

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“DISEÑO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURA METÁLICA PARA
ESTACIONAMIENTO VERTICAL DE 3 PISOS, MEDIANTE
ELEMENTOS FINITOS.”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECANICO

MAXIMO OBREGON RAMOS

PROMOCION 1999-II

LIMA – PERU

2015

A mi madre por darme su fortaleza y educarme, a mi esposa e hijos por su apoyo incondicional y estar siempre a mi lado, a mis hermanos por apoyarme dentro de sus posibilidades en el sustento y formación de mi niñez.

INDICE

PROLOGO.....	1
CAPITULO 1: INTRODUCCION	
1.1. Objetivo.....	3
1.2. Antecedentes	3
1.3. Justificación	4
1.3.1. Limitantes de las construcciones tradicionales.....	5
1.4. Alcances y limitaciones.....	5
CAPITULO 2: FUNDAMENTOS DE LOS MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS APLICADO A ESTRUCTURAS	
2.1 Introducción	6
2.2 Elasticidad bidimensional	7
2.3 Elasticidad tridimensional.....	21
2.4 Resumen de la teoría clásica de flexión de vigas.....	27
CAPITULO 3: CÁLCULO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURAS METÁLICA	
3.1 Calculo previo	29
3.1.1 Ubicación de la estructura	29
3.1.2 Normas aplicables.....	30
3.1.3 Criterios de cálculo.....	31
3.1.4 Determinación y Calculo de cargas	41
3.1.5 Combinación de cargas.....	48
3.1.6 Diagrama de cargas.....	48
3.2 Determinación de medidas de la estructura	49
3.3 Modelado y análisis de la estructura usando Sap2000.....	49
3.3.1 Ingreso de datos	
3.3.1.1 Modelado de la estructura.....	49
3.3.1.2 Esquema de la estructura	52
3.3.1.3 Definición de restricciones	52
3.3.1.4 Selección de normas aplicables	53
3.3.1.5 Carga del espectro de sismo	54

3.3.2	Análisis de primer modelo propuesto.....	59
3.3.3	Análisis de segundo modelo propuesto	62
3.3.4	Análisis del tercer modelo (definitivo).....	65
3.4	Calculo de conexiones con uniones empernadas	78
3.5	Disposición definitiva de la estructura en 3D	78

CAPITULO 4: VALIDACIÓN MANUAL DEL DISEÑO POR SOFTWARE

4.1	Ejemplo de cálculo manual	85
4.2	Evaluación de cargas por SAP2000	87
4.3	Comparación del cálculo manual versus SAP2000	89

CAPITULO 5: ANALISIS ECONOMICO..... 90

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PROLOGO

En el presente trabajo se presentará una metodología de cálculo de una estructura metálica para estacionamiento vertical la cual soportará hasta 9 vehículos en total, utilizando software CAE como el SAP 2000 la cual se basa en el método de elementos finitos.

En el capítulo 1, se presenta el objetivo de este trabajo, así como se comenta la situación actual sobre el uso de esta tecnología, así como de la necesidad que se presenta sobre todo en las zonas exclusivas de Lima. Así mismo también se indica los alcances y limitaciones de este trabajo.

En el capítulo 2, se muestra una teoría muy resumida sobre los fundamentos de los elementos finitos, tanto en el aspecto bidimensional como en el tridimensional.

En el capítulo 3, se definen los parámetros de entrada al software SAP2000 tomando varios datos del Reglamento Nacional de Edificaciones publicado en el año del 2006, usando principalmente la sección Titulo III.2 estructuras, así mismo se dimensiona la estructura de acuerdo a las normas, así como se indica los procedimientos para la carga de datos al software, como resultado del cálculo por software, se encuentra un modelo de 3 propuestas, para la definición de las dimensiones de la estructura, así como también se define las conexiones con uniones empernadas.

En el capítulo 4, se desarrolla un cálculo manual de una viga en voladizo, así como también se carga el escenario en SAP2000 y se realiza una comparación para confirmar el correcto funcionamiento del software de acuerdo a las normas usadas.

En el capítulo 5 se hace una breve comparación de los costos de implementación de la estructura versus el uso convencional del parkeo actual.

Así mismo, agradezco el apoyo de mi asesor de tesis, el Ing. Helard Alvarez, que siempre estuvo dispuesto a responder mis consultas, al Ing. Jorge Chau, por todos sus aportes en el proceso del planteamiento y sugerencias en el diseño.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. OBJETIVOS

Proponer una metodología de cálculo para una estructura metálica para el estacionamiento vertical de 3 pisos con capacidad de 3 vehículos por piso, utilizando software CAE, como el SAP 2000 vs 16 y Autodesk Inventor vs 2016. Este modelo podrá ser usado como la unidad de una matriz para cubrir una mayor área disponible para el estacionamiento.

1.2. ANTECEDENTES

De acuerdo con diversos estudios realizados, la ciudad de Lima tiene un déficit de 30.000 espacios para estacionar. Si a esta situación se le suma el desorden y el congestionamiento vehicular, la experiencia de parkear en la ciudad es complicada. Por ello se están implementando algunos sistemas de estacionamientos verticales. Actualmente una de las experiencias más notorias en la mejora del parking, ha sido en la playa de estacionamiento de Corpac en San Isidro, en el cual la capacidad paso de 67 espacios a 115 espacios, usando solamente equipos de 2 niveles, además de una atención semiautomática. Otra experiencia es en el Colegio de Ingenieros donde se han instalado 16 equipos

también de 2 niveles. Sin embargo son pocos los lugares donde se ha apostado por instalar equipos de más de 3 niveles. Para este proyecto se propone implementar la estructura dentro del área de estacionamiento del Instituto San Ignacio de Loyola, sucursal de San Isidro, donde actualmente no se está aprovechando el espacio aéreo de su zona de parqueo, ya que solamente está a un solo nivel sobre concreto.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En Lima, la falta de planificación a futuro, debido al crecimiento económico de casi dos décadas consecutivas, ha ocasionado un incremento abrumador de la cantidad de vehículos, creando déficit de playas de estacionamiento, así mismo los costos del m², se han incrementado significativamente, haciendo muy costoso la implementación de playas de estacionamiento convencionales que generalmente son de concreto, es por ello que se propone la construcción de estructuras metálicas organizadas verticalmente de varios niveles, para aprovechar el poco espacio que queda, sobre todo en las zonas exclusivas, como San Isidro y Miraflores entre otros, y donde se justifica debido a que estas zonas sucede el máximo costo del terreno por metro cuadrado. La ventaja de estas estructuras, es que se multiplica varias veces la capacidad de una determinada área de terreno. Así mismo el presente proyecto servirá como base para realizar otras instalaciones en otros lugares de mayor area que se requiera.

Por otro lado, el Reglamento Nacional de Edificaciones, regula este tipo de construcciones en la tercera sección EDIFICACIONES y más específicamente

para estructuras metálicas (III.2.) las normas de aplicación son: E020, E030 y E090.

1.3.1. Limitantes de las construcciones tradicionales

En algunos casos los procedimientos de cálculo se realizan todavía de manera manual, la cual puede generar errores significativos los cuales se superan considerando factores de seguridad altos que hacen que el costo se incremente. Es por ello que es necesario tener una propuesta de procedimiento de cálculo para este tipo de estructuras metálicas y que son validadas con software de última generación como es el SAP2000.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

En esta tesis solo se diseñará la estructura metálica de la matriz de tipo cúbica, de 3 niveles con capacidad de 3 vehículos por piso, en el presente trabajo, solo se considera el cálculo de la estructura, pero se debe tener en cuenta que para el funcionamiento de este sistema se requiere de módulos automatizados que permitan el ingreso y salida de cada uno de los vehículos. Por otro lado se considera que el ingreso y salida de vehículos se realizarán con velocidades muy bajas, lo cual implica que el análisis será principalmente estático.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS DE LOS MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS APLICADO A ESTRUCTURAS

2.1. Introducción

La ingeniería estudia muchos fenómenos físicos que pueden ser modelados matemáticamente con relativa precisión mediante el uso de ecuaciones diferenciales. Éstas, por lo general, son de difícil solución analítica mediante los métodos clásicos. El MEF permite una evaluación aproximada de las ecuaciones diferenciales que modelan cualquier fenómeno físico. Los fundamentos del MEF se dieron a conocer gracias a los avances en el campo de la aeronáutica hacia mediados de la década de 1940. Algunos científicos e ingenieros que investigaron y publicaron los primeros artículos relacionados al MEF, fueron: Argyris, Courant, Turner, Clough y Zienkiewicz, en distintas épocas. Por otro lado, algunos de los problemas que abarcan el método, están relacionados con el análisis de esfuerzos, flujos de materia, transferencia de calor y dinámica aplicada, entre otras áreas.

La solución de problemas de sistemas estructurales es la aplicación más común hoy en día, existiendo en el mercado varios softwares especializados

íntegramente en este campo. Con el uso de estos, el diseñador puede reducir significativamente el tiempo que invierte en el análisis, además de optimizar los resultados finales.

La característica principal del MEF es que descompone la región de análisis (aquella donde se cumplen las ecuaciones diferenciales) en partes pequeñas de determinada geometría, denominadas elementos finitos, de manera que la precisión del método depende directamente del número de elementos así como también el tiempo de cálculo dependerá del número de elementos y la capacidad de procesamiento del ordenador usado. La agrupación de todos los elementos de una región es denominada ‘malla’, la cual puede presentar diferentes configuraciones.

2.2. Elasticidad bidimensional: Modelaremos sólidos formados por materiales homogéneos e isotrópicos.

2.2.1. Esfuerzos y Deformaciones

Para una estructura plana con esfuerzos y deformaciones aplicadas en el mismo plano, podemos utilizar la hipótesis de que, para un mismo material, las deformaciones perpendiculares al plano serán de la misma magnitud. Así, podemos omitir esta dimensión y trabajar sólo en el plano, asumiendo que el campo de desplazamientos está perfectamente definido si se conocen los desplazamientos en las coordenadas x e y en todos sus puntos.

El vector de desplazamientos en un punto se define como

$$u(x, y) = \begin{bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

En donde $u(x,y)$ y $v(x,y)$ representan los desplazamientos de un punto en las coordenadas x e y respectivamente.

A partir del campo de desplazamientos (2.1) se deducen las deformaciones haciendo uso de la teoría general de elasticidad, el vector de deformaciones es entonces

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

donde ε_x y ε_y son las deformaciones normales y γ_{xy} la deformación por cizalladura. Con respecto a la deformación longitudinal ε_z hay que señalar que en el caso de deformación plana se utiliza la hipótesis de que es nula. Por otra parte, en un estado de esfuerzo dicha deformación no es nula, pero sí se supone que lo es σ_z (la componente del esfuerzo perpendicular al plano). Por consiguiente, en ninguno de los dos casos hay que considerar la deformación ε_z ya que no interviene en las ecuaciones del trabajo de deformación al ser el producto $\sigma_z \cdot \varepsilon_z$ nulo. También consideramos que $\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$. De la ecuación (2.2) se deduce que los esfuerzos tangenciales τ_{xz} y τ_{yz} son nulos. Usando la misma hipótesis con respecto a la deformación ε_z , el esfuerzo σ_z no interviene, por tanto el vector de esfuerzos será:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

con σ_x y σ_y esfuerzos normales y τ_{xy} el esfuerzo tangencial.

La relación entre esfuerzos y deformaciones se deduce de la ecuación constitutiva de la elasticidad tridimensional, con las hipótesis para ε_z, σ_z , y $\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$ mencionadas anteriormente. Se deduce entonces que la relación matricial entre esfuerzos y deformaciones está dada por

$$\sigma = D\varepsilon \quad (2.4)$$

En el caso de considerar esfuerzos iniciales y deformaciones iniciales, debidos a cambios de temperatura, encogimiento, crecimiento de cristales, esfuerzos residuales iniciales, etc., utilizamos la forma más general de (2.4) que es

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0 \quad (2.5)$$

La matriz D se conoce como matriz constitutiva o matriz de constantes elásticas. Del Teorema de Maxwell-Betti (Ref 15 – Pág. 14) se deduce que D es siempre simétrica. En el caso de elasticidad isotrópica:

$$D = \frac{E}{1 - \nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \nu)/2 \end{bmatrix}$$

donde E es el módulo de Young y ν el coeficiente de Poisson.

