

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE GRADO

DISEÑO DE ELEMENTOS DE REFUERZO EN VIGAS CARRILERAS, CARTELAS Y COLUMNAS PARA AUMENTAR SU CAPACIDAD DE CARGA Y TRANSPORTE DE LOS PUENTES GRUA EN 250%, DE LA PLANTA PRINCIPAL DE ARMADO Y SOLDADURA DE SEDEMI S.C.C.

PRESENTADO POR:

HÉCTOR SEBASTIÁN NARANJO SILVA

**PROYECTO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

DIRECTOR: ING. CARLOS NARANJO

CODIRECTOR: ING. FRANCISCO PAZMIÑO

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2011

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO DE REFUERZOS EN VIGAS CARRILERAS, CARTELAS Y COLUMNAS, PARA AUMENTAR SU CAPACIDAD DE CARGA Y TRANSPORTE DE LOS PUENTES GRÚA EN 250%, DE LA PLANTA PRINCIPAL DE ARMADO Y SOLDADURA EN SEDEMI S.C.C.” fue realizado en su totalidad por Héctor Sebastián Naranjo Silva, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo nuestra supervisión y asesoramiento.

Ing. Carlos Naranjo

DIRECTOR

Ing. Francisco Pazmiño

CODIRECTOR

Sangolquí, Septiembre 2011

CERTIFICADO

A: Escuela Politécnica del Ejército

Carrera: Ingeniería Mecánica

Por medio de la presente certifico que el Señor: HECTOR SEBASTIAN NARANJO SILVA identificado con C.I. No. 171506144-4, termino el proyecto Titulado: "**Diseño de refuerzos en vigas carrileras, cartelas y columnas, para aumentar su capacidad de carga y transporte de los puentes grúa en 250%, de la planta principal de armado y soldadura en Sedemi S.C.C.**", una vez hecha toda la investigación y pruebas, la empresa recibió a conformidad esta obra.

Es todo cuanto puedo decir en honor a la verdad.

Dado en Sangolqui, a los veinte días de Agosto del dos mil once.

Atentamente,

Ing. Carlos Pérez
Coordinador de Producción

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO DE REFUERZOS EN VIGAS CARRILERAS, CARTELAS Y COLUMNAS, PARA AUMENTAR SU CAPACIDAD DE CARGA Y TRANSPORTE DE LOS PUENTES GRÚA EN 250%, DE LA PLANTA PRINCIPAL DE ARMADO Y SOLDADURA EN SEDEMI S.C.C.”

ELABORADO POR:

Héctor Sebastián Naranjo Silva

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Xavier Sánchez

Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica

Sangolquí, Septiembre 2011

DEDICATORIA

A mis padres, quienes a través de su ejemplo a lo largo de la vida me han llevado por el camino del trabajo y me han demostrado la bondad, respeto, y dedicación que debo tener por los demás.

A mis compañeros, quienes han sido ya amigos en esta carrera de aprendizaje que son parte fundamental en la forja de las personas que somos.

A mis tutores del proyecto quienes me ayudaron a realizar este texto e investigación, y al Ingeniero Carlos Pérez Coordinador de Producción de Sedemi S.C.C., quien supo encaminarme por el camino de la dedicación constante con una sonrisa y mano amiga.

Héctor Sebastián Naranjo Silva

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y en momentos de oscuridad darme su presencia para iluminarnos, pues quien tiene a Dios tiene todo en su vida.

Agradezco a mi familia, por permitirme transitar por los caminos de la vida con esperanza e ilusión, siendo mi guía a lo largo de esta lucha diaria.

Agradezco a la facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE y a cada uno de sus profesores por haber contribuido en la toma de conocimientos que me serán útiles para la vida profesional y personal.

Un profundo agradecimiento a Sedemi S.C.C., que en la persona del Ing. Carlos Pérez, ha confiado incondicionalmente, en mi capacidad para realizar este proyecto, y que de la misma forma me ha entregado desinteresadamente, una guía de conocimientos del mundo práctico profesional, guiando mis pasos en los objetivos varios a cumplir.

Agradezco al personal técnico profesional de Sedemi S.C.C., quienes han brindado su profesionalismo para la consecución de parte de este proyecto, y al personal de obreros quienes a diario me ayudaron en la construcción de mis metas.

Héctor Sebastián Naranjo Silva.

INDICE

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
INDICE DE CONTENIDOS	vii
INDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xii
INDICE DE FIGURAS	xiii
INDICE DE ANEXOS	xv
GLOSARIO DE SIMBOLOS	xvi
GLOSARIO DE TERMINOS	xix
RESUMEN	xxiii

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Definición del problema	6
1.4 Objetivos	7
1.4.1 General	7
1.4.2 Específicos	7
1.5 Justificación e importancia	8
1.6 Alcance	9

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD DE LA PLANTA DE SEDEMI S.C.C PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE ACERO DE LA NAVE DE ARMADOS Y SOLDADURA

2.1 Historia	10
--------------	----

2.2 Cambios sufridos	12
2.3 Visión hacia el futuro	13
2.3.1 Condiciones de trabajo para la instalación de nuevos puentes	16
2.3.1.1 Descripción general de las vigas carrileras, en el soporte de los nuevos puentes grúa	16
2.3.1.2 Descripción general de las columnas en el soporte de los nuevos puentes grúa	17
2.3.1.2.1 Columnas principales	17
2.3.1.2.2 Columnas secundarias	18
2.3.1.3 Descripción general de las cartelas, en el soporte de los nuevos puentes grúa	19
2.3.2 Análisis y evaluación estructural actual de la nave principal	19
2.4 El diseño estructural	21
2.4.1 Tipos de Estructuras Metálicas	22
2.4.2 Propiedades estructurales básicas	24
2.4.3 Cargas estructurales	24
CAPITULO 3	
MARCO TEÓRICO	25
3.1 Tipos de columnas	25
3.1.1 Columnas de celosía	25
3.1.2 Columnas de alma llena	26
3.2 Tipos de vigas estructurales	27
3.2.1 Vigas de celosía	27
3.2.2 Vigas de alma llena	27
3.3 Puentes grúa	28
3.3.1 Definiciones generales de un puente grúa	29
3.4 Tipos de puentes grúa	29
3.4.1 Monorriel	29

3.4.2	Riel doble	30
3.4.3	Suspendidos	31
3.5	Datos de las características de los puentes grúa	32
3.5.1	Partes de un puente grúa	32
3.5.2	Elementos de seguridad básicos para un puente grúa	34
3.6	Teoría aplicada a los puentes grúa en el transporte de material	34
3.6.1	Parámetros	34
CAPITULO 4		
NORMAS TÉCNICAS APLICADAS AL DISEÑO DE PUENTES GRÚA EN ESTRUCTURAS METÁLICAS		35
4.1.	Alcances	35
4.2.	Resumen de las especificaciones técnicas del proyecto	35
4.2.1.	Norma AISC 2005	36
4.2.2	Norma Chilena, NCh427	39
CAPITULO 5		
OPCIONES DE DISEÑO Y CÁLCULOS		41
5.1	Detalle actual de los puentes grúa, columnas y vigas carrileras	41
5.1.1	Cálculos	43
5.2	Opciones del reacondicionamiento de los puentes grúas en la empresa	53
5.2.1	Primera opción	53
5.2.2	Segunda opción	54
5.2.3	Tercera opción	55
5.3	Selección de mejor opción para la planta principal de Sedemi S.C.C	56
5.3.1	Cálculos de la mejor opción	58
5.3.2	Máxima carga que se puede trabajar	82

CAPITULO 6

SOLDADURA Y SECUENCIA DEL MONTAJE	83
6.1 Generalidades de los materiales de refuerzo	83
6.2 Secuencia de Montaje	84
6.3 Generalidades de soldadura	86
6.4 Diseño de soldadura en elementos de refuerzo	88
6.4.1 Soldadura en las columnas	89
6.4.2 Soldadura en las ménsulas	94
6.4.3 Soldadura en las vigas carrileras	95

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO	98
7.1 Análisis de costos	98
7.1.1 Costos directos	98
7.1.2 Costos indirectos	100
7.2 Costo total de implementación de equipos	101
7.3 Comparación de costos con el mejoramiento de la nave industrial	102

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
8.1 Conclusiones	104
8.2 Recomendaciones	105
BIBLIOGRAFIA	107
ANEXOS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Estándares de materiales internacionales según la AISC	38
Tabla 5.1 Deformaciones columnas	47
Tabla 5.2 Deformaciones vigas carrileras	48
Tabla 5.3 Matriz de Decisión	57
Tabla 5.4 Factor de seguridad sugeridos por la CCMA	59
Tabla 5.5 Fuerzas y espesores de cartelas según la norma EA - 95	66
Tabla 5.6 Máximos momentos, positivo y negativo del Sap 2000	71
Tabla 5.7 Máxima deformación para la viga de 10 [Ton] del Sap 2000	74
Tabla 5.8 Momentos críticos de las columnas del Sap 2000	75
Tabla 5.9 Propiedades de la sección transversal de las columnas	76
Tabla 5.10 Valores de K para los distintos tipo de columnas	77
Tabla 6.1 Tabla de tamaño mínimo para unir dos elementos estructurales	89
Tabla 6.2 Datos de material de aporte utilizado	92
Tabla 6.3 Valores de los esfuerzos en soldadura	92
Tabla 7.1 Materiales utilizados para refuerzos de columnas	98
Tabla 7.2 Materiales utilizados para refuerzos de vigas carrileras	99
Tabla 7.3 Materiales utilizados para refuerzos de cartelas	99
Tabla 7.4 Materiales utilizados para nuevos puentes grúas ver Anexo (J)	100
Tabla 7.5 Costo mano de obra y otros	101
Tabla 7.6 Costo preliminar del proyecto	101
Tabla 7.7 Costo de Ingeniería y diseño	102
Tabla 7.8 Costo Total del proyecto	102
Tabla 7.9 Parámetros para el cálculo del tiempo de retorno de la inversión	103

ÍNDICE DE ECUACIONES

5.1 Límite de deformación y rectilineidad de una columna	48
5.2 Límite de deformación y rectilineidad de una viga	49
5.3 Masa por unidad de longitud viga cajón del puente grúa	59
5.4 Carga muerta actuante	60
5.5 Carga de sismo con el puente grúa de 10 [Ton]	62
5.6 Carga de viento	62
5.7 Carga viva	63
5.8 Carga distribuida sobre las correas	64
5.9 Carga máxima muerta de las correas	64
5.10 Carga máxima muerta de las cerchas	65
5.11 Esfuerzo máximo en cartelas	66
5.12 Área mínima de contacto de fuerzas en la cartela	66
5.13 Relación esfuerzo máximo y esfuerzo máximo permisible	67
5.14 Fuerza máxima sobre los pernos	67
5.15 Momento de diseño máximo positivo	71
5.16 Combinación de momentos de positivo y negativo	71
5.17 Relación momentos flectores y flexiones combinadas	72
5.18 Momento flector eje x	72
5.19 Momento flector eje y	72
5.20 Relación momentos de diseño	72
5.21 Máxima flecha admisible	74
5.22 Relación máxima flecha y máxima flecha admisible en vigas	74
5.23 Carga máxima axial en columnas	75
5.24 Relación de esbeltez	76
5.25 Relación de radios de giro eje x o y	77
5.26 Relación de esbeltez análisis inelástico	78
5.27 Relación de esbeltez miembros solo a compresión	79
5.28 Esfuerzo permisible axialmente de la columna	79
5.29 Tensión de pandeo elástico de la columna	79
5.30 Tensión de pandeo por flexión de la columna	80
5.31 Carga de pandeo de la columna	80
5.32 Relación demanda capacidad	80
5.33 Relación esfuerzo flector permisible de compresión	80
5.34 Flexión para momentos dobles y simples en la columna	81
6.1 Relación de resistencia del cordón y del material base	89
6.2 Esfuerzo flector real del cordón	90
6.3 Resistencia a la tracción del cordón	90
6.4 Espesor efectivo de garganta	91
6.5 Resistencia general del cordón	92
6.6 Esfuerzo máximo del electrodo	93
6.7 Esfuerzo máximo del material base	93
6.8 Longitud mínima del cordón de soldadura	93
6.9 Área efectiva de soldadura	93
6.10 Longitud efectiva de soldadura	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Nave Principal. Vigas carrileras	3
Figura 1.2 Nave Principal. Vigas carrileras y Cartela	3
Figura 1.3 Columnas principales y secundarias	3
Figura 1.4 Puentes grúa actuales 5 toneladas	4
Figura 1.5 Puentes grúa actuales 5 toneladas	4
Figura 1.6 Puentes grúa actuales 5 toneladas (4 puentes)	4
Figura 1.7 Logo de Sedemi S.C.C.	6
Figura 1.8 Localización Sedemi S.C.C.	8
Figura 1.9 Logo empresarial con datos	9
Figura 2.1 Ubicación de Sedemi S.C.C.	11
Figura 2.2 Entrada principal, oficinas y planta principal inicios Sedemi S.C.C.	11
Figura 2.3 Planta principal y planta de abastecimientos Sedemi S.C.C.	12
Figura 2.4 Logo de Sedemi visión futura de sistemas integrados	14
Figura 2.5 Layout visión futura nuevo sistema de puentes grúa	15
Figura 2.6 Representación vigas carrileras	16
Figura 2.7 Diagrama configuración de columnas puente grúa	17
Figura 2.8 Diagrama de columnas puente grúa	18
Figura 2.9 Diagrama de cartelas	19
Figura 2.10 Diagrama de columnas afectadas por compresión	20
Figura 2.11 Diagrama de Flexión de la vigas	21
Figura 2.12 Representación estructuras de cascaron	22
Figura 2.13 Representación estructuras reticulares	23
Figura 2.14 Diagrama de estructura reticular Sedemi S.C.C.	23
Figura 3.1 Imagen de columna de celosía	25
Figura 3.2 Imagen de celosía simple en una columna	26
Figura 3.3 Imagen de celosía doble en una columna	26
Figura 3.4 Imagen de columna de lama llena	27
Figura 3.5 Imagen de viga de celosía	27
Figura 3.6 Imagen de celosía en un elemento	28
Figura 3.7 Imagen puente grúa en una empresa	28
Figura 3.8 Imagen puente grúa	29
Figura 3.9 Ejemplo puente grúa monorriel	30
Figura 3.10 Ejemplo puente grúa riel doble	31
Figura 3.11 Ejemplo puente grúa suspendido	31
Figura 3.12 Grafico partes puente grúa	33
Figura 3.13 Ilustración partes puente grúa	33
Figura 5.1 Imagen de viga tipo cajón puente grúa	41
Figura 5.2 Imagen de verificación deformación de viga	43
Figura 5.3 Imagen de verificación deformación de viga	44

Figura 5.4 Imagen de verificación deformación de viga	44
Figura 5.5 Imagen de verificación deformación de viga	44
Figura 5.6 Imagen de verificación deformación de columnas	45
Figura 5.7 Imagen de verificación deformación de columna	46
Figura 5.8 Imagen de verificación deformación de viga	46
Figura 5.9 Grafica valores deformaciones columnas	47
Figura 5.10 Grafica ajustada a valores de deformaciones columnas	47
Figura 5.11 Grafica valores deformaciones vigas carrileras	48
Figura 5.12 Grafica ajustada a valores de deformaciones vigas carrileras	49
Figura 5.13 Cargas resultantes de las ruedas del puente grúa 10 [Ton]	58
Figura 5.14 Esquema de refuerzos en cartelas para puente grúa 10 [Ton]	66
Figura 5.15 Figura de las ruedas del puente grúa de 10[Ton] en movimiento	68
Figura 5.16 Máxima carga simulación viga carrilera del puente grúa 10 [Ton]	69
Figura 5.17 Combinación máximas cargas simulación viga carrilera 10 [Ton]	69
Figura 5.18 Cargas resultantes en cada sección de la viga carrilera 10 [Ton]	69
Figura 5.19 Máximo momento positivo viga carrilera del puente grúa 10 [Ton]	70
Figura 5.20 Esquemas máximas fuerzas positivas viga carrilera	70
Figura 5.21 Máximo momento negativo viga carrilera puente grúa 10 [Ton]	70
Figura 5.22 Esquemas máximas fuerzas negativas viga carrilera	71
Figura 5.23 Dibujo columnas fuerza combinada	75
Figura 6.1 Soldadura Mig/Mag	88
Figura 6.2 Corte transversal de una soldadura	91

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Tabla de fuerzas de ruedas para puentes grúas monorrieles accionado mediante motor para cargas desde 3 hasta 100 [Ton].

Anexo B: Tabla de características Estilpanel, Panel Máster Ar 2000 - L, Galvalume E=0.40mm.

Anexo C: Tabla de características de las Correas G 100 x 50 x 15 x 3 en el mercado.

Anexo D: Tabla de características máximas de los pernos en cada cartela según el número de perforaciones por la Aisc pág. 1383.

Anexo E: Tabla de características de los ángulos de acero laminados en el mercado.

Anexo F: Figuras y corrida del Sap 2000 con deformaciones de máxima a mínima y designación de elementos en las vigas carrileras.

Anexo G: Corrida Sap 2000 para determinar momentos y escoger el momento máximo y momento mínimo en las columnas.

Anexo H: Corrida general de la estructura con refuerzos de Sap 2000.

Anexo I: Corrida Sap viga tipo cajón puente grúa 10 [Ton].

Anexo J: Layout de designación y numeración de vigas carrileras, columnas y cartelas.

Anexo K: Detalles puentes grúa de 10 [Ton] a instalarse con características de cada parte.

Anexo L: Proforma 659 - 2004, área cubierta y paredes de Sedemi S.C.C.

Anexo M: Detalle de pesos y cantidades de material en la estructura para su peso total.

Anexo O: Planos de refuerzos escogidos para vigas carrileras, cartelas y columnas de la nave principal de Sedemi S.C.C.

Anexo P: Planos y dimensiones generales de columnas, vigas carrileras, cartelas y estructura de Sedemi S.C.C.

GLOSARIO DE SIMBOLOS

Δ_{AD} : Deformación admisible en vigas carrileras [mm]

Δ_{max} : Deformación máxima en vigas carrileras [mm]

λ : Relación de esbeltez de un perfil

λ_1 : Relación de esbeltez de un perfil utilizando el radio máximo de giro

λ_2 : Relación de esbeltez de un perfil utilizando el radio mínimo de giro

λ_{cr} : Densidad lineal de masa de las correas [kg/m]

λ_{qc} : Densidad lineal de masa total de las correas [kg/m]

λ_T : Densidad lineal total de la viga carrilera [kg/m]

λ_{vc} : Densidad lineal de masa de la viga carrilera [kg/m]

τ : Esfuerzo máximo que puede tener la cartela [MPa]

σ_{ep} : Densidad superficial de masa del Estilpanel [kg/m²]

$\sigma_{granizo}$: Densidad superficial de masa del granizo [kg/m²]

ρ_{AC} : Densidad volumétrica de masa del acero [kg/m³]

ϕ : Diámetro de la rueda del puente grúa nuevo [m]

ρ_{AI} : Densidad volumétrica del aire en Quito [kg/m³]

A_{Est} : Área de cobertura del Estilpanel [m²]

A_g : Área transversal de la sección [m]

A_m : Área mínima donde puede existir la falla en la cartela [m²]

a_p : Mínima distancia de proyección de la ménsula donde primero puede fallar [m]

A_t : Área transversal [m^2]

C_c : Razón de esbeltez

C_D : Carga muerta [N]

C_{dPM} : Coeficiente de empuje para placas metálicas

C_L : Carga viva [N]

C_b : Coeficiente de flexión de las columnas

E : Modulo de elasticidad de acero = 80 [GPa]

F_{ac} : Fuerza máxima actual de los pernos en las cartelas [N]

F_c : Fuerza máxima que puede adoptar la cartela [N]

F_{CR} : Fuerza Crítica en las columnas [MPa]

$F_{r_{max}}$: Fuerza máxima de frenado de los nuevos puentes grúa [N]

$F_{m_{CTL}}$: Fuerza máxima admisible para la cartela [N]

I : Momento de inercia [m^4]

I_{x-x} : Inercia en el eje x-x de las columnas [m^4]

I_{y-y} : Inercia en el eje y-y de las columnas [m^4]

L : Longitud de elementos [m]

L_{na} : Longitud no arriostrada de la columna [m]

M_1 : Momento mínimo de las columnas [KN - m]

M_2 : Momento máximo de las columnas [KN - m]

M_{cr} : Masa total carga muerta correas [kg]

$M_{\max (+)}$: Momento máximo positivo de las vigas carrileras [N - m]

$M_{\max (-)}$: Momento máximo negativo de las vigas carrileras [N - m]

M_x o y : Momento de diseño de la viga carrilera en el eje x o y [N - m]

P_n : Fuerza de tensión de pandeo por flexión [KN]

P_{li10} : Fuerza máxima polipasto puente grúa 10 toneladas [N]

P_u : Carga axial máxima en las columnas [N]

r_1 y r_2 : Fuerza máxima otorgada por la reacción de frenado del puente grúa [N]

r : Radios de giro máximo o mínimo [m]

r_{x-x} : Radio de giro en el eje x-x [m]

r_{y-y} : Radio de giro en el eje y-y [m]

r_{\min} y r_{\max} : Radio de giro [m]

r_T : Radio de giro de la sección compacta [m]

S_x o y : Modulo resistente de sección en el eje x o y [m^3]

S_{x-x} : Modulo de sección x-x de las columnas [m^3]

S_{y-y} : Modulo de sección y-y de las columnas [m^3]

S_{nec} : Modulo resistente de sección necesario en el eje x o y [m^3]

t : Espesor asumido para la ménsula [m]

V : Velocidad del viento [km/h]

M_{pp} : Masa propia de la estructura [kg]

W_v : Carga de viento [N]

GLOSARIO DE TERMINOS:

Acción de pórtico – Continuidad transversal entre el tablero y las almas de una sección transversal de tipo celular o, en el caso de grandes puentes, entre el tablero y los componentes primarios.¹

Acero de refuerzo – Elemento de acero al carbón liso o corrugado fabricado especialmente para usarse como refuerzo para tomar principalmente esfuerzos de tensión.²

Análisis global – Análisis de una estructura considerada en su totalidad.³

Base de la estructura – Nivel al cual se considera que la acción sísmica actúa sobre la estructura.⁴

Carga – Efecto de una aceleración, incluyendo la aceleración de la gravedad, una deformación impuesta o un cambio de volumen.⁵

Carga nominal – Nivel de carga de diseño seleccionado arbitrariamente.⁶

Carga de servicio, de trabajo, o uso – Carga concentrada que se aplica en el nudo de una cercha.⁷

Carga distribuida – Carga que se aplica a toda la longitud de un elemento estructural o a una parte de éste. También llamada carga repartida.⁸

Carga límite – Producto entre la carga de trabajo y el coeficiente de seguridad que es igual a la carga del proyecto.⁹

Carga permanente – Fuerza que permanece constante una vez terminada la construcción, o bien aquellas que se suponen permanecen constantes.¹⁰

Carga puntual – Carga que actúa sobre un área muy pequeña o un punto muy concreto de una estructura. También llamada carga concentrada.¹¹

Carga viva – Carga externa movable sobre una estructura que incluye el peso de la misma junto con el mobiliario, equipamiento, personas, etc., que actúa verticalmente.¹²

1. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 6.

2. ASCE 2007 – 05: Mínimas designaciones para cargas en edificios y estructuras de acero, U.S.A., p. 30.

3. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 6.

4. CPE INEN 5: Código de Práctica Ecuatoriano de la Construcción Requisitos Generales de la Construcción, Quito – Ecuador, p. 10.

5. IBC 2006: Código Internacional de la Construcción, Primer Edición, U.S.A., p. 292.

6. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 3, Buenos Aires – Argentina, p. 7.

7. AISC 2005: Instituto Americano de Construcción en Acero, Treceava Edición, U.S.A., p. 56.

8. ASCE 2007 – 05: Mínimas designaciones para cargas en edificios y estructuras de acero, U.S.A., p. 30.

9. IBC 2006: Código Internacional de la Construcción, Primer Edición, U.S.A., p. 292.

10. AISC 2005: Instituto Americano de Construcción en Acero, Treceava Edición, U.S.A., p. 56.

11. MCCORMAC, Jack C: Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD, Segunda Edición, México, p. 59.

12. IBC 2006: Código Internacional de la Construcción, Primer Edición, U.S.A., p. 292.

Cartela – Es la plancha que se coloca en las conexiones de las celosías para unir sus miembros o miembro en compresión o arriostramientos a una viga o columnas. En nuestro caso la cartela es la unión entre las vigas carrileras asentada en las columnas.¹³

Colapso – Cambio significativo de la geometría del puente que hace que éste ya no sea apto para su uso.¹⁴

Columna – Elemento estructural vertical empleado para sostener la carga de la edificación, utilizado para distribuir espacios al tiempo que cumple con la función de soportar el peso de la construcción; es un elemento fundamental en el esquema de una estructura.¹⁵

Deformación – Cambio de la geometría de la estructura provocado por las solicitaciones, incluyendo el desplazamiento axial, desplazamiento por corte y rotaciones.¹⁶

Degradación – Descenso general y progresivo del perfil longitudinal del lecho de un cauce como resultado de la erosión a largo plazo.¹⁷

Descarga de Diseño – Máximo flujo de agua que el puente puede acomodar sin superar las limitaciones de diseño adoptadas.¹⁸

Descompresión – Etapa en la cual las tensiones de compresión, inducidas por el pretensado, son superadas por las tensiones de tracción.¹⁹

Diseño – Dimensionamiento y detallado de los elementos y conexiones de un puente grua.²⁰

Ductilidad – Propiedad de un elemento o conexión que permite una respuesta inelástica.²¹

Efectos P- Δ – Son los efectos secundarios que afectan a las fuerzas cortantes y axiales, y a los momentos flectores, cuando se aplican cargas verticales que actúan en pórticos deformados lateralmente.²²

Elástico – Comportamiento de un material estructural caracterizado por una relación tensión-deformación constante; al retirar las cargas el material regresa a su condición no cargada original.²³

13. AISC 2005: Instituto Americano de Construcción en Acero, **Treceava Edición**, U.S.A., p. 57.

14. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 4.

15. AISC 2005: Instituto Americano de Construcción en Acero, **Treceava Edición**, U.S.A., p. 58.

16. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 7.

17. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 2, Buenos Aires – Argentina, p. 3.

18. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 2, Buenos Aires – Argentina, p. 3.

19. MELI, Roberto: Manual de Diseño de estructuras metálicas, Segunda edición, p.100.

20. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 4.

21. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 4.

22. CPE INEN 5: Código de Practica Ecuatoriano de la Construcción Requisitos Generales de la Construcción, Quito – Ecuador, p. 10.

23. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 7.

Elemento – Elemento discreto o combinación de elementos del puente que requiere una consideración de diseño individual.²⁴

Estado límite – Condición más allá de la cual el puente o elemento deja de satisfacer los requisitos para los cuales fue diseñado.²⁵

Estructura – Conjunto de elementos ensamblados para resistir cargas verticales y sísmicas. Las estructuras pueden clasificarse en estructuras de edificación y otras estructuras distintas a las de edificación.²⁶

Factor de carga – Factor que considera fundamentalmente la variabilidad de las cargas, la falta de exactitud de los análisis y la probabilidad de la ocurrencia simultánea de diferentes cargas, pero que también se relaciona con aspectos estadísticos de la resistencia a través del proceso de calibración.²⁷

Factor de seguridad – Factor que se toma en cuenta las desviaciones entre la resistencia real y la resistencia teórica, las desviaciones entre carga real y la carga nominal, y las incertidumbres del análisis en la transformación de las cargas en solicitaciones, y del modo de falla y sus consecuencias.²⁸

Grado de libertad – Una de las diversas traslaciones o rotaciones requeridas para definir el movimiento de un nodo. La forma desplazada de los componentes y/o de la totalidad de la estructura se puede definir mediante un número de grados de libertad.²⁹

Inelástico – Cualquier comportamiento estructural en el cual la relación tensión-deformación no es constante, y parte de la deformación permanece luego de retirar las cargas.³⁰

Ley de momentos – Sumatoria estática de los momentos respecto de un punto que permite calcular la reacción en un segundo punto.³¹

Muro de cortante – Es el diafragma o pared diseñada para resistir fuerzas sísmicas en su propio plano.³²

Modelo – Idealización de una estructura a los fines del análisis.³³

24. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 4.

25. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 4.

