_s = 1000 \text{ Kg/cm}^3$

CARGA SOB. BJC	BASE		ESCALON		CABILLOS DE LA BASE				VOLUMEN CONCRETO	VEZOS DE CAR.		
	KG.	LADO M.	ESP. M.	LADO M.	ESP. M.	ϕ	ϕ	ϕ		LARGO M.	m^3	ϕ
1000	200	35				10	10	10	200	0.001	200	200
1500	250	40				12	12	12	250	0.002	250	250
2000	300	40				12	12	12	300	0.003	300	300
2500	350	40				12	12	12	350	0.004	350	350
3000	400	45				14	14	14	400	0.005	400	400
3500	450	45				14	14	14	450	0.006	450	450
4000	500	50				16	16	16	500	0.007	500	500
4500	550	50				16	16	16	550	0.008	550	550
5000	600	50				16	16	16	600	0.009	600	600
5500	650	50				16	16	16	650	0.010	650	650
6000	700	50				16	16	16	700	0.011	700	700
6500	750	50				16	16	16	750	0.012	750	750
7000	800	50				16	16	16	800	0.013	800	800
7500	850	50				16	16	16	850	0.014	850	850
8000	900	50				16	16	16	900	0.015	900	900
8500	950	50				16	16	16	950	0.016	950	950
9000	1000	50				16	16	16	1000	0.017	1000	1000
9500	1050	50				16	16	16	1050	0.018	1050	1050
10000	1100	50				16	16	16	1100	0.019	1100	1100
10500	1150	50				16	16	16	1150	0.020	1150	1150
11000	1200	50				16	16	16	1200	0.021	1200	1200
11500	1250	50				16	16	16	1250	0.022	1250	1250
12000	1300	50				16	16	16	1300	0.023	1300	1300
12500	1350	50				16	16	16	1350	0.024	1350	1350
13000	1400	50				16	16	16	1400	0.025	1400	1400
13500	1450	50				16	16	16	1450	0.026	1450	1450
14000	1500	50				16	16	16	1500	0.027	1500	1500
14500	1550	50				16	16	16	1550	0.028	1550	1550
15000	1600	50				16	16	16	1600	0.029	1600	1600
15500	1650	50				16	16	16	1650	0.030	1650	1650
16000	1700	50				16	16	16	1700	0.031	1700	1700
16500	1750	50				16	16	16	1750	0.032	1750	1750
17000	1800	50				16	16	16	1800	0.033	1800	1800
17500	1850	50				16	16	16	1850	0.034	1850	1850
18000	1900	50				16	16	16	1900	0.035	1900	1900
18500	1950	50				16	16	16	1950	0.036	1950	1950
19000	2000	50				16	16	16	2000	0.037	2000	2000
19500	2050	50				16	16	16	2050	0.038	2050	2050
20000	2100	50				16	16	16	2100	0.039	2100	2100
20500	2150	50				16	16	16	2150	0.040	2150	2150
21000	2200	50				16	16	16	2200	0.041	2200	2200
21500	2250	50				16	16	16	2250	0.042	2250	2250
22000	2300	50				16	16	16	2300	0.043	2300	2300
22500	2350	50				16	16	16	2350	0.044	2350	2350
23000	2400	50				16	16	16	2400	0.045	2400	2400
23500	2450	50				16	16	16	2450	0.046	2450	2450
24000	2500	50				16	16	16	2500	0.047	2500	2500
24500	2550	50				16	16	16	2550	0.048	2550	2550
25000	2600	50				16	16	16	2600	0.049	2600	2600
25500	2650	50				16	16	16	2650	0.050	2650	2650
26000	2700	50				16	16	16	2700	0.051	2700	2700
26500	2750	50				16	16	16	2750	0.052	2750	2750
27000	2800	50				16	16	16	2800	0.053	2800	2800
27500	2850	50				16	16	16	2850	0.054	2850	2850
28000	2900	50				16	16	16	2900	0.055	2900	2900
28500	2950	50				16	16	16	2950	0.056	2950	2950
29000	3000	50				16	16	16	3000	0.057	3000	3000
29500	3050	50				16	16	16	3050	0.058	3050	3050