Principio de trabajos virtuales

La expresión integral de equilibrio en problemas de elasticidad bidimensional puede obtenerse haciendo uso del principio de los trabajos virtuales. Teniendo en cuenta los esfuerzos y deformaciones que contribuyen al trabajo virtual de la estructura, la expresión del principio de trabajos virtuales puede escribirse como

$$\iint_A (\delta \varepsilon_x \sigma_x + \delta \varepsilon_y \sigma_y + \delta \gamma_{xy} \tau_{xy}) t dA$$

$$= \iint_A (\delta u b_x + \delta v b_y) t dA + \int_l (\delta u t_x + \delta v t_y) t ds + \sum_i (\delta u_i U_i + \delta v_i V_i) \quad (2.6)$$

A la izquierda de la ecuación está representado el trabajo que los esfuerzos σ_x , σ_y , y τ_{xy} y realizan sobre las deformaciones virtuales $\delta \varepsilon_x$, $\delta \varepsilon_y$ y $\delta \gamma_{xy}$. El primer miembro a la derecha de la igualdad representa las fuerzas repartidas por unidad de volumen b_x y b_y . El segundo miembro indica las fuerzas repartidas sobre el contorno t_x y t_y . Y finalmente el tercer miembro las fuerzas puntuales U_i y V_i sobre los desplazamientos virtuales δu y δv . A y l son el área y el contorno de la sección transversal del sólido y t su espesor. En problemas de esfuerzo plano, t coincide con el espesor real, mientras que en problemas de deformación plana es usual asignar a t un valor unitario.

Definiendo el vector de fuerzas puntuales

$$q_i = \begin{bmatrix} U_i \\ V_i \end{bmatrix},$$

el vector de fuerzas sobre el contorno

$$t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}$$

y el vector de fuerzas másicas como

$$b = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \end{bmatrix},$$

podemos entonces expresar (2.6) en forma matricial

$$\iint_A \delta \varepsilon^T \sigma t dA = \iint_A \delta u^T b t dA + \oint_l \delta u^T t t ds + \sum_i \delta u_i^T q_i \quad (2.4)$$

De las ecuaciones (2.2) y (2.4) se observa que en las integrales del principio de trabajos virtuales solo intervienen las primeras derivadas de los desplazamientos, lo que implica que se requiere continuidad de clase C_0 en la aproximación de elementos finitos.

2.1.3 Discretización en elementos finitos

La figura 2.1 muestra el dominio Ω de un problema, el cual se analiza bajo las hipótesis de elasticidad bidimensional, cuenta además con ciertas condiciones de frontera de Dirichlet Γ_u y de Neumann Γ_q .

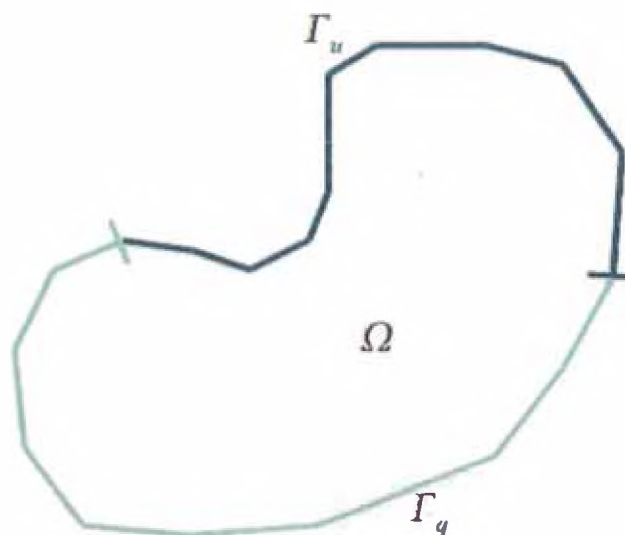


Figura 2.1 Dominio del problema

Para nuestro desarrollo vamos a utilizar para discretizar el dominio, elementos triangulares de tres nodos, los cuales son sencillos de visualizar. En la figura 2.2 vemos la discretización del dominio Ω .

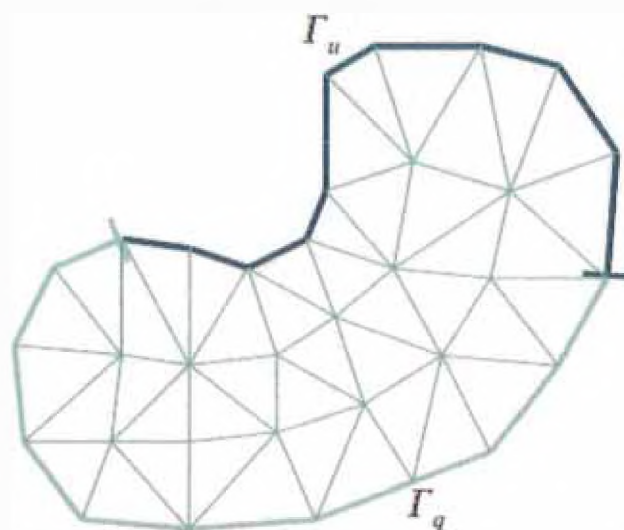


Figura 2.2 Discretización (mallado) del dominio.

La malla de elementos finitos representa una idealización de la geometría real. Por consiguiente, el análisis por elementos finitos reproduce el comportamiento de la malla escogida y no el de la estructura real. Solamente comprobando la convergencia de la solución podemos estimar el grado de aproximación de la solución de elementos finitos a la exacta.

2.1.4 Funciones de forma

Un elemento triangular de tres nodos se caracteriza por los números de sus nodos 1, 2, y 3, con sus respectivas coordenadas. Esta numeración es local y tiene que crearse una correspondencia con la numeración global.

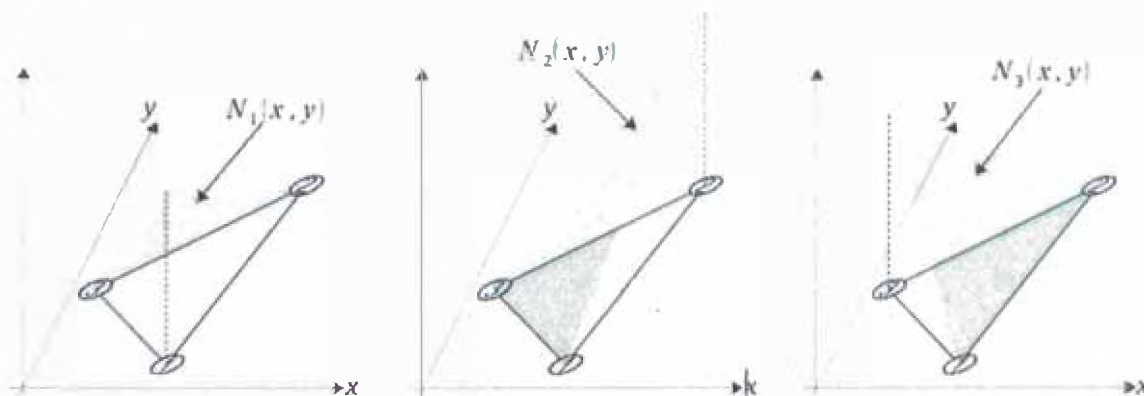


Figura 2.3. Funciones de forma para un elemento finito triangular de tres nodos.

Tomando un elemento aislado, como el de la figura 2.3, podemos expresar los desplazamientos cartesianos de un punto cualquiera en el interior del elemento en función de los desplazamientos de sus nodos introduciendo las funciones de norma N_i , con $i=1,2,3$

$$u(x, y) = \sum_{i=1}^3 N_i(x, y)u_i$$

$$v(x, y) = \sum_{i=1}^3 N_i(x, y)v_i$$

donde u_i y v_i son los valores discretos de desplazamiento en los nodos. Una función de forma N_i tiene que cumplir la condición de valer uno en la coordenada del nodo i y cero en los nodos $j \neq i$.

Para obtener unas funciones de forma más fáciles de trabajar, es conveniente hacer un mapeo a un espacio normalizado, como se muestra en la figura 2.4.

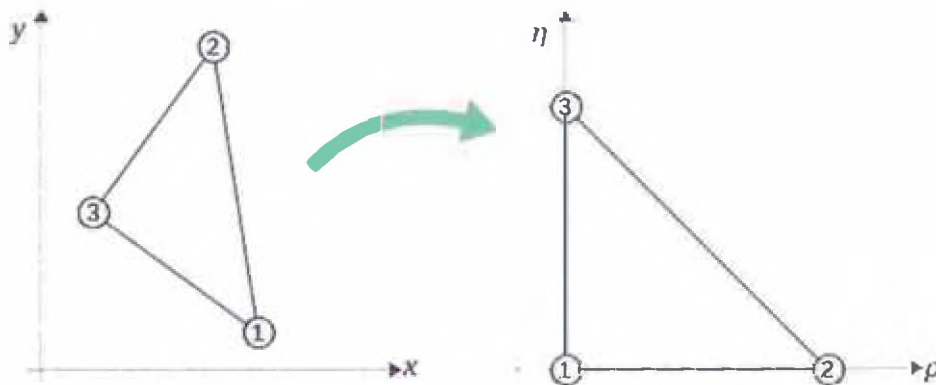


Figura 2.4. Mapeo de un elemento a un espacio normalizado.

Definamos entonces a u y v en términos de las coordenadas normalizadas ρ y η , como sigue

$$u(\rho, \eta) = \sum_{i=1}^3 N_i(\rho, \eta) u_i$$

$$v(\rho, \eta) = \sum_{i=1}^3 N_i(\rho, \eta) v_i$$

con lo que podemos definir las funciones de forma como

$$N_1(\rho, \eta) = 1 - \rho - \eta,$$

$$N_2(\rho, \eta) = \rho,$$

$$N_3(\rho, \eta) = \eta.$$

Las funciones de cambio de coordenada serán

$$x(\rho, \eta) = \sum_{i=1}^3 N_i(\rho, \eta) \Big| x_i,$$

$$y(\rho, \eta) = \sum_{i=1}^3 N_i(\rho, \eta) \Big| y_i,$$

2.1.5 Discretización de los campos de deformaciones y esfuerzos

Podemos así expresar las componentes de deformación (2.2) como

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial x} u_i, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial y} u_i,$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial x} v_i, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial y} v_i,$$

Para aplicar un cambio de variable en las primeras derivadas requerimos del jacobiano

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \\ \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial y}{\partial \rho} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \end{pmatrix}$$

J^e

Si del $J^e \neq 0$, entonces

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \end{pmatrix} = (J^e)^{-1} \begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{pmatrix}$$

Ahora podemos definir el vector de deformaciones (2.2) como

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \sum_i \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} u_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} v_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} u_i + \frac{\partial N_i}{\partial x} v_i \end{bmatrix} = \sum_i \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix}}_{B_i} \underbrace{\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix}}_{u_i}$$

Donde B_i es la matriz de deformación del nodo i . Visto en forma más compacta

$$\varepsilon = [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_n] \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

Finalmente como

$$\varepsilon = \mathbf{B}u. \quad (2.9)$$

Puede verse entonces que la matriz de deformación \mathbf{B} está compuesta de tantas sub-matrices B_i como nodos tienen el elemento.

La expresión discretizada del vector de esfuerzos (2.3) se obtiene a partir de (2.4)

$$\sigma = \mathbf{D}Bu.$$

Puede observarse de (2.8) que la matriz de deformación \mathbf{B} del elemento triangular de tres nodos es constante, lo que implica que las deformaciones y esfuerzos son constantes en todo el elemento. Esto es consecuencia directa del campo de desplazamientos lineal escogido, cuyos gradientes son obviamente constantes. Por consiguiente, en zonas de alta concentración de esfuerzos será necesaria utilizar una malla tupida para aproximar la solución de esfuerzos con suficiente precisión.

2.1.6. Ecuaciones de equilibrio de la discretización

Para la obtención de las ecuaciones de equilibrio de la discretización partimos de la expresión del principio de trabajos virtuales aplicada al equilibrio de un elemento aislado.

Vamos a suponer que sobre un elemento, como el de la figura 2.5, actúan fuerzas másicas repartidas por unidad de área \mathbf{b} y en sus lados fuerzas de superficie por unidad de longitud \mathbf{t} . Las fuerzas de superficie pueden ser de dos tipos: debidas a fuerzas exteriores que actúan sobre los lados del elemento que forman parte del contorno exterior de la estructura o debidas a las fuerzas de interacción entre elementos que se transmiten a través de sus lados comunes. Éstas últimas pueden ignorarse desde un inicio debido a que se anulan cuando se realiza el ensamblado de todos los elementos.