26. CPE INEN 5: Código de Practica Ecuatoriano de la Construcción Requisitos Generales de la Construcción, Quito – Ecuador, p. 10.

27. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 4.

28. AISC 2005: Instituto Americano de Construcción en Acero, Treceava Edición, U.S.A., p. 63.

29. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 7.

30. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 7.

31. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 3, Buenos Aires – Argentina, p. 8.

32. CPE INEN 5: Código de Practica Ecuatoriano de la Construcción Requisitos Generales de la Construcción, Quito – Ecuador, p. 10.

33. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 4.

Nodo – Punto donde se encuentran elementos finitos o componentes de una grilla; en el contexto del método de las diferencias finitas, punto donde se satisfacen las ecuaciones diferenciales determinantes.³⁴

Nudo – Punto donde se encuentran los ejes de los elementos, generalmente en puentes de cercha, arco, atirantados y suspendidos.³⁵

Respuesta no lineal – Comportamiento estructural en el cual las deformaciones no son directamente proporcionales a las cargas debido a la existencia de tensiones en el rango inelástico, deformaciones que modifican significativamente las solicitaciones, o una combinación de ambas.³⁶

Rigidez – Solicitación debida a una deformación unitaria.³⁷

Separación entre vigas – Distancia entre centro y centro de las líneas de apoyo.³⁸

Solicitación – Deformación, tensión o esfuerzo resultante, es decir fuerza axial, esfuerzo de corte, momento torsor o flector, provocado por las cargas aplicadas, deformaciones impuestas o cambios volumétricos.³⁹

Sujetadores – Sistema de cables o varillas de alta resistencia que transfiere fuerzas entre elementos de la estructura o entre la estructura bajo cargas sísmicas u otras cargas dinámicas luego de contrarrestar un relajamiento inicial, a la vez que permite movimientos de origen térmico.⁴⁰

Submodelo – Parte constitutiva del modelo estructural global.⁴¹

Tonelada - Unidad de masa o capacidad, que nos sirve para representar una equivalencia igual a 1000 [Kg] o 1 [Mg], anteriormente llamada tonelada métrica.⁴²

Unión articulada – Conexión puntual entre elementos por medio de un pasador ideal sin fricción.⁴³

Viga equivalente – Viga individual recta o curva que resiste tanto flexión como torsión.⁴⁴

34. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 8.

35. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 8.

36. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 9.

37. AISC 2005: Instituto Americano de Construcción en Acero, **Treceava Edición**, U.S.A., p. 70.

38. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 4.

39. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 1, Buenos Aires – Argentina, p. 5.

40. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 3, Buenos Aires – Argentina, p. 9.

41. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 9.

42. COPYRIGHT, Tonelada, en <http://www.disfrutalasmaticas.com/definiciones/tonelada.html>, Junio 2011.

43. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 9.

44. AASHTO: Diseño de puentes por el método LRFD, Sección 4, Buenos Aires – Argentina, p. 9.

RESUMEN

En la industria metalmeccánica en la elaboración de productos armados de acero, y especialmente en la fabricación de estructuras metálicas para edificaciones o naves industriales, existe una notable dificultad al transportar grandes pesos dentro de la planta.

Para garantizar la seguridad del transporte, la capacidad de los puentes grúa en el desplazamiento de los elementos debe ser la necesaria, así los operarios quienes son los encargados de realizar esta labor no expondrán su integridad física en elementos demasiado pesados.

La empresa Sedemi S.C.C debido a su crecimiento industrial desea incrementar su capacidad de carga de 20 [Ton] a 50 [Ton] de transporte total dentro de la planta, para satisfacer las necesidades y requerimientos de elementos más grandes, que sus clientes solicitan.

El presente proyecto está enfocado en el rediseño de la planta principal de armado y soldadura de la empresa Sedemi S.C.C., a fin de que su estructura pueda soportar puentes grúa de mayor capacidad, para esto se ha realizado el rediseño de la nave, basado en la utilización del cálculo estructural, paquetes informáticos como el Sap 2000, y normas nacionales como el CPE e internacionales como la AWS, AISC, etc., con lo cual se genero los refuerzos y partes, para 12 vigas carrileras, 12 columnas y 16 cartelas, asumiendo un cambio total de 4 puentes grúa de cinco toneladas a 6 puentes grúa, de los cuales 4 son de diez de toneladas y 2 de cinco, incrementando todo el sistema en un 250% dentro de la nave principal.

Para el rediseño se verifico el estado físico e historial de cargas de la estructura, y se finalizó presentando los planos de refuerzo, cuyo costo total asciende a \$149000. Los materiales utilizados en el rediseño representan una carga adicional de 3.7 [Ton] en la estructura actual.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Para la mente humana, todo aquello que existe posee una estructura; para los sentidos, todo lo perceptible tiene forma. Estructura y forma son productos de la constante comunicación entre el ser y el universo; son información y conocimientos particulares de los componentes, relaciones, contornos, masa, proporción y cualidades de los cuerpos existentes; son el ordenamiento mental y material de elementos significativos dentro de la experiencia humana.

Normalmente las empresas se sienten insatisfechas en cuanto, a qué tipo de sistema de manejo de carga responderá eficientemente sus necesidades. Es de suma importancia entender los tipos de sistemas de elevación y carga disponibles en la empresa industrial, puesto que al comienzo del proceso de elección de transporte de materiales en cada planta, se obtendrá la optimización de recursos que permitiría ahorrar cantidades significantes de dinero en el futuro, sin mencionar el valor agregado a la seguridad industrial de las diferentes operaciones.

Se contemplan ciertas características y se plantean ciertas incógnitas, cuando algún tipo de empresa está considerando la compra de un sistema de elevación de carga en su planta, el factor decisivo es la capacidad de elevación, la altura de la elevación y el área de cobertura del gancho. Sin embargo, se debe tener en cuenta y responder a las posibles inquietudes:

- ¿Para qué necesito el sistema de puentes grúa? ¿Por ejemplo, será utilizado para mover herramientas costosas desde y hacia maquinas de moldes ó para carga y descarga general?
- ¿Cómo puede un puente grúa mejorar la seguridad con la que levanto las cargas?
- ¿Cómo puede un puente grúa mejorar la seguridad de mis trabajadores en la manipulación de las cargas?
- ¿Con que frecuencia será utilizado el puente grúa en cada turno de trabajo?

- ¿Cómo tendrá que moverse y localizarse la carga?
- ¿Qué tan pesadas son las cargas que se levantarán, qué capacidad debería adaptar el puente grúa?
- ¿Cuánto dinero debo invertir en el sistema para que la estructura soporte un puente grúa?

Al momento que se analizan estas preguntas se recomienda siempre pensar a largo plazo y estar seguro de las necesidades de la empresa, y la toma de decisión sea la más acertada.

La diferencia puede ser simple, al momento de elegir el sistema de elevación y manejo de carga tradicional de bajo costo y hacer una inversión en un sistema que efectivamente mejore las operaciones, aumente la seguridad, eficiencia de los trabajadores, y la calidad de la producción.

Se está consciente que cada proyecto tiene un presupuesto y muchas veces en un intento por controlar los gastos, los clientes optan por grúas o puentes grúa inadecuados, lo que resulta perjudicial al sistema de carga y en un futuro genera pérdida económica.

Es de vital importancia comenzar con una correcta evaluación de las necesidades antes de seleccionar un puente grúa para cada fábrica, ya que la planificación es la base fundamental para que un proyecto tenga éxito.

1.2 ANTECEDENTES

Los problemas actuales en la empresa, paulatinamente se han identificado en el área de producción es notoria la dificultad en el traslado de ciertos productos armados y pedidos de gran masa, es así que se procedió a realizar la investigación de las posibles soluciones para el desarrollo de un diseño prudencial para este caso, y se basa en el rediseño del sistema de transporte de material dentro de la nave, aumentando la capacidad de los puentes grúa.

A continuación se detalla la ilustración de las fotografías de la nave principal, con los respectivos elementos que están sujetos al proyecto:



Vigas

Figura 1.1 Foto Nave Principal. Vigas carrileras



Vigas

Cartela

Figura 1.2 Nave Principal. Vigas carrileras y Cartela



Columnas Principales

Columnas Secundarias

Figura 1.3 Columnas principales y secundarias



Figura 1.4 Puente grúa actual 5 toneladas



Figura 1.5. Puentes grúa actuales 5 toneladas



Figura 1.6 Puentes grúa actuales 5 toneladas (4 puentes)

Según la empresa Sedemi S.C.C., con la finalidad de salvaguardar la integridad de sus operarios, ha encontrado la necesidad de modernizar el sistema actual de transporte en el proceso de armado y soldadura, con el propósito de evitar el menor contacto de los operarios con los productos, ya que evidentemente son peligrosos, puesto que se encuentran a altas temperaturas por la soldadura o por corte, además tienen filos expuestos, y la manipulación permanente de estas puede ocasionar lesiones, o por el esfuerzo de la maquina pierde continuamente la función.

El sistema actual de transporte interrumpe los tiempos del proceso, en trabajos de más de 5 [Ton], por efecto existe una gran probabilidad de error al exigir mayor carga en la relación entre los operarios y los procesos, para formar piezas en el área de armado y soldadura, dando mayor complejidad.

Los motivos ya expuestos anteriormente son la principal razón que la empresa Sedemi S.C.C., ha decidido realizar el presente proyecto, de estudio e investigación que consiste en el diseño del reforzamiento de vigas carrileras, cartelas y columnas para la planta principal de armado y soldadura de la empresa Sedemi S.C.C, para de esta forma aumentar su capacidad de carga.

El proyecto del reforzamiento de las vigas carrileras, cartelas y de las columnas en la empresa Sedemi S.C.C., surge como un crecimiento y adaptación de nuevos puentes grúas para el traslado de material, la oficina de ingeniería hace el pedido a producción para contar con la realización del proceso de mejora en la estructura actual de la empresa, generando un cambio a las características de capacidad de traslados de materiales. Con el objetivo de eliminar la dependencia en el servicio de transporte de montacargas auxiliares cuando existen pesos superiores a la carga actual que soportan los puentes grúa instalados o para dejar de utilizar dos puentes grúa en una misma carga.

Cabe destacar que en el inicio de esta investigación, se ha comprobado que existen muchos otros sectores industriales necesitados que carecen de un estudio que les ayude a un crecimiento estructural.

La empresa Sedemi S.C.C es el punto de apertura al estudio del rediseño del transporte de pesos, generando que este proyecto beneficie al sector industrial y a la economía ecuatoriana.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El traslado actual de materiales que tiene Sedemi S.C.C. es ineficiente en cuanto a su capacidad. Los operarios son los encargados de realizarlo, exponiéndose a varios riesgos, por falta de equipos adecuados, que se utilizan en el traslado de ciertas piezas que superan la capacidad actual expuesta, esta es la principal razón por la que la empresa decide realizar un estudio de diseño del sistema de refuerzos en la nave principal para aumentar la capacidad de los puentes grúa y su número total, es así el motivo de satisfacer la necesidad de trasladar grandes elementos que se someten a procesos de manufactura.

La empresa Sedemi S.C.C, ha puesto en marcha el proyecto para cambiar los puentes grúas existentes con capacidad total de 20 [Ton] a 50 [Ton], todo esto, con el paso de 4 puentes grúa a 6 puentes grúa, con un cálculo estructural pertinente de reforzamiento de columnas, cartelas y vigas carrileras.

Este proyecto en ejecución, tiene por objetivo establecer el conocimiento inmerso dentro del proceso de diseño del reforzamiento de la estructura de un sistema de puentes grúa con visión a la empresa Sedemi S.C.C, como toda empresa productiva lleva a cabo un proyecto de extensión de la planta donde interviene el pre cálculo de la estructura actual de la nave principal para el cambio de los puentes grúa a mayor capacidad, y poder reducir los costos de la generación de una nueva nave principal, los cuales actualmente son tremendamente altos, se manifiesta que con la extensión de la nave principal se cambia a un largo total de 69595 [mm] de 48450 [mm] y con una puerta de entrada de 24000 [mm], como efecto no se podría generar otra nave industrial para cambiar el sistema de los puentes grúa.



Figura 1.7 Logo de Sedemi S.C.C.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

Diseñar elementos de reforzamiento de las vigas carrileras, cartelas y columnas, para aumentar su capacidad de carga y transporte en 250%, en la planta principal de armado y soldadura de la empresa Sedemi S.C.C.

1.4.2 ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos que procura alcanzar el proyecto son:

- Identificación primaria de las necesidades internas de la empresa “Sedemi S.C.C.” para la obtención de unos puentes grúas de mayor capacidad que los existentes.
- Describir y estudiar las características del sistema de la nave principal de armado y soldadura para la modificación de los puentes grúa con una de las diferentes alternativas.
- Planear el proyecto de la mejora de las vigas carrileras, cartelas y de las columnas, mediante un estudio de los tipos existentes y las cargas que soportan.
- Observar la colocación exacta de los puentes grúas y la demanda de carga de cada uno de los mismos analizando el flujo de producción que tiene la empresa, con los respectivos puentes grúa seleccionados.
- Realizar un cálculo de los tipos de carga que se van a producir con los respectivos factores de seguridad y consideraciones de las normas que se denotan en los siguientes capítulos.
- Establecer la mejor opción para la empresa de Sedemi S.C.C, basada en costos y funcionalidad para el nuevo tonelaje de capacidad que se utilizara.
- Diseñar y mejorar el nuevo sistema de carga en el área de los puentes grúa en la nave principal de armado y soldadura de la empresa Sedemi S.C.C. para una eficiente y eficaz funcionalidad visión de futuro en su crecimiento.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El diseño de los refuerzos de la nave principal para aumentar su capacidad de transporte de materiales, disminuirá los tiempos de carga y movilidad, aumentara el tiempo de volumen de despacho de ciertos pedidos, y generara que la mano de obra que se encarga de ayudar al trasporte de materiales en la actualidad, pueda ser utilizada para realizar otro tipo de trabajo en la empresa, ya que el sistema de transporte en masas grandes para el cual no está destinado los actuales puentes grúa, hacen que se requiera de más de un operario o de más de un puente grúa, o hasta del montacargas.

A nivel industrial se utiliza ampliamente el puente grúa y sistemas de los mismos, el cual es un equipo que permite levantar y trasladar cualquier material o equipo con gran facilidad, es un aparato de elevación apoyado sobre dos carriles elevados por columnas, dispuestos sobre una estructura resistente.

Aquí entra el trabajo del reforzamiento en las vigas carrileras, columnas y cartelas, y, será diseñar de acuerdo a los requerimientos de la empresa lo que será económicamente rentable, que generar una nueva planta principal, o importar maquinaria de alto costo para adecuarla.



Figura 1.8 Localización Sedemi S.C.C.

El crecimiento de la empresa de Sedemi S.C.C., y la adquisición de nuevos puentes grúas con mayor tonelaje en la capacidad, ya involucra un gasto extremadamente alto, inhabilitando la posibilidad de hacer una nueva nave industrial, requiriendo su rediseño en las vigas carrileras, cartelas y columnas.

El proyecto por tanto, es de vital importancia como sustento a la idea de traer desarrollo, crecimiento y progreso a la empresa Sedemi S.C.C., en los diferentes procesos de traslado de pedidos, para la generación de comodidad y mejores condiciones de trabajo.

Finalmente cabe recalcar que los reforzamientos de la nave principal de armado y soldadura de Sedemi S.C.C., se ejecutara en el Ecuador y tendrá una reducción en costos de forma significativa, y acota que el nivel tecnológico de vanguardia de una empresa es un respaldo de garantía en los productos que ofrece al mercado de consumidores, dando una ventaja competitiva.

1.6 ALCANCE

Realizar el diseño del reforzamiento de vigas carrileras y columnas para la planta principal de armado y soldadura de la empresa Sedemi S.C.C, para aumentar la capacidad de carga, con los respectivos planos, especificaciones de materiales a utilizar, costos de estudio; y con la selección de un software apropiado, en los tiempos y especificaciones determinadas en el proyecto.



Figura 1.9 Logo empresarial con datos

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD DE LA PLANTA DE SEDEMI S.C.C. PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE ACERO DE LA NAVE DE ARMADOS Y SOLDADURA

En este capítulo, se enfocara brevemente los trabajos ejecutados a lo largo de la empresa, en la nave principal, para asegurar el correcto planteamiento de la visión a futuro que tiene la empresa, además se delinearán los parámetros a dimensionarse, en los siguientes capítulos para el cambio de la estructura actual.

2.1 HISTORIA

Sedemi S.C.C. es una empresa Ecuatoriana que inició sus actividades en 1983, como Servicios de Mecánica Industrial en un pequeño taller en Sangolquí, con el esfuerzo del señor Rafael Proaño, gracias al incremento del área de Ingeniería, en 1990 comienza a brindar sus servicios al sector eléctrico con la fabricación de torres y herrajes eléctricos.

En 1995, el mercado Ecuatoriano sufre un déficit de generar energía eléctrica por la falta de inversión, planificación, estabilidad en los distintos gobiernos y administraciones de las empresas encargadas, por lo que Rafael Proaño entabla contratos con TransElectric agrandando sus ingresos y pensando en contratos amplios.

En 1999 se constituye legalmente como Sedemi S.C.C. (Servicios de Mecánica Industrial, Diseño, Construcción y Montajes), para atender con responsabilidad los requerimientos de las industrias Eléctrica, Petrolera, Telecomunicación y Construcción.

La situación del país cambia a diario, y se incentiva la inversión privada para proyectos de generación y transmisión eléctrica, en Agosto del 2005 se crea Sedemi construcciones electromecánicas, con el propósito de ser parte en la implementación y funcionamiento de los proyectos de generación ya planificados desde años anteriores.

Ante las exigencias y el firme compromiso por satisfacer las necesidades de los clientes, se hizo necesaria la expansión de las instalaciones. La nueva planta ubicada en la zona industrial de

Sangolquí cuenta con 3000 [m²] de construcción, implantada en un terreno de 10000 [m²] y una capacidad de producción de 200 [ton/mes], con aproximadamente 3 [ton/diaria] por cada unidad operativa, donde los procesos de mecanizado y soldadura son primordiales.

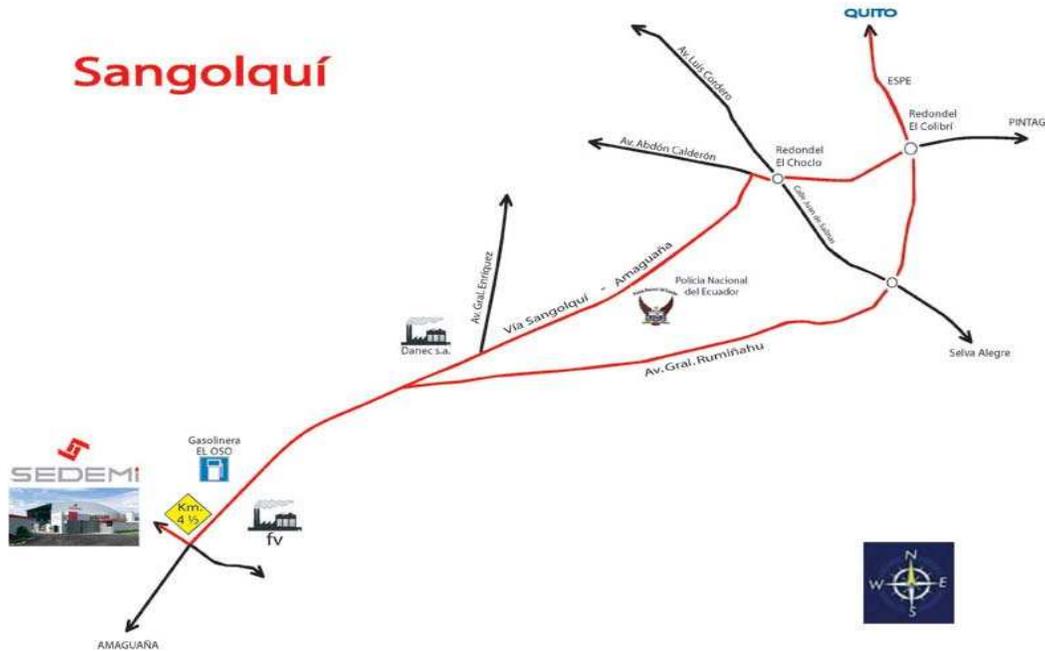


Figura 2.1 Ubicación de Sedemi S.C.C.

Al momento la empresa cuenta con tres naves industriales: Planta Principal de Fabricaciones Metálicas Armado y Soldadura, Planta de Abastecimiento y Planta de Galvanizado, todas de alto riesgo, lo que conlleva a tener las debidas precauciones en cada punto de cualquiera de las plantas, porque se encuentran expuestos a la conjunción de factores de riesgo que pueden provocar accidentes, lo que en la actualidad la empresa maneja un equipo conjunto de seguridad orientada a la seguridad industrial.



Figura 2.2 Entrada principal, oficinas y planta principal inicios Sedemi S.C.C.

2.2 CAMBIOS SUFRIDOS

La Misión empresarial es: “Ser una empresa especializada en construcciones metálicas que da valor a sus productos y servicios, respaldada en un sistema de calidad, experiencia, y capacidad de producción, que garantice la competitividad de la empresa aumentando la confianza de los clientes, empleados, accionistas y la comunidad”.

Con fundamento descrito por la propia gerencia de la empresa la nueva Sedemi S.C.C., con sus nuevas instalaciones ya hace seis años empezó a cambiar de manera gradual y rápida con el campo de acción en construcciones metálicas dando así cambios tales que desde el 2005 cuando genero sus nuevas instalaciones empezó solo con las oficinas y Nave Principal, luego para el año del 2006 en el mes de marzo genero la segunda nave para abastecer la nave principal llamada Nave de Abastecimiento y en el 2006 en noviembre formo su tercera Nave de Galvanizado, dando al mercado Ecuatoriano un nuevo entorno en el área de este recubrimiento térmico a sus trabajos.



Figura 2.3. Planta principal y planta de abastecimientos Sedemi S.C.C.

Hoy la empresa Sedemi S.C.C., ha ido evolucionado convirtiéndose en una empresa moderna y eficiente a través de sus tres unidades operativas que son:

1. Planta de Fabricaciones Metálicas
2. Montajes Electromecánicos; y
3. Construcciones Civiles

Los productos han llegado a dar un ámbito de construcciones metálicas muy amplio abarcando construcciones y montajes como:

- Torres de transmisión para líneas de alta, media y baja tensión.
- Pórticos y soportes para subestaciones eléctricas.
- Torres auto soportadas y atirantadas para telecomunicaciones.
- Torres y Postes para iluminación de estadios y aeropuertos.
- Edificios, Generación, Transformación, Bodegas, etc.
- Soportes para tubería, Pipe-Rack, plataformas para equipos y ductos.
- Rejillas Industriales - Grating, Pernos de anclaje, Abrazaderas y Compuertas.
- Tanques, Skids, Puentes grúa, Estanterías modulares, etc.
- Líneas de transmisión de alta, media y baja tensión.
- Subestaciones eléctricas, Shellters, galpones y naves industriales.
- Puentes grúa, soportes, columnas y vigas especiales.
- Construcciones de celosía y remodelaciones de plantas industriales.

Las actividades de la empresa Sedemi S.C.C. involucra todas las etapas, desde ingeniería y construcción de las obras civiles y estructurales, hasta la selección, prueba, instalación y puesta en servicio de equipos, trabajos de mantenimiento eléctrico, etc.

En la actualidad y para futuro la filosofía de Sedemi S.C.C. de calidad ha hecho que se especialice en la investigación y desarrollo de tecnología aplicable al diseño, suministro, construcción y montaje de todo tipo de estructura metálica: liviana o pesada, apernada o soldada, galvanizada o pintada. Alcanzando altos niveles de satisfacción a través de una calidad superior, precios y tiempos de entrega convenientes.

2.3 VISIÓN HACIA EL FUTURO

La visión de Sedemi S.C.C., es consolidarse en el ámbito del mercado Ecuatoriano con proyección internacional, como una empresa líder en servicios electromecánicos globales, que ha encaminado a generar procesos de crecimiento y extensión de sus procesos como una nueva nave industrial de pintado y el cambio del sistema de los nuevos puentes grúa en la nave principal de armado y soldadura, tema de la presente tesis, todo esto, enfocado a que la empresa aumente la capacidad competitiva en los sectores eléctrico, petrolero y empresariales, empezando a ser una

empresa líder en el estudio, diseño, suministro y construcciones metálicas, respaldados en un sistema de calidad, experiencia, puntualidad y capacidad de producción, que garantice la competitividad de dicha empresa.

La empresa Sedemi S.C.C., con responsabilidad de su exigido trabajo diario, ha puesto en marcha un rediseño de su nave principal de armado y soldadura, incorporando más puentes grúa de mayor capacidad, dirigido a un repunte en el traslado de pesos superiores a 5 toneladas, en la actualidad se encuentran trabajando en la nave principal con cada puente grúa, para esto se ha provisto de varias actividades como: el análisis actual de la estructura y el informe de viabilidad del proyecto, antes de las nuevas instalaciones.

La disposición de la planta en la actualidad esta generada de una manera en que la planta principal está dividida en dos lados iguales izquierdo – derecho, cada lado en dos más por lo que la planta está dispuesta de cuatro puentes grúa en un sector establecido, para este nuevo tiempo de rediseño, se alargado la parte trasera de la nave principal con una nueva infraestructura que se acopla en las vigas carrileras en la misma altura, para así pasar de cuatro puentes grúa de cinco toneladas cada uno a seis puentes grúa, cuatro de diez toneladas y dos de cinco toneladas, dispuesto todo el sistema en tres puentes grúa en cada lado izquierdo y derecho, donde se genera el cambio total de la estructura actual para su reforzamiento eh incluye los cambios primarios que serán, las columnas, vigas carrileras y cartelas.



Figura 2.4 Logo de Sedemi visión futura de sistemas integrados

Figura 2.5 Layout visión futura nuevo sistema de puentes grúa

2.3.1 CONDICIONES DE TRABAJO PARA LA INSTALACIÓN DE NUEVOS PUENTES GRÚA

Las condiciones, para plantear los nuevos diseños y hallar la forma de resolver el presente proyecto en la construcción de los reforzamientos, se basa en un planteamiento básico de seguridad integrada, una máquina en el caso de los sistemas de puentes grúa nuevos a instalar se deben concebir desde el principio con todos sus dispositivos.

Las condiciones de trabajo siempre serán diferentes en cada empresa, pero las especificaciones para el diseño estructural y requisitos prácticos van orientados a resultados conservadores, en este caso, la estructura de acero se verifica las tensiones producidas por las cargas actuales de los puente grúa generadas por las cargas de servicio en un régimen establecido sometiendo los criterios a las normas.

La ubicación y horas de uso de los puentes grúa son determinados por las exigencias actuales de trabajo, que no siempre son las mismas por los diferentes pedidos que existen en diversas etapas del año, pero los puentes grúa se ubican generalmente en el centro de cada sección de la nave industrial en la parte superior.

2.3.1.1 Descripción general de las vigas carrileras, en el soporte de los nuevos puentes grúa

Las vigas actuales se dividen en segmentos con celosía, cada una con tramos de unión, el armado de las mismas hacen un total de 15 puntos en cada viga carrilera de unión, formando secciones en forma de triángulos, y la estructura consta de un total de 12 vigas carrileras.

La viga carrilera está conformada por ángulos soldados, que en su interior son celosía que ayuda a su refuerzo, con una longitud total de 15980[mm]. Los ángulos de la estructura en la actualidad son L100x6 en sus bases, y, en la celosía están hechos por ángulos L50x3 en su interior.

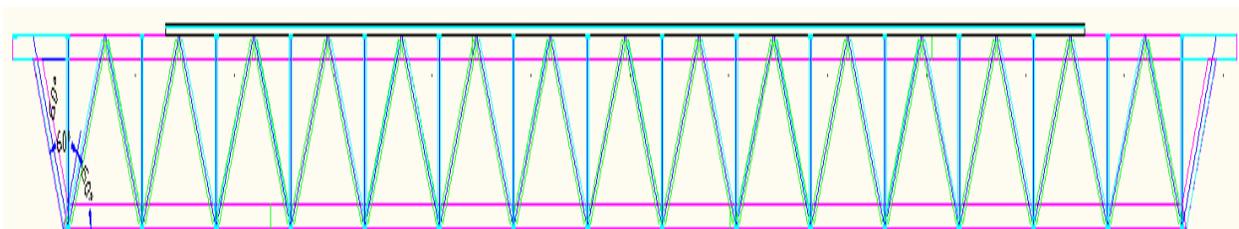


Figura 2.6 Representación vigas carrileras

2.3.1.2 Descripción de las columnas en el soporte de los nuevos puentes grúa

Las columnas están divididas en varios soportes y sustentan toda la estructura, divididas en columnas principales y columnas secundarias, por la forma de la nave industrial ya que existen columnas más grandes que otras, relacionada con la forma.