30000	3100	50				16	16	16	3100	0.059	3100	3100
30500	3150	50				16	16	16	3150	0.060	3150	3150
31000	3200	50				16	16	16	3200	0.061	3200	3200
31500	3250	50				16	16	16	3250	0.062	3250	3250
32000	3300	50				16	16	16	3300	0.063	3300	3300
32500	3350	50				16	16	16	3350	0.064	3350	3350
33000	3400	50				16	16	16	3400	0.065	3400	3400
33500	3450	50				16	16	16	3450	0.066	3450	3450
34000	3500	50				16	16	16	3500	0.067	3500	3500
34500	3550	50				16	16	16	3550	0.068	3550	3550
35000	3600	50				16	16	16	3600	0.069	3600	3600
35500	3650	50				16	16	16	3650	0.070	3650	3650
36000	3700	50				16	16	16	3700	0.071	3700	3700
36500	3750	50				16	16	16	3750	0.072	3750	3750
37000	3800	50				16	16	16	3800	0.073	3800	3800
37500	3850	50				16	16	16	3850	0.074	3850	3850
38000	3900	50				16	16	16	3900	0.075	3900	3900
38500	3950	50				16	16	16	3950	0.076	3950	3950
39000	4000	50				16	16	16	4000	0.077	4000	4000
39500	4050	50				16	16	16	4050	0.078	4050	4050
40000	4100	50				16	16	16	4100	0.079	4100	4100
40500	4150	50				16	16	16	4150	0.080	4150	4150
41000	4200	50				16	16	16	4200	0.081	4200	4200
41500	4250	50				16	16	16	4250	0.082	4250	4250
42000	4300	50				16	16	16	4300	0.083	4300	4300
42500	4350	50				16	16	16	4350	0.084	4350	4350
43000	4400	50				16	16	16	4400	0.085	4400	4400
43500	4450	50				16	16	16	4450	0.086	4450	4450
44000	4500	50				16	16	16	4500	0.087	4500	4500
44500	4550	50				16	16	16	4550	0.088	4550	4550
45000	4600	50				16	16	16	4600	0.089	4600	4600
45500	4650	50				16	16	16	4650	0.090	4650	4650
46000	4700	50				16	16	16	4700	0.091	4700	4700
46500	4750	50				16	16	16	4750	0.092	4750	4750
47000	4800	50				16	16	16	4800	0.093	4800	4800
47500	4850	50				16	16	16	4850	0.094	4850	4850
48000	4900	50				16	16	16	4900	0.095	4900	4900
48500	4950	50				16	16	16	4950	0.096	4950	4950
49000	5000	50				16	16	16	5000	0.097	5000	5000
49500	5050	50				16	16	16	5050	0.098	5050	5050
50000	5100	50				16	16	16	5100	0.099	5100	5100
50500	5150	50				16	16	16	5150	0.100	5150	5150
51000	5200	50				16	16	16	5200	0.101	5200	5200
51500	5250	50				16	16	16	5250	0.102	5250	5250
52000	5300	50				16	16	16	5300	0.103	5300	5300
52500	5350	50				16	16	16	5350	0.104	5350	5350
53000	5400	50				16	16	16	5400	0.105	5400	5400
53500	5450	50				16	16	16	5450	0.106	5450	5450
54000	5500	50				16	16	16	5500	0.107	5500	5500
54500	5550	50				16	16	16	5550	0.108	5550	5550
55000	5600	50				16	16	16	5600	0.109	5600	5600
55500	5650	50				16	16	16	5650	0.110	5650	5650
56000	5700	50				16	16	16	5700	0.111	5700	5700
56500	5750	50				16	16	16	5750	0.112	5750	5750
57000	5800	50				16	16	16	5800	0.113	5800	5800
57500	5850	50				16	16	16	5850	0.114	5850	5850
58000	5900	50				16	16	16	5900	0.115	5900	5900
58500	5950	50				16	16	16	5950	0.116	5950	5950
59000	6000	50				16	16	16	6000	0.117	6000	6000
59500	6050	50				16	16	16	6050	0.118	6050	6050
60000	6100	50				16	16	16	6100	0.119	6100	