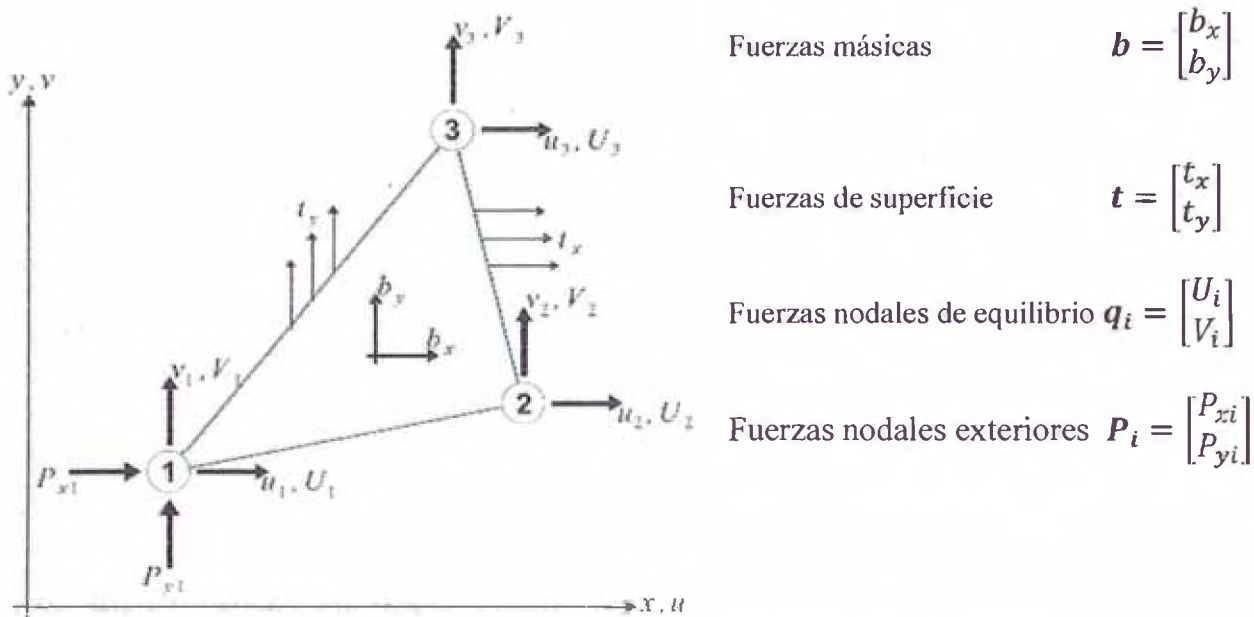


Figura 2.5. Fuerzas sobre un elemento triangular de tres nodos.

Partiendo de la suposición de que el equilibrio se establece inicialmente en los nodos, podemos definir unas fuerzas puntuales de que actúen obre los nodos que equilibren las fuerzas debidas a la deformación del elemento y al resto de las fuerzas que actúan sobre el mismo. Hacemos entonces uso del principio de trabajos virtuales (2.7) aplicado ahora al elemento

$$\iint_{A^e} \delta \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\sigma} t dA^e - \iint_{A^e} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{b} t dA^e - \oint_{l^e} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{t} t ds^e = \delta \mathbf{u}^T \mathbf{q}^e,$$

reescribiéndola utilizando (2.9)

$$\iint_{A^e} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} t dA^e - \iint_{A^e} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{b} t dA^e - \oint_{l^e} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{t} t ds^e = \delta \mathbf{u}^T \mathbf{q}^e,$$

Tomando además en cuenta que los desplazamientos virtuales son arbitrarios, y el espesor es constante,

$$t \iint_{A^e} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} dA^e - t \iint_{A^e} \mathbf{b} dA^e - t \oint_{l^e} \mathbf{t} t ds^e = \mathbf{q}^e. \quad (2.10)$$

La ecuación (2.10) expresa el equilibrio entre las fuerzas nodales de equilibrio y las fuerzas debidas a la deformación del elemento (la primer integral), las fuerzas másicas (segunda integral) y las de superficie (tercera integral). Sustituyendo el vector de esfuerzos σ por su valor en función de los desplazamientos nodales utilizando la forma general (2.5)

$$t \iint_{A^e} \mathbf{B}^T [\mathbf{D}(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0] dA^e - t \iint_{A^e} \mathbf{b} dA^e - t \oint_{I^e} \mathbf{t} ds^e = \mathbf{q}^e,$$

separando las integrales

$$t \iint_{A^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \varepsilon dA^e - t \iint_{A^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \varepsilon_0 dA^e + t \iint_{A^e} \mathbf{B}^T \sigma_0 dA^e - t \iint_{A^e} \mathbf{b} dA^e - t \oint_{I^e} \mathbf{t} ds^e = \mathbf{q}^e,$$

aplicando de nuevo (2.9)

$$\underbrace{t \iint_{A^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} \varepsilon dA^e}_{\mathbf{K}^e} \mathbf{u} = t \underbrace{\iint_{A^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \varepsilon_0 dA^e}_{\mathbf{f}_\varepsilon^e} - t \underbrace{\iint_{A^e} \mathbf{B}^T \sigma_0 dA^e}_{\mathbf{f}_\sigma^e} + \underbrace{t \iint_{A^e} \mathbf{b} dA^e}_{\mathbf{f}_b^e} + t \underbrace{\oint_{I^e} \mathbf{t} ds^e}_{\mathbf{f}_t^e} + \mathbf{q}^e \quad (2.11)$$

Donde \mathbf{K}^e es la matriz de rigidez del elemento y tenemos un conjunto de fuerzas nodales equivalentes debidas a: deformaciones iniciales \mathbf{f}_ε^e , esfuerzos iniciales \mathbf{f}_σ^e , fuerzas másicas \mathbf{f}_b^e , fuerzas en la superficie \mathbf{f}_t^e .

Definiendo el vector de fuerzas nodales equivalentes del elemento como

$$\mathbf{f}^e = \mathbf{f}_\varepsilon^e - \mathbf{f}_\sigma^e + \mathbf{f}_b^e + \mathbf{f}_t^e,$$

Podemos expresar (2.11) como un sistema de ecuaciones para el elemento

$$\mathbf{K}^e \mathbf{u} = \mathbf{f}^e + \mathbf{q}^e.$$

La ecuación de equilibrio total de la malla se obtiene estableciendo que la suma de las fuerzas nodales de equilibrio en cada nodo debe ser igual a la fuerza nodal exterior, es decir

$$\sum_e \mathbf{q}_j^e = \mathbf{q}_j,$$

esta es la suma de las contribuciones de los vectores de fuerzas nodales de equilibrio de los distintos elementos que comparten el nodo con numeración global j , y \mathbf{p}_j representada el vector de fuerzas puntuales actuando en dicho nodo.

Las ecuaciones de equilibrio de la malla se obtienen a partir de las contribuciones de las matrices elementales de rigidez y de los vectores de fuerzas nodales equivalentes de los diferentes elementos. Así pues, tras el ensamblaje, la ecuación matricial global se puede escribir como

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{f},$$

Donde \mathbf{K} es la matriz de rigidez, \mathbf{u} es el vector de desplazamientos nodales y \mathbf{f} el vector de fuerzas nodales equivalentes de toda la malla.

Recordemos de nuevo que las fuerzas nodales de equilibrio debidas a las fuerzas de interacción entre los contornos de los elementos adyacentes se anulan en el ensamblaje, debido a que dichas fuerzas tienen igual magnitud y dirección, pero sentidos opuestos en cada elemento. A efectos prácticos, solamente hay que considerar el efecto de las fuerzas de superficie cuando se trate de fuerzas exteriores actuantes sobre lados de elementos que pertenezcan al contorno de la estructura.

2.1.7. Ensamblado de la matriz de rigidez

El primer paso es generar una malla de elementos para el dominio e identificar los nodos.

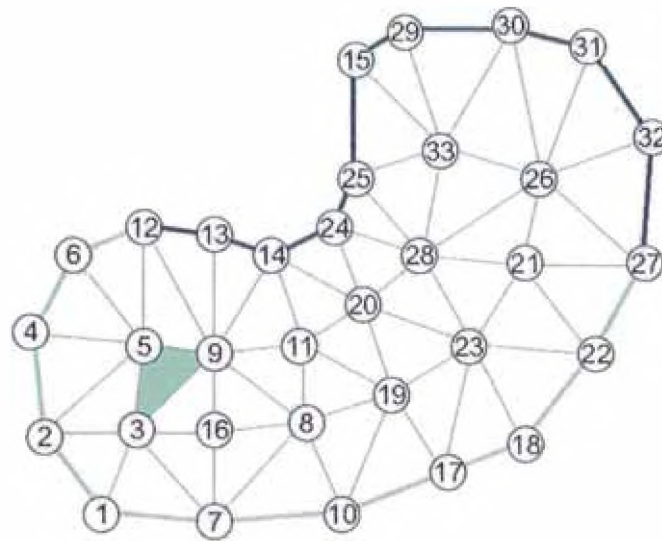


Figura 2.6. Numeración global de los nodos en el dominio

Se calcula la matriz elemental K^e y el vector f^e para cada elemento. Por ejemplo, en la figura 2.6 se destaca el elemento con nodos 3, 5 y 9. Su ensamblaje es mostrado en la figura 2.7.

Global	→	3_x	3_y	9_x	9_y	5_x	5_y		
↓	Local	→	1_1	1_2	2_1	2_2	3_1	3_2	
↓	↓		3_x	1_y	9_x	2_y	5_x	3_1	
			3_y	1_2	9_x	2_y	5_x	3_2	
			9_x	2_1	9_x	2_2	5_x	3_1	
			9_y	2_2	9_x	2_1	5_x	3_2	
			5_x	3_1	9_y	2_2	5_x	3_2	
			5_y	3_2	9_y	2_1	5_y	3_1	

K_{11}^e	K_{12}^e	K_{13}^e	K_{14}^e	K_{15}^e	K_{16}^e	u_1^e	=	f_1^e
K_{21}^e	K_{22}^e	K_{23}^e	K_{24}^e	K_{25}^e	K_{26}^e	u_2^e		f_2^e
K_{31}^e	K_{32}^e	K_{33}^e	K_{34}^e	K_{35}^e	K_{36}^e	u_3^e		f_3^e
K_{41}^e	K_{42}^e	K_{43}^e	K_{44}^e	K_{45}^e	K_{46}^e	u_4^e		f_4^e
K_{51}^e	K_{52}^e	K_{53}^e	K_{54}^e	K_{55}^e	K_{56}^e	u_5^e		f_5^e
K_{61}^e	K_{62}^e	K_{63}^e	K_{64}^e	K_{65}^e	K_{66}^e	u_6^e		f_6^e

Figura 2.7. Numeración global y local al ensamblar la matriz elemental.

Los valores se sumarán a la matriz de rigidez K y al vector f , como se muestra en la figura 2.8.

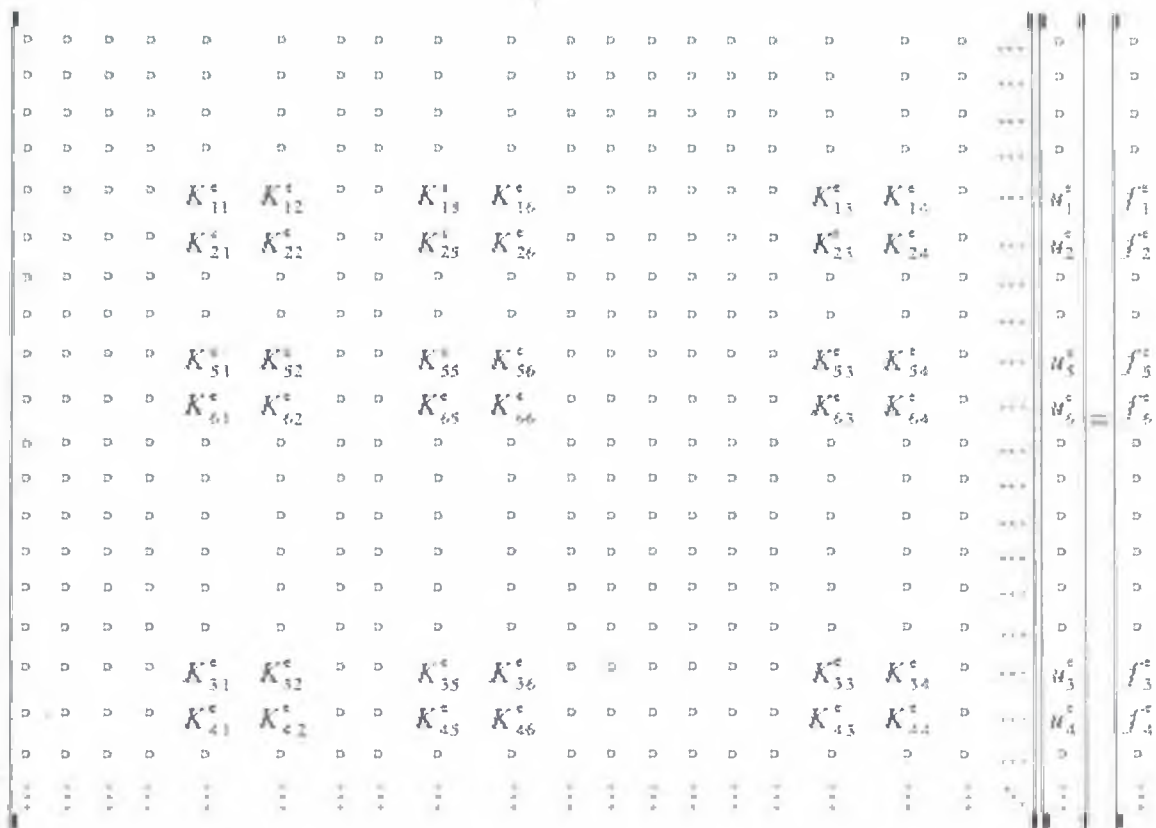


Figura 2.8. Ensamblaje de la matriz elemental en la matriz de rigidez.