Las dimensiones de las columnas y la configuración de la armadura son seleccionadas por el diseñador cuando se formo la nave principal y fue elegida con las dimensiones y cantidad de armadura adecuadas. A medida que los parámetros de carga aumentan, con el tiempo las necesidades son otras, y es necesario aumentar la resistencia.

La elección del tamaño de los refuerzos de las columnas y su armadura de igual manera debe satisfacer requisitos arquitectónicos y posiblemente otros tipos. La configuración general de las columnas permite que no sufran de muchas cargas y su especificación de diseño da una selección de cargas moderadas, como se ve en la figura 2.7 siguiente:

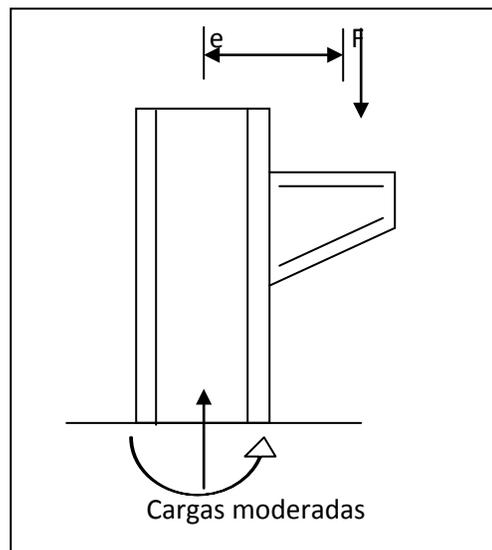


Figura 2.7 Diagrama configuración de columnas puente grúa

2.3.1.2.1 Columnas principales

Las columnas principales son las más largas y son seis en total, su longitud es de 13600[mm] están formadas por tramos de celosía y en su punta tienen un encogimiento para poder estar empernadas a los refuerzos laterales. Los ángulos principales en la actualidad son L76x6 y los que forman la celosía son ángulos L40x3.

2.3.1.2.2 Columnas secundarias

Las columnas secundarias son las más pequeñas, constituyen las bases exteriores de la estructura, se disponen de seis columnas y están hechas de ángulos que forman una celosía interior, su longitud total es de 10600[mm]. Los ángulos principales en la actualidad son L76x6 y los que forman la celosía son ángulos L40x3.

Las uniones entre las cartelas, vigas carrileras y las columnas se encuentran a una altura desde el piso de 8614[mm], es allí donde se realizan las uniones entre los tres elementos en ciertos lados, y es donde están tendidas las vigas carrileras.

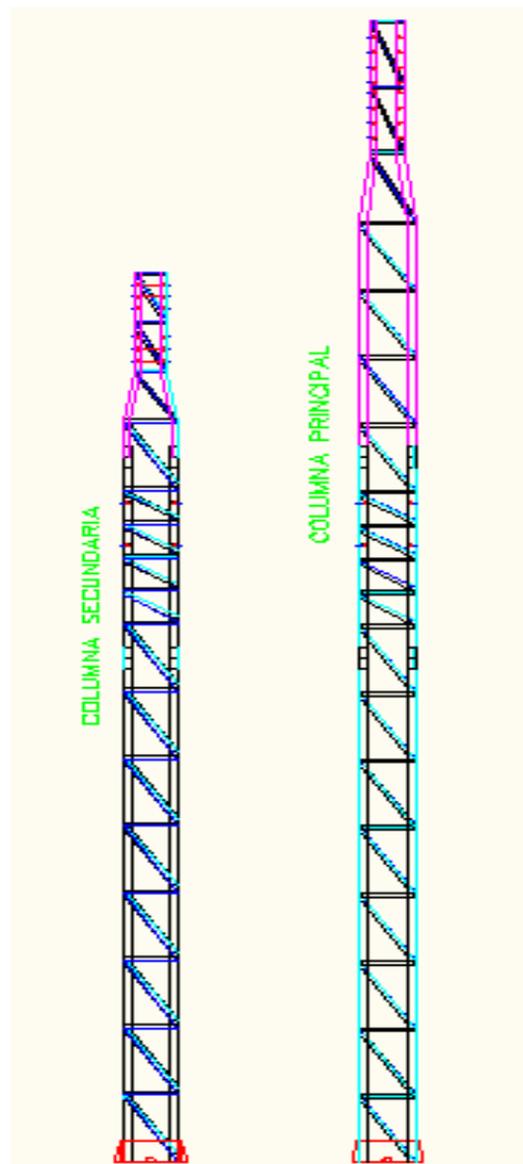


Figura 2.8 Diagrama de columnas puente grúa

2.3.1.3 Descripción general de las cartelas, en el soporte de los nuevos puentes grúa.

Las cartelas son las uniones entre varios elementos en este caso las vigas carrileras y columnas, su nombre común es ménsulas, el cual ayuda a dar mayor reforzamiento a las uniones disipando ciertas cargas mediante su forma geométrica.

Las cartelas se encuentran desde el piso a una altura de 7275 [mm] y en la parte superior la unión con las vigas carrileras es a los 7935 [mm], dando una altura de cada cartela de 650 [mm], en la estructura de la nave principal se consta de 12 cartelas.

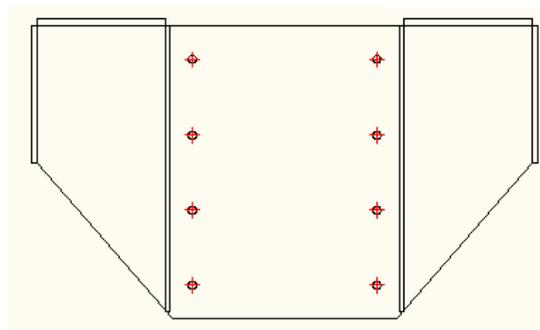


Figura 2.9 Diagrama de cartelas

2.3.2 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL ACTUAL DE LA NAVE PRINCIPAL

El presente estudio pretende ayudar a Sedemi S.C.C, en el cálculo estructural para el reforzamiento de la nave principal de armado y soldadura soportada, para colocar el sistema de puentes grúa de más de cinco toneladas que son utilizados actualmente.

Los objetivos de la consultoría son:

- Establecer la seguridad de la estructura de acero existente frente a las cargas actuales de trabajo.
- Verificar esfuerzos y deformaciones que soporta la nave principal de esta empresa para aumentar la capacidad de los puentes grúas para el transporte de materiales.

El tratamiento primario de la aplicación de esta estructura es el análisis más exacto posible para obtener una mejor comprensión del comportamiento estructural actual de la nave.

La comprensión del trabajo diario de la nave industrial permitirá un ahorro de materiales en el refuerzo, en este caso se habla de una estructura ya existente la cual al inicio fue definida para una carga establecida y ahora en la actualidad se pretende aumentar mayor capacidad en el traslado de material, pero por su uso diario en el transcurso de seis años, se ha visto la necesidad de verificar el estado de las juntas, uniones, cimientos, deformaciones de las columnas, vigas carrileras, cartelas, etc.

La columna es un elemento sometido en este caso a compresión, y el diseño está basado en la fuerza interna que necesita, las condiciones propias hacen que se diseñe para flexión de tal forma que la combinación así generada se denomina flexo compresión para el caso de Sedemi S.C.C, la columna puede presentar un fenómeno de inestabilidad y se refiere al pandeo lateral, el cual es una deflexión que ocurre en la columna; cuando incrementa el momento flector aplicado sobre este elemento, la deflexión se aumenta cuando los movimientos de los puentes grúa son demasiados bruscos y puede originar hasta la falla del elemento.

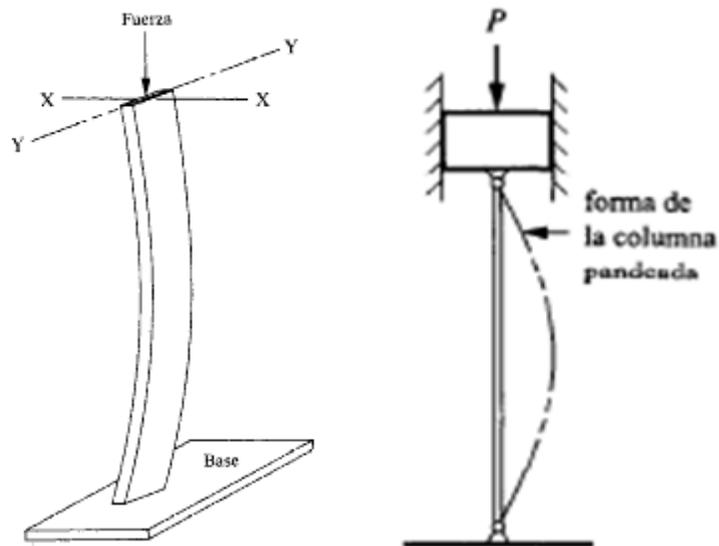


Figura 2.10 Diagrama de columnas afectadas por compresión

Cuando existe un choque, es importante destacar la vibración generada sobre la estructura que va disipándose hasta llegar a los extremos más lejanos que serian las columnas secundarias, y estas cargas se disipan mediante las placas base con los cimientos respectivos hechos para cada columnas establecidos al inicio de la estructura.

Las vigas carrileras soportan los puentes grúa y son consideradas como elementos simplemente apoyados las cuales en sus extremos sufren de corte, debido al peso de los puentes grúa y del movimiento que generan, en el medio de las vigas carrileras sufren una carga de flexión por su longitud general entre columna y columna.

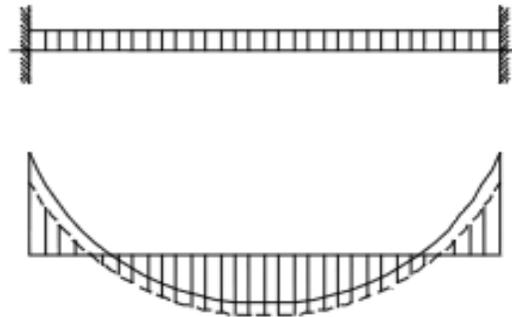


Figura 2.11 Diagrama de Flexión de la vigas

La ménsula también conocida como cartela se diseña a corte, para la condición mas crítica de operación, las cartelas son uniones y disipadores de esfuerzos lo que hacen es reducir las vibraciones y resonancia que existe por el movimiento de los puentes grúa hasta las columnas.

Las cerchas dan estabilidad a la estructura y sufren de diferentes cargas pero más específico trabajan a tracción o compresión, pero en este caso es a tracción, y esta carga producida es por la acción frontal del viento contra la estructura.

Las correas según su tamaño trabajan sus cargas en el caso de la estructura de la empresa Sedemi S.C.C. son grandes, y son los miembros estructurales que soportan la cubierta del techo, soportan las cargas verticales del trabajo diario en función del diseño a base de la flexión que soporta como la nieve, viento o cargas permanentes. Por la forma y debido a la inclinación del techo, las cargas gravitacionales originan flexión en las correas y por eso son diseñadas como vigas continuas y simplemente apoyadas en las cerchas.

2.4 EL DISEÑO ESTRUCTURAL

El propósito fundamental como diseñador es lograr una estructura económica y segura, que cumpla con ciertos requisitos funcionales y estéticos. Para alcanzar dicha meta, se diseña con el conocimiento completo de las propiedades de los materiales, del comportamiento estructural, de

la mecánica, análisis estructural, y de la relación entre la distribución, función, y apreciación de los objetivos a trabajar en la estructura.

La teoría de las estructuras y la evidencia experimental son herramientas valiosas para el diseño estructural, mas no son suficientes para establecer un procedimiento de diseño completamente científico, ya que para hacer posible un análisis teórico, es necesario considerablemente el comportamiento estructural por medio de soluciones de ingeniería fundamentadas.

En el diseño estructural se siguen seis pasos principales que son:

- a) Selección y distribución de la estructura
- b) Determinación de las cargas que actúan en la estructura
- c) Determinación de las fuerzas y momentos en los distintos elementos
- d) Selección del material y dimensionamiento de los elementos con un criterio de seguridad y economía
- e) Revisión del comportamiento de la estructura en servicio
- f) Revisión final

2.4.1 Tipos de Estructuras Metálicas

Las estructuras pueden dividirse en dos grupos principales:

a) **Estructuras de cascarón**, hechas principalmente de placas o láminas, tales como tanques de almacenamiento, silos, cascos de buques, carros de ferrocarril, aeroplanos y cubiertas de cascarón para edificios grandes.

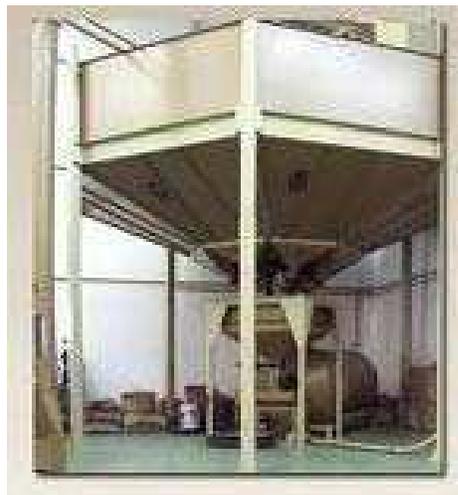


Figura 2.12 Representación estructuras de cascaron

b) Estructuras reticulares, están construidas de conjuntos de miembros alargados, como armaduras, marcos rígidos, traveses, tetraedros o estructuras reticuladas tridimensionales, todos estos tipos de miembros alargados sirven para la transmisión de cargas y esfuerzos, y con elementos adicionales complementarios a estos como techos y pisos cumplen sus requisitos funcionales.

Este tipo de estructuras metálicas reticulares son compuestas por elementos unidos por medio de conexiones, es decir perfiles laminados, las uniones generalmente son por soldadura o por tornillos, y existen estructuras de este tipo remachadas y con diferentes estilos de construcción haciéndolas más vistas a la perspectiva personal.



Figura 2.13 Representación estructuras reticulares

En el caso de Sedemi S.C.C posee una estructura de tipo reticular en la planta principal de armado y soldadura, esta infraestructura da las facilidades necesarias para la instalación de los nuevos puentes grúa con capacidad de mejora en un 250% que permitirán un manejo eficiente y ordenado en el transporte de elementos.



Figura 2.14 Diagrama de estructura reticular Sedemi S.C.C.

2.4.2 PROPIEDADES ESTRUCTURALES BÁSICAS

Las propiedades, características y consideraciones en el diseño se sujetan a un procedimiento de aproximaciones sucesivas, referidas algún comportamiento general, del acero que responda a varias hipótesis, y las características adecuadas de un material para cumplir funciones estructurales que se relacionan con sus propiedades mecánicas.

Además existen propiedades de impermeabilidad, durabilidad ante la intemperie, aislamiento térmico y acústico. La estructura integrada al resto de los componentes constructivos debe proporcionar cualidades estéticas a la construcción. Obviamente, no existe un material estructural adecuado, y la opción más conveniente en cada caso es en función estructural como de las propiedades deseables para cada situación específica.

2.4.3 CARGAS ESTRUCTURALES

En el proyecto se calculará las cargas estructurales fundamentales que harán referencia con los miembros que pueden transmitir los tipos de cargas siguientes:

- a) Tensores, los cuales transmiten cargas de tensión
- b) Columnas, que transmiten cargas de compresión
- c) Vigas o trabes, que transmiten cargas transversales
- d) Ejes o flechas, que transmiten cargas de torsión

Usualmente, los miembros están sometidos a la acción de cargas combinadas, una de ellas es más importante y gobierna el diseño; por tanto, los elementos estructurales pueden clasificarse y estudiarse de acuerdo con sus cargas predominantes. En una estructura actúan cargas, deformaciones, momentos y esfuerzos, siendo los códigos y especificaciones los que ayudan con criterios de diseño aceptables, pero las cargas apropiadas en la práctica son las que van actuar sobre cada elemento al momento del montaje de los refuerzos, lo que se necesita es requisitos generales para tener una estructura satisfactoria y se debe considerar:

- a) El material de refuerzos debe ser apropiado y de buena calidad
- b) En el diseño se debe considerar las cargas y condiciones de servicio correctas
- c) El diseño y cálculos se deben hacer de manera que la estructura y sus detalles posean rigidez y resistencia requeridas
- d) La mano de obra debe ser calificada

CAPITULO 3

MARCO TEÓRICO

El presente proyecto se enfoca en el rediseño de la planta para los refuerzos de las columnas, cartelas y vigas carrileras, donde muchos procesos industriales como el armado y soldadura son los más utilizados, por consiguiente el objetivo principal es mejorar la capacidad de carga para piezas más esbeltas. Aquí la importancia de conocer los aspectos principales de las columnas, cartelas y vigas carrileras que intervienen en la nave principal formando la estructura y considerando las condicionantes que afectan a éstos elementos.

3.7 TIPOS DE COLUMNAS

Según el uso actual de la columna como elemento de un pórtico, no necesariamente es un elemento recto vertical, sino el factor principal que determina el comportamiento del elemento que es la compresión. Por ello el pre dimensionado de columnas consiste en determinar las dimensiones que sean capaces de resistir la compresión que se aplica sobre el elemento así como una flexión que aparece en el diseño debido a diversos factores de los movimientos de la estructura en la que actúa.

3.1.1 COLUMNAS DE CELOSÍA

Este tipo de columnas son aquellas que están compuestas por un tejido especial el cual es metálico, ayuda a la resistencia y sustentación de la misma como elementos de unión, se los utiliza en perfiles principales de la columna.



Figura 3.1. Imagen de columna de celosía

Generalmente la celosía se requiere para mantener paralelos los perfiles principales de las columnas, uniformizar la distribución de las cargas en toda la estructura metálica armada y finalmente para evitar el pandeo lateral de los perfiles individuales que se deseen proteger.

Existen varios métodos de unión de la celosía, como soldadura o pernos y la mínima distancia entre las uniones de la celosía debe ser dependiendo si es simple o doble:

Simple: si la distancia entre líneas de conectores es menor a 15 [plg] o 381 [mm].

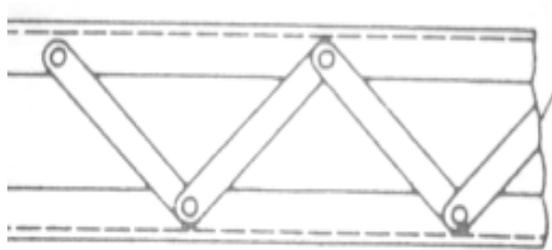


Figura 3.2. Imagen de celosía simple en una columna

Doble: si la distancia entre líneas de conectores es mayor a 15 [plg].

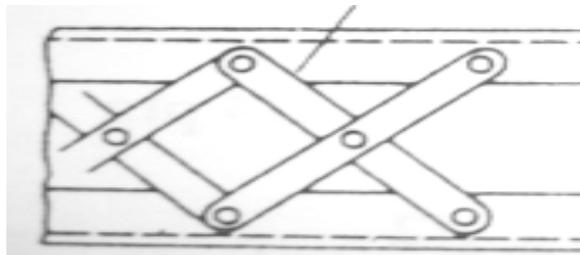


Figura 3.3. Imagen de celosía doble en una columna

3.1.2 COLUMNAS DE ALMA LLENA

Son las columnas que abarcan el diseño de secciones compuestas formadas por perfiles de acero estructural laminado, armado, con secciones tubulares o de concreto estructural en conjunto, y son conectadas de manera tal que actúan en conjunto para resistir flexión.

El área del perfil de acero debe ser por lo menos de 1% del área de la sección compuesta y deben cumplir con limitaciones como:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia al corte

- Resistencia a la tracción
- Traslado de carga



Figura 3.4. Imagen de columna de lama llena

3.8 TIPOS DE VIGAS ESTRUCTURALES:

3.8.1 VIGAS DE CELOSÍA

Las vigas compuestas de celosía son las que se usan para mayor carga en alguna estructura, normalmente se utilizan celosías para resistir fuerzas laterales y para generar más estabilidad a las vigas en el conjunto.

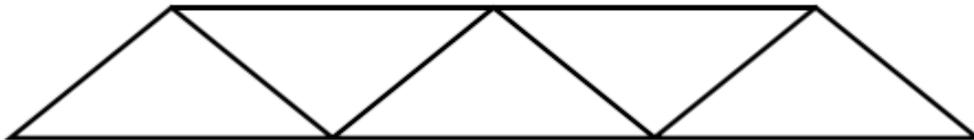


Figura 3.5. Imagen de viga de celosía

Las flechas o cargas se calcularán con la sección bruta, también puede asimilarse a la de una viga de alma llena, pero su cálculo es diferente correspondiente a los cordones de soldadura para la unión de los elementos.

3.8.2 VIGAS DE ALMA LLENA

El nombre de alma llena se aplica por no estar aligerada dicha parte, al contrario de lo que ocurre en las vigas de celosía. Por motivos económicos en la actualidad la primera opción son perfiles laminados de celosía para las vigas armadas, y luego las vigas de alma llena que para su ejecución requieren una mayor mano de obra.

En las vigas de alma llena, tendremos los siguientes tipos:

- a.- Perfiles laminados sencillos o compuestos
- b.- Vigas armadas; mediante chapas soldadas entre sí

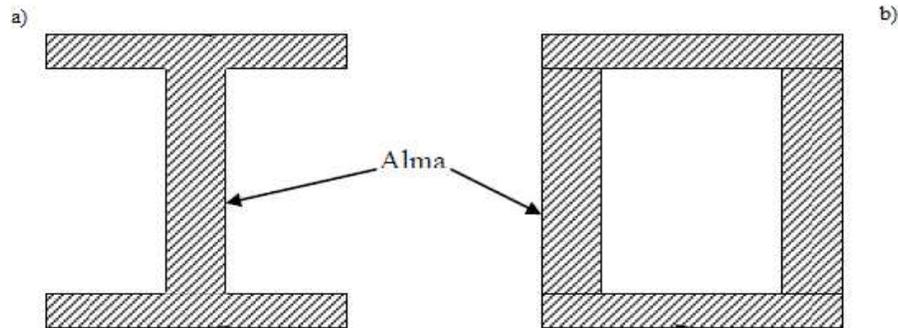


Figura 3.6. Imagen de celosía en un elemento

3.9 PUENTES GRÚA

Es el tipo de grúa que corre sobre una viga carrilera elevada a lo largo de cualquier planta y proporciona tres ejes de movimiento al gancho. Están diseñadas tanto de una viga como de dos vigas, dando gran flexibilidad para permitir que el gancho de carga sea ubicado con mucha precisión, y la carga sea colocada con mucha suavidad.

Los puentes grúas proporcionan una gran flexibilidad en aspectos como la cobertura del gancho y el control sobre la carga, además no generan grandes obstrucciones en la superficie de una planta o de una bodega.



Figura 3.7. Imagen puente grúa en una empresa

3.9.1 DEFINICIONES GENERALES DE UN PUENTE GRÚA

En efecto para la aplicación del término puente-grúa, se hace necesaria una definición-descripción previa del concepto que se considera como:

Estructura elevada formada por una o varias vigas metálicas, con un sistema de desplazamiento de 4 ruedas sobre rieles laterales, movidos por uno o más motores eléctricos, con un sistema elevador central mediante polipasto y gancho.

Es la máquina que está compuesta generalmente por una doble estructura rematada en dos frentes automotores sincronizados dotados de ruedas con doble pestaña para su encarrilamiento. Apoyado en dicha estructura y con capacidad para discurrir encarrilado a lo largo de la misma, un carro automotor soporta un polipasto cuyo cableado de izamiento se descuelga entre ambas partes de la estructura.



Figura 3.8. Imagen puente grúa

3.10 TIPOS DE PUENTES GRÚA

Existe tres tipos principales de sistemas de carga en los puentes grúa, y a continuación se guiara la información más detallada de cada uno.

3.10.1 MONORRIEL

En este tipo de puentes grúa el sistema de elevación de carga es muy especializada y eficaz cuando está diseñado e incorporado correctamente. El sistema cuenta con dos direcciones de

recorrido del gancho: arriba/abajo y a lo largo del eje de la viga carrilera. No es recomendable porque resulta muy nocivo para empujar la carga lateralmente fuera de la línea central de la viga del monorraíl. Las características fundamentales son las siguientes:

- Adaptación óptima a las características de la nave gracias a diferentes tipos de conexión
- Alcanzar la máxima altura de gancho

Con los puentes grúa monorraíles se puede solucionar el transporte de materiales con capacidades de carga hasta 16 [Ton] y luces hasta 39 [m], incluso en naves de techo bajo, debido a que los puentes grúa monorraíles no requieren una distancia de seguridad hasta el techo dentro de la gama de capacidades, pueden aprovecharse al máximo las circunstancias espaciales ahorrando costos de rediseño de la nave.



Figura 3.9. Ejemplo puente grúa monorraíl

Las grúas con vigas monorraíl son menos costosas, porque requieren una viga, el carro de traslación es más sencillo, la instalación es más rápida y la viga carril es más liviana debido al menor peso propio de la grúa. Los polipastos que forman parte de estas grúas son de uso pesado para precautelar los cálculos en el transporte de materiales, los motores del puente grúa y del trole pueden trabajar hasta 60 minutos.

3.10.2 RIEL DOBLE

En lo que respecta a estas máquinas, están compuestas por una estructura doble finalizada o rematada en dos testeros automotores que se encuentran en perfecta sincronía. Sus principales características son:

- Buenas posibilidades de instalación para equipos accesorios, por ejemplo pedestales
- Permite altas velocidades de traslación de grúa y carro

Las ventajas se hacen notar tanto a nivel estático como económico, los puentes grúa de riel doble, alcanzan luces de hasta 40 [m], y son la primera elección en el transporte de cargas de hasta 120 [Ton]. Todas las grúas de interior pueden instalarse con muchas variantes, garantizando la adaptación de las construcciones más complicadas de las naves diseñadas proporcionando funcionalidad, flexibilidad y comodidad de manejo.



Figura 3.10. Ejemplo puente grúa riel doble

3.4.3 SUSPENDIDOS

Son aquellas estructuras que se encuentran al aire libre tienen una estructura que está fundamentalmente destinada para dicha sustentación. Las indicaciones para la instalación son:

- Fijación de la vía de la grúa al techo de la nave
- La mejor opción cuando las condiciones de edificación no son ventajosas
- Corta distancia de aproximación del carro con lo que se aprovecha al máximo el ancho disponible de la nave

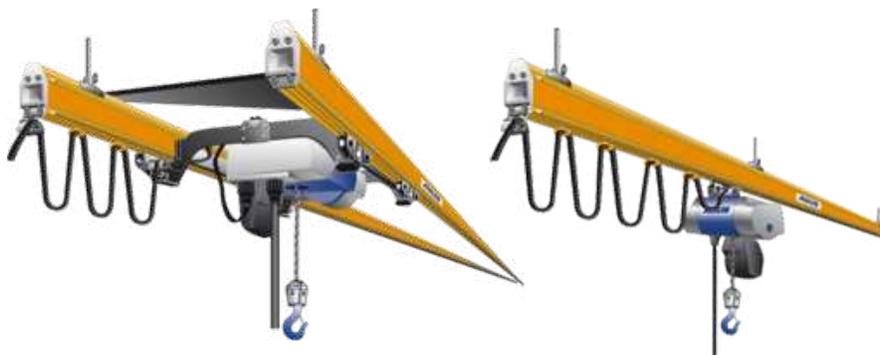


Figura 3.11. Ejemplo puente grúa suspendido

Las naves con estructura complicada precisan una solución especial que puede encontrarse fácilmente con los puentes grúa suspendidos. El montaje de la viga carril bajo el techo en lugar de sobre pilares ofrece soluciones perfectas debido a que aprovechan al máximo el ancho de las

naves gracias a la posibilidad de adaptar los voladizos por un lado y al recorrido de los carros por el otro, insertando la viga principal entre los testers, de igual forma se puede mejorar la altura máxima de gancho y ofrecen capacidades hasta 8 [Ton] y luces de hasta 25 [m].