Tabla D.4 Selección de base del diseño de fundación para CB-1.

$\gamma_s = 3.50 \text{ kg./cm}^3$

$\gamma_{cr} = 200 \text{ kg./cm}^3$ $\gamma_{al} = 1400 \text{ kg./cm}^3$

CUBA SOL. EAC	BASE		ESCALÓN		LÁMINAS DE LA BASE				VOLÚMEN CUBO		PRECIO DE CUB	
	LADO m.	ESP. m.	LADO m.	ESP. m.	ω	ϕ	ϕ	LARGO m.	m^3	ϕ	ϕ	
32150	1.00	0.35			2.18	4.15	1.72	1.70	0.330	11.66	15.45	
41350	1.00	0.35			3.29	4.15	1.72	1.70	0.474	16.10	21.60	
43150	1.30	0.35			10.70	4.15	1.72	1.70	0.504	33.46	45.00	
57350	1.30	0.40			11.45	4.15	1.72	1.70	0.676	26.01	34.70	
66700	1.40	0.40			12.50	4.15	1.72	1.70	0.784	44.20	58.40	
70300	1.50	0.45			15.11	4.15	1.72	1.70	1.078	47.80	65.30	
86500	1.50	0.45			15.47	4.15	1.72	1.70	1.172	57.80	76.80	
98500	1.50	0.45			22.50	4.15	1.72	1.70	1.341	33.00	43.50	
109500	1.50	0.45			26.30	4.15	1.72	1.70	1.58	102.00	135.00	
120200	1.50	0.50			27.20	4.15	1.72	1.70	1.605	111.00	147.00	
134500	2.00	0.55	1.00	30	30.40	4.15	1.72	1.70	1.900	110.00	145.00	
1501100	2.00	0.55	3.00	50	33.60	4.15	1.72	1.70	2.265	134.00	178.00	
1641000	2.00	0.55	1.75	85	38.40	4.15	1.72	1.70	2.60	154.00	203.00	
1801000	2.50	0.55	1.75	85	44.70	4.15	1.72	1.70	3.18	176.00	233.00	
1951000	2.50	0.60	1.75	85	49.80	4.15	1.72	1.70	3.63	200.00	265.00	
2120000	2.50	0.60	1.75	85	52.00	4.15	1.72	1.70	3.78	216.00	287.00	
2285000	2.50	0.65	1.50	85	57.20	4.15	1.72	1.70	4.36	249.00	330.00	
2451000	2.70	0.65	1.75	20	59.20	4.15	1.72	1.70	4.66	276.00	365.00	
2620000	2.80	0.65	1.60	30	66.00	4.15	1.72	1.70	5.30	307.00	407.00	
2813000	2.80	0.65	4.0	30	71.50	4.15	1.72	1.70	6.06	348.00	460.00	
3043000	3.00	0.70	1.50	25	75.70	4.15	1.72	1.70	6.78	410.00	538.00	
3248000	3.00	0.75	1.50	25	79.70	4.15	1.72	1.70	7.50	472.00	617.00	
3465000	3.00	0.75	1.60	30	83.70	4.15	1.72	1.70	8.22	534.00	700.00	
3695000	3.00	0.75	1.40	30	87.70	4.15	1.72	1.70	8.94	596.00	783.00	
3940000	3.40	0.75	1.50	25	108.70	4.15	1.72	1.70	11.22	748.00	988.00	
4197000	3.50	0.75	1.50	25	118.50	4.15	1.72	1.70	12.32	820.00	1080.00	
4370000	3.50	0.75	1.50	25	128.30	4.15	1.72	1.70	13.42	892.00	1172.00	
4550000	3.50	0.75	1.50	25	138.10	4.15	1.72	1.70	14.52	964.00	1264.00	
4730000	3.50	0.75	1.50	25	147.90	4.15	1.72	1.70	15.62	1036.00	1356.00	
4910000	3.50	0.75	1.50	25	157.70	4.15	1.72	1.70	16.72	1108.00	1448.00	
5090000	3.50	0.75	1.50	25	167.50	4.15	1.72	1.70	17.82	1180.00	1540.00	
5270000	3.50	0.75	1.50	25	177.30	4.15	1.72	1.70	18.92	1252.00	1632.00	
5450000	3.50	0.75	1.50	25	187.10	4.15	1.72	1.70	20.02	1324.00	1724.00	
5630000	3.50	0.75	1.50	25	196.90	4.15	1.72	1.70	21.12	1396.00	1816.00	