Una condición de frontera de Dirichlet, u_i fijo, implicarán eliminar el i -ésimo renglón y la i -ésima columna de la matriz de rigidez y el i -ésimo renglón del vector. Para poder hacer esto, hay que compensar en el vector f de esta forma

$$(f)_j \leftarrow (f)_j - (K)_{ij}(u)_j, \forall j \neq i$$

La matriz de rigidez resultante no tendrá un ancho de banda predefinido.

2.3. Elasticidad tridimensional:

La formulación de los elementos finitos tridimensionales es análoga a la formulación bidimensional, por lo cual vamos a describirla brevemente. Trabajaremos ahora con elementos en tres dimensiones, en particular con tetraedros con cuatro nodos.

2.3.1 Esfuerzos y deformaciones

Iniciamos definiendo el vector de desplazamientos

$$\mathbf{u}(x, y, z) = \begin{bmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{bmatrix}$$

Introducimos ahora el vector de deformaciones $\boldsymbol{\varepsilon}$, el cual está dado por

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{bmatrix},$$

donde $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ y ε_z son deformaciones normales, mientras que γ_{xy}, γ_{yz} y γ_{zx} son las deformaciones por cizalladura.

El vector de tensiones $\boldsymbol{\sigma}$ se define como

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ T_{xy} \\ T_{yz} \\ T_{zx} \end{bmatrix},$$

donde σ_x, σ_y y σ_z son las tensiones normales y T_{xy}, T_{yz} y T_{zx} las tensiones tangenciales.

Para un medio homogéneo e isotrópico la matriz constitutiva es:

$$D = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{(1-\nu)} & 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{(1-\nu)} & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

Donde E es el módulo de Young y ν es el coeficiente de Poisson.

2.3.2 Funciones de forma

El vector

$$\mathbf{u}_i(x, y, z) = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{bmatrix}$$

representa los desplazamientos de un nodo i .

Introduciendo las funciones de interpolación

$$u(x, y, z) = \sum_i N_i(x, y, z) u_i,$$

$$v(x, y, z) = \sum_i N_i(x, y, z) v_i,$$

$$w(x, y, z) = \sum_i N_i(x, y, z) w_i.$$

Para realizar el mapeo al espacio normalizado, tenemos

$$u(\rho, \eta, \zeta) = \sum_{i=1}^4 N_i(\rho, \eta, \zeta) u_i,$$

$$v(\rho, \eta, \zeta) = \sum_{i=1}^4 N_i(\rho, \eta, \zeta) v_i,$$

$$w(\rho, \eta, \zeta) = \sum_{i=1}^4 N_i(\rho, \eta, \zeta) w_i,$$

Donde u , v y w representan los valores discretos de los desplazamientos en los nodos del elemento, N_i son las funciones de forma.

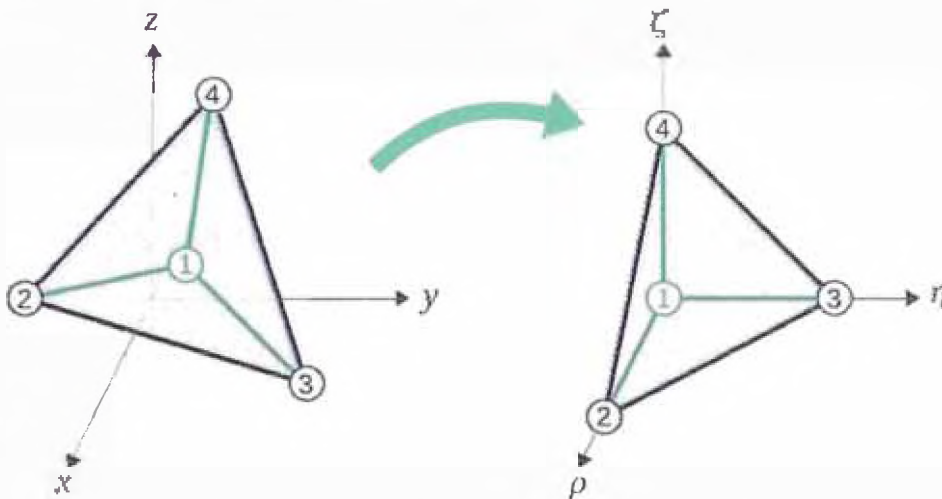


Figura 2.9. Mapeo al espacio normalizado.

Elegimos las siguientes funciones lineales para el mapeo

$$N_1(\rho, \eta, \zeta) = 1 - \rho - \eta - \zeta,$$

$$N_2(\rho, \eta, \zeta) = \rho,$$

$$N_3(\rho, \eta, \zeta) = \eta,$$

$$N_4(\rho, \eta, \zeta) = \zeta,$$

Las funciones de cambio de coordenada son entonces

$$x(\rho, \eta, \zeta) = \sum_{i=1}^4 N_i(\rho, \eta, \zeta) x_i,$$

$$y(\rho, \eta, \zeta) = \sum_{i=1}^4 N_i(\rho, \eta, \zeta) y_i,$$

$$z(\rho, \eta, \zeta) = \sum_{i=1}^4 N_i(\rho, \eta, \zeta) z_i,$$

Donde x , y y z son las coordenadas de los vértices del elemento.

2.3.3. Discretización de los campos de deformaciones y esfuerzos

Las deformaciones entonces son

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial x} &= \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial x} u_i, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial y} u_i, \quad \frac{\partial u}{\partial z} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial z} u_i; \\ \frac{\partial v}{\partial x} &= \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial x} v_i, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial y} v_i, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial z} v_i; \\ \frac{\partial w}{\partial x} &= \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial x} w_i, \quad \frac{\partial w}{\partial y} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial y} w_i, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = \sum_i \frac{\partial N_i}{\partial z} w_i.\end{aligned}$$

Aplicamos la regla de la cadena a primeras derivadas para obtener el jacobiano J^e , éste es

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial y}{\partial \rho} & \frac{\partial z}{\partial \rho} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{pmatrix}}_{J^e} \begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{pmatrix}$$

Si de $J^e \neq 0$, entonces

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{pmatrix} = (J^e)^{-1} \begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{pmatrix},$$

De esta forma

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix} = \sum_i \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} u_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} v_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} w_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} u_i + \frac{\partial N_i}{\partial x} v_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} v_i + \frac{\partial N_i}{\partial y} w_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial x} w_i + \frac{\partial N_i}{\partial z} u_i \end{bmatrix}$$

Ésta expresión se puede escribir como

$$\varepsilon = \sum_k \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{bmatrix} = \sum_i B_i u_i$$

y de forma más compacta como

$$\varepsilon = [B_1 B_2 \dots B_n] \begin{bmatrix} u_i \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

Finalmente

$$\varepsilon = Bu.$$

2.3.4. Ecuaciones de equilibrio de la discretización

Definiendo el vector de fuerzas puntuales

$$q_i = \begin{bmatrix} U_i \\ V_i \\ W_i \end{bmatrix},$$

el vector de fuerzas sobre el contorno

$$t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

y el vector de fuerzas másicas como

$$b = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix},$$

Podemos entonces expresar la ecuación del principio de trabajos virtuales como

$$\iint_V \delta \varepsilon^T \sigma dV = \iint_V \delta u^T b dV + \oint_S \delta u^T t ds + \sum_I \delta u_i^T q_i.$$

Realizando un desarrollo similar al caso bidimensional, podemos llegar a la ecuación de equilibrio discretizada para un elemento, ésta es

$$\underbrace{\iint_{V^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dV^e}_{\mathbf{K}^e} \mathbf{u} = \underbrace{\iint_{V^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \varepsilon_0 dV^e}_{\mathbf{f}_\varepsilon^e} - \underbrace{\iint_{V^e} \mathbf{B}^T \sigma_0 dV^e}_{\mathbf{f}_\sigma^e} + \underbrace{\iint_{V^e} \mathbf{b} dV^e}_{\mathbf{f}_b^e} + \underbrace{\oint_{S^e} \mathbf{t} ds^e}_{\mathbf{f}_t^e} + \mathbf{q}^e$$

2.4 Resumen de la Teoría clásica de flexión de vigas

2.4.1. Deformaciones

Si se denomina $v(x)$ a la deformación vertical del centro de gravedad G de la sección, las deformaciones de un punto P situado a una distancia y de G son (figura 2.10):

$$u_P = -\theta y = -\frac{dv}{dx} y \quad (2.10)$$

$$u_P = v \quad (2.11)$$

2.4.2. Deformaciones unitarias

Las deformaciones unitarias en el punto P son:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u_P}{\partial x} \\ &= -\frac{d^2 v}{dx^2} y \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \frac{\partial v_P}{\partial y} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned}\gamma_{xy} &= \frac{\partial u_P}{\partial y} + \frac{\partial v_P}{\partial x} = -\frac{dv}{dx} + \frac{dv}{dx} \\ &= 0\end{aligned}\tag{2.14}$$

El material está en un estado unidimensional de deformación unitaria, sometido sólo a una deformación unitaria longitudinal ϵ_x , que en adelante se denominará ϵ . No aparece ninguna deformación unitaria de cortadura γ , con lo que esta teoría no considera la energía debida al esfuerzo cortante.

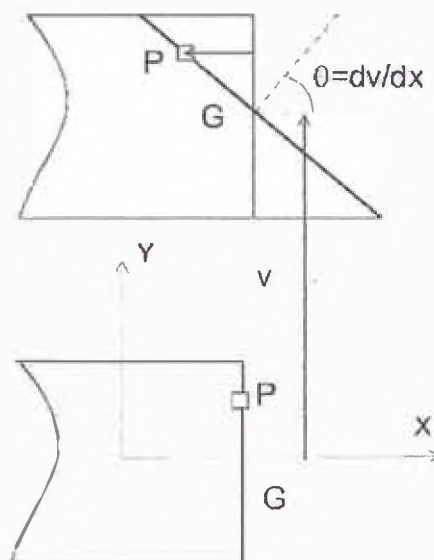


Figura 2.15. Deformaciones en vigas. Teoría clásica.

2.4.3. Ecuación constitutiva

Suponiendo un material elástico lineal la relación tensión-deformación unitaria es:

$$\sigma = E(\epsilon - \epsilon_0)\tag{2.16}$$

Sustituyendo el valor de la deformación unitaria se obtiene la expresión de la tensión en el punto P:

$$\sigma = E\left(-\frac{d^2v}{dx^2}y - \epsilon_0\right)\tag{2.17}$$

CAPITULO III

CÁLCULO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURAS METÁLICA.

3.1. Cálculos previo

3.1.1. Ubicación de la estructura

De acuerdo al Capítulo 1 ítem 1.2, se ha determinado que la ubicación de la estructura que se diseñará, será para la playa de estacionamiento del Instituto San Ignacio de Loyola (ISIL), ubicado en la Av. Salaverry 2625, San Isidro., la cual en horas picos se llenan todos los espacios, generándose gran malestar a sus alumnos, docentes y personal administrativos. Así mismo este local tiene una zona de parqueo más amplio en el lado izquierdo del frontis cuya capacidad es de 40 vehículos, la cual podría ser triplicada con este sistema de parqueo vertical, por lo que sería mucho más provechoso la implementación de este sistema piloto.



Figura 3.1: Frontis y zona de parqueo de ISIL-San Isidro

3.1.2. Normas aplicables

Para el diseño de la estructura metálica se han tenido en cuenta el reglamento Nacional de Edificaciones publicado en el diario el Peruano el día 8 de junio del 2006. Título III: Edificaciones, la sección 3.2 Estructuras, de las cuales se están considerando:

- E.020: Cargas
- E.030: Diseño sismo resistente
- E-090: Estructuras metálicas

Así mismo, estas normas contempla los dos métodos de diseño: ASD y LRFD, para el presente utilizare el criterio LRFD-93 (Método de factores de cargas y resistencia) debido a que este método utiliza factores para cada uno de los diferentes tipos de esfuerzos, obteniendo por lo general, diseños más optimizados.