3.11 DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES GRÚA

3.11.1 PARTES DE UN PUENTE GRÚA

En el gráfico siguiente estará ilustrado y designado por números las partes fundamentales de un puente grúa:

Estructura (3)

- Vigas carrileras (aprietes tornillos, soldaduras, etc.)
- Columnas
- Cartelas

Testeros (5)

- Grupos motrices

Carro

Gancho

Freno de Izaje (6)

Cable (8)

Poleas

Tambores

Rodillos de Apoyo (3)

Sistema Eléctrico (4)

- Controles (1), Tableros
- Radio mandos
- Resistencias de motores, Control de motores
- Frenos (eldros, electromagnéticos o corrientes parasitas)
- Limitadores de carrera y carga
- Cuadros de maniobra fuerza y protección
- Relés térmicos

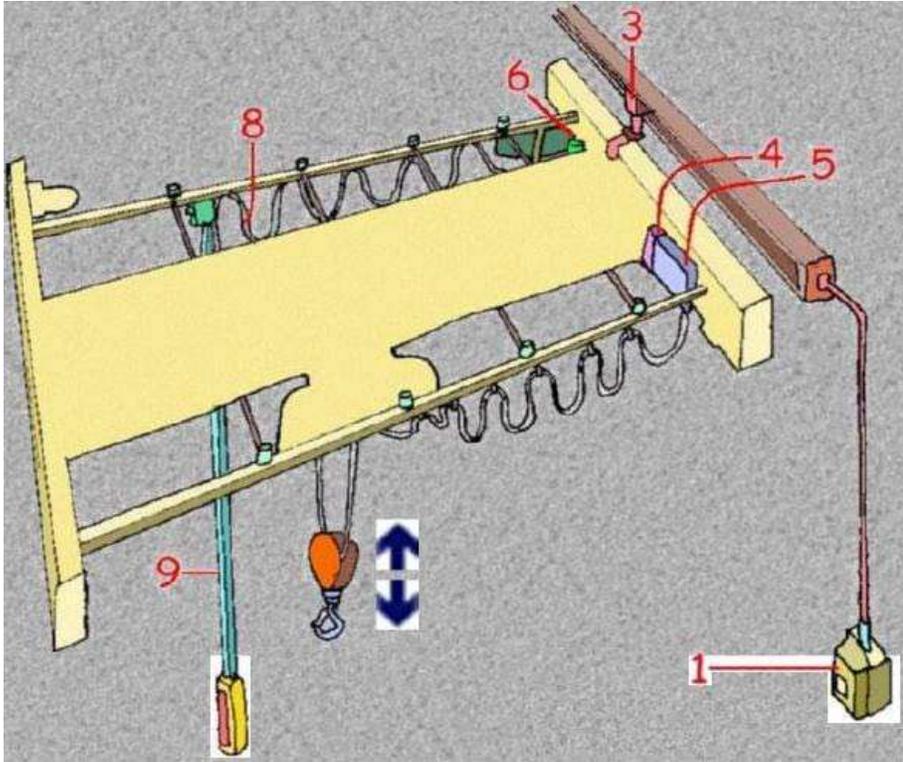


Figura 3.12. Grafico partes puente grúa

La altura del gancho o izamiento es lo más importante que se debe considerar al momento de decidir qué tipo de material se va a transportar.

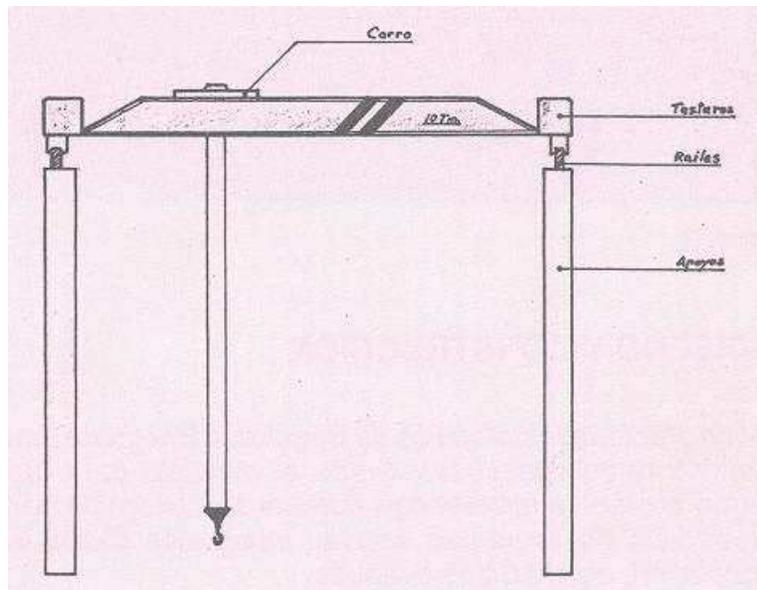


Figura 3.13. Ilustración partes puente grúa

3.11.2 ELEMENTOS DE SEGURIDAD BÁSICOS PARA UN PUENTE GRÚA

Este punto es importante para el manejo de un puente grúa y menciona la forma de trabajar en condiciones seguras para los operarios y controladores de planta para una correcta manipulación del material, existen parámetros básicos a considerar que son:

- Botones de control, con clara señalización diferenciada de los mandos
- Dispositivo de paro de emergencia, que corta el circuito eléctrico
- Botones de control móviles, serán de mando sensitivo, deteniéndose automáticamente la maniobra si se dejan de pulsar
- Bloqueo de seguridad, para evitar la utilización por personal no autorizado
- Dispositivos de final de carrera superior e inferior en el mecanismo de elevación
- Finales de carrera de traslación del carro, del puente y pórtico
- Dispositivo de seguridad que evite la caída de la carga durante su manipulación
- Indicación, claramente visible, de la carga nominal
- Barandillas adecuadas de protección en todos los pasos elevados
- Carteles de señalización de los riesgos residuales

3.12 TEORÍA APLICADA A LOS PUENTES GRÚA EN EL TRASPORTE DE MATERIAL

3.12.1 PARÁMETROS

Altura máxima de recorrido del gancho: distancia vertical entre el nivel más bajo del suelo y el gancho de carga, cuando se encuentra en la posición más elevada de trabajo

Luz: es la distancia horizontal entre los ejes de los carriles de la vía de rodadura

Voladizo total: distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el extremo de la estructura emplazada sobre el voladizo

Voladizo útil: distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el eje del elemento de prensión emplazado sobre el voladizo

Brazo útil: distancia horizontal entre el eje vertical de la parte giratoria o eje de rodadura y el eje vertical del elemento de prensión

Carga nominal o máxima: valor de la carga fijado por el fabricante he indicado en la placa de características e incluye accesorios de elevación

Placa de características: fija el fabricante, año de fabricación, número y carga nominal

CAPITULO 4

NORMAS TÉCNICAS APLICADAS AL DISEÑO DE PUENTES

GRÚA EN ESTRUCTURAS METÁLICAS

4.1. ALCANCES

Los alcances del proyecto están basados en especificaciones y códigos, que se refieren a reglas y lineamientos escritos, relacionados con casos particulares en la construcción estructural, los documentos legales, se refieren a documentos organizados por varias entidades de ingenieros, y representan la mejor opinión de expertos de campo en el estudio del acero.

Los diseñadores, y estudiantes deben entender el comportamiento para el cual se aplica una regla en particular y las limitaciones correspondientes, las especificaciones se escriben como guía para la mejor practica actual entre ingenieros.

El Instituto Americano de Construcciones de Acero (AISC), fue fundado en 1921, comprometidos al diseño con acero y su investigación correspondiente al uso de productos.

La Norma Chilena NCh427, a diferencia de la AISC, proporciona datos de una asociación nacional con especificaciones y estándares para acero, y puentes grúas, que rigen desde el diseño y construcción hasta el reforzamiento, adoptados por varios países.

4.2. RESUMEN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROYECTO

El proyecto se contempla en establecer la mejor opción para reforzar toda la nave industrial con el fin de cambiar los puente grúa de 5 toneladas a 10 toneladas y a la vez pasar de 4 a 6 puentes grúa sumando una capacidad de cambio de 20[Ton] a 50 [Ton].

Las especificaciones vendrían dadas para reforzar y aumentar la capacidad de carga en un 250% los siguientes elementos:

- Columnas
- Vigas carrileras
- Cartelas o ménsulas

Con el estudio de los refuerzos se complementará el proyecto, indicando los planos respectivos de los diferentes tipos de refuerzos y cambios. Los reglamentos de construcciones, enfatizan en párrafos y lineamientos de diferentes normas, que tendrán carácter en la estructura, por ellos se observo las siguientes normas dadas:

- ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials).
- AASHTO: Norma de la Asociación Americana de Carreteras del Estado y los funcionarios de Transporte. (American Association of State Highway and Transportation Officials).
- AISC: Instituto Americano de la Construcción de Acero (American Institute of Steel Construction).
- NCh427: Norma Chilena de Construcción y Especificaciones para el cálculo, fabricación y construcción de estructuras de acero.
- AESS: Manual Arquitectónico de expresiones de acero estructural.
- AISC: Instituto Americano de Construcción en Acero.
- ANSI: Instituto Nacional Americano de Estándares.
- AREMA: Ingeniería Ferroviaria Latina y el mantenimiento de la Asociación Caminos.
- ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
- AWS: Sociedad Americana de Soldadura.

4.2.1. NORMA AISC

La primera edición fue publicada en 1924, la norma AISC se encarga de realizar encuestas a la comunidad sobre el diseño estructural de acero y la industria de la construcción, a partir de ello, este código ha sido periódicamente actualizado para conocer la innovación en tecnologías, el cambio y prácticas de la industria.

En la actualidad esta se enfocada en vivencias de campo y trabajo, consiguiendo un resultado de las deliberaciones de un justo y equilibrado comité, la norma AISC en su Código 303-05 basada en normas de puentes y construcciones metálicas reconoce principios de Ingeniería, que son información para diseñar, que para cualquier aplicación específica se debe tener en cuenta un

examen profesional competente. Es importante, que aquella persona que haga uso de las normas, asuma la responsabilidad de dicho uso, es un factor clave que inicia especificando la norma.

El refuerzo y reparación de las estructuras existentes según la norma AISC, en el Anexo 5 contiene información básica pertinente para modificaciones de las soldaduras o la reparación de las estructuras de acero existentes, menciona que el reforzar o reparar una estructura existente deberá consistir en modificaciones que cumplan con los requerimientos de diseño especificados por el ingeniero.

El Ingeniero deberá preparar el plan completo para el trabajo. Tales planes deberán incluir, pero no estarán limitados al, diseño, mano de obra, inspección y documentación. Todas las estipulaciones de éste código deberán aplicarse, igualmente para el enderezamiento y la reparación de las estructuras existentes, incluyendo el enderezamiento por calor de los componentes deformados.

La calidad de la estructura existente debe verificarse mediante una inspección visual donde todos los componentes y las soldaduras afectadas por un trabajo deberán inspeccionarse visualmente en conformidad con el plan general del ingeniero.

La sección 3, designación de diseños y especificaciones, menciona la estabilidad de las estructuras, considerada como un todo, no solo incluyendo las vigas sino los sistemas conjuntos, arriostramientos, conexiones, etc., haciendo que proveerán de estabilidad a todos los sistemas individuales en una estructura. En los documentos de pedido del proyecto los refuerzos en la nave principal de la empresa Sedemi S.C.C., se constituirán en el examen de las cargas y las fuerzas que se necesita por las bases de la estructura.

La sección 6 se enfoca en la identificación de los materiales para el trabajo y denota la responsabilidad del fabricante que es la persona quien deberá demostrar, mediante procedimientos un método de identificación de los materiales, haciendo una forma visible hasta el punto del montaje de los miembros de la siguiente manera:

(A) Para los materiales comerciales, la capacidad de identificación debe incluir la forma y designación en los que se van a incluir en un proyecto así como la presentación de informes de la planta por el fabricante.

(B) En cuanto a la calidad del material que no sea estándar de especificación, la identificación y capacidad del material deberá incluir la designación de forma y grado del material.

(C) Para el material de acuerdo con la ASTM o de otro tipo de requisitos especiales del material en los documentos contractuales, la identificación y capacidad se deberá incluir la designación de forma, grado de material, correspondientes para el diseño.

A menos que en un sistema alternativo de materiales, se establezca en el detalle escrito del fabricante y sus procedimientos, el material estándar añadido en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Estándares de materiales internacionales según la AISC:

Material	Material de calidad estándar
W y WT	ASTM A992
M, S, MT y ST	ASTM A36
HP	ASTM A36
L	ASTM A36
C y MC	ASTM A36
HSS	ASTM A500 grado B
De tubos de acero	ASTM A53 grado B
Placas y bares	ASTM A36

En la sección 7 menciona el método de montaje y los diferentes métodos, una secuencia que permitirá el desempeño eficiente y económico del montaje. El propietario designa la construcción y si desea controlar la secuencia de montaje, las especificaciones de ciertos miembros no pueden elegirse en su secuencia normal, dicha entidad deberá especificar el mejor método. Las condiciones y características para el fabricante y montador de la estructura son:

(A) Los caminos de acceso adecuados para que ingrese el material a través del sitio de trabajo para la entrega segura.

(B) El espacio de almacenamiento adecuado, cuando la estructura no ocupa la totalidad del respectivo sitio de trabajo disponible.

(C) Una empresa calificada, dispondrá del espacio conveniente y adecuado para los sitios de trabajo y para el funcionamiento del equipo montador, libre de obstrucciones.

4.2.2 NORMA CHILENA NCH427

Es la norma de construcción y especificación para el cálculo, fabricación y construcción de estructuras de acero. Esta norma contempla las especificaciones con pruebas latinoamericanas, para un proyecto de cálculo estructural e indica a estructuras metálicas que:

- Tengan la capacidad para resistir las fuerzas recomendadas por el código.
- Presente las especificaciones de cimientos, ante dichas cargas, inferiores a las admisibles.
- Pueda disipar energía de deformación inelástica, dado que el sismo de diseño produce fuerzas mucho mayores que las equivalentes recomendadas por el código.

La memoria de cálculo incluirá una descripción del sistema estructural, los parámetros de las fuerzas actuantes de diseño, así como los desplazamientos y fuerzas máximas que presente la estructura, demostrando el cumplimiento de las especificaciones de este código.

La primera sección menciona de los antecedentes para el diseño, las especificaciones con la información contenida en los planos del proyecto, muestran los tipos de refuerzos que se utilizara, así como la forma y materiales que son dispuestos a los elementos de la nave industrial.

Cualquier tipo de modificación en la estructura en base al aumento de las cargas de diseño, y de las fuerzas que corresponden a los estados de cargas tomara en cuenta las condiciones de apoyos existentes, la secuencia de construcción y el montaje de los elementos de la estructura.

La sección dos muestra el Diseño elástico, es un análisis lineal de las estructuras, es basado en un comportamiento elástico-lineal de los materiales constituyentes de un proyecto, la consideración del equilibrio en la estructura sin deformar es importante cuando se tiene personas operando en el interior de la misma. Los elementos estructurales más allá del límite elástico tienen un comportamiento frágil o dúctil. El comportamiento frágil es indeseable debido a que implica la

súbita pérdida de la capacidad de carga después de exceder el límite elástico, y para desarrollar estas especificaciones se utilizaron los siguientes principios:

- Los componentes estructurales deben resistir sismos moderados dentro del rango elástico, sin sufrir daños significativos.
- En los procedimientos de diseño es necesario utilizar intensidades de movimiento sísmico y fuerzas reales, así como cálculos con cargas excesivas de trabajo.
- La exposición al movimiento provocado no debe provocar el colapso total, ni parcial de los puentes grúa, los daños producidos deberían ser fácilmente detectables.

La sección tres menciona el diseño plástico o análisis inelástico, que es un comportamiento de los materiales, que cumple con teoremas básicos de la plasticidad, como el del límite inferior, el del límite superior, su aplicación es válida para estructuras poco sensibles a efectos secundarios pero es necesario asegurarse que las secciones críticas sean suficientes para garantizar que no exista un colapso.

Estos análisis plásticos de comportamiento no-lineales con el tiempo, se han situado para cumplir principios establecidos para la dinámica estructural. En general, los métodos de análisis plástico sugerido se basan en modelos que contemplan materiales de comportamiento no lineal.

La comparación del comportamiento elástico versus el comportamiento inelástico, se consideran que los materiales estructurales se comportan linealmente hasta un límite elástico, los ensayos indican que el rango de comportamiento estructural es elástico.

La diferencia es que el comportamiento inelástico, debe demostrar que las secciones de los componentes pueden sufrir deformación inelástica, y un análisis inelástico determinando un mecanismo de falla de diseño. El modelo inelástico se basa en resultados de ensayos físicos o en una representación del comportamiento carga-deformación.

Las acciones en el estado límite a eventos extremos, se pueden acoplar tanto en el rango inelástico como en el rango elástico, las propiedades y características de elasticidad de los materiales deberán satisfacer requisitos estructurales, y en ninguno de los casos elástico como inelástico, no se deberán superar los límites de deformación del acero, según corresponda.

CAPITULO 5

OPCIONES DE DISEÑO Y CÁLCULOS

Este capítulo consiste en seleccionar el tema general del proyecto, “Los Reforzamientos de la Estructura de la Nave Principal”, que tratará sobre cómo superar los diferentes aspectos de mejoras para la estructura, como alcanzar las metas para aumentar la capacidad de carga al 250 por ciento con la subida de la capacidad de los puentes grúa. Los cálculos y opciones se deben iniciar con un detalle de cada elemento a tratar, como son las vigas carrileras, columnas y cartelas.

5.1 DETALLE ACTUAL DE LOS PUENTES GRÚA, COLUMNAS Y VIGAS CARRILERAS

La estructura de la nave principal de armado y soldadura de la empresa Sedemi S.C.C., se encuentra dotada por varios elementos que son los siguientes: 6 columnas principales, 6 columnas secundarias, 12 vigas carrileras, 12 cartelas, 15 cerchas y 8 correas, entre todos estos soportan 4 puentes grúas de cinco toneladas, cada uno instalados por la empresa de Fénix Ingeniería, dándonos así una capacidad total de carga y transporte de veinte toneladas.

La nave principal así denominada tiene un alto máximo de 13.6 metros y un ancho de 24 metros en su entrada, adoptando un largo o profundidad de 69.6 metros con la última ampliación del área de producción de 21.1 metros, y todas las medidas se encuentran ilustradas en el anexo (J) planos generales de la nave principal.

El puente grúa es formado por una viga de cajón y cada viga de los cuatro puentes grúa tiene una longitud de 11421[mm], y tiene una masa de 780.97 [kg].

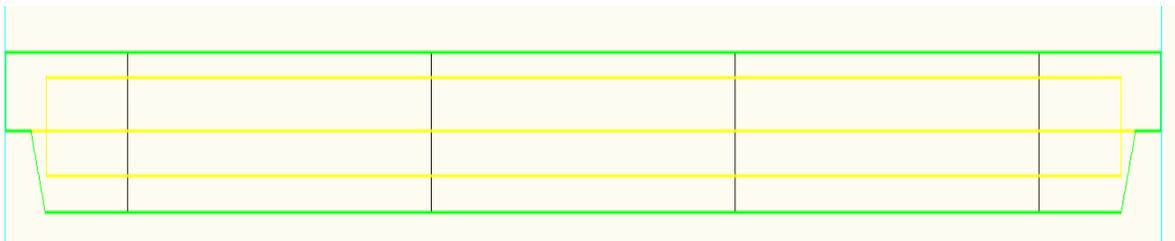


Figura 5.1. Imagen de viga tipo cajón puente grúa

Columna principal de $L=13600$ [mm], masa de 590.7 [kg], con placa base de refuerzo de 12 [mm] y placa de sujeción de 8 [mm].

Columna secundaria $L=10600$ [mm], masa de 503.5 [kg], con placa base de refuerzo de 12 [mm] y placa de sujeción de 8 [mm].

El área total de la planta sin la ampliación donde irán los reforzamientos es de 1162.8 [m²], el área total cubierta es de 1227 [m²].

El aumento de la resistencia de la estructura, prácticamente se basa en que todos los elementos tendrán una tensión de fluencia mayor que el valor mínimo estipulado, y que sustentaran áreas que si soporten los nuevos puentes grúa a instalar.

Las vigas carrileras poseen generalidades que se debe tener en cuenta, como los diferentes tipos de pandeos que son: el pandeo local, el pandeo lateral y el pandeo flexo-torsional, que se neutralizan para evitar fallas tratando que las vigas carrileras lleguen a su máximo esfuerzo de fluencia. Los cálculos de la estructura actual fueron realizados en base de los primeros planos de construcción y en ese instante es donde se eligió los diferentes materiales y secciones de cada elemento como son las vigas carrileras, columnas y cartelas.

Para dar inicio al diseño de los refuerzos de la estructura, se debe tener en cuenta varios factores importantes como: identificación de las cargas que van a actuar en la estructura al momento que ingresen los nuevos puentes grúa, las especificaciones de las combinaciones de cargas para determinar diseños eficientes.

Existen diferentes tipos de cargas actuantes las cuales generalmente se dividen en:

- Cargas vivas
- Cargas muertas
- Cargas de seguridad

El estudio de todas estas cargas generadas serán nuevas debido a las cargas que van actuar con los puentes grúa de 10 [Ton], y en el estudio siguiente de la estructura ya establecida, primero se procederá a verificar el estado para luego considerar el diseño industrial con la ubicación geográfica en la que se va a trabajar.

5.1.1 CÁLCULOS

Informe estructural de la estructura actual:

Objetivos:

- Verificar si existe deformaciones o daños en la estructura actual de la nave principal de la empresa Sedemi S.C.C., que incidan en la resistencia con la cual fue creada la estructura para el diseño de los refuerzos que van a ser implementados.
- Verificar la resistencia actual de la estructura de la nave principal de Sedemi S.C.C., mediante los dossiers de carga en los puentes grúa en la empresa.

Métodos de Medición:

La medición de deformaciones o daños, en vigas carrileras, columnas, y cartelas de la estructura actual, fue mediante la verificación de la forma de los elementos, se midió la deformación en los elementos de la estructura, con un análisis de rectitud con trazos de nivel la manera de medición fue mediante niveles en las vigas, con trazos de plomadas en las columnas, mediante inspecciones visuales de las cartelas y su verificación completa fue mediante fotos para visualizar posibles deflexiones en un programa con cada elementos, la designación de elementos vigas carrileras, cartelas y columnas esta en Anexo (J):



Figura 5.2. Imagen de verificación deformación de viga



Figura 5.3. Imagen de verificación deformación de viga



Figura 5.4. Imagen de verificación deformación de viga



Figura 5.5. Imagen de verificación deformación de viga

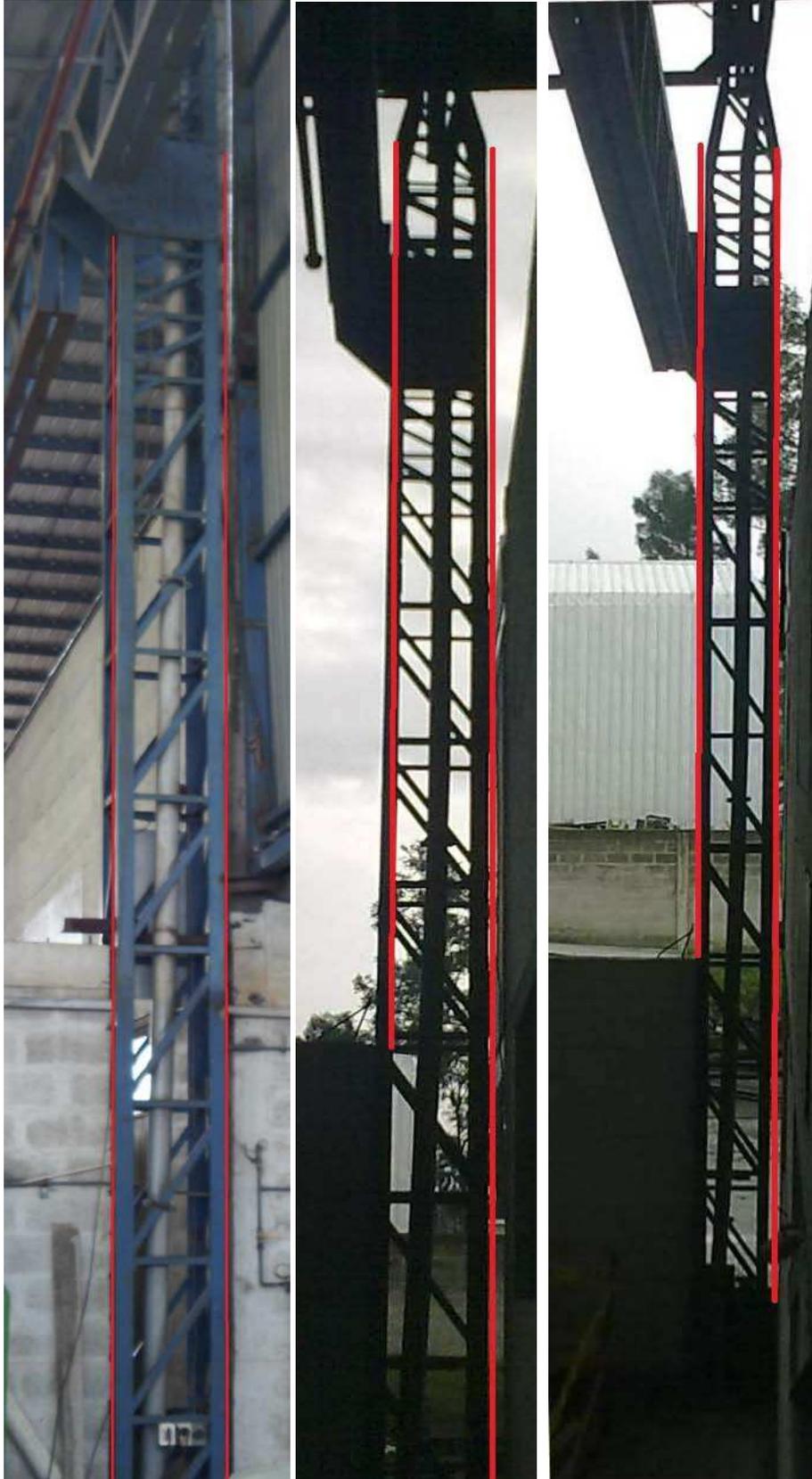


Figura 5.6. Imagen de verificación deformación de columnas



Figura 5.7. Imagen de verificación deformación de columna



Figura 5.8. Imagen de verificación deformación de viga

Resumen de la medición de deformaciones los datos fueron los siguientes:

Tabla 5.1: Deformaciones columnas:

Resumen Deformaciones columnas	
No. de elemento	Deformación en [mm]
1	5,60
2	1,50
3	7,20
4	5,40
5	8,10
6	2,30
7	4,60
8	1,70
9	2,90
10	5,50
11	3,70
12	6,90
Media	4,61
Mínimo	1,50
Máximo	8,10

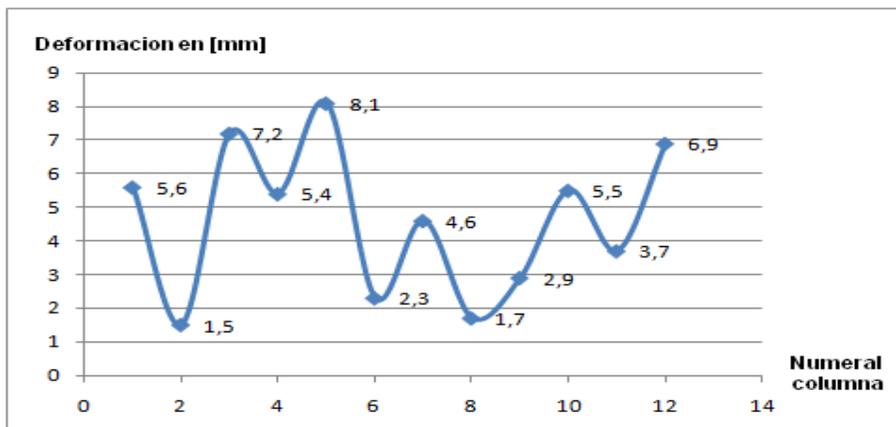


Figura 5.9. Grafica valores deformaciones columnas

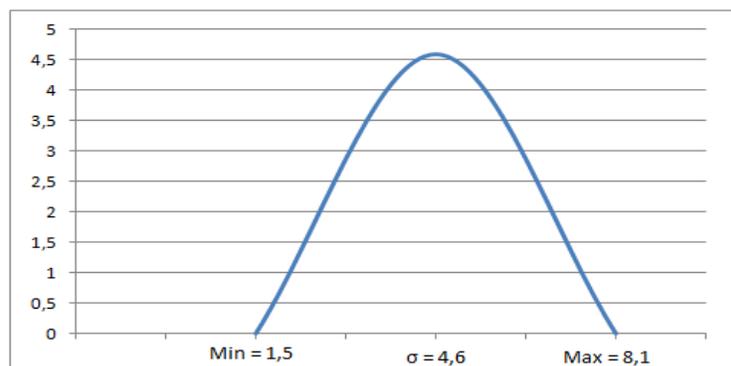


Figura 5.10. Grafica ajustada a valores de deformaciones columnas

Según la norma AWS D1.1, sección 5.23.1., en base a la rectitud de las columnas soldadas y con componentes primarios, sin considerar la sección transversal la variación máxima en cuanto a su deformación puede ser:

Longitudes de 30 pies [10 m] a 45 pies [15 m] = 3/8 pulgadas
[10 mm]

AWS D1.1 pag 212 (5.1)

Longitud Columna principal: 13600 [mm]

Longitud Columna secundaria: 10600 [mm]

Variación máxima: 3/8 pulgada = 10[mm]

Valor práctico medio = 4.61 [mm]

Tabla 5.2: Deformaciones vigas carrileras:

Resumen Deformaciones vigas carrileras	
No. de elemento	Deformación en [mm]
1	8,00
2	9,00
3	7,00
4	10,00
5	14,30
6	15,00
7	10,00
8	13,90
9	7,30
10	5,50
11	10,60
12	9,50
Media	10,09
Mínimo	7,00
Máximo	15,00

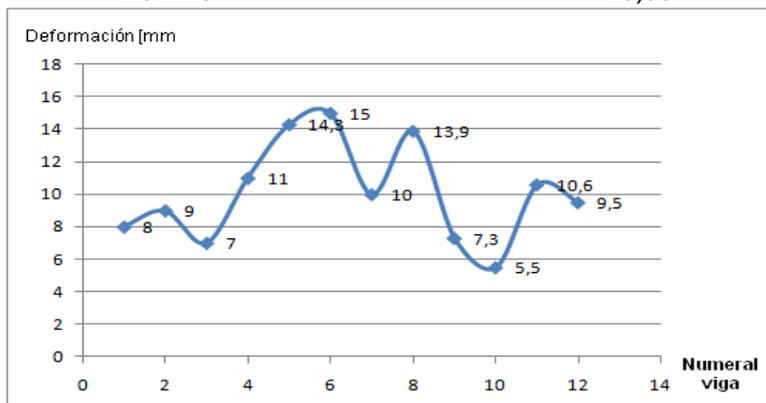


Figura 5.11. Grafica valores deformaciones vigas carrileras

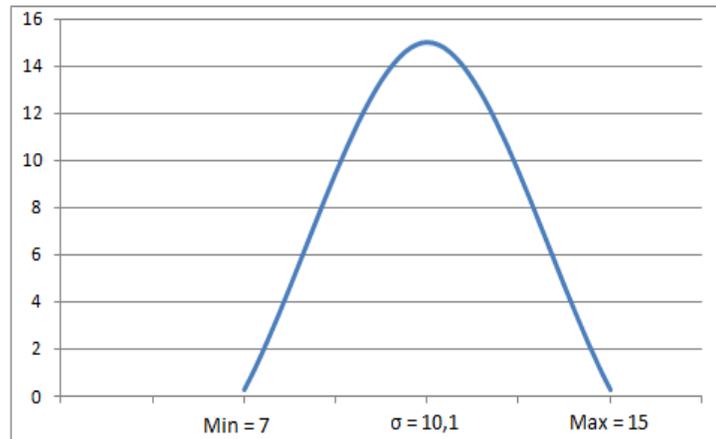


Figura 5.12. Grafica ajustada a valores de deformaciones vigas carrileras

Según la norma AWS D1.1, sección 5.23.2., con respecto a la rectitud de vigas sin ninguna curvatura específica, para vigas soldadas o vigas maestras sin considerar la sección transversal la variación máxima en cuanto a su deformación puede ser:

$$1/8 \text{ pulgadas} \times \frac{N^\circ \text{ de pies de longitud total}}{10}$$

$$1\text{mm} \times N^\circ \text{ de metros de longitud total}$$

AWS D1.1 pag 213 (5.2)

Longitud viga carrilera: 11421 [mm]

Variación máxima = 1mm x 11

Variación máxima = 11mm

Valor práctico medio = 10.09 [mm]

Resumen de cargas máximas otorgadas a los puentes grúa:

La historia previa de carga deberá considerarse en el diseño de los refuerzos, la historia de carga estuvo disponible, y se estima con esto la resistencia del material.

El informe de cargas, mediante los dossiers de producción de los tres sectores en los que trabaja la planta está detallado en los siguientes proyectos.

En los proyectos Holcim y el Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito se trabajó con los puentes grúa que tienen mayor realce en el ámbito de carga, para esto se tomó los elementos de cada proyecto con mayor carga los cuales se especifican a continuación:

Proyecto: Holcim.

Descripción: Viga Anillo Silo de Clinker.

Orden: OT 2010 - 001.

Referencia: 11103 - CLINKER SILO - 49A - 3S1.

Fecha realización: 09 - 11 - 2010.

Masa mayor alzada: Viga 1/4 de anillo, 9.04 [Ton].

Especificación: B - 56.

Proyecto: Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito.

Descripción: columna central edificio cargo building.

Sector: Cargo Building.

Referencia: Sub - Contrato 091.

Fecha realización: 20 - 10 - 2009.

Masa mayor alzada: Columna 8.42 [Ton].

Especificación: C13 - G1, altura 19.42 [m].

Considerando que se utiliza el sistema de puentes grúa aproximadamente 20 horas diarias, los cinco días de la semana, a razón de 20 minutos por hora promedios, y el peso promedio de carga trasladada es de 4 toneladas, en ciertas vigas y estructuras armadas, por lo tanto el numero de ciclos a los largo de estos 6 años es de:

$$20 \text{ hr/día} \times 0.33 \text{ hr/día} = 6.66 \text{ hr/día}$$

$$6.66 \text{ hr/día} \times 5 \text{ día/semn} = 33 \text{ hr/semn}$$

$$33 \text{ ciclos/semn} \times 4 \text{ semn} = 132 \text{ ciclos/mes}$$

$$132 \text{ ciclos/mes} \times 72 \text{ meses} = 9504 \text{ ciclos}$$

Si al definir que el acero con el que se trabaja en la empresa es el acero, ASTM A - 572 que cubre perfiles, placas, láminas y barras de acero estructural de baja aleación y alta resistencia, grado 50, con las características más notorias:

Y = es de 30 [Mksi], G50 acero al cromo

Fy = 50 [ksi] , Fu = 60 [ksi]

Resultados:

- En los resultados obtenidos se observó que la estructura muestra ciertas deflexiones reales en la misma y se anotaron los valores, de cada viga y columna según el numeral de designación de cada elemento indicado en el Anexo (J), para hacer las correcciones necesarias y en caso de las columnas no hay ninguna que sobrepase el nivel, y en las vigas carrileras son cuatro las corregidas según la norma.
- Las vigas son los elementos más afectados, posteriormente las columnas pero en los valores prácticos de la medición las deflexiones reales son menores a la que la norma proporciona teóricamente, el problema se debe a la apreciación de los instrumentos de medición que mide hasta centésimas de milímetro, y los valores están en una zona aceptable y se verifica que la estructura está trabajando como fue diseñada.
- La determinación básica en la verificación de deformaciones de la estructuras se basa en el material con el cual fue hecho, este acero presenta una alta resistencia y es un acero mejorado al ASTM A-36 que comúnmente se comercia, por lo que los daños en el lapso del tiempo han sido pocos al verificar.
- La estructura en sus inicios fue creada para disponer y mover de pesos de 5 toneladas, en la actualidad desde agosto del 2010 con el proyecto de Holcim y el Nuevo Aeropuerto, existen varios elementos más grandes y en la planta principal que mueven pesos de hasta 8 toneladas los cuales son movidos por dos puentes grúa linealmente o con la ayuda de un monta carga, haciendo que no exista o haya existido sobrecarga.
- Se verificó que no existe deslizamientos en las conexiones apernadas de las cartelas que van ligados a la estabilidad de la estructura total, están en buen estado, de manera que no pueden causar deformaciones en las mismas, ni afectar ninguna condición de servicio, solo existe un desgaste superficial de la pintura en ciertos elementos.
- El estudio verificó los elementos a profundidad y demostró que no poseen golpes por maquinaria o por el movimiento de elementos dentro de la planta con los puentes grúa, esto se debe, que la mayoría de operaciones son hechas mediante supervisores y cada grupo de obreros tiene supervisores que no permiten un mal uso de los puentes grúa

actuales, maquinaria, montacargas o material que ingresa a la planta haciendo que no exista mal trato a la estructura.

- La fatiga en el caso es escasa, porque se empleo un tipo de acero estructural bastante resistente, además del factor de seguridad total que fue de 1.3 en el diseño de inicio de la nave principal, el límite de fatiga es una consideración, si se presenta puede ser muy perjudicial, pero los miembros y conexiones de la estructura están sujetos a menos de miles de ciclos de carga lo cual no constituye un estado de fatiga.
- En este caso los niveles de tensión cíclica de las vigas, posee un punto de rango de tensión tan pequeña que el agrietamiento de fatiga no se inicia con el número de ciclos trabajado tan bajo, este comportamiento estructural se notaria para una condición de ciclos mayores a 20000 ciclos.
- Las deformaciones en los elementos que poseen combinaciones de cargas no afectan la condición de servicio, se concluye que el diseño inicial estuvo bien hecho con una buena nivelación de pisos, alineamiento de elementos en el montaje, e integridad de la estructura mediante certificaciones de los armadores y soldadores.
- La medición menciona que las acciones mecánicas de la planta producirá deformaciones siempre que se sitúen por debajo del límite elástico del metal actual, y pueden ser reversibles como se harán las correcciones necesarias. Sin embargo, cargas de gran magnitud como exposiciones al fuego prolongadas o sobrecargas pueden producir deformaciones irreversibles, que en el caso de la estructura no se han presentado, por ende no ha necesitado reparaciones demasiado bruscas en ciertos elementos.
- Todos los componentes y las soldaduras afectadas por el trabajo diario en la planta han sido inspeccionados visualmente y mediante tintas penetrantes al azar en conformidad con el plan general de verificación se concluyo que las juntas y elementos soldados están en óptimas condiciones.

5.2 OPCIONES DEL REACONDICIONAMIENTO DE LOS PUENTES GRÚAS EN LA EMPRESA

La nave industrial es una construcción de una sola planta destinada al taller de la industria de la empresa Sedemi S.C.C., la estructura por analizar está constituida por columnas rectangulares, a las que se les asignará los refuerzos con la menor sección transversal posible para resistir esfuerzos que se generan. Se adoptaran diferentes secciones en las cartelas y secciones uniformes en las vigas carrileras para el análisis de esfuerzos, momentos y puntos de concentración de esfuerzos.

Se denota que la estabilidad del conjunto como nave industrial se basa en direcciones longitudinales y transversales, las cuales deben estar provistas en planos horizontales y verticales, en este caso para cálculos iniciales no deben haber modificaciones, ya fueron establecidos en la formación de la nave principal y el caso es el reforzamiento con los nuevos puentes grúa. Para los diferentes tipos de opciones de refuerzos de las columnas y vigas se debe establecer cómo se va a tratar las cargas de los puentes grúa nuevos en el trabajo diario, y serán por ejemplo peso propio de los elementos, la capacidad nominal de la grúa, cargas de diseño, conexiones, soportes de apoyo, fuerzas de frenado al mover los puentes grúas, e impacto vertical y longitudinal de las fuerzas inducidas por la grúa.

5.2.1 PRIMERA OPCIÓN

La primera opción consiste en realizar la reestructuración mediante pies de amigo, que son refuerzos que se adjuntan con ángulos generalmente soldados a 45 grados entre las vigas y las columnas, en la parte superior con un punto de unión a una altura de 7.2 [m] y entre las columnas y el piso igual a 45 grados, esto ayudara a reforzar las vigas carrileras, y columnas, todas estas uniones serán mediante soldadura continua, en el caso de la vigas se haría con ángulos L45x6 y serian secciones de 1.50 metro cada una. En las columnas se podría colocar pies de amigos laterales entre el piso y las columnas, con bases apernadas en el piso, dando mayor rigidez a las columnas, para esto igualmente se utilizara ángulos L45x6, y serian secciones de 2 metros cada una.

Para el caso de las cartelas el reforzamiento de su estructura es haciéndola de mayor espesor, colocando planchas exteriores en todas las superficies con las mismas medidas ya dispuestas que

se tiene, es decir, con las medidas originales del elemento se generarían planchas de un espesor de 4 milímetros soldadas a todas las cartelas.

Desventajas:

Se debería comprobar la altura necesaria donde se debe soldar los pies de amigo y la movilidad en la planta sería reducida por los pies de amigo, en el caso de las cartelas el peso aumentaría de forma notable perjudicando a la estructura.

Ventajas:

En el caso de las columnas y vigas son secciones armadas con miembros de celosía, esta opción nos sirve para afirmar y fortalecer la estructura, y se utilizaría esta opción para garantizar el trabajo integro de soportes de la estructura para la mayor capacidad que se va a tener.

5.2.2 SEGUNDA OPCIÓN

Esta opción se enfoca en ayudar a la estructura en sus vigas carrileras mediante cables tensores fijos desde las vigas hasta los puntales de las columnas en el extremo superior parecidos a los contravientos, haciendo que las vigas también se apoyen en el tendido superior de la estructura entre el Steelpanel y las cerchas.

Para las columnas se colocaría planchas de 4 mm de espesor en la parte exterior de cada columna, tratando de cubrir la mitad de la celosía de cada una formando puntos de soldadura entre el inicio y final de cada celosía, y para ayudar a la estructura en general se incrementan 9 columnas mas en el medio de la separación de las columnas formando columnas de apoyo desde el suelo hasta las vigas carrileras con un alto de 7275 [mm] con placas base de 10 [mm] de espesor y con cimientos propios en cada posición, estas serian formadas de ángulos principal L76 x 6 y de la celosía de L40 x 4. Para el caso de las cartelas lo que se sugirió es renovarlas con un mayor espesor, las actuales son de 10 [mm] y se sugirió crear unas nuevas de las mismas dimensiones con planchas de 14 [mm] para incrementar el área de concentración de esfuerzo pero en la misma posición para aumentar la capacidad.

Desventajas:

Para colocar los cables se uniría mediante placas ligeras que se apoyan directamente sobre las correas, es decir soldando placas pequeñas las cuales a su vez se apoyan en las cerchas disminuyendo la estabilidad de las mismas. Al incrementar más columnas en la planta existirá menor movilidad para elementos bastante grandes.

Ventajas:

Con los cables tensores en la cubierta de la nave que es el cierre superior de la misma; se organizaría la estabilidad para garantizar la nave, y la luz de la estructura no permitiría que exista pandeo formando menos concentradores de esfuerzo entre las correas y vigas de celosía, además de que incrementando columnas la estabilidad de la estructura serian suficiente para resistir todos los cambios de la planta.

5.2.3 TERCERA OPCIÓN

La tercera opción son reforzamientos con ángulos en la mayoría de la celosía y ángulos sobrepuestos en secciones principales, consiste en la parte exterior de cada elemento en la misma posición sea soldado un ángulo de refuerzo, por ejemplo en el caso de las vigas carrileras, el ángulo principal es L100x6 y sus refuerzos serán ángulos exteriores L76x6, en la celosía o ángulos secundarios de la celosía de las vigas carrileras estos ángulos son L50x3 y sus refuerzos constarían en L40x3, todos los refuerzos son soldados a la parte exterior de la estructura en la unión misma entre elemento y elemento sobrepuesto, las columnas tienen ángulos principales L76 x 6 y sus refuerzos serán con ángulos L70 x 6 igual por fuera o encima de los ángulos principales soldados en este caso de las columnas no será reforzada la celosía por la forma misma del elemento.

En el caso de las cartelas en su parte interior son huecas lo que nos lleva a generar placas que serán soldadas a la medida interior con un ancho de 10 milímetros de espesor y con la misma forma que es en la parte exterior, ayudando a que en su forma excéntrica no falle en la capacidad de ayudar a eliminar las cargas generadas en la unión viga columna, dándonos un total de 16 placas de refuerzo soldadas de 500[mm] x 650 [mm].

Desventajas:

Mayores cálculos para la selección del ángulo necesario de refuerzo y más tiempo de adaptación en el montaje de los refuerzos.

Ventajas:

Con esta opción la estructura soportara la nueva carga y dispondrá de la misma movilidad, lo que indica que esta distribución es más eficiente, porque no cambia la geometría de los elementos.

5.3 SELECCIÓN DE LA OPCIÓN PARA LA PLANTA PRINCIPAL DE SEDEMI S.C.C EN EL ÁREA DE LOS NUEVOS PUENTES GRÚA

El objetivo del proyecto estructural del reforzamiento, es distribuir y proporcionar las partes de la estructura de manera que tenga suficiente resistencia, su montaje sea práctico y económico, hay 3 consideraciones importantes antes de cualquier opción:

- **Seguridad:** la estructura debe soportar las cargas impuestas con los límites de falla dichos, además las deflexiones y vibraciones resultantes no deben provocar agrietamientos diarios en el trabajo.
- **Costo:** se debe abatir los costos de construcción sin reducir la resistencia, algunas ideas que permiten hacerlo son usando secciones estándar haciendo un detallado de conexiones y mantenimiento sencillo.
- **Factibilidad:** los refuerzos de la nave principal deben fabricarse y montarse sin problemas, adecuarse al equipo e instalaciones disponibles.

Un factor importante es lo que concierne al material a utilizar en la construcción de los refuerzos, en cualquier estructura es un factor muy importante para dar dicho inicio en el diseño ya que se basa en las propiedades mecánicas de los mismos y se debe conocer la disposición local.

Las propiedades mecánicas de los materiales van a depender directamente de la composición química, de los procesos de formación, de tratamientos térmicos con los que fue estructurado, y en el presente caso lo que se busca es la tenacidad en el acero, que es la capacidad del material para absorber energía.

Análisis:

Para empezar los cálculos definiremos los objetivos de la mejor opción, los cuales son:

- Una estructura segura y confiable
- Proveer de una estructura económica
- Cumplir con los requerimientos de diseño
- Tomar en cuenta las combinaciones en las cargas involucradas

A continuación se genera una tabla de valoración de alternativas basada en una matriz de criterios para seleccionar la mejor opción de las tres que fueron planteadas:

Calificaciones matriz de decisión:

Calificación Max = 30

1 = Poco Favorable

2 = Favorable

3 = Conveniente

Tabla 5.3: Matriz de Decisión:

Factores de Diseño	Ponderación %	Opciones de Diseño:					
		1		2		3	
		Calificación	Producto	Calificación	Producto	Calificación	Producto
Seguridad	25	2	5	2	5	3	7.5
Costo	15	2	3	1	1.5	2	3
Factibilidad	12	2	2.4	1	1.2	3	3.6
Movilidad	12	1	1.2	1	1.2	3	3.6
Utilidad	12	2	2.4	2	2.4	3	3.6
Resistencia	12	3	3.6	3	3.6	2	2.4
Peso	12	2	2.4	1	1.2	3	3.6
	100%	Total:	20	Total:	16.1	Total:	27.3

Conclusiones:

La matriz de decisión, muestra la evaluación de las opciones presentadas y analizadas anteriormente con sus respectivas ventajas y desventajas, una vez analizadas cada una de ellas se ha concluido que la que mejor se adopta para el presente proyecto, es la tercera opción; basada en el reforzamiento de la estructura mediante ángulos de respaldo en las secciones principales y secundarias de celosía en las vigas y columnas, y planchas en el interior de las cartelas, debido a que disipa de mejor manera las fuerzas con un área menor, y así soporta cargas laterales y transmite momentos de una manera estable.

La opción seleccionada es la más funcional dentro de la planta, donde los parámetros de costos, movilidad, y montaje son importantes para los requerimientos de la empresa; así como del personal que va a implementar el sistema, haciendo con esto que se forme una estructura no muy pesada tendiendo a un rompimiento o muy frágil por falta de esbeltez en sus refuerzos.

5.3.1 CÁLCULOS DE LA OPCIÓN SELECCIONADA

Cálculos:

Hipótesis de Cargas:

Para establecer las cargas que actúan en las columnas, vigas carrileras y cartelas hay que mencionar sobre las cargas generadas por los puentes grúa nuevos que se van a instalar, a través de las ruedas en la rodadura que son transmitidas con esfuerzos horizontales al ser frenadas a los elementos.

El carril de la grúa, al desplazarse, origina un esfuerzo transversal, mediante las ruedas de la grúa, y son transmitidos perpendicularmente a la viga carrilera. Todas las fuerzas que recibe la viga carrilera son transmitidas a las columnas por medio de la cartela que es la unión entre la viga carrilera y columna.

Fuerzas de Frenado:

El anexo (A) muestra las presiones de las ruedas para puentes grúa accionados mediante motor eléctrico para cargas de hasta 100 toneladas.

Para tener las presiones de las ruedas se ingresa en la tabla con la carga y la luz. Al tener la necesidad de instalar un puente grúa de 10 [Ton] en la nave principal de la empresa Sedemi S.C.C., con una luz desde el suelo de 7920 [mm], al no tener la misma distancia se selecciona una mayor siguiente que es de 8750 [mm], en la figura 5.13 se indican las cargas en cada rueda del puente grúa de 10 toneladas que se va a utilizar:

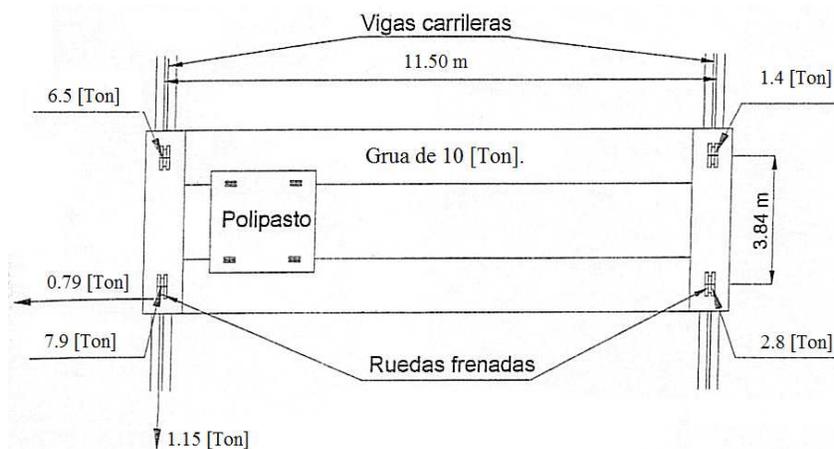


Figura 5.13. Cargas resultantes de las ruedas del puente grúa 10 [Ton]

Es importante recalcar que en la figura anterior se indican los valores de las fuerzas de frenado en las condiciones más desfavorables cuando el polipasto está funcionando a su mayor capacidad. La viga tipo cajón que forma el puente grúa tiene un área transversal de 93.12 [cm²] para 10 [Ton] según las especificaciones del fabricante de los puentes grúa que es Fénix Ingeniería, detallado en el Anexo (J), y con la densidad del acero ASTM A- 36, que es de $\rho_{AC} = 7850$ [kg/m³], se puede calcular la masa por unidad de longitud de la viga del puente grúa que es:

$$\lambda_{vc} = \rho \times A_t$$

CMAA pag 120 (5.3)

$$\lambda_{vc} = 7850 \text{ [kg/m}^3\text{]} \times 9.31 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]} = 73.1 \text{ [kg/m].}$$

Existe también un valor que se le aumenta debido a un impacto vertical y la carga de las ruedas máxima de la grúa, así como por elementos secundarios como placas de arriostamientos y soldadura, y se incrementará en los porcentajes que figuran en el texto siguiente para determinar el impacto vertical inducido o la fuerza de vibración:

Tabla 5.4: Factores de seguridad sugeridos por la CCMA

Tipo de trabajo para las grúas	Factor de seguridad
Monorraíl grúas (accionado eléctricamente)	1.25
Con Cabinas operadas u operados remotamente	1.25
Grúa suspendida que funciona con grúas de puente (alimentación)	1.15
Puente grúas con la orientación manual	1.10

Este valor que se le aumenta del caso es de un 1.25

$$\lambda_T = 73.1 \times 1.25 = 91.37 \text{ [kg/m]}$$

La mayor distancia entre columnas es de 11.502 [m], haciendo que la masa total de la viga tipo cajón del puente grúa nuevo sea de:

$$\text{Masa viga cajón puente grúa 10[Ton]} = 91.37 \text{ [kg/m]} \times 11.50 \text{ [m]} = 1050.93 \text{ [kg]}$$

$$F_{\text{Viga Cajón}} = 1050.93 \text{ [kg]} \times 9.80 = 10.29 \text{ [KN]}$$

La simulación y cargas de viga tipo cajón para el puente grúa 10 [Ton] se encuentran en el Anexo (I), y las cargas que van a soportar la ménsula de las columnas para 10 [Ton] se consiguen de la siguiente manera:

La suma de las cargas máximas de las ruedas en donde se encuentre el polipasto es de:
 $7.9 \text{ [Ton]} + 6.5 \text{ [Ton]} = 14.4 \text{ [Ton]} = 14400 \text{ [kg]}$

Resumiendo la carga axial que soporta la ménsula o cartela para los nuevos puentes grúa será de
 $14400 \text{ [kg]} + 1050.93 \text{ [kg]} = 15450.93 \text{ [Kg]}$

$$\text{Poli}_{10} = 15450.93 \text{ [kg]} \times 9.8 = 151.41 \text{ [KN]}$$

$$F_{r_{\text{max } 10}} = 7900 \text{ [kg]} \times 9.8 = 77.42 \text{ [KN]}$$

Cargas muertas:

Las cargas muertas son las cargas verticales que se producen debido al peso de varios miembros de todos los componentes no estructurales de manera permanente y con un comportamiento estático, no varían con el tiempo respecto a su posición y peso, la carga muerta de una construcción puede consistir en el peso del techo, largueros, columnas, cerchas, plomería, acabados, cables, muros, etc., todo esto tomado de cuando fue creada la estructura mediante el Anexo (M):

$M_{pp} = \text{Masa correas} + \text{Masa cerchas} + \text{Masa vigas carrileras} + \text{Masa columnas} + \text{Masa placas base.}$
MERY ROBERT pag 72 (5.4)

$M_{pp} = 17621.2 \text{ [kg]} + \text{Masa Estilpanel} + \text{Masa cubierta de paredes}$

Área total de cubierta y paredes = 2086 [m²]

$$\sigma_{ep} = 3.83 \text{ [kg/m}^2\text{]}, \text{ Anexo (B)}$$

$$M_{es+pa} = \sigma_{ep} \times A_{Est} = 3.83 \text{ [kg/m}^2\text{]} \times 2086 \text{ [m}^2\text{]} = 7989.38 \text{ [kg]}$$

$$M_{pp} = 17621.2 + 7989.38 \text{ [kg]}, M_{pp} = 25610.58 \text{ [kg]}$$

Carga muerta total:

Se multiplica por un factor de seguridad que comprende la masa a sumar en los refuerzos a la estructura de un 1.25 más que al final de la reestructuración subirá su valor notoriamente de estos cálculos, ya que se va a incrementar material en las columnas, vigas carrileras y cartelas:

$$C_D = M_{pp} \times \eta$$

$$C_D = 25610.58 \text{ [kg]} \times 1.25 = 32013.22 \text{ [kg]} \times 9.8 = 313.72 \text{ [KN]}$$

Cargas vivas:

Las cargas vivas son colocadas a una estructura por el uso y ocupación de la misma, son resultado de la actividad humana y son distintas de las fuerzas naturales por lo cual se consideran móviles o cargas de movimiento, y estas cargas móviles pueden transportarse de un lugar a otro en una estructura por ejemplo la ocupación humana y mobiliaria, y se pueden trasladar en forma continua sobre la estructura.