5810000	3.50	0.75	1.50	25	206.70	4.15	1.72	1.70	22.22	1468.00	1908.00	
6000000	3.50	0.75	1.50	25	216.50	4.15	1.72	1.70	23.32	1540.00	2000.00	
6190000	3.50	0.75	1.50	25	226.30	4.15	1.72	1.70	24.42	1612.00	2092.00	
6380000	3.50	0.75	1.50	25	236.10	4.15	1.72	1.70	25.52	1684.00	2184.00	
6570000	3.50	0.75	1.50	25	245.90	4.15	1.72	1.70	26.62	1756.00	2276.00	
6760000	3.50	0.75	1.50	25	255.70	4.15	1.72	1.70	27.72	1828.00	2368.00	
6950000	3.50	0.75	1.50	25	265.50	4.15	1.72	1.70	28.82	1900.00	2460.00	
7140000	3.50	0.75	1.50	25	275.30	4.15	1.72	1.70	29.92	1972.00	2552.00	
7330000	3.50	0.75	1.50	25	285.10	4.15	1.72	1.70	31.02	2044.00	2644.00	
7520000	3.50	0.75	1.50	25	294.90	4.15	1.72	1.70	32.12	2116.00	2736.00	
7710000	3.50	0.75	1.50	25	304.70	4.15	1.72	1.70	33.22	2188.00	2828.00	
7900000	3.50	0.75	1.50	25	314.50	4.15	1.72	1.70	34.32	2260.00	2920.00	
8090000	3.50	0.75	1.50	25	324.30	4.15	1.72	1.70	35.42	2332.00	3012.00	
8280000	3.50	0.75	1.50	25	334.10	4.15	1.72	1.70	36.52	2404.00	3104.00	
8470000	3.50	0.75	1.50	25	343.90	4.15	1.72	1.70	37.62	2476.00	3196.00	
8660000	3.50	0.75	1.50	25	353.70	4.15	1.72	1.70	38.72	2548.00	3288.00	
8850000	3.50	0.75	1.50	25	363.50	4.15	1.72	1.70	39.82	2620.00	3380.00	
9040000	3.50	0.75	1.50	25	373.30	4.15	1.72	1.70	40.92	2692.00	3472.00	
9230000	3.50	0.75	1.50	25	383.10	4.15	1.72	1.70	42.02	2764.00	3564.00	
9420000	3.50	0.75	1.50	25	392.90	4.15	1.72	1.70	43.12	2836.00	3656.00	
9610000	3.50	0.75	1.50	25	402.70	4.15	1.72	1.70	44.22	2908.00	3748.00	
9800000	3.50	0.75	1.50	25	412.50	4.15	1.72	1.70	45.32	2980.00	3840.00	
10000000	3.50	0.75	1.50	25	422.30	4.15	1.72	1.70	46.42	3052.00	3932.00	
10200000	3.50	0.75	1.50	25	432.10	4.15	1.72	1.70	47.52	3124.00	4024.00	
10400000	3.50	0.75	1.50	25	441.90	4.15	1.72	1.70	48.62	3196.00	4116.00	
10600000	3.50	0.75	1.50	25	451.70	4.15	1.72	1.70	49.72	3268.00	4208.00	
10800000	3.50	0.75	1.50	25	461.50	4.15	1.72	1.70	50.82	3340.00	4300.00	
11000000	3.50	0.75	1.50	25	471.30	4.15	1.72	1.70	51.92	3412.00	4392.00	
11200000	3.50	0.75	1.50	25	481.10	4.15	1.72	1.70	53.02	3484.00	4484.00	
11400000	3.50	0.75	1.50	25	490.90	4.15	1.72	1.70	54.12	3556.00	4576.00	
11600000	3.50	0.75	1.50	25	500.70	4.15	1.72	1.70	55.22	3628.00	4668.00	
11800000	3.50	0.75	1.50	25	510.50	4.15	1.72	1.70	56.32	3700.00	4760.00	
12000000	3.50	0.75	1.50	25	520.30	4.15	1.72	1.70	57.42	3772.00	4852.00	

ANEXO E

PLANOS DE NUEVA COLUMNA BASE Y NUEVA FUNDACIÓN

Plano # 1. Soporte Lado Oeste Transportador 40-ET-03

Plano # 2. Fundación para Estructura 40-ET-03