El Diseño en base a Factores de Carga y Resistencia (LRFD) y el Diseño en base a Resistencias Admisibles (ASD) son métodos distintos. De

acuerdo con esta especificación, ambos métodos son igualmente aceptables, pero las disposiciones respectivas no son idénticas, en consecuencia no pueden considerarse intercambiables. La combinación indiscriminada de ambos métodos puede conducir a errores de diseño, por ello, ambos métodos están especificados como alternativos. Sin embargo, existen circunstancias en las cuales los dos métodos pueden ser usados en el diseño, como es la modificación o renovación de un sistema estructural sin conflicto, tal como la modificación de una estructura de una edificación antigua.

En esta especificación, el factor de resistencia ϕ es menor o igual que 1. Cuando se compara con la resistencia nominal R_n , un valor menor a 1, toma en cuenta imprecisiones de la teoría y variaciones en las propiedades mecánicas y dimensiones de los miembros y marcos. Para estados límites en los cuales $\phi = 1.0$, la resistencia nominal se considera suficientemente conservadora, cuando al compararla con la resistencia real no se requiere una reducción adicional.

3.1.3. Criterios de cálculo

3.1.3.1. Miembros en tracción

La resistencia de diseño de elementos en tracción $\phi_t P_n$ debe ser el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de fluencia en el área total y de rotura en el área neta.

(a) Para fluencia en el área total:

$$\phi_t = 0,90$$

$$P_n = F_y A_g \quad (3.1)$$

(b) Para rotura en el área neta:

$$\phi_t = 0,75$$

$$P_n = F_u A_e \quad (3.2)$$

Dónde

A_e = Área neta efectiva.

A_g = Área total del elemento.

F_y = Esfuerzo mínimo de fluencia especificado.

F_u = Resistencia mínima a la tracción especificada.

P_n = Resistencia axial nominal.

3.1.3.2. Miembros en compresión

La resistencia de diseño para pandeo por flexión en miembros comprimidos en los que sus elementos tienen una relación ancho - espesor menor a λ_r de la Sección 2.5.1 de la E090 es $\phi_c P_n$ donde:

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A_g F_{cr} \quad (3.3)$$

(a) Para $\lambda_c \leq 1,5$

$$F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (3.4)$$

(b) Para $\lambda_c > 1,5$

$$F_{cr} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (3.5)$$

Donde

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (3.6)$$

A_g = Área total del miembro

λ_r = Parámetro de esbeltez para elemento no compacto

λ_c = Parámetro de esbeltez de columna.

F_y = Esfuerzo de fluencia especificada.

F_{cr} = Esfuerzo crítico.

E = Módulo de Elasticidad.

K = Factor de longitud efectiva

l = Longitud lateralmente no arriostrada.

r = Radio de giro respecto del eje de pandeo.

3.1.3.3. Miembros en pandeo torsional

Este estado límite solamente es aplicable a elementos sujetos a flexión con respecto a su eje mayor. La resistencia de diseño a la flexión, determinada por el estado límite de pandeo lateral torsional, es $\phi_b M_n$:

$$\phi_b = 0,90$$

M_n = Resistencia nominal determinada como sigue:

Perfiles con Simetría Doble y Canales con $L_b \leq L_r$

La resistencia nominal en flexión es:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.7)$$

Dónde:

L_b = Distancia entre puntos de arriostre contra el desplazamiento lateral del ala en compresión, o entre puntos arriostrados para prevenir la torsión de la sección recta.

En la ecuación anterior, C_b es un factor de modificación para diagramas de momentos no uniformes donde, cuando ambos extremos del segmento de viga están arriostrados:

$$C_b = \frac{12,5M_{m\acute{a}x}}{2,5M_{m\acute{a}x} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (3.8)$$

Donde

$M_{m\acute{a}x}$ = Valor absoluto del máximo momento en el segmento sin arriostrar.

M_A = Valor absoluto del momento en el cuarto de la luz del segmento de viga sin arriostrar.

M_B = Valor absoluto del momento en el punto medio del segmento de viga sin arriostrar.

M_C = Valor absoluto del momento a los tres cuartos de la luz del segmento de viga sin arriostrar.

Se permite que C_b tome conservadoramente el valor 1,0 para todos los casos. Para voladizos y elementos sobresalidos donde el extremo libre no está arriostrado, $C_b = 1,0$

La longitud límite sin arriostrar para desarrollar la capacidad total plástica a la flexión, L_p , se determinará como sigue:

Para elementos de sección I incluyendo secciones híbridas y canales:

$$L_p = \frac{788r_y}{\sqrt{F_y}} \quad (3.9)$$

Para barras rectangulares sólidas y secciones cajón:

$$L_p = \frac{2600r_y \sqrt{JA}}{M_p} \quad (3.10)$$

Donde

A = Área de la sección.

J = Constante de torsión.

La longitud lateral no arriostrada límite L_r y el correspondiente momento de pandeo M_r se determinarán como sigue:

Para elementos de sección I con simetría doble y canales:

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}} \quad (3.11)$$

$$M_r = F_L S_x \quad (3.12)$$

Donde

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad (3.13)$$

$$X_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 \quad (3.14)$$

S_x = Módulo de sección alrededor del eje mayor.

E = Módulo de elasticidad del acero (200 000 MPa)

G = Módulo de elasticidad al corte del acero (77 200 MPa)

F_L = El menor valor de $(F_{yf} - F_r)$ ó F_{yw}

F_r = Esfuerzo de compresión residual en el ala, 70 MPa para perfiles laminados, 115 MPa para perfiles soldados.

F_{yf} = Esfuerzo de fluencia del ala.

F_{yw} = Esfuerzo de fluencia del alma.

I_y = Momento de inercia alrededor del eje -Y.

C_w = Constante de alabeo.

Las Ecuaciones 3.7 y 3.10 están basadas conservadoramente en $C_b = 1,0$

Para barras rectangulares sólidas y secciones cajón:

$$L_r = \frac{400000 r_y \sqrt{JA}}{M_r} \quad (3.15)$$

$$M_r = F_{yf} S_x \quad (3.16)$$

Perfiles con Simetría Doble y Canales con $L_b > L_r$.

La resistencia nominal en flexión es:

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (3.17)$$

Dónde M_{cr} es el momento elástico crítico, determinado como sigue:

Para elementos de sección I con simetría doble y canales:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_W} \\ &= \frac{C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2(L_b / r_y)^2}} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Para barras rectangulares sólidas y secciones cajón simétricas:

$$M_{cr} = \frac{400000 C_b \sqrt{JA}}{L_b / r_y} \quad (3.19)$$

Tees y Ángulos Dobles.

Para vigas T y de ángulos dobles cargados en el plano de simetría:

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{L_b} \left[B + \sqrt{1 + B^2} \right] \quad (3.20)$$

Donde

$$M_n \leq 1,5M_y \text{ Para almas en tracción.}$$

$$M_n \leq 1,0M_y \text{ Para almas en compresión.}$$

$$B \pm 2,3(d/L_b)\sqrt{I_y/J} \quad (3.21)$$

El signo positivo para B se aplica cuando el alma está en tracción, y el signo negativo cuando el alma está en compresión. Si la fibra extrema del alma está en compresión en cualquier punto a lo largo de la longitud no arriostrada, use el valor negativo de B.

3.1.3.4. Elementos sometidos a flexión y fuerza axial

3.1.3.4.1. Elementos con simetría simple y doble en flexión y tracción

La interacción de la flexión y tracción en secciones simétricas estará limitada por las Ecuaciones siguientes:

$$\text{Para } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (3.22a)$$

Para $\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0,2$

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (3.22b)$$

Dónde:

P_u = Resistencia requerida a la tracción

P_n = Resistencia nominal a la tracción determinada de acuerdo a las ecuaciones 3.1 y 3.2

M_u = Resistencia requerida a la flexión

M_n = Resistencia nominal a la flexión determinada de acuerdo a las ecuaciones 3.7 - 3.21

x = subíndice relativo al eje mayor de flexión.

y = subíndice relativo al eje menor de flexión.

$\phi = \phi_t$ = Factor de Resistencia a la tracción = 0.90

ϕ_b = Factor de resistencia a la flexión = 0,90

3.1.3.4.2. Elementos con simetría simple y doble en flexión y compresión

La interacción de la flexión y compresión en secciones simétricas estará limitada por las Ecuaciones 3.22a y 3.22b

Dónde:

P_u = Resistencia requerida a la compresión

P_n = Resistencia nominal a la compresión determinada de acuerdo a las ecuaciones 3.3-3.6

M_u = resistencia requerida a la flexión determinada de acuerdo a la sección 3.1

M_n = resistencia nominal a la flexión determinada de acuerdo a las ecuaciones 3.7 - 3.21

x = subíndice relativo al eje mayor de flexión.

y = subíndice relativo al eje menor de flexión.

$\phi = \phi_c$ = Factor de Resistencia a la compresión = 0.85

ϕ_b = Factor de resistencia a la flexión = 0,90

3.1.3.5. Modelo analizado

Se considera todos los nodos rígidos, a excepción de los ubicados en la base de la estructura, los cuales se consideran empotrados

3.1.4. Determinación y cálculo de cargas

3.1.4.1. Carga muerta (D)

La carga muerta $D = P + M$,

Dónde: P = peso de la estructura y M Peso de las planchas estriadas de 3mm de espesor (Calculado por el SAP)

3.1.4.2. Carga viva (L)

La carga viva a considerar de acuerdo a norma es de 250Kg/m² para los estacionamientos según tabla 3.1.(Ref 1–Pag. 320732)

OCUPACION O USO	CARGAS REPARTIDAS kPa (kgf/m ²)
Almacenaje	5,0 (500) Ver 6.4
Baños	Igual a la carga principal del resto del área, sin que sea necesario que exceda de 3,0 (300)
Bibliotecas	Ver 6.4
Salas de lectura	3,0 (300)
Salas de almacenaje con estantes fijos (no apilables)	7,5 (750)
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Centros de Educación	
Aulas	2,5 (250)
Talleres	3,5 (350) Ver 6.4
Auditorios, gimnasios, etc.	De acuerdo a lugares de asambleas
Laboratorios	3,0 (300) Ver 6.4
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Garajes	
Para parqueo exclusivo de vehículos de pasajeros, con altura de entrada menor que 2,40 m	2,5 (250)
Para otros vehículos	Ver 9.3
Hospitales	
Salas de operación, laboratorios y zonas de servicio	3,0 (300)
Cuartos	2,0 (200)
Corredores y escaleras	4,0 (400)

Tabla 3.1 : Carga viva repartidas (NTE – E020 –Tabla1)

3.1.4.3. Cargas de viento (W)

Se considera la velocidad del viento = 75 km/h de acuerdo a la figura 3.1 de la norma E020 (Ref 1 – Pag. 320738). Y dicha carga se calcula de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$V_h = (h/10)^{0,22}$$

Dónde:

V_h : Velocidad de diseño en la altura H en Km/h

V : Velocidad de diseño hasta 10 metros de altura en Km/h

h : Altura sobre el terreno en metros

$$P_h = 0.005CV_h^2$$

Dónde:

P_h : Presión o succión del viento a una altura h en Kg/m²

C : Factor de Forma adimensional (Ref 1 – Pag. 320735)

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

* El signo positivo indica presión y el negativo succión.