Las principales cargas a considerar dentro de las cargas vivas son las siguientes:

- Cargas de viento
- Cargas de sismo
- Cargas de granizo

Carga de Granizo:

Como se calcula al diseñar la cercha, el valor total de la masa del granizo como carga axial resultante en los apoyos es igual a:

Longitud de caída de la cercha: 15.700 [m]

Distancia máxima entre pórticos: 6 [m]

σ_{granizo} : 40 [kg/m²]

Masa total del granizo: 15.7 [m] x 6 [m] x 40 [kg/m²] = 3768 [kg]

F_{Granizo} : 3768 [kg] x 9.80 = 36.92 [KN]

La carga de sismo en el caso presente que actúa es igual a las cargas actuantes son del puente grúa con sus respectivas reacciones al frenado y la masa de la cercha es decir:

$$\text{Sismo}_{10 [\text{Ton}]} = 20\% \times \left(\frac{\text{Poli10} + \text{Cercha}}{2} \right) \quad \text{CMAA pag 129 (5.5)}$$

$$\text{Sismo}_{10 [\text{Ton}]} = 0.20 \times \left(\frac{15450.93 + 1884}{2} \right)$$

$$\text{Sismo}_{10 [\text{Ton}]} = 1733.49 [\text{kg}] \times 9.8 = 16.98 [\text{KN}]$$

Carga de viento W_v :

Para este tipo de carga se considera la presión ejercida por el viento sobre una estructura, la misma que depende de la ecuación:

$$W_v = \frac{1}{2} v^2 \times \rho_{AI} \times C_{d_{PM}} \quad \text{MERY ROBERT pag 42 (5.6)}$$

W_v = carga de viento.

V = velocidad del viento 80 [km/h].¹

ρ_{AI} = densidad del aire en Sangolqui 1.05 [kg/m³].²

$C_{d_{PM}}$ = coeficiente de empuje 1.1 para placas metálicas.³

$$W_v = \frac{1}{2} \left(22.22 \frac{m}{s} \right)^2 \times 1.05 \frac{kg}{m^3} \times 1.1$$

$$W_v = 285.13 \left(\frac{N}{m^2} \right) = 285.13 [\text{Pa}]$$

Después de sacar el esfuerzo ejercido por el viento, para tener la fuerza se multiplica por el área de incidencia donde trabaja el viento la cual es:

Altura por donde ingresa el viento: 10.60 [m].

1. CPE INEN 5: Código de Práctica Ecuatoriano de la Construcción Requisitos de Construcción, Quito – Ecuador, p. 40.

2. Ídem, p. 41.

3. Ídem, p. 43.

En una Longitud de: 22.5 [m]

$$F_v = W_v \times A_v$$

$$F_v = 285.13 \text{ [N/m}^2\text{]} \times 22.5 \text{ [m]} \times 10.6 \text{ [m]} = 68.03 \text{ [KN]}$$

$C_L = [\text{viento} + \text{sismo} + \text{granizo} + \text{maquinaria nueva} + \text{fuerza frenado máxima} + \text{fuerza polipasto} \times \text{lado}] \times \text{factor seguridad}$ MENDOZA NICOLAS pag 60 (5.7)

$$C_L = 68.03 \text{ [KN]} + 16.98 \text{ [KN]} + 36.92 \text{ [KN]} + (10.29 \text{ [KN]} \times 4 \text{ vigas}) + 77.42 \text{ [KN]} + (151.41 \text{ [KN]} \times 2 \text{ lados})$$

Dentro de las cargas vivas lo que va a cambiar es la carga de la maquinaria que viene dada por la masa del equipo montado que se va a cambiar en la estructura de la nave principal, a este se le suma e incrementa un 1.10 de factor de seguridad.

Carga viva total:

$$C_L = 539.30 \text{ [KN]} \times 1.10 = 593.24 \text{ [KN]}$$

Análisis individual de cargas en elementos:

Carga Viva de la Correa:

Las cargas que soportan las correas se analizan según los ejes y son:

a) Estilpanel, Panel Máster Ar 2000, Galvalume E=0.40mm, (Anexo B).

$$\text{Área total de cubierta} = 1227 \text{ [m}^2\text{]}, \text{ Anexo (L)}$$

$$\text{Área total de cubierta y paredes} = 2086 \text{ [m}^2\text{]}, \text{ Anexo (L)}$$

$$\sigma_{ep} = 3.83 \text{ [kg/m}^2\text{]}, \text{ (Anexo B)}$$

$$\text{Área de incidencia} = 2 \text{ [m]}$$

$$\lambda_{ep} = A \times \sigma_{ep}$$

$$\lambda_{ep} = 2 \text{ [m]} \times 3.83 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$\lambda_{ep} = 7.66 \text{ [kg/m]}$$

b) Correas G 100 x 50 x 15 x 3 (Anexo C).

$$\lambda_{cr} = 4.95 \text{ [kg/m]}$$

c) Granizo.

Carga del granizo: $\sigma = 40 \text{ [kg/m}^2\text{]}$; según código de construcción ecuatoriano, diseño de cubiertas capítulo 5.

Área de incidencia efectiva en la dirección de la gravedad = 1.87 [m]

$$\lambda_g = 40 \text{ [kg/m}^2\text{]} \times 1.87 \text{ [m]} = 75 \text{ [kg/m]}$$

Ya determinadas las cargas actuantes se obtiene la carga distribuida total de las correas que es la suma de todas y se obtiene:

$$\lambda_{qc} = \lambda_{ep} + \lambda_{cr} + \lambda_g \quad \text{NORMA EA-95 pag 121 (5.8)}$$

$$\lambda_{qc} = 7.66 \text{ [kg/m]} + 4.95 \text{ [kg/m]} + 75 \text{ [kg/m]}$$

$$\lambda_{qc} = 87.61 \text{ [kg/m]}$$

Masa total es multiplicado por el área de incidencia de 11.7 [m]

$$\text{Masa total carga muerta correa} = \lambda_{qc} \times 11.7 \text{ [m]}$$

Masa total carga muerta correa = 1025 [kg]

El valor máximo de la correa multiplicado por el número de correas [8] no debe ser mayor a la carga viva total:

$$M_{cr} = 1025 \text{ [kg]} \times 8 = 8200 \text{ [kg]} \quad \text{NORMA EA-95 pag 124 (5.9)}$$

$$F_{CR} = 8.2 \text{ [Ton]} \times 9.8 = 80.36 \text{ [KN]}$$

$$C_L = 593.24 \text{ [KN]}$$

$M_{cr} < C_L$ Si cumple

$$\eta_d \geq 1.5 ; \text{ si } \eta = \left[\frac{C_L}{M_{cr}} \right] \approx 7.4$$

Carga Muerta de la Cercha:

La carga muerta de la cercha comprende la masa de las correas, la masa del estilpanel y la masa propia de sus elementos.

$$\text{Masa de cubierta} = 4699.41 \text{ [kg]}$$

$$\text{Masa cercha elementos principales y secundarios} = 401 \text{ [kg]} + 231 \text{ [kg]} = 632 \text{ [kg]}$$

$$\text{Masa correas} = 720.65 \text{ [kg]}$$

$$\text{Masa total carga muerta Cercha} = 4699.41 \text{ [kg]} + 632 \text{ [kg]} + 720.65 \text{ [kg]} = 6052.06 \text{ [kg]}$$

$$F_{CH} = 6.05 \text{ [Ton]} \times 9.8 = 59.31 \text{ [KN]}$$

La carga muerta de la cercha dividida para el número total de cerchas igual ah 15, no debe exceder la carga viva:

$$F_{CH} = 59.31 \text{ [KN]} / 15$$

NORMA EA-95 pag 126 **(5.10)**

$$= 3.95 \text{ [KN]}$$

$$F_{CH}/15 < C_D \quad \text{Si } C_D = 593.24$$

$$\eta_d \geq 1.5 ; \text{ si } \eta = \left[\frac{C_D}{F_{ch}} \right] \approx 10$$

Ménsulas:

El diseño de las ménsulas, es en base al momento de diseño de las columnas, el contacto directo entre la placa base y las columnas se hace a través de las ménsulas. El empotramiento consiste en 12 ménsulas, dispuestas a cada lado como se indica en el plano general correspondiente, Anexo (P), la geometría de la ménsula es definida en base a la resistencia de las juntas soldadas. Las soldaduras deben resistir la fuerza de tracción de los pernos de anclaje de las columnas.

El espesor de la cartela se diseña a corte, para la condición mas critica de operación, la determinación de los parámetros de diseño como se calculo al inicio dan la carga que debe soportar la ménsula de: 151.41 [KN]. El cálculo exacto de las cartelas es complejo en general, y se obtienen resultados aproximados con algún programa de cálculo estructural, en este caso el refuerzo se basara en la Norma EA-95, para estructuras metálicas, y el refuerzo se basa en la carga que va a soportar en la tabla 5.5:

Tabla 5.5: Fuerzas y espesores de cartelas según la norma EA - 95

Fuerza [Ton]	Espesor [mm]
$F < 15$ [ton]	$t = 8-10$ [mm]
$15 < F < 25$ [ton]	$t = 10-12$ [mm]
$25 < F < 35$ [ton]	$t = 12-14$ [mm]
35 [ton] $< F$	$t = 14-20$ [mm]

En este caso para fuerzas que son menores a quince toneladas escogemos el primer ítem donde reforzaremos la cartela con un plancha de 10 [mm].

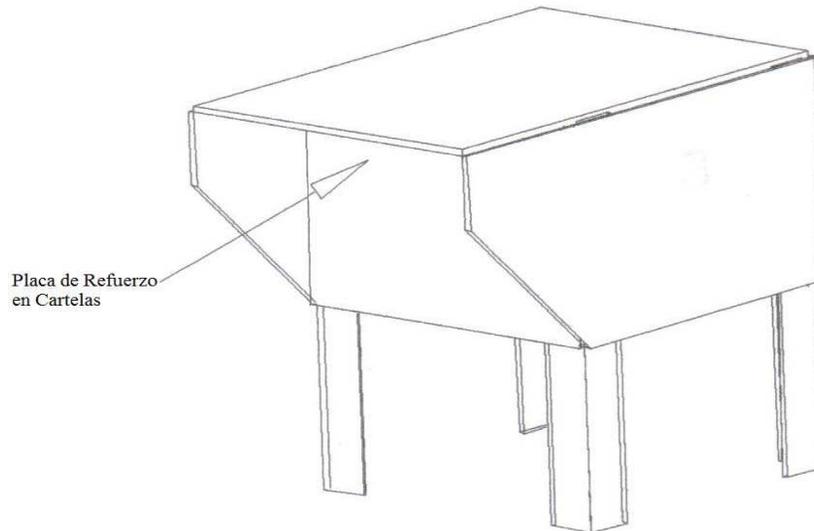


Figura 5.14. Esquema de refuerzos en cartelas para puente grúa 10 [Ton]

Comprobación:

Para el diseño de una de las ménsulas se toma aproximadamente el 25% más de la masa total.

$$F_c = 151.41 \text{ [KN]} \times 1.25 = 189.26 \text{ [KN]}$$

$$\tau = \left(\frac{F_c}{A_m} \right)$$

GALAMBOS pag 125 (5.11)

$$A_m = t \times a_p$$

GALAMBOS pag 137 (5.12)

$A_m =$ Área de influencia del esfuerzo

t = Espesor asumido para la ménsula

a_p = Mínima distancia proyectada de la ménsula donde primero puede fallar

$$a_p = \text{Sen } 45^\circ \times 30.5 \text{ [cm]} = 21.56 \text{ [cm]}$$

$$A_m = 1 \text{ [cm]} \times 21.56 \text{ [cm]} = 21.56 \text{ [cm}^2\text{]} = 2.15 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$\tau = \left(\frac{189.26 \times 10^3}{2.15 \times 10^{-3}} \right) = 88.02 \text{ [MPa]}$$

$$\tau < 0.6 F_y \quad \text{AISC 2005 pag 152 (5.13)}$$

F_y del material para reforzar será 2400 [kgf/cm²] = 235.2 [MPa], Acero ASTM - A36

$$0.6 \times F_y = 0.6 \times 235.2 \text{ [MPa]} = 141.12 \text{ [MPa]}$$

$$88.02 \text{ [MPa]} < 141.12 \text{ [MPa]} \text{ si cumple}$$

Se concluye que el espesor escogido en el refuerzo de la ménsula de 10 [mm] es suficiente, por tanto con las medidas específicas de la cartela dan refuerzos de:

650 [mm] * 500 [mm] placas de refuerzo en cartelas

Cartelas completas: 4 placas * 2 unidades

Medias cartelas: 8 placas * 1 unidad

Total: 16 placas de refuerzo de 10 [mm]

Los pernos son tipo SAE J429, Grado 5, y no se deben cambiar en la estructura como tal ya que se tiene pernos de diámetro 3/4", 8 perforaciones en cada cartela, con cartelas de espesor 10 mm = 3/8", y según la AISC, entramos al Anexo (D) y nos da una fuerza de:

$$F_{m_{CTL}} = 38.3 \text{ [kips]}$$

$$\therefore F_{m_{CTL}} = 38.3/2.2 = 17.40 \text{ [Ton]}$$

Y si la fuerza máxima a emplear en los pernos y cartelas es de F_{ac} = 10 [Ton]

$$F_{ac} < F_{m_{CTL}} \quad \text{AISC 2005 pag 1383 (5.14)}$$

10[Ton] ≤ 17.40[Ton] ∴ Si cumple, los pernos actuales están bien según la norma

Vigas carrileras:

Las medidas de las vigas carrileras que se van a trabajar para 10 [Ton] se indican en los planos generales Anexo (P), cuando fue hecha la viga para de 5 [Ton].

La viga-carril se proyecta como isostática o como continua, en este caso se hizo como viga continua ya que resulta un cálculo más favorable debido a que la viga resiste y transmite a sus apoyos la carga por medio de flexión y cortante.

Este tipo de vigas están sometidas a fuerzas dinámicas verticales y horizontales, son construidas en acero estructural soldado ASTM A-572 Grado 50, y las ventajas son: mayor rigidez lateral y resistencia a la torsión, obteniendo elementos más compactos y duraderos. El efecto de la torsión aparece a causa del frenado del puente grúa, y para el análisis de los refuerzos de las vigas carrileras se utilizó el programa de Análisis Estructural Sap 2000, en el programa se ingresa las cargas que actúan sobre la viga con las dimensiones y los puntos más críticos de la viga.

Los tipos de esfuerzos a que están sometidos son fuerzas verticales, la masa propia, reacciones de las ruedas; fuerzas horizontales, reacciones transversales y reacciones longitudinales.

Las reacciones longitudinales se absorben con pórticos de frenado; situados en las columnas, las demás reacciones o acciones se han de considerar directamente en el cálculo de la viga carril. Las reacciones de las ruedas y transversales tienen valores máximos y mínimos; según se considere la posición extrema del carro.

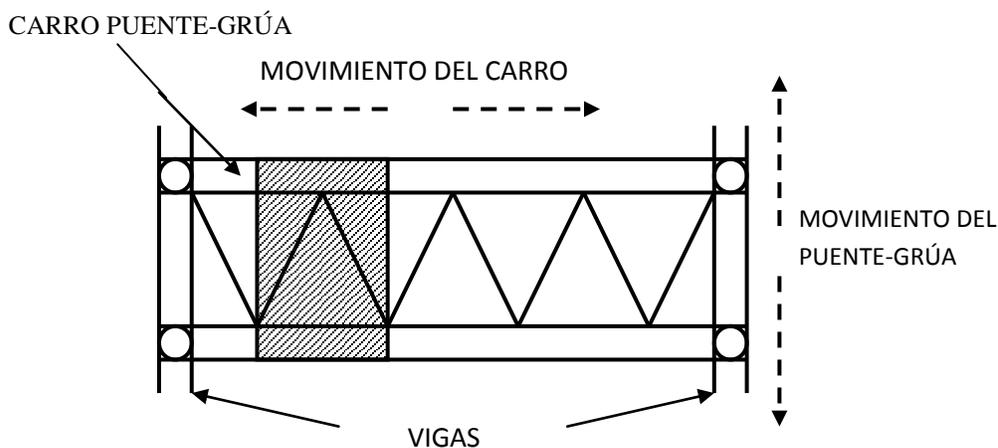


Figura 5.15. Figura de las ruedas del puente grúa de 10[Ton] en movimiento

Las presiones máximas originadas tomadas del Anexo (A), por el puente grúa en las ruedas son de $r_1 = 7.9$ [Ton] y $r_2 = 6.5$ [Ton] todo esto aplicado en una área de una rueda con un diámetro de $\phi = 0.5$ [m], las reacciones de las ruedas van a tener valores máximos y mínimos dependiendo de la posición del carro.

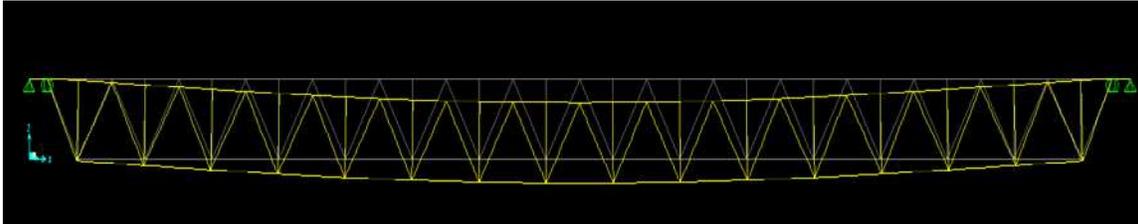


Figura 5.16. Máxima carga simulación viga carrilera del puente grúa 10 [Ton]

En vigas con mucha frecuencia el momento de inercia necesario está regido por el comportamiento de los requisitos de las flechas máximas admisibles y no por el de resistencia y con su flecha máxima se produce lo siguiente:

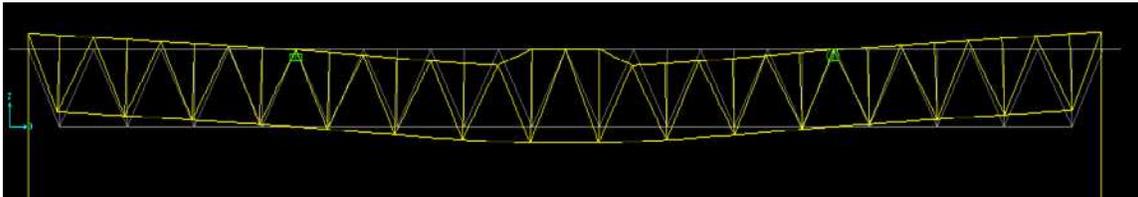


Figura 5.17. Combinación máximas cargas simulación viga carrilera 10 [Ton]

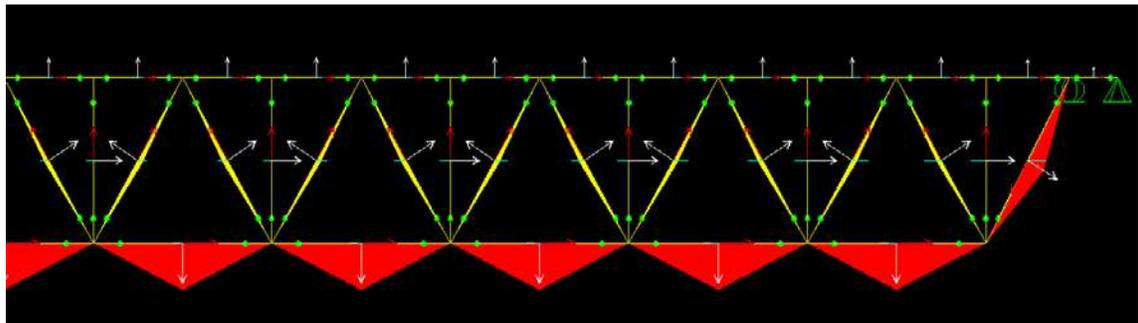


Figura 5.18. Cargas resultantes en cada sección de la viga carrilera 10 [Ton]

El diseño de las vigas continuas comienza con la determinación de los valores del Sap 2000, que son el $M_{\max (+)}$: momento máximo positivo en el diagrama de momentos y el $M_{\max (-)}$: momento máximo negativo en el diagrama de momentos, como se puede ver en las figuras:

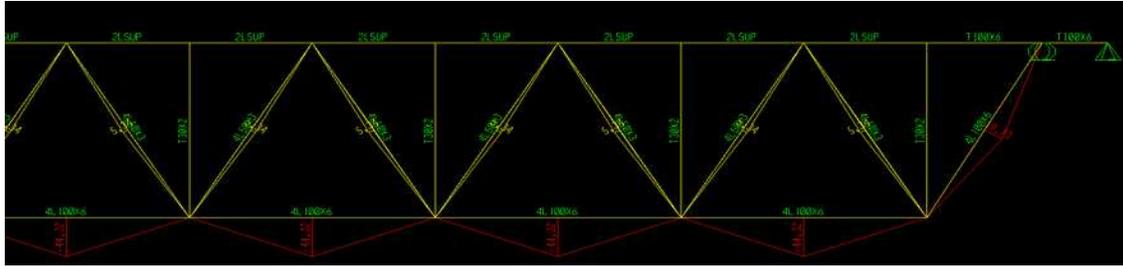


Figura 5.19. Máximo momento positivo viga carrilera del puente grúa 10 [Ton]

$$M_{\max (+)} = 44.32 \text{ [kgf - m]}$$

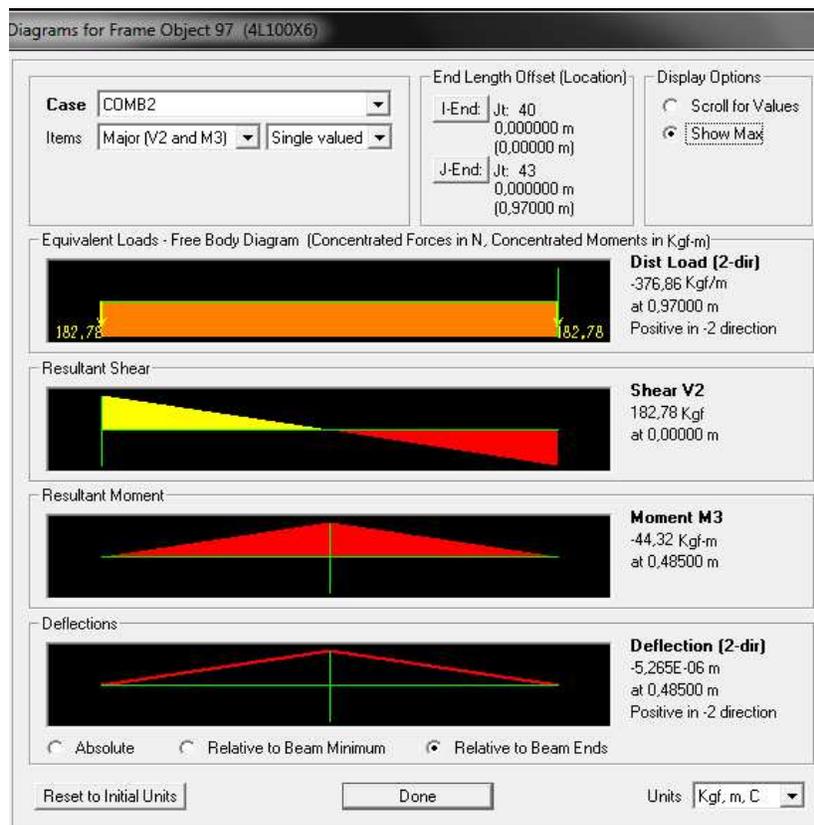


Figura 5.20. Esquemas máximas fuerzas positivas viga carrilera

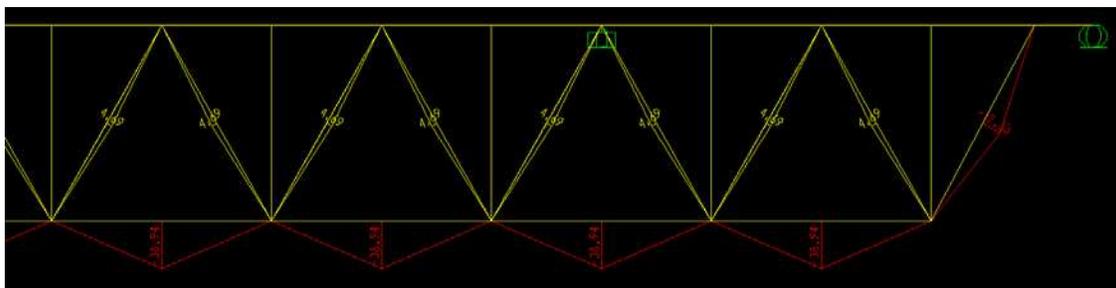


Figura 5.21. Máximo momento negativo viga carrilera puente grúa 10 [Ton]

$$M_{\max} (-) = 38.94 \text{ [kgf - m]}$$

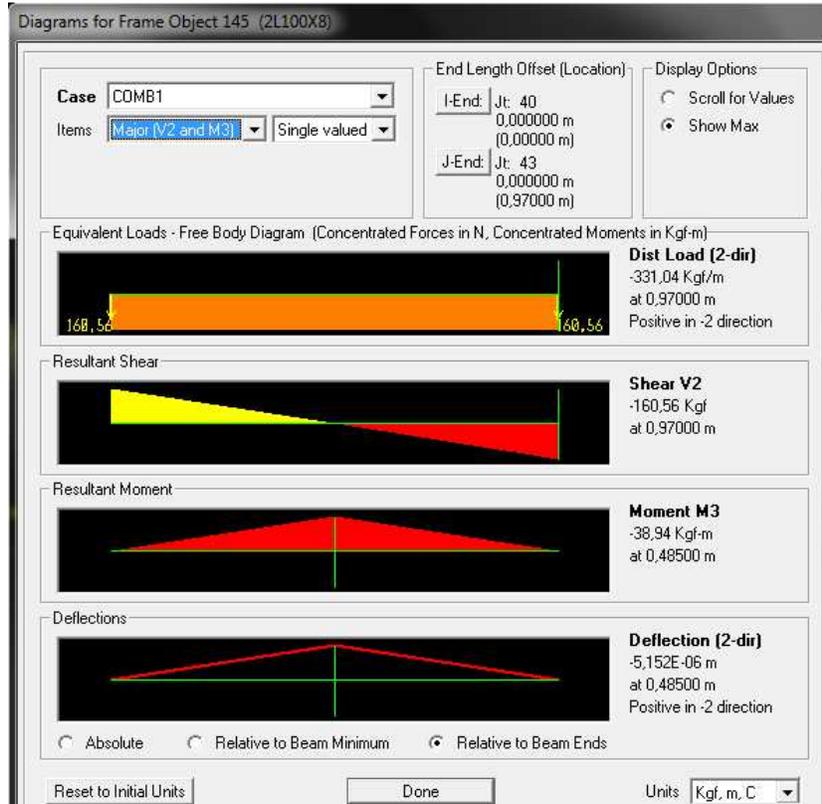


Figura 5.22. Esquemas máximas fuerzas negativas viga carrilera

Tabla 5.6: Máximos momentos, positivo y negativo del Sap 2000

$M_{\max} (-)$	38.94 [kgf - m]	381.61 [N - m]
$M_{\max} (+)$	44.32 [kgf - m]	434.33 [N - m]

El momento de diseño se obtiene al reemplazar en las ecuaciones siguientes los valores de los diagramas de momentos antes mencionados y escogiendo el mayor de entre los dos, que será el momento de diseño en el eje x de esta forma:

$$a) M_{\max} (-) = 0.9 M_{\max} (-) \quad \text{AISC 2005 pag 359 (5.15)}$$

$$b) M_{\max} (+) = M_{\max}(+) + 0.1 M_{\max} (-) \quad \text{AISC 2005 pag 359 (5.16)}$$

Se realiza y se obtiene como resultado:

$$a) M_{\max} (-) = 0.9 \times 381.61 = 343.45 \text{ [N - m]} = M_y$$

$$b) M_{\max} (+) = 434.33 + 0.1 \times 381.61 = 472.49 \text{ [N - m]} = M_x$$

De los valores de los momentos flectores obtenidos para la hipótesis, se eligen los momentos de diseño más desfavorables. El diseño de la viga carrilera debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad \text{AISC 2005 pag 382 (5.17)}$$

Donde:

$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} \quad \text{AISC 2005 pag 383 (5.18)}$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y} \quad \text{AISC 2005 pag 383 (5.19)}$$

M_x = momento de diseño en el eje x

S_x = modulo resistente de sección en el eje x

M_y = momento de diseño en el eje y

S_y = modulo resistente de sección en el eje y

F_{bx} y F_{by} = esfuerzos flectores admisibles combinados dados por el material actuante

f_{bx} y f_{by} = esfuerzos flectores a calcular en el proceso según los ejes

Con los momentos de diseño en el eje x o y, se denominan los modulo de sección de la siguiente ecuación de forma:

$$S_{nec} \geq \frac{M}{0.6F_y} \quad \text{AISC 2005 pag 123 (5.20)}$$

$F_y = 2400 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} = 235.2 \text{ [MPa]} = \text{Acero ASTM A - 36}$

$$S_{x_{nec}} \geq \frac{M_x}{0.6F_y} \quad ; \quad S_{y_{nec}} \geq \frac{M_y}{0.6F_y}$$

$$S_{x_{nec}} \geq \frac{472.49}{0.6 \times 235.2} \quad ; \quad S_{y_{nec}} \geq \frac{343.45}{0.6 \times 235.2}$$

$$S_{x_{nec}} \geq 3.34 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]} \quad ; \quad S_{y_{nec}} \geq 2.43 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

La sección principal que más sufriría de la viga principal a donde se quiere llegar y como empezó los cálculos es una sección 100 x 8 lo cual llegara con un área igual de cobertura con el refuerzo según las propiedades del ángulo detallado en el anexo (E):

$$A = 15.36 \text{ [cm}^2\text{]} = 1.53 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}, \text{ Área}$$

$$I = 148.17 \text{ [cm}^4\text{]} = 1.48 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}, \text{ Momento de inercia}$$

$$r = 3.11 \text{ [cm]} = 31.1 \times 10^{-3} \text{ [m]}, \text{ Radio de giro}$$

$$S_x = 20.57 \text{ [cm}^3\text{]} = 20.57 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$S_y = 15.15 \text{ [cm}^3\text{]} = 15.15 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$f_{bx} = \frac{472.49}{20.57 \times 10^{-6}} = 24.13 \text{ [MPa]}$$

$$f_{by} = \frac{343.45}{15.15 \times 10^{-6}} = 22.66 \text{ [MPa]}$$

Se verifica si cumple con la relación establecida de flexión combinada en la ecuación 5.17 de la siguiente manera:

$$\frac{24.13}{0.6 \times 235.2} + \frac{22.66}{0.75 \times 235.2} \leq 1$$

$0.3 \leq 1$ ∴ Si cumple

Con la sección escogida y el área equivalente será proporcionada por los refuerzos siguientes:

Reforzamientos en la mayoría de la celosía es decir en la parte exterior en la misma posición, en el caso de las vigas carrileras que cubran la misma sección, el perfil L principal son L100x6 y sus refuerzos son ángulos exteriores que comprenden L75x6, para cubrir un ángulo L100x8 en la celosía o ángulos secundarios de la celosía de las vigas carrileras estos ángulos son L50x3 y sus refuerzos constarían en L40x3, para cubrir un ángulo L50x4 todos los refuerzos son soldados a la parte exterior de la estructura.

Del Anexo (F), se toma el valor máximo de deformación de la viga escogida con el ángulo que vamos a reforzar.

Tabla 5.7: Máxima deformación para la viga de 10 [Ton] del Sap 2000

Δ_{\max}	7.35 [mm]
-----------------	-----------

El análisis se realizó como una viga continua y la máxima flecha no debe estar mayor a longitud entre apoyos, que es entre columnas de 15980[mm], dividida para 360, es decir una flecha máxima admisible en vigas carrileras de:

$$\Delta_{AD} \leq \frac{L}{360} \leq \frac{15980}{360} \leq 44.38 \quad \text{AISC 2005 pag 474 (5.21)}$$

$$\Delta_{AD} \leq \frac{15980}{360}$$

$$\Delta_{AD} \geq 44.38 \text{ mm}$$

$$\Delta_{AD} \geq \Delta_{MAX}$$

CPE INEN 5 pag 7 (5.22)

44.38 \geq 7.35 \therefore Si cumple

Áreas adjuntas:

Angulo principal necesario: L 100 x 8 [A=15.36 cm²]

Angulo existente: L 100 x 6 [A=11.64cm²]+ Refuerzo L 76 x 6 [A=8.64 cm²]

Excedente área adjunta: 15.36 - 11.64 - 8.64 [cm²] = 4.92 [cm²]

Fs = 1.32

Angulo secundario necesario: L 50 x 4 [A=3.84 cm²]

Angulo existente: L 50 x 3 [A=2.91cm²]+ Refuerzo L 40 x 3 [A=2.31 cm²]

Excedente área adjunta: 3.84 - 2.91 - 2.31 [cm²] = 1.38 [cm²]

Fs = 1.36

Columnas:

En el caso de las columnas el diseño de los refuerzos va a estar especificado a cargas de compresión, debido que las cerchas y cargas de deflexión de los puentes grúa brindan un diseño basado en flexo-compresión, y la resistencia con las cargas dichas se basara en las propiedades del material, otra carga que las columnas van a soportar, son cada cartela con relación a los puentes grúa y con el peso de las vigas carrileras.

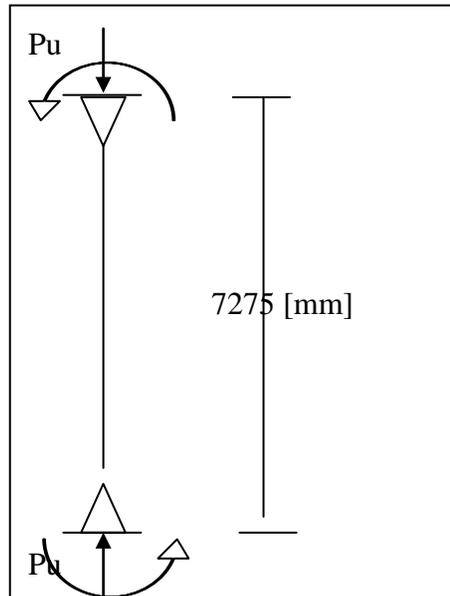


Figura 5.23. Dibujo columnas fuerza combinada

Se empezara con el Anexo (G), tomando los valores de momento máximo y momento mínimo de la corrida del Sap 2000 para las columnas, valores que se representan, en la tabla 5.8:

Tabla 5.8: Momentos críticos de las columnas del Sap 2000

Cargas	Valor	
$M_{\min}: M_1$	3347.05 [kgf - m]	32.80 [KN - m]
$M_{\max}: M_2$	18026 [kgf - m]	176.65 [KN - m]

Luego hallamos la carga axial máxima combinada entre la viva y muerta denomina Pu:

Carga Axial Máxima: $P_u = 1.2 C_D + 1.6 C_L$ AISC 2005 pag 278 (5.23)

$$P_u = 1.2 (313.72) + 1.6 (593.24)$$

$$P_u = 1325.65 \text{ [KN]}$$

A continuación se tomaran los valores del ángulo que necesitaría la columna para trabajar con las 10 [Ton] con las cargas actuantes, el cual es L76 x 8, que se encuentran en la tabla de los ángulos en el Anexo (E), se puede hacer la tabla 5.9 siguiente de las propiedades de las secciones transversales de cada una de las columnas:

Tabla 5.9 Propiedades de la sección transversal de las columnas:

Propiedad	Símbolo	Valor	
Área	A	$4.5 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$	45.44 [cm ²]
Inercia en el eje x-x	I_{x-x}	$104.38 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$	10438.31 [cm ⁴]
Inercia en el eje y-y	I_{y-y}	$44.74 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$	4474.93 [cm ⁴]
Modulo de sección x-x	S_{x-x}	$844.49 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$	844.49 [cm ³]
Modulo de sección y-y	S_{y-y}	$510.39 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$	510.39 [cm ³]

Para calcular la esbeltez se utilizan dos formulas, una con el radio mínimo y otra con el radio máximo de giro con la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{K \cdot L_{na}}{r} \quad \text{AISC 2005 pag 241 (5.24)}$$

Donde:

λ = relación de esbeltez

K = factor de longitud efectiva

L_{na} = longitud no arriostrada de la columna

r = radios de giro máximo o mínimo

El valor del factor de longitud efectiva de pandeo va a depender del tipo de apoyo con el que esté trabajando, por lo que este valor se lo puede obtenerse de la tabla:

Tabla 5.10 Valores de K para los distintos tipos de columnas:

<p style="text-align: center;">TABLA C-C2.2 Valores Aproximados del Factor de Largo Efectivo, K</p>						
La geometría deformada se muestra en línea discontinua	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor recomendado para condiciones aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Vínculo en el extremo	<ul style="list-style-type: none"> Restricción a la rotación y desplazamiento Rotación libre - restricción al desplazamiento Restricción a rotación - desplazamiento libre Rotación y traslación libres 					

Para este caso el valor de K es de 2.1 el recomendado para el diseño ya que la base de la columna esta empotrada y el extremo superior esta libre a rotación y a traslación. Lo radios de giro se determinan con la ecuación 5.25 siguiente para los dos ejes de acción tomando en cuenta la inercia correspondiente a cada eje.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Norma EA 95 pag 84 (5.25)

Donde:

I = momento de inercia de la sección

A = Área de sección

Radio de giro en el eje x-x:

$$r_{x-x} = \sqrt{\frac{104.38_x 10^{-6}}{4.5_x 10^{-3}}}$$

$$r_{x-x} = 0.15 \text{ [m]}$$

Radio de giro en el eje y-y:

$$r_{y-y} = \sqrt{\frac{44.74_x 10^{-6}}{4.5_x 10^{-3}}}$$

$$r_{y-y} = 0.10 \text{ [m]}$$

De los dos valores se elige, cual es el valor de radio de giro máximo y el valor de radio de giro mínimo indispensables para realizar los siguientes resultados:

$$r_{\min} = 0.10 \text{ [m]}, r_{\max} = 0.15 \text{ [m]}$$

Para determinar la relación de esbeltez se necesita la longitud donde se va a trabajar con el refuerzo que es de $7275[\text{mm}] = 7.27 \text{ [m]}$

Entonces el cálculo de la relación de esbeltez viene dado por:

Rmax:

$$\lambda_1 = \frac{K.Lna}{r_{MAX}} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad \text{AISC 2005 pag 241 (5.26)}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad de acero = 29000 [Ksi] = 80 [GPa]

Fy = Punto de fluencia del acero = 36 [Ksi] = 99.31 [MPa]

$$R_{max}: \frac{2.1 \times 7.27}{0.15} \leq 4.71 \sqrt{\frac{80000}{99.31}}$$

101.78 ≤ 133.68 ∴ Si cumple

Rmin:

$$\lambda_2 = \frac{K.Lna}{r_{MIN}} \leq 200$$

AISC 2005 pag 109 (5.27)

$$\frac{2.1 \times 7.27}{0.10} \leq 200$$

154.67 ≤ 200 ∴ Si cumple

La columna actúa como un miembro en un rango compacto y se verifico esto con el esfuerzo permisible en miembros axialmente a compresión, que se obtiene de la ecuación de la siguiente forma:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times E \times \Pi^2}{F_y}}$$

AISC 2005 pag 241(5.28)

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times 80000 \times 3.14^2}{99.31}}$$

$$C_c = 126.03$$

Al cumplir que $\frac{KL}{r_{MIN}} \geq C_c$, en el rango inelástico el esfuerzo admisible viene dado por la demanda/capacidad que muestra al momento de trabajar la columna, y para esto se siguen los siguientes pasos, primero se busca la tensión de pandeo de la columna:

$$\tau_P = \frac{\pi^2 \times E}{\left[\frac{K.L_{na}}{r_{MAX}} \right]^2}$$

AISC 2005 pag 334 (5.29)

$$\tau_P = \frac{3.14^2 \times 80000}{101.78^2}$$

$$\tau_p = 76.14 [\text{MPa}]$$

$$\tau_{CR} = \left[0.658^{\frac{F_y}{\tau_p}} \right] \times F_y \quad \text{AISC 2005 pag 109 (5.30)}$$

$$\tau_{CR} = \left[0.658^{\frac{99.31}{76.14}} \right] \times 99.31$$

$$\tau_{CR} = 57.53 [\text{MPa}]$$

$$P_n = \tau_{CR} \times A_g \quad \text{AISC 2005 pag 110 (5.31)}$$

$$P_n = 57.53 \times 4.5 \times 10^{-3} = 258.89 [\text{KN}]$$

$$\frac{D}{C} = \frac{P_n}{P_u} \leq 1 \quad \text{AISC 2005 pag 116 (5.32)}$$

$$\frac{258.89}{1325.65} \leq 1$$

$$\frac{D}{C} = 0.20 \leq 1 \therefore \text{Si cumple y las medidas de la columna estan bien.}$$

Para comprobar las medidas escogidas se calcula el esfuerzo flector permisible de compresi3n $\frac{Lna}{r_T}$, que certifica que los miembros cumplen con los requisitos, que tienen un eje de simetría

en el alma y para compresi3n las fibras mas extremas se flexionan respecto a su eje principal:

$$\sqrt{\frac{10.2 \times 10^3 \times Cb}{F_y}} \leq \frac{Lna}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 \times Cb}{F_y}} \quad \text{AISC 2005 pag 119 (5.33)}$$

Si: r_T = radio de giro de la secci3n compacta para este caso se toma el valor de 0.15 [m], y la longitud de $L = 7.27$ [m].

$r_{x-x} =$

Cb_C = flexi3n en momentos dobles y simples de la columna.

$$C_b C_c = 1.75 + 1.05 \times \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \times \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \quad \text{AISC 2005 pag 122 (5.34)}$$

$$C_b C_c = 1.75 + 1.05 \times \frac{32.80}{176.65} + 0.3 \times \left(\frac{32.80}{176.65} \right)^2$$

$$C_b C_c = 1.95$$

La condición a cumplir es que $C_b C_T \leq 2.3$, de lo contrario debe tomar el valor de 2.3:

$$C_b C_c \leq C_b C_T$$

$$\therefore 1.95 \leq 2.3 \text{ Si cumple}$$

Siguiendo con la ecuación 5.33 antes planteada demostramos que:

$$\sqrt{\frac{10.2 \times 10^3 \times 1.95}{99.31}} \leq \frac{7.27}{0.15} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 \times 1.95}{99.31}}$$

$$44.75 \leq 48.46 \leq 316.45$$

Los refuerzos son secciones y miembros menores a los que ya están establecidos, detallado en el Anexo (O), cuando se diseñan elementos para columnas con celosías se deben tomar en cuenta condiciones fundamentales que son largas y esbeltas, y como resumen del trabajo se muestra los refuerzos escogidos:

Área adjunta de refuerzo:

Angulo principal necesario: L 76 x 8 [A=11.86 cm²]

Angulo existente: L 76 x 6 [A=8.64 cm²]+ Refuerzo L 70 x 6 [A=8.05 cm²]

Excedente área adjunta: 11.86 - 8.64 - 8.05 [cm²] = 4.83 [cm²]

$$F_s = 1.4$$

5.3.2 MÁXIMA CARGA QUE SE PUEDE TRABAJAR

El propósito fundamental del proyecto es encadenar en una secuencia lógica las disposiciones para evaluar los efectos de esbeltez en los elementos reforzados sometidos a diferentes tipos de combinaciones de cargas en la estructura, acorde con los lineamientos de las diferentes normas la máxima carga que puede cargar cada puente grúa es de 10 [Ton], trabajando todos los puentes grúa con esta carga se realizaron todos los cálculos para que la estructura actual pueda trabajar.

Pero como carga máxima extrema en un caso en el que sea sumamente necesario es de 12.5 [Ton], en un caso en el que un puente grúa individualmente alzaría cualquier masa de esta capacidad, solo un puente grúa a la vez no todos con esta masa.

Como recomendación se debe realizar un mantenimiento periódico de limpieza al sistema de puentes grúa utilizando aire comprimido, con el fin de evitar el contacto de dedos o telas que puedan rayar la maquinas o pantallas de las Cnc, debido a que la planta de armado y soldadura en su trabajo continuo, emite partículas propias de la soldadura y limado, las cuales se esparcen y pueden llegar a ensuciar los motores de los puentes grúa o instrumentos de las demás maquinas.

CAPÍTULO 6

SOLDADURA Y SECUENCIA DEL MONTAJE

Los siguientes temas se refieren a los requisitos que deben cumplir los materiales, la fuerza de trabajo, en el diseño de la soldadura los procedimientos de montaje de los refuerzos en la estructura de acero para rediseñar la infraestructura industrial actual de la nave principal de armado y soldadura de la empresa Sedemi S.C.C.

6.1 GENERALIDADES DE LOS MATERIALES DE REFUERZO

Las tolerancias permisibles del diseño, profundidad, anchura y simetría de los ángulos y planchas son especificados en la norma ASTM A6/A6M, que permite la correcta configuración en el armados de secciones, las partes fabricadas o cortadas deben mantener una tolerancia de rectitud de los miembros no mayor ah un rango en longitud como se observo en el capítulo 5.

La empresa Sedemi S.C.C., entre sus procesos de fabricación específica los criterios de aceptación visual y liberación mediante medidas con planos de taller para mostrar a través de esto su compromiso en cualquier tipo de fabricación, la soldadura se especifica en los planos de montaje del proyecto en el Anexo (O).

No debe existir signos pintados sobre las superficies de miembros de acero que van a ser reforzados en la estructura para que se pueda trabajar en una zona cubierta y además limpia, luego de ser cortados los ángulos y planchas no serán expuestos a la intemperie debido que el acero no llegaría a cumplir los requisitos necesarios.

Posteriormente la entrega de materiales que se utilizaran para los refuerzos de la empresa de Sedemi S.C.C., por los proveedores deberán ser manipulados con cuidado, para evitar doblar, torcer o distorsionar el acero estructural ya que los elementos metálicos que componen la estructura de los puentes grúa, han sido diseñados para la combinación de cargas más desfavorables que involucran a los elementos, cumpliendo con los requisitos de deformación y tensiones señaladas en las normativas, y en cuanto a los elementos de refuerzo serán todos nuevos para minimizar el daño a cualquier elemento en sus características.

En la instalación de los refuerzos para los nuevos puentes grúas, deben aplicarse las reglas de prevención de riesgos que emanan de la correcta evaluación de los mismos en cada operación y para esto se cuenta con el apoyo del coordinador de seguridad industrial, los supervisores y obreros para contemplar la correcta manipulación y trabajo de las personas que las realizan.

6.2 SECUENCIA DE MONTAJE

El montaje de la estructura de acero, debe cumplir con las normas mencionadas en el capítulo 4, el equipo de montaje debe ser el apropiado para el trabajo de los operarios con el respectivo equipo de protección personal.

Para el uso de las maquinas soldadoras, se requiere de la aprobación por parte de la inspección técnica de bodega, montador y operarios, los cuales deben tener un cuidado especial en la parte superior de la estructura exactamente sobre las vigas carrileras, donde la manipulación y montaje de los elementos de refuerzos estructurales son bastante tediosos y difíciles de soldar.

El grupo de montaje es planificado para las operaciones según los refuerzos, y para que el aspecto de la estructura no se vea perjudicada desde el tiempo de incorporar los refuerzos hasta el final, cada pieza de material deber ser ordenado a las necesidades secuenciales del montaje llevando un código propio por la fabrica, el trabajo con marcas de identificación es importante para los supervisores y operarios.

Como resumen de las operaciones básicas en el montaje de los elementos de refuerzo en la estructura son los siguientes ítems:

- a) Descarga correcto del material dentro de la planta.
- b) Trazado y nivelado correcto de los elementos a reforzar.
- c) Presentación y fijación provisional con un correcto criterio.
- d) Fijación definitiva con la autorización del personal técnico especializado en soldadura

La secuencia de armado en el montaje se hará en un lapso de 15 días con 5 personas, 2 soldadores, 2 ayudantes, un supervisor a cargo, para todos los elementos metálicos, y se ejecutará

como se indica a continuación basado en los planos de refuerzos del Anexo (O), para esto se debe seguir las marcas señaladas en cada elemento y la secuencia respecto al trabajo diario que la empresa tiene en la estructura que es detallada a continuación:

- Primero: refuerzos de ángulos en las columnas, por ser las menos expuestas en el trabajo diario.
- Segundo: soldado e incorporación de planchas de refuerzo en el interior de las cartelas.
- Tercero: refuerzos de ángulos primarios en vigas carrileras dependiendo el orden del trabajo diario que se tenga en la planta.
- Cuarto: y final reforzamiento de ángulos de celosía en vigas carrileras, de la misma forma dependiendo el orden de cada viga del trabajo diario que se tenga en la planta.

Las placas base y de apoyo de las columnas fueron pertinentemente supervisadas, y se ha mencionado con anterioridad en el capítulo 5, y se afirma que se encuentran en buen estado, y se verificaran que posean un apoyo completo y uniforme, así como los cimientos superficiales de la estructura.

Las diferentes piezas de refuerzo que forman parte del rediseño de la nueva estructura deben ser alineadas antes de ser conectadas de forma definitiva por la soldadura; las superficies de apoyo y aquellas que estarán en contacto permanentemente, es necesario que estén limpias de óxido, polvo, grasa y otros elementos extraños antes de proceder al montaje.

Las nivelaciones de los elementos antes de colocarlos es un factor importante, una vez que las planchas y ángulos de refuerzo se encuentren niveladas y todo haya sido comprobado, se procederá a soldar, así ah medida que progrese el montaje, las conexiones pueden absorber las cargas de peso propio y montaje.

La corrección de diferencias en dimensiones de la estructura fue previamente corregida, para permitir un correcto armado de los refuerzos y fue mediante calentamiento con oxiacetileno en casos extremos, limado, y según lo indique la inspección técnica del capítulo 5, teniendo la precaución de no debilitar los elementos estructurales. El enderezado en frío o caliente dependió

del grado de deformación de los diferentes elementos.

Las tolerancias de corte de los refuerzos de ángulos y planchas, no podrán exceder aquellas que perjudiquen el correcto montaje, ejecución y la perfecta conservación de la geometría que ha sido especificada con 2 [mm] de precisión. Por tanto para piezas de largo menor a 1 [m], la tolerancia aceptable será de +/- 1 [mm] en el caso de las celosías de las vigas carrileras y planchas de cartelas, luego para piezas mayores a 1[m] la tolerancia será de +/- 2 [mm] en los ángulos principales de columnas y ángulos principales de las vigas carrileras.

Los cortes deberán cumplir con la norma Americana AISC, la limpieza de rebarbas se ejecutará con exactitud y cuidado mediante amoladoras, que los supervisores de corte realizan aunque existe la debida precisión ya que la mayoría de cortes serán hechos por una cortadora Cnc.

La protección superficial de la estructura de acero, y de todos los elementos de acero de esta planta, deberá ser preparada superficialmente no galvanizada, en este caso se pintara los elementos con objeto de eliminar grasa, óxidos u otros contaminantes de tal manera que se garantice el funcionamiento de los elementos, la planta principal es de color azul mate por tanto se dispuso del mismo color para los refuerzos de ángulos y planchas, la preparación de los elementos se efectuará mediante decapados y desengrasantes, según el grado de limpieza requerido el grado de este proyecto es un grado comercial (SSPC-SP-6).

Toda la estructura de acero es pintada por lo que los refuerzos de igual manera y color, y serán hechos en frío en el área de pintado, previo al pintado, se esmerilaran las aristas de los perfiles y planchas, y se eliminaran totalmente las escorias, salpicaduras propias de la soldadura y corte.

6.3 GENERALIDADES DE SOLDADURA

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) incluye 34 diferentes procesos en lo que a soldadura de metales se refiere. Estos procesos se clasifican en 6 categorías generales:

- Soldadura Fuerte (Con soplete)
- Soldadura a Gas (Oxiacetilénica)
- Soldadura por Resistencia Eléctrica (Por puntos, por costura)

- Soldadura en Estado Sólido (Por fricción, por explosión)
- Soldadura por Arco Eléctrico (Con electrodo revestido, con protección gaseosa)
- Otros Procesos (Por láser, por rayos electrónicos)

Los procesos más utilizados en el ámbito mundial son los de arco eléctrico (SMAW, GMAW, GTAW, SAW, FCAW) y en lo que se refiere especialmente al corte de metales la soldadura a gas (OAW). A partir de 1985 el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido ha sido sustituido en forma paulatina por el proceso con protección gaseosa, actualmente se estima que un 30% de las soldaduras son hechas con proceso SMAW en tanto que un 50% son realizadas con procesos con GMAW o GTAW.

En nuestro país, de acuerdo a un estudio realizado en 2005, los porcentajes de utilización de los procesos de soldadura son:

- Soldadura con electrodo revestido (SMAW) el 80%
- Soldadura con alambre continuo y protección gaseosa (GMAW) el 9%
- Soldadura con arco sumergido (SAW) el 6%,
- Soldadura con electrodo no consumible y argón (GTAW) el 2%
- Soldadura con alambre tubular Inner shield (FCAW) representa menos del 1%
- Los otros procesos de soldadura representan el porcentaje restante.

En el caso de unión de la empresa los refuerzos serán mediante el siguiente proceso:

Soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa (GMAW – MIG/MAG)

Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Este proceso también aprovecha el calor generado por el arco eléctrico para fundir los metales a soldar. Sin embargo en lugar de utilizar una varilla revestida como electrodo utiliza un alambre

continuo. La atmósfera protectora lo suministra un gas. El gas puede ser argón, helio, dióxido de carbono, o una mezcla de ellos.

El proceso como tal es muy utilizado para soldar el acero al carbono, como también para soldar el acero inoxidable. Por su capacidad de ser automatizado es muy utilizado en procesos productivos, como soldadura de tanques, estructuras.

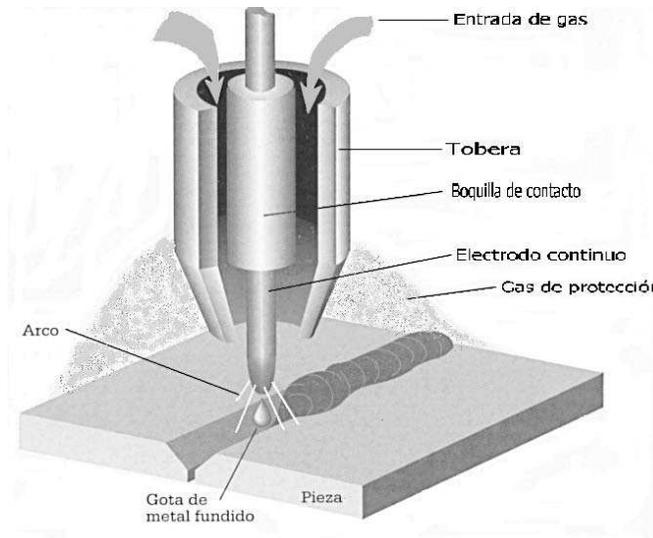


Figura 6.1 Soldadura Mig/Mag

6.4 DISEÑO DE SOLDADURA EN ELEMENTOS DE REFUERZO

Para garantizar el trabajo de rediseño el procedimiento de soldadura de filete que se trabajara deberá ser calificado, así como los soldadores que realizaran el trabajo deben ser aprobados mediante un examen de calificación de este proceso en que el que actuaran, según la norma Nch 308 y AWS D1.1, y, serán supervisados por el Inspector de soldadura, Ingeniero Edwin Cañizares, quien es el coordinador de soldadura, el cual certifica los operarios de la planta y conoce cuáles son los procedimientos óptimos para los diferentes trabajos que se ha realizado.

Todas las conexiones son soldadas, y serán realizadas por el procedimiento de soldadura Mag, fusión automática de arco eléctrico con gas de protección, este procedimiento en la planta se realiza con de tanques de Agamix 20 (80% argón y 20% dióxido de carbono), la eficiencia de esta soldadura es del 90%, con una $V_{avance} = 15$ [m/min].

Las conexiones soldadas se harán con soldadores calificados, las operaciones de soldadura del acero estructural deberán cumplir con el código AWS D1.1 y con la especificación para el diseño, fabricación y elección de acero estructural de la AISC 2005.

Para dar inicio al diseño de la soldadura y verificar que el espesor escogido se baso en la norma AISC 2005 página 176, que ilustra la siguiente tabla 6.1 para el tipo de soldadura que se necesita:

Tabla 6.1: Tabla de tamaño mínimo para unir dos elementos estructurales

Tamaño Mínimo de Soldadura de Filete	
Espesor de la parte unida más delgada, mm	Tamaño mínimo de soldadura de filete^[a], mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Mayor que 19	8
<p>[a] Dimensión del pie de la soldadura de filete. Se deben utilizar soldaduras de paso simple.</p>	

Basado en la norma se verifica que los cordones de soldadura son elegidos correctamente y en el diseño se verifica la longitud de los cordones que se necesita.