Tabla 3.2: Factor de forma C (NTE – E020 –Tabla4)

V_h : Velocidad de diseño en la altura h en Km/h

Con valores de $C = 0.8$ en Barlovento y 0.6 en sotavento,
tenemos:

$$P_h = 15.7 \text{ kgf/m}^2 \text{ en Barlovento}$$

$$P_h = 11.7 \text{ kgf/m}^2 \text{ en Sotavento}$$

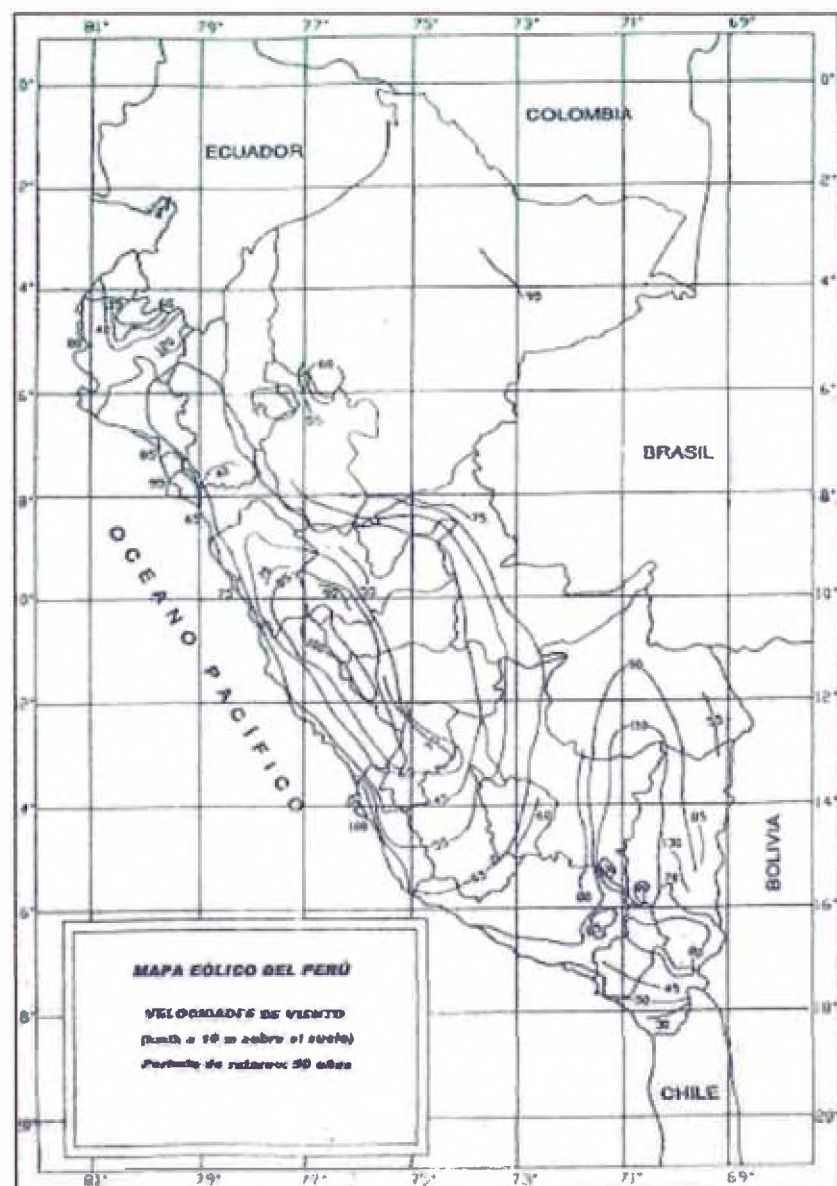


Figura 3.1: Mapa Eólico del Perú (NTE – E020)

3.1.4.4. Cargas de sismo (E)

La estructura será analizada para las hipótesis de carga por Sismo (S), en la cual la carga se aplica como aceleración de la gravedad según el método de análisis dinámico especificado en NTP E.0.30 (Ref. 1 – Pag. 320743) , para lo cual utilizaremos la siguiente fórmula.

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g$$

Dónde:

Sa : Aceleración espectral

Z : Factor de Zona (Z=3, Para La costa)

U : Factor de Uso (U=1, Por ser Edificación Común)

C : Coeficiente de ampliación sísmica

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right); C \leq 2.5$$

S : Factor de Suelo (S tipo1 =1, Para San Isidro Tp=0.4)

R : Factor de Reducción de Solicitaciones sísmicas(9.5)

g : Aceleración de la Gravedad (9.81)

Se desarrolló un programa en Matlab para determinar el espectro de pseudo-aceleraciones.

```

clc
t=0.1:0.1:2;
C=(2.5*0.4./t)';
for i=1:length(C)
    if C(i)>2.5 C(i)=2.5;
    end
end
Z=0.4;
U=1.0;
S=1;
g=9.81;
R=9.5;
Sa=Z*U*C*S*g/R;
for i=1:length(C)
    fprintf('%0.2f %0.2f %0.2f\n', ...
        C(i),t(i),Sa(i));
end
plot(t,Sa);grid;

```

Figura 3.2: Programa en MATLAB para espectro.

Este código nos permite obtener los siguientes valores, pasados a una hoja de cálculo.

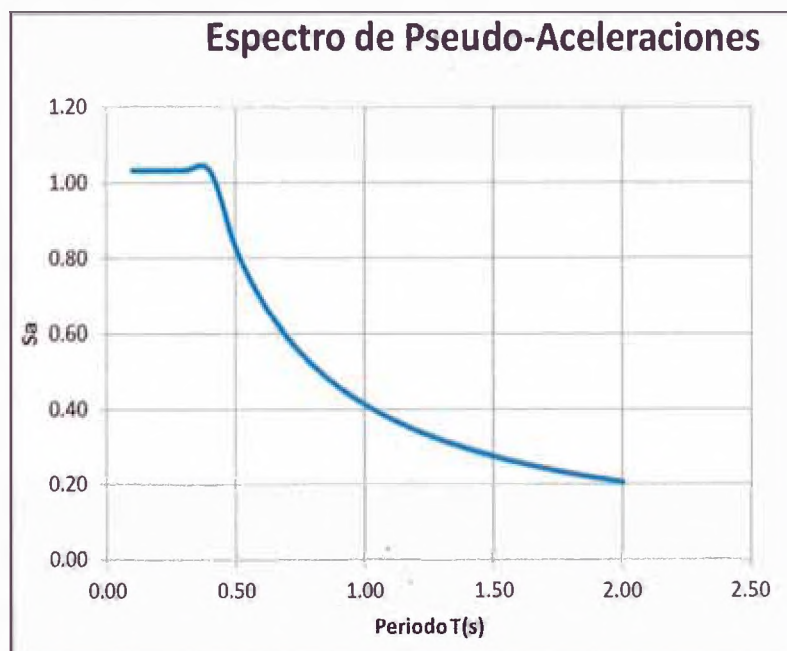


Figura 3.3: Gráfica del espectro Pseudo-Aceleraciones.

DETERMINACIÓN DEL ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIONES			
Parametros de Cálculo			
FACTOR DE ZONA "Z"			
Zona	Factor de Zona "Z"		
3	0.40		
SISTEMA ESTRUCTURAL "R"			
Sistema Estructural	Estructura	Coeficiente de Reducción "R"	
Pórticos de Acero	Regular	9.5	
CATEGORIA DE EDIFICACION "U"			
Categoría	Importancia	Factor "U"	
C	Edificaciones Comunes	1.00	
PARAMETROS DEL SUELO "S"			
Tipo	Descripción	Tp(s)	Factor "S"
S1	Roca o suelos muy rígidos	0.40	1.00
Gravedad "g" (m/s ²)		9.81	
	Factor de Amplificación Sismica	Periodo	Aceleración Espectral
	C	T	Sa
	2.50	0.10	1.03
	2.50	0.20	1.03
	2.50	0.30	1.03
	2.50	0.40	1.03
	2.00	0.50	0.83
	1.67	0.60	0.69
	1.43	0.70	0.59
	1.25	0.80	0.52
	1.11	0.90	0.46
	1.00	1.00	0.41
	0.91	1.10	0.38
	0.83	1.20	0.34
	0.77	1.30	0.32
	0.71	1.40	0.30
	0.67	1.50	0.28
	0.63	1.60	0.26
	0.59	1.70	0.24
	0.56	1.80	0.23
	0.53	1.90	0.22
	0.50	2.00	0.21

Tabla 3.3: Cuadro resumen del proceso del cálculo del espectro Pseudo – Aceleraciones, en una hoja de calculo

3.1.5. Combinaciones de cargas

De acuerdo a las recomendaciones de la E090 (Ref. 1 – Pág. 320947), se investigará las siguientes combinaciones de carga.

COMB1 $1.4D$...Ecuación 3.22

COMB2 $1.2D + 1.6L$...Ecuación 3.23

COMB3x $1.2D + 1.3W_x + 0.5L$...Ecuación 3.24

COMB3y $1.2D + 1.3W_y + 0.5L$...Ecuación 3.25

COMB4x $1.2D + 1E_x + 0.5L$...Ecuación 3.26

COMB4y $1.2D + 1E_y + 0.5L$...Ecuación 3.27

3.1.6. Diagrama de cargas

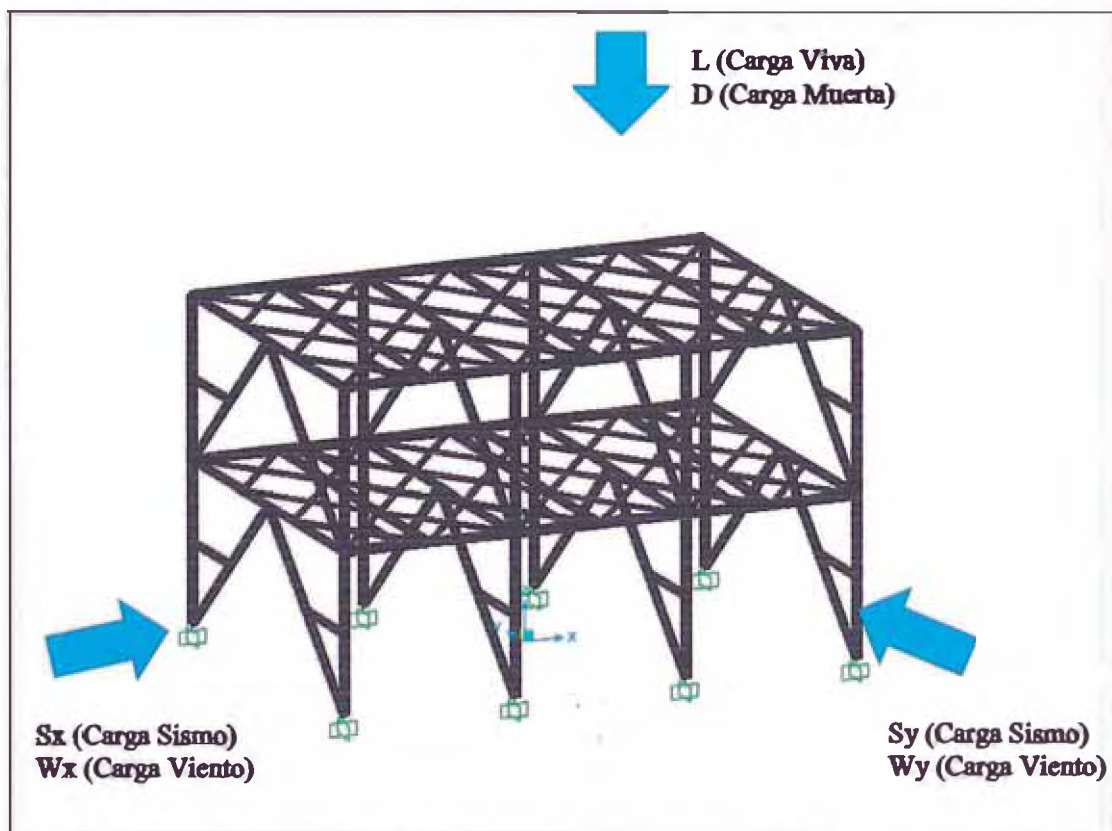


Figura 3.4: Diagramas de cargas.

3.2. Determinación de medidas de la estructura

En el Reglamento Nacional de Edificaciones, en el capítulo XI Estacionamientos del Título III Arquitectura (Ref. 1 – Pág. 320650), brinda parámetros de espaciados que se debe dejar para los estacionamientos convencionales, sin embargo no precisa para este tipo de configuración de estacionamiento vertical, por lo que tomaré la mínima consideración que indica que son: 2.4 m de ancho, 2.2m de alto y 5m de longitud para ocupar cada vehículo, ya que los vehículos serán ingresados por un sistema automatizado.

3.3. Modelado y análisis de la estructura usando SAP2000

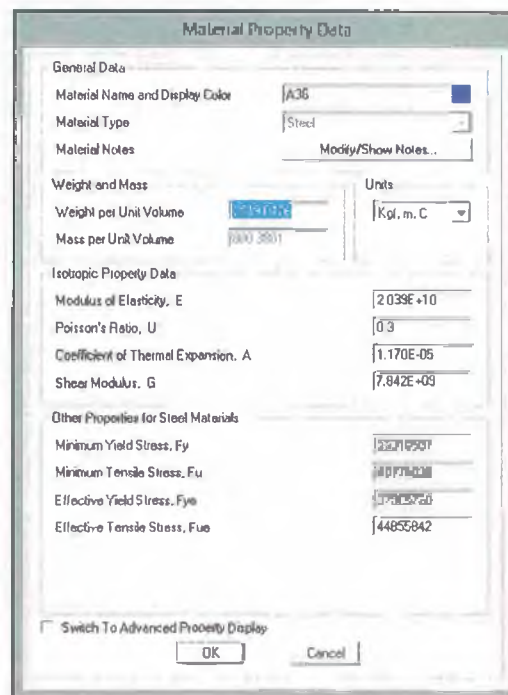
Existen muchos programas CAE, que permiten evaluar las cargas con las diferentes combinaciones que están normadas, tales como CYPE, Autodesk Robot, Gritec Advanced Design, Autodesk Simulation, etc. En este caso usaremos el software SAP2000, uno de los más reconocidos en nuestro medio.