6.4.1 SOLDADURA EN LAS COLUMNAS

Para el diseño de la soldadura que se comprimirá en el ángulo que se adjuntara al perfil actual se basa en la resistencia de los elementos y se calcula su resistencia con la siguiente ecuación:

$$f_b \leq F_b \quad \text{MC CORMAC pag 470 (6.1)}$$

Donde:

F_b = Esfuerzo del material base a reforzar

f_b = Esfuerzo para calcular en el área de refuerzo

$$F_b = F_y,$$

F_y = Esfuerzo de fluencia del material

$$F_b = 2400 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} = 235.2 \text{ [MPa]}$$

Y la ecuación del esfuerzo a calcular se plantearía así:

$$f_b = \frac{M}{S_x} \quad \text{MC CORMAC pag 481 (6.2)}$$

Como seguridad adicional, en la ecuación general 6.2 mencionada debido a que la soldadura en los bordes de unión de los dos perfiles de este caso se traccionará o comprimirá, se diseña para el esfuerzo máximo de flexión tomando en cuenta la contribución de la carga axial.

Donde del capítulo 5 tomamos:

$$M = \text{Momento máximo } M_2 \text{ que soporta la columna: } 18026 \text{ [kgf-m]} = 176.75 \text{ [KN-m]}$$

S_x = Modulo de sección de un perfil de la columna el más alto

$$S_x = 844.49 \text{ [cm}^3\text{]} = 844 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$f_b = \frac{176.75}{844.49 \times 10^{-6}} = 20929.79 \text{ [KN / m}^2\text{]} = 209.29 \text{ [MPa]}$$

La condición que debe cumplir es:

$$f_b \leq F_b$$

$$209.29 \leq 235.2 \quad \therefore \text{ Si cumple}$$

El cordón de la soldadura debe resistir una compresión en el trabajo diario y se verifica con el siguiente procedimiento:

$$T_b = f_b \times A_f \quad \text{MC CORMAC pag 490 (6.3)}$$

T_b = Esfuerzo máximo nominal de diseño en el área de refuerzo

A_f = Área de frecuencia para la soldadura

A_f = Ancho de la columna x espesor del ángulo de refuerzo

$$A_f = 0.076 \text{ [m]} \times 6.10^{-4} \text{ [m]}$$

$$A_f = 456 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$T_b = 209.2 \text{ [MPa]} \times 456 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$T_b = 95.38 \text{ [KN]}$$

El diseño de la soldadura se realiza mediante soluciones basadas con la teoría de la elasticidad, o con resultados de ensayos y la longitud de filete, es la distancia medida desde la raíz a la recta que une los extremos D , representa el espesor que resiste el corte a continuación:

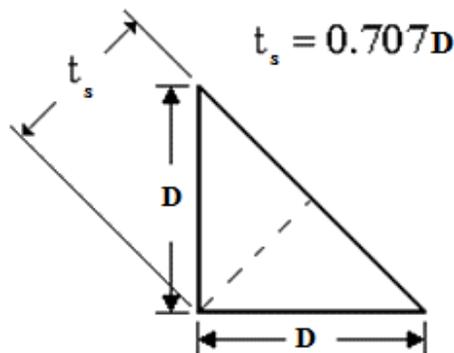


Figura 6.2 Corte transversal de una soldadura

Donde:

$t_s = D \times 0.707$: espesor efectivo de garganta

AWS D1.1 pag 22 **(6.4)**

Si:

$$D = 5 \text{ [mm]} \therefore t_s = 3.53 \text{ [mm]} = 3.53 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

El material de aporte utilizado en este caso será alambre tubular continuo indicado a continuación, y otras condiciones se indican en la tabla 6.2 a continuación de las especificaciones del electrodo:

Tabla 6.2: Material de aporte utilizado

Marca	Linde
Tipo	Alambre MIG para acero al carbono
Especificación	Er70S - 6
Resistencia	70 Ksi
Tamaño	1.2 mm
Masa del rollo de alambre	15 kg

Se presenta las siguientes características de varios electrodos y el electrodo del proyecto que es un electrodo 70-xx, formulado en la siguiente tabla tomada de la AISC página 188, donde indica los esfuerzos en el metal de aporte:

Tabla 6.3: Valores de los esfuerzos en soldadura

Esfuerzos en el metal de aporte en soldaduras			
Electrodos	Fu [kgf/cm ²]	Fv = 0.3 Fu [kgf/cm ²]	Fv = 0.3 Fu [MPa]
E60xx	4220	1270	124.46
E70xx	4920	1480	145.04
E80xx	5630	1680	164.64

La resistencia del cordón será: $P_1 = t_s \times F_v$

MC CORMAC pag 485 (6.5)

Donde: P_1 = Resistencia ultima del cordón por metro en cada sección de soldadura.

F_v : Tensión admisible del material de aporte y material base

Para F_v , existen dos formulas en el diseño de la soldadura, una referida al material base y otra al electrodo y las dos se basan en a la dirección de la carga, donde se adopta por F_v el mayor de los valores.

Electrodo E 70 - xx:

$$F_v = 0.3 \times F_u$$

MC CORMAC pag 486 (6.6)

$$F_v = 145.04 \text{ [MPa]}$$

$$\therefore P_1 = 145.04 \text{ [MPa]} \times 3.53 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$P_1 = 511.99 \text{ [KN/m]}$$

Material Base Acero ASTM A - 36:

$$F_v = 0.4 \times F_y$$

MC CORMAC pag 487 (6.7)

$$F_v = 0.4 \times 235.2 \text{ [MPa]}$$

$$F_v = 94.08 \text{ [MPa]}$$

$$\therefore P_1 = 94.08 \text{ [MPa]} \times 3.53 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$P_1 = 332.10 \text{ [KN/m]}$$

La longitud mínima del cordón de soldadura será:

$$L = \frac{Tb}{P_1}$$

MC CORMAC pag 474 (6.8)

$$L = \frac{95.38 \text{ KN}}{511.99 \frac{\text{KN}}{\text{m}}}$$

$$L = 0.186 \text{ [m]} = 186 \text{ [mm]}$$

El área efectiva de la soldadura, viene dada por:

$$A_e = t_s \times L$$

MC CORMAC pag 475 (6.9)

$$A_e = 0.0035 \text{ [m]} \times 0.186 \text{ [m]}$$

$$A_e = 656 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

6.4.2 SOLDADURA EN LAS MÉNSULAS

En el diseño de la soldadura entre la ménsula y los ángulos de la columna se aplica la siguiente ecuación:

$$F = P_1 \times L$$

$$L = \frac{F}{P_1} \quad \text{AWS D1.1 pag 19 (6.10)}$$

Donde:

F = máxima carga axial que soportara la ménsula

L = longitud de la soldadura

Usando electrodos E 70 -xx, el tamaño nominal del cordón de soldadura de filete será:

$$ts = D \times 0.707$$

Si:

$$D = 10 \text{ [mm]} \quad \therefore ts = 7.07 \text{ [mm]} = 7.07 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$P_1 = ts \times F_v$$

Fv encontramos en la tabla 6.3

$$P_1 = 7.07 \times 10^{-3} \text{ [m]} \times 145.04 \text{ [MPa]}$$

$$P_1 = 1025.43 \text{ [KN/m]}$$

Se toma la máxima carga axial que puede tener la cartela del capítulo 5 del análisis de cargas:

$$F = 151.41 \text{ [KN]}$$

Reemplazando los datos tenemos que:

$$L = \frac{151.41 \text{ KN}}{1025.43 \frac{\text{KN}}{\text{m}}}$$

$$L = 0.147 \text{ [m]} = 147.6 \text{ [mm]}$$

6.4.3 SOLDADURA EN LAS VIGAS CARRILERAS

Para el diseño de la soldadura que se traccionará en el perfil de refuerzo que será adjuntado al perfil actual se calcula su resistencia con la siguiente ecuación:

$$f_b = \frac{M}{S_x}$$

$$f_b \leq F_b$$

$$\text{Si: } F_b = 0.6 F_y = 0.6 \times 235.2 \text{ [MPa]}$$

$$F_b = 141.12 \text{ [MPa]}$$

Donde:

$$M = \text{Momento máximo actuante en las vigas carrilera } M_{\max (+)} = 44.32 \text{ [kgf-m]} = 434.33 \text{ [N-m]}$$

$$S_x = \text{Modulo de sección de un perfil de la viga carrilera} = 20.57 \text{ [cm}^3\text{]} = 20.57 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$f_b = \frac{434.33 \times 10^{-3} \text{ KN-m}}{20.57 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 20995.62 \left[\frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right] = 20.99 \text{ [MPa]}$$

La condición que se debe cumplir es:

$$f_b \leq F_b$$

$$20.99 \leq 141.12 \quad \therefore \text{ Si cumple}$$

El cordón de la soldadura debe resistir una tracción:

$$T_b = f_b \times A_f$$

A_f = área de frecuencia para la soldadura

A_f = ancho de la viga x espesor del reforzamiento

$$A_f = 0.8 \text{ [m]} \times 6 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$A_f = 4.8 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$T_b = 20995.62 \text{ [KN/m}^2\text{]} \times 4.8 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$T_b = 100.77 \text{ [KN]}$$

Donde

$$t_s = D \times 0.707$$

Si:

$$D = 6 \text{ [mm]} \quad \therefore t_s = 4.24 \text{ [mm]} = 4.24 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

La resistencia del cordón será;

$$P_1 = t_s \times F_v$$

De la tabla 6.3, se ha obtenido los datos para el material de aporte utilizado, en el caso del proyecto se utiliza un electrodo E 70-xx se continúa con la resolución:

$$F_v = 0.3 \times F_u \text{ (electrodo)}$$

$$F_v = 145.04 \text{ [MPa]}$$

$$\therefore P_1 = 145.04 \text{ [MPa]} \times 4.24 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$P_1 = 614.96 \text{ [KN/m]}$$

La longitud mínima del cordón de soldadura será:

$$L = \frac{T_b}{P_1}$$

$$L = \frac{100.77 \text{ KN}}{614.96 \frac{\text{KN}}{\text{m}}}$$

$$L = 0.163 \text{ [m]} = 163.86 \text{ [mm]}$$

El área efectiva de la soldadura, viene dada por:

$$A_e = t_s \times L$$

$$A_e = 4.24 \times 10^{-3} \text{ [m]} \times 0.16 \text{ [m]}$$

$$A_e = 6.95 \text{ [m}^2\text{]}$$

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO

El estudio e investigación del rediseño de la planta principal de Sedemi S.C.C., se baso en la necesidad primordial de salvaguardar los operarios, así como de modernización para la empresa, este capítulo indicara el costo total del proyecto, desglosando en distintos rubros.

7.1 ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de factibilidad económica del proyecto toma los costos del sistema de refuerzos, mano de obra, materiales, costo de ingeniería, investigación, e imprevistos, para obtener el costo total de la investigación. Al realizar el estudio económico del proyecto se determina si la ejecución de éste, cumple con la rentabilidad y confiabilidad que exige la empresa para realizar la inversión.

7.1.1 COSTOS DIRECTOS

En las siguientes tablas se presentan los costos del material utilizado para la construcción de los refuerzos de la estructura:

Tabla 7.1 Materiales utilizados para refuerzos de columnas

CANT.	ARTICULO	UNIDAD	VALOR UNIT. [USD]	VALOR TOTAL [USD]
57	Angulo AL 6000x70x6 (mm)	u	46.42	2645.94
4	Rollos de 15 kg, Alambre Mig de 1.2mm, Marca Linde	Kg	26.10	104.40
30	AgaMix 20 (20% Argón, 80% Dióxido de Carbono)	Tanques 10m ³	69.80	2094.0
18	Desoxidante	gal	3.20	57.60
12	Pintura Antioxidante Oxifin	gal	7.77	93.24
			SUBTOTAL	4995.18
			12% IVA	599.42
			TOTAL	5594.60

Tabla 7.2 Materiales utilizados para refuerzos de vigas carrileras

CANT.	ARTICULO	UNIDAD	VALOR UNIT. [USD]	VALOR TOTAL [USD]
129	Angulo refuerzo principal, AL 6000x76x6 (mm)	u	46.42	5988.18
103	Angulo refuerzo celosía, AL 6000x40x3 (mm)	u	10.48	1079.44
14	Rollos de 15 kg, Alambre Mig de 1.2mm, Marca Linde	Kg	26.10	365.40
35	AgaMix 20 (20% Argón, 80% Dióxido de Carbono)	Tanques 10m ³	69.80	2443.0
37	Desoxidante	gal	3.20	118.40
25	Pintura Antioxidante Oxifin	gal	7.77	194.25
			SUBTOTAL	10188.67
			12% IVA	1222.64
			TOTAL	11411.31

Tabla 7.3 Materiales utilizados para refuerzos de cartelas

CANT.	ARTICULO	UNIDAD	VALOR UNIT. [USD]	VALOR TOTAL [USD]
2	Plancha de acero A-36, e=10 mm, 2400x1200 (mm)	u	259.76	519.63
1	Rollo de 15 kg, Alambre Mig de 1.2mm, Marca Linde	Kg	26.10	26.10
9	AgaMix 20 (20% Argón, 80% Dióxido de Carbono)	Tanques 10m ³	69.80	628.20
10.5	Desoxidante	gal	3.20	33.60
7	Pintura Antioxidante Oxifin	gal	7.77	54.39
			SUBTOTAL	1261.92
			12% IVA	151.43
			TOTAL	1413.35

Tabla 7.4 Materiales utilizados para nuevos puentes grúas ver Anexo (J)

CANT.	RUBRO	VALOR UNIT. [USD]	VALOR TOTAL [USD]
4	POLIPASTO ELECTRICO A CADENA 10T	8250	33000
4	CARROS TESTEROS	5500	22000
4	SISTEMA DE ELECTRIFICACION	3216	12864
4	ESTRUCTURA METALICA VIGA PUENTE	3109.40	12437.60
4	RIEL DE RODADURA TIPO ASCE	2592	10368
1	MONTAJE	3000	3000
4	TELEMANDO	1550	6200
		SUBTOTAL	99869.60
		IVA 12%	11984.35
		TOTAL	111853.95

7.1.2 COSTOS INDIRECTOS

Dentro de este rubro se encuentra la mano de obra, costos del personal contratado para la construcción y montaje de los refuerzos en la estructura, maquinados que fueron requeridos en los materiales, maquinaria y accesorios de montaje, entre otros, que se enlistan a continuación en la tabla 7.5.

En los valores de mano de obra ya está incluido el rubro del IVA, además existe un rubro de extras o imprevistos que se refiere a consumibles de herramientas, discos de amoladora, cierras, brochas, cepillos, etc.

Tabla 7.5 Costo Mano de obra y otros

CANT.	ACTIVIDADES	VALOR UNIT. [USD]	VALOR TOTAL [USD]
1	Montaje refuerzos estructura metálica 4 personas, 2 semanas	3000	3000
1	Corrección cimientos y obras civiles 4 personas, 2 semanas	800	800
1	Montacargas por 5 días	200	200
1	Alquiler de una grúa Pluma 1 día	300	300
1	Juego de andamios para 4 niveles 2 semanas	20	20
1	Corte, perforación de placas y ángulos	100	100
90	Verificación de roscados de pernos de anclaje y cartelas	1.33	119.70
1	Extras e imprevistos	400	400
		TOTAL	4839,70

7.2 COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS

El costo preliminar del proyecto se entiende que es la suma de los rubros totales expuestos anteriormente y que son los que se encuentran en la tabla:

Tabla 7.6 Costo preliminar del proyecto

RUBRO	COSTO (USD)
Refuerzos Columnas	5594.60
Refuerzos Vigas Carrileras	11411.31
Refuerzos Cartelas	1413.35
Nuevos puentes grúas	111853.95
Mano de obra y otros	4839.70
TOTAL PROYECTO	135112.91

Adicionalmente el valor preliminar del proyecto, existe un rubro de ingeniería y diseño que es equivalente al 10% del valor preliminar del mismo, que en este caso es:

Tabla 7.7 Costo de Ingeniería y diseño

RUBRO	COSTO (USD)
10 % del preliminar	13511.29

El costo total del proyecto es la suma del valor preliminar y el de diseño e ingeniería que es el que aparece en la tabla siguiente:

Tabla 7.8 Costo Total del proyecto

RUBRO	COSTO (USD)
Costo preliminar del proyecto	135112.91
10 % del total	13511.29
TOTAL FINAL PROYECTO	148624.20

7.3 COMPARACIÓN DE COSTOS CON EL MEJORAMIENTO DE LA NAVE INDUSTRIAL PRINCIPAL

En el final de los costos, se estudia la recuperación de la inversión, basada en incluir una aproximación de costo total del proyecto de la instalación, así como un análisis de rentabilidad con una depreciación de 10 años vida útil de los equipos.

Para estimar la recuperación de la inversión primero se estima la depreciación del proyecto, y se utiliza como referencia el tiempo de depreciación que las leyes de nuestro país establecen para un edificio industrial que es de 10 años (3600 días), además se asumirá una depreciación en línea recta.

$$depreciacion = \left(\frac{148624.20[USD]}{3600[dias]} \right) = 41.28 \left[\frac{USD}{dia} \right]$$

La recuperación de la inversión se dará en base al ahorro del alquiler de una pluma u la utilización de un montacargas dentro de la nave industrial que ayude para alzar los pesos que actualmente se están requiriendo, lo cual sería sustituido por el presente proyecto. Actualmente el valor del alquiler de una pluma o de un montacargas con las características parecidas a las actuales que se necesitan sería un costo de \$ 2500 [USD/Mes], anual igual a \$30000.

Para determinar el tiempo de retorno se considera que el diseño destinado a la inversión se coloca en un banco que genera intereses durante el tiempo de recuperación y así, este valor se divide para el alquiler que genera anualmente la nave industrial.

En la tabla 7.9 se detallan los parámetros y sus valores para el cálculo del tiempo de retorno de la inversión.

Tabla 7.9 Parámetros para el cálculo del tiempo de retorno de la inversión

RUBRO	COSTO (USD)
Inversión del proyecto	148624.20 [USD]
Alquiler de la nave industrial por un año	30000 [USD]
Interés bancario anual	7 %. ⁴

Inversión más intereses

$$\text{Inversión} + \text{Intereses} = 148624.20 \text{ [USD]} \times 1.07$$

$$\text{Inversión} + \text{Intereses} = 159027.89 \text{ [USD]}$$

Tiempo de retorno:

$$\text{Tiempo de retorno} = \frac{\text{Inversión} + \text{Intereses}}{\text{Alquiler anual}} = \left(\frac{159027.88 \text{ [USD]}}{30000 \left[\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]} \right)$$

$$\text{Tiempo de retorno} = 5.3 \text{ [años]}.$$

4. BANCO DEL PICHINCHA, Servicio al cliente, T.I.R., Agencia San Francisco, Mayo 2011.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Del estudio se ha generado la memoria de cálculo y planos de reforzamiento mediante ángulos en las secciones principales y secundarias de las vigas carrileras y columnas, y, con planchas en el interior de las cartelas, utilizando el cálculo estructural, el software informático Sap 2000 y las normas internacionales como la AWS, AISC, IBC, y las normas nacionales como el CPE, etc.
- El rediseño respeta la movilidad de los elementos dentro de la planta que en la actualidad no ha sido restringida y la estética inicial de la planta, no se incrementaron más columnas ni hubo un cambio de vigas ni de ningún elemento.
- Se ha generado la lista de materiales y se establece un valor de \$149000 del costo total de proyecto, con una tasa de interés del 7% anual, referido al ahorro de no alquilar el uso de equipos móviles para el traslado de materiales dentro de la nave considerando la estructura reforzada, el tiempo de retorno es de 5 años.
- El presente proyecto contribuye a la innovación, actualización, y adaptación de tecnología nacional en el área del transporte y carga de material en la nave principal de armado y soldadura de la empresa Sedemi S.C.C, lo cual propicia una mejor competitividad en el campo industrial.
- Los refuerzos de la nave principal de la empresa Sedemi S.C.C., en el reacondicionamiento de los nuevos puentes grúa, satisfacen su función con un mínimo de material y de elementos, para soportar la carga en las correas y cerchas del tendido superior de la planta; y, se evitó en lo posible cambios en la geometría de los elementos y en el tipo estructural de los refuerzos, tratando de mantener la funcionalidad de toda la nave.

- La realización del presente estudio abre un gran número de posibilidades para dar solución a los problemas que se han presentado durante muchos años, por la escasez de investigación en este campo. El reacondicionamiento de naves industriales con el conocimiento generado hará posible incluso construir plantas que cumplan una visión futura de crecimiento, permitiendo atender a otros sectores que necesitan de un rediseño para su crecimiento, de acuerdo con ciertas características, tales como: fortalecimiento de vigas, adecuación de columnas para trabajo más exigente, o análisis de reacciones generadas en columnas y establecimiento de puntos críticos, etc.
- El cálculo estructural es una opción para el reacondicionamiento y reforzamiento de las vigas carrileras, cartelas, columnas y otros elementos, ya que genera mejoras en el área de estructuras metálicas y en el diseño de campo, satisfaciendo los requerimientos de la empresa. Se han utilizado paquetes informáticos para el cálculo de fuerzas y determinación de puntos críticos en la estructura reforzada.
- En el transcurso del proyecto la formación académica que he recibido, así como la experiencia lograda me han permitido adquirir las habilidades necesarias para la correcta aplicación en el desarrollo de este proyecto, aun que existió un grado de limitación en el campo de las estructuras metálicas al ser este un campo muy amplio, por lo que en el desarrollo del proyecto fue necesaria una indagación más profunda en el tema de manera personal.

8.2 RECOMENDACIONES

- Apoyar al desarrollo de una normativa nacional en la Escuela Politécnica del Ejército, para que el país regule el trabajo interno en el campo de las estructuras metálicas, y así tome conciencia de la elaboración de una norma de confiabilidad y certeza en este ambiente de trabajo para Ingenieros Mecánicos.
- Verificar el cumplimiento del objetivo general de esta investigación, sometiendo a la estructura a una sollicitación igual al rediseño con el funcionamiento de los nuevos puentes grúa, para validar el proceso de cálculo generado en la investigación comprobando el trabajo en este nuevo proceso.

- En la operación normal de los puentes grúa, se recomienda trabajar con velocidades menores a las normales, en las dos primeras semanas, así los refuerzos cumplirán los nuevos requerimientos, disminuirán desgastes e imprevistos, y garantizaran el buen funcionamiento de esta estructura.
- Es posible implementar un sistema de reacondicionamiento en la segunda nave de Sedemi S.C.C., llamada planta de abastecimiento que podrá contar con puentes grúas similares, ayudando así a un mejor desempeño de la empresa.
- Es recomendable que la empresa capacite a sus operarios en el manejo de los nuevos puentes grúa, para evitar dificultades con respecto a aplicaciones no adecuadas.
- Este proyecto abre un nuevo campo de trabajo en las empresas que tengan necesidades similares, que requieran incursionar en el reacondicionamiento de naves industriales, mediante el cálculo y diseño estructural basado en normas nacionales e internacionales, para lo cual se recomienda poner más atención al estudio de las estructuras metálicas, ya que al existir la posibilidad de reestructurar naves industriales de empresas que ya están en funcionamiento, se puede buscar proveedores de perfiles, planchas, ángulos y otros accesorios, necesarios para el montaje de las estructuras metálicas a precios más económicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASTHO: Diseño de puentes metálicos por lrfd, Análisis y evaluación estructural, Argentina, 2004.
2. ABRIGO, Juan Martin: Puentes grúa, Mantenimiento, en <http://www.monografias.com/trabajos55/mantenimiento-puente-grua/mantenimiento-puente-grua2.shtml>, Enero 2011.
3. AISC 2005: Códigos, especificaciones y comentarios de estructuras metálicas en español, 13ª Edición, U.S.A., 2005.
4. AISC 303-05: Código estándar de práctica para la construcción de acero y puentes, U.S.A., 2005.
5. AISC 360-05: Factores de resistencia en el diseño de cargas estructurales, U.S.A., 2005.
6. ÁLVAREZ, R. Argüelles: Análisis de Estructuras, Editorial Conde del Valle Salazar Escuela de Ingenieros de Montes, Madrid, 2006.
7. ARBABI, Federer: Análisis y Comportamiento Estructural, 4ª Edición, Editorial McGraw-Hill, 2001.
8. ASCE 7-2005: Diseño de estructuras de acero y celosía, Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, U.S.A., 2005.
9. AWS D1.1: Asociación Americana de Soldadura, Capitulo 8, Reforzamiento y reparación de estructuras existentes, U.S.A., 2002.
10. CANET, J. M.: Cálculo de Estructuras - Sistemas de Piezas Prismáticas, 2ª Edición, Editorial UPC, 2000.
11. CMAA 70: Especificaciones de la Asociación Americana de Fabricantes de Grúas, USA, 2004.
12. CPE INEN 5: Código Ecuatoriano de la Construcción Requisitos de Diseño, Quito Ecuador, 2001.
13. EA-95: Tecnología de Estructuras Metálicas, Compendio de normas MV-102 a MV-111, Capitulo I Acero en construcción.
14. GALAMBOS, Ellingwood: Practicas de Diseño Estructural Tradicional, 3ª Edición, Editorial McGraw-Hill, 2002.
15. GOMELLA, Edison: Tratamientos de estructuras para abastecimientos, Traducido del francés por Joaquín Cantó, Editores Técnicos Asociados, España, 2007.
16. HIBBELER, R. C.: Análisis Estructural, 3ª Edición., Editorial Prentice Hall, 2003.
17. IBC: Código Internacional de la construcción, 2ª Edición, Capitulo 16, División 1, U.S.A., 2006.
18. INDUSTRIAS AMERICANAS DEL NORTE: Grúas, en http://www.naicranes.com/spanish_index.htm?gclid=CNXrzLOKv6QCFZBf2god9md50A, Febrero 2011.
19. INDUSTRIAS AMERICANAS DEL NORTE: Tipos de Puentes grúa, en http://www.naicranes.com/spanish_cranes/crane_type.htm, Febrero 2011.

20. KETTER, Prawel: Diseño y Análisis estructural, Editorial McGraw-Hill, 2001.
21. LIVESLEY, Karson: Métodos Matriciales para Cálculo de Estructuras, Editorial Blume, 2003.
22. MARTINEZ, Pablo: Construcciones Metálicas en puentes grúa, en <http://www.scribd.com/doc/7667053/Puente-grúa>, Marzo 2011.
23. MCCORMAC, Jack C: Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD, 2ª Edición, Editorial alfa omega, México, 2003.
24. MELI, Roberto: Manual de Diseño de estructuras metálicas, 2ª Edición, 2001.
25. MONTRULL, Martí: Análisis de Estructuras, Editorial Horacio Escarbajal, Cartagena, 2003.
26. MTAS: Mantenimiento de Puentes Grúa, en <http://www.trhon.com/PGruaG.htm>, Abril 2011.
27. NEVILLE, Ghali: Análisis Estructural aprobado por la unidad clásica, Editorial FN & Spon, 2008.
28. NCH 427 : Construcción y Especificación para el Cálculo de Estructuras de Acero, 2ª Edición, Chile, 2002.
29. PRESS, Harrison: Diseño y Análisis Estructural Partes 1 y 2, Editorial Pergamon, 2003.
30. PRZEMIENIECKI, Jackop, Análisis y Teoría de Matrices Estructurales, 2ª Edición, Editorial McGraw-Hill, 2002.
31. SCHAUM, Tuma: Análisis Estructural, 2ª Edición, Editorial McGraw-Hill, 2000.
32. SENNETT, R. E.: Matriz de Análisis de Estructuras, 4ª Edición, Editorial Prentice Hall, 2001.
33. TIMOSHENKO, S. P., Young, D. H.: Teoría de las Estructuras, 2ª Edición, 2001.
34. UNE 76 – 201: Especificaciones Españolas de puentes grúa y construcciones metálicas, Código 621.874, España, 2008.
35. UNIVERSIDAD DE NAVARRA: Calculo estructural, en <http://www1.ceit.es/asignaturas/Estructuras1/Programas.htm>, Marzo 2011.
36. UNIVERSIDAD DE NAVARRA: Ejercicios de Calculo estructural de plantas, en <http://www1.ceit.es/asignaturas/Estructuras1/Practicas.htm>, Marzo 2011.
37. WANG, C. K.: Análisis Estructural Intermedio, 5ª Edición, Editorial McGraw-Hill, 2003.