3.3.1. Ingreso de datos

3.3.1.1. Modelado de la estructura

3.3.1.1.1. Definición de materiales:

La siguiente imagen muestra la ventana donde se define el material, en este caso el Acero A36 (Las unidades están expresadas en SI)



The image shows a 'Material Property Data' dialog box with the following fields and values:

General Data	
Material Name and Display Color	A36
Material Type	Steel
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7850 kg/m ³
Mass per Unit Volume	7850 kg/m ³
Units	Kg, m, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2.039E+10
Poisson's Ratio, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	7.842E+09
Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	235.0 MPa
Minimum Tensile Stress, Fu	415.0 MPa
Effective Yield Stress, Fye	235.0 MPa
Effective Tensile Stress, Fue	448.5842 MPa

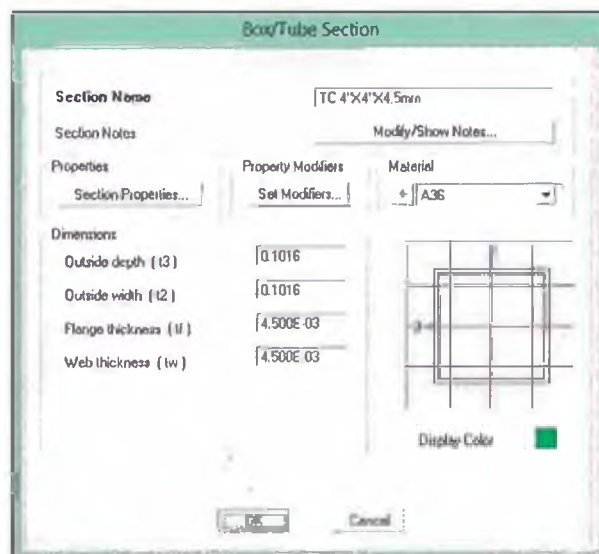
Switch To Advanced Property Display:

Buttons: OK, Cancel

Figura 3.4: Formulario para cargar material.

3.3.1.1.2. Definición de secciones

La siguiente imagen muestra la ventana donde se define las secciones, en este caso se muestra solo una de las utilizadas, Tubo cuadrado de 4"x4"x3mm, en el diseño final (Las unidades están expresadas en SI).



The image shows a 'Box/Tube Section' dialog box with the following fields and values:

Section Name	
Section Name	TC 4"x4"x4.5mm
Section Notes	Modify/Show Notes...
Properties	
Section Properties...	Set Modifiers...
Property Modifiers	
Material	A36
Dimensions	
Outside depth (t3)	0.1016
Outside width (t2)	0.1016
Flange thickness (t1)	4.500E-03
Web thickness (tw)	4.500E-03

Display Color:

Buttons: OK, Cancel

Figura 3.5: Formulario para definir la sección.

3.3.1.1.3. Definición de fuerzas

La imagen nos muestra la ventana donde definimos las fuerzas que serán utilizadas para el cálculo:

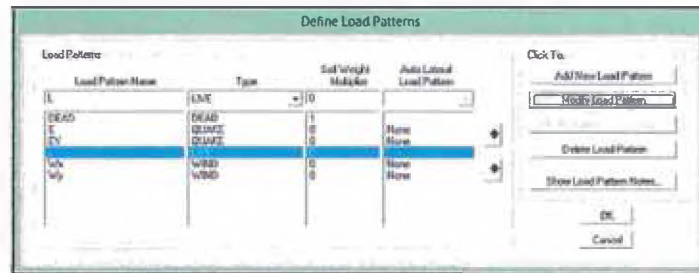


Figura 3.6: Formulario para definir los tipos de carga

3.3.1.1.4. Definición de combinaciones

La imagen nos muestra la ventana donde definimos las Combinaciones de cargas que serán utilizadas para el cálculo. La combinación mostrada en la que es la correspondiente a la ecuación 3.24, del Ítem 3.1.5

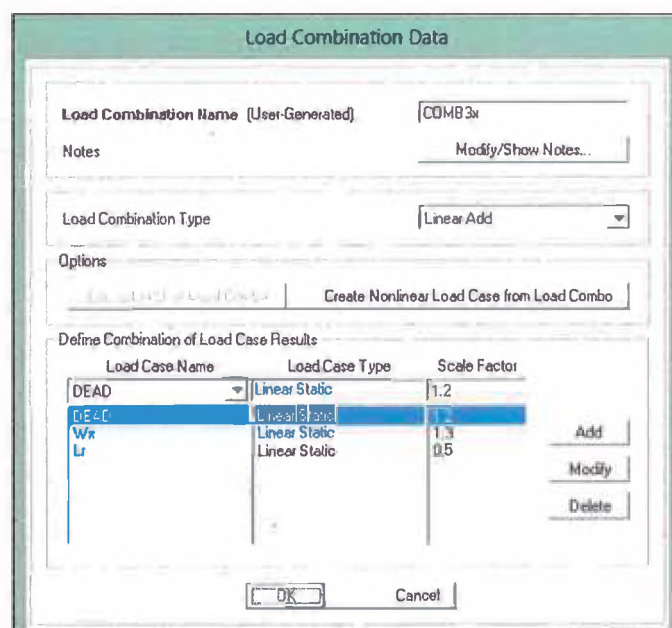


Figura 3.6: Formulario para definir las combinaciones de carga.

3.3.1.2. Esquema de la estructura

La imagen muestra el esquema de la estructura, cuyas dimensiones se muestran en el diagrama estructural, la cual se modificará de acuerdo a las diferentes propuestas para soportar las cargas mencionadas.

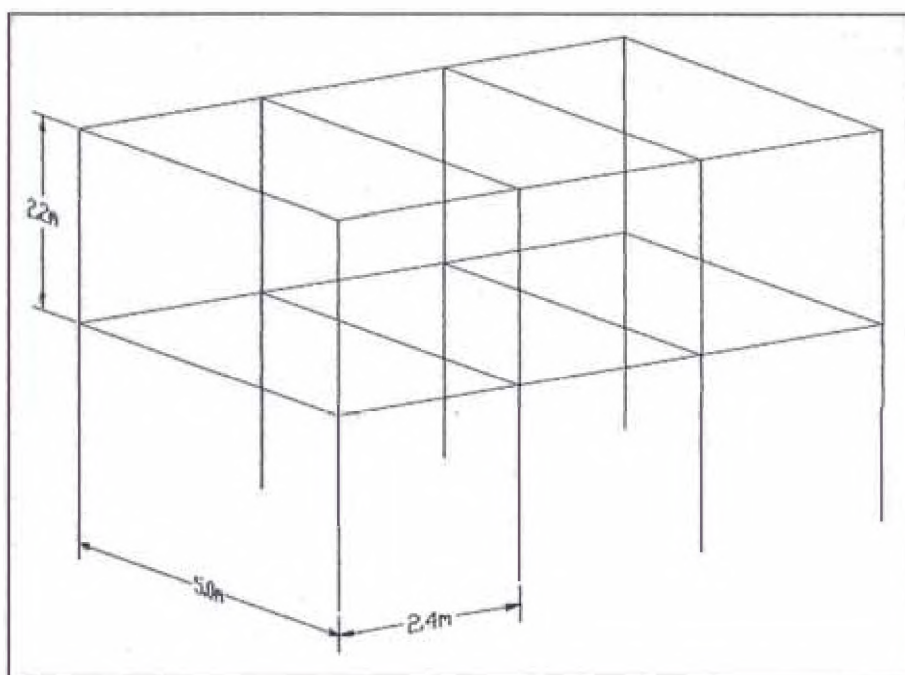


Figura 3.7: Esquema general de la estructura.

3.3.1.3. Definición de restricciones

La imagen nos muestra la ventana donde definimos la restricción para los apoyos, que en este caso muestra apoyos empotrados.

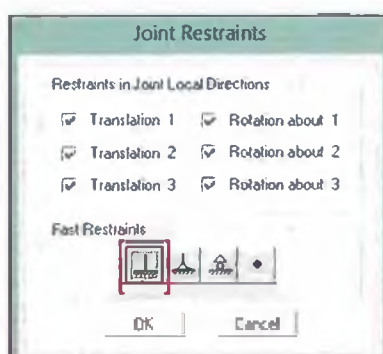


Figura 3.8: Formulario para indicar que los apoyos son empotrados.

3.3.1.4. Selección de normas aplicables

La siguiente imagen muestra la ventana donde se selecciona la norma aplicable, que para este caso es AISC-LRFD93, tal como se puede verificar en la E090.

Item	Value
1 Design Code	AISC-LRFD93
2 Multi-Response Case Design	
3 Framing Type	Moment Frame
4 Phi (Bending)	0.9
5 Phi (Compression)	0.85
6 Phi (Tension)	0.9
7 Phi (Shear)	0.9
8 Phi (Compression, Angle)	0.9
9 Consider Deflection?	No
10 DL Limit, L /	120
11 Super DL+LL Limit, L /	120
12 Live Load Limit, L /	360
13 Total Limit, L /	240
14 Total-Camber Limit, L /	240
15 Pattern Live Load Factor	0.75
16 Demand/Capacity Ratio Limit	1.

Item Description
The selected design code. Subsequent design is based on this selected code.

Explanation of Color Coding for Values
Blue: Default Value
Black: Not a Default Value
Red: Value that has changed during the current session

Set To Default Values: All Items, Selected Items
 Reset To Previous Values: All Items, Selected Items
 OK, Cancel

Figura 3.9: Formulario para indicar la norma a usar.

3.3.1.5. Carga del espectro del sismo

Primero, definimos un sismo genérico que usaremos como plantilla para el sismo calculado anteriormente.

Vamos al menú mostrado y seleccionamos Response Spectrum

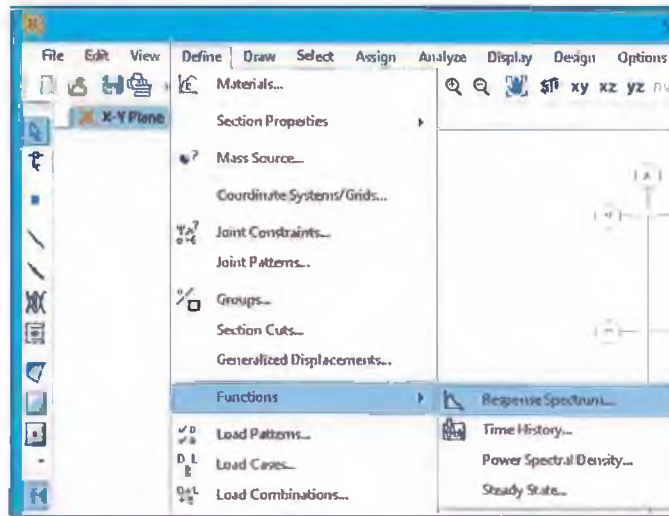


Figura 3.10: Opción para cargar el espectro del sismo.

No necesitamos seleccionar un código en particular, en este caso utilizamos el código IBC2009

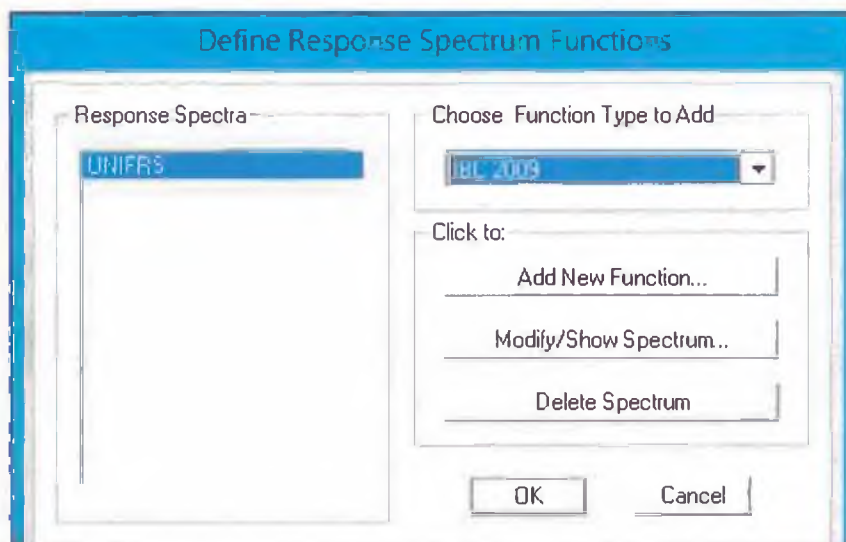


Figura 3.11: Opción para cargar el espectro del sismo.

En la ventana que aparece a continuación, digitamos el nombre de la función que utilizaremos FUNCION SISMO como plantilla,

como vemos, la curva no tiene las características que hemos calculado, sin embargo eso se editará en los pasos siguientes.

Period	Acceleration
0	0.6107
0.0759	1.5267
0.3795	1.5267
0.6	0.9656
0.8	0.7242
1	0.5793
1.2	0.4828
1.4	0.4138
1.6	0.3621

Figura 3.12: Formulario donde se muestra la data por defecto.

Una vez definida nuestra plantilla, accedemos al menú mostrado en la cual seleccionamos Interactive Database Editing, lo que nos permite modificar la información ingresada para nuestros propósitos.

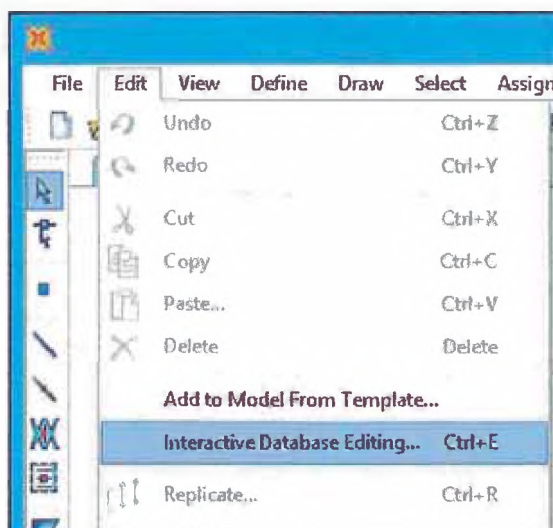


Figura 3.13: Selección de la edición interactiva de la base de datos del SAP.

En la ventana siguiente, seleccionamos la tabla: **Response Spectrum User**

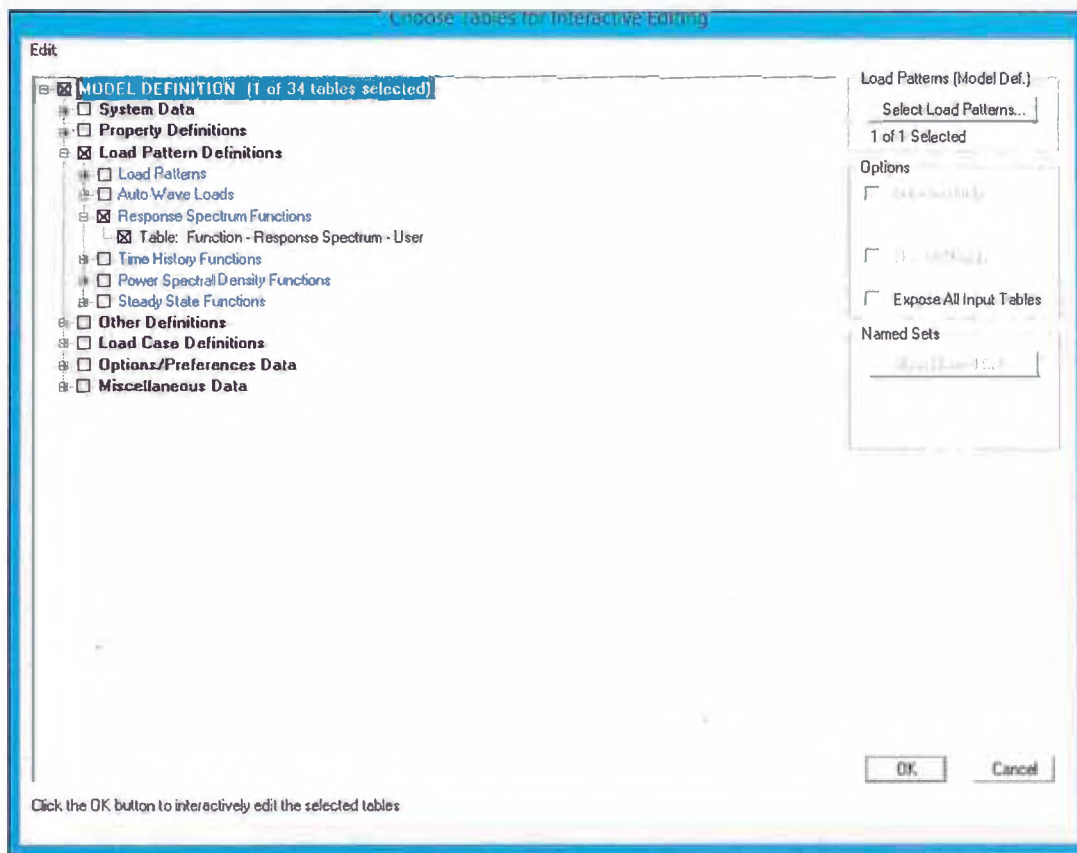


Figura 3.14: Formulario para la elección de la data de espectro.

Y al hacer click en OK, aparece una nueva ventana con la información del espectro plantilla con el nombre que indicamos anteriormente, esta información es enviada a un Excel a través del botón: To Excel

The screenshot shows a window titled "Interactive Database Editing - Function - Response Spectrum - User". It contains a table with the following data:

	Name	Period	Accel	FuncDamp
	Text	Sec	Unitless	Unitless
1	UNFRS	0.000000	1.000000	0.050000
2	UNFRS	1.000000	1.000000	
3	FUNCION SISMO	0.000000	0.610700	0.050000
4	FUNCION SISMO	0.075900	1.526700	
5	FUNCION SISMO	0.379500	1.526700	
6	FUNCION SISMO	0.600000	0.965600	
7	FUNCION SISMO	0.000000	0.724200	
8	FUNCION SISMO	1.000000	0.579300	
9	FUNCION SISMO	1.200000	0.402800	
10	FUNCION SISMO	1.400000	0.413000	
11	FUNCION SISMO	1.600000	0.362100	
12	FUNCION SISMO	1.800000	0.321900	
13	FUNCION SISMO	2.000000	0.289700	
14	FUNCION SISMO	2.500000	0.231700	
15	FUNCION SISMO	3.000000	0.193100	
16	FUNCION SISMO	3.500000	0.165500	
17	FUNCION SISMO	4.000000	0.144800	
18	FUNCION SISMO	4.500000	0.128700	
19	FUNCION SISMO	5.000000	0.115900	

On the right side of the window, there are buttons for "Copy", "Paste", "Paste Insert", "Paste Append", "Delete Record", "Append Blank Rows", "Find...", "Replace...", "To Excel", "Advanced Options...", and "Done".

Figura 3.15: Formulario para interactuar con la data.

En el Excel mostrado todavía tenemos la información del sismo “plantilla”, sin embargo es posible editar y copiar la información del sismo calculado para nuestra estructura mostrada en la imagen posterior.

Name	Period	Accel	Damp
UNIFRS	1	1	0.05
UNIFRS	1	1	
FUNCIÓN SISMO	0	0.6107	0.05
FUNCIÓN SISMO	0.0759	1.5267	
FUNCIÓN SISMO	0.1735	1.9267	
FUNCIÓN SISMO	0.6	0.9056	
FUNCIÓN SISMO	0.8	0.7362	
FUNCIÓN SISMO	2	0.5793	
FUNCIÓN SISMO	1.8	0.4828	
FUNCIÓN SISMO	1.4	0.4124	
FUNCIÓN SISMO	1.6	0.3521	
FUNCIÓN SISMO	1.8	0.3215	
FUNCIÓN SISMO	2	0.2897	
FUNCIÓN SISMO	2.5	0.2317	
FUNCIÓN SISMO	3	0.1811	
FUNCIÓN SISMO	1.5	0.1675	
FUNCIÓN SISMO	4	0.1468	
FUNCIÓN SISMO	4.5	0.1287	
FUNCIÓN SISMO	5	0.1159	
FUNCIÓN SISMO	5.5	0.1051	
FUNCIÓN SISMO	6	0.0926	
FUNCIÓN SISMO	6.5	0.0851	

Figura 3.16: Datos exportados a una hoja de cálculo.

Reemplazamos los datos obtenidos con el programa Matlab.

Factor de Amplificación Sísmica	Periodo	Aceleración Espectral
C	T	Sa
2.50	0.10	1.03
2.50	0.20	1.03
2.50	0.30	1.03
2.50	0.40	1.03
2.00	0.50	0.83
1.67	0.60	0.69
1.43	0.70	0.59
1.25	0.80	0.52
1.11	0.90	0.46
1.00	1.00	0.41
0.91	1.10	0.38
0.83	1.20	0.34
0.77	1.30	0.32
0.71	1.40	0.30
0.67	1.50	0.28
0.63	1.60	0.26
0.59	1.70	0.24
0.56	1.80	0.23
0.53	1.90	0.22
0.50	2.00	0.21

Tabla 3.4: Datos calculados con el programa de Matlab.

Una vez modificado el Excel hacemos click en el Boton From Excel

Interactive Database Editing - Function - Response Spectrum - User

File Excel Edit View Options

Function - Response Spectrum - User

	Name	Period	Accel	FuncDamp
	Text	Sec	Unitless	Unitless
1	UNIFRS	0.000000	1.000000	0.050000
2	UNIFRS	1.000000	1.000000	
3	FUNCION SISMO	0.100000	1.032600	0.050000
4	FUNCION SISMO	0.200000	1.032600	
5	FUNCION SISMO	0.300000	1.032600	
6	FUNCION SISMO	0.400000	1.032600	
7	FUNCION SISMO	0.500000	0.826100	
8	FUNCION SISMO	0.600000	0.688400	
9	FUNCION SISMO	0.700000	0.590100	
10	FUNCION SISMO	0.800000	0.516300	
11	FUNCION SISMO	0.900000	0.458900	
12	FUNCION SISMO	1.000000	0.413100	
13	FUNCION SISMO	1.100000	0.375500	
14	FUNCION SISMO	1.200000	0.344200	
15	FUNCION SISMO	1.300000	0.317700	
16	FUNCION SISMO	1.400000	0.295000	
17	FUNCION SISMO	1.500000	0.275400	
18	FUNCION SISMO	1.600000	0.258200	
19	FUNCION SISMO	1.700000	0.243000	
20	FUNCION SISMO	1.800000	0.229500	
21	FUNCION SISMO	1.900000	0.217400	
22	FUNCION SISMO	2.000000	0.206500	

Only Displays Invalid Load if Error or Warning Occurs

Buttons: Copy, Paste, Edit, Paste As Text, Undo, Redo, Find, Replace, Go, From Excel, Cancel Excel, Done

Figura 3.17: Formulario que muestra los nuevos datos cargados

Y una vez cargada la información tenemos que el SAP2000 nos muestra la función como la realizamos en los cálculos.

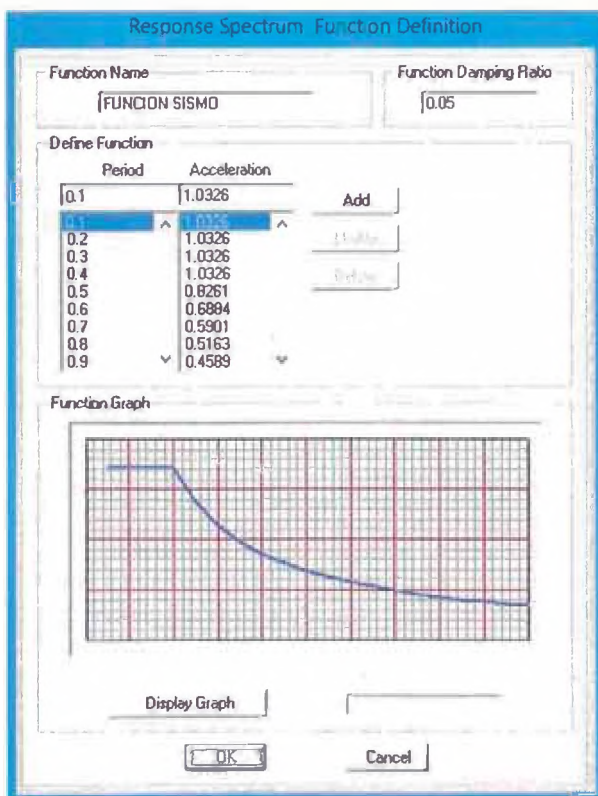


Figura 3.18: Formulario donde se muestra el gráfico con los nuevos datos cargados

3.3.2. Análisis de primer modelo propuesto

Para el primer modelo, nos ocupamos de definir las dimensiones principales y utilizamos la sección: TC 3"X3"X3mm.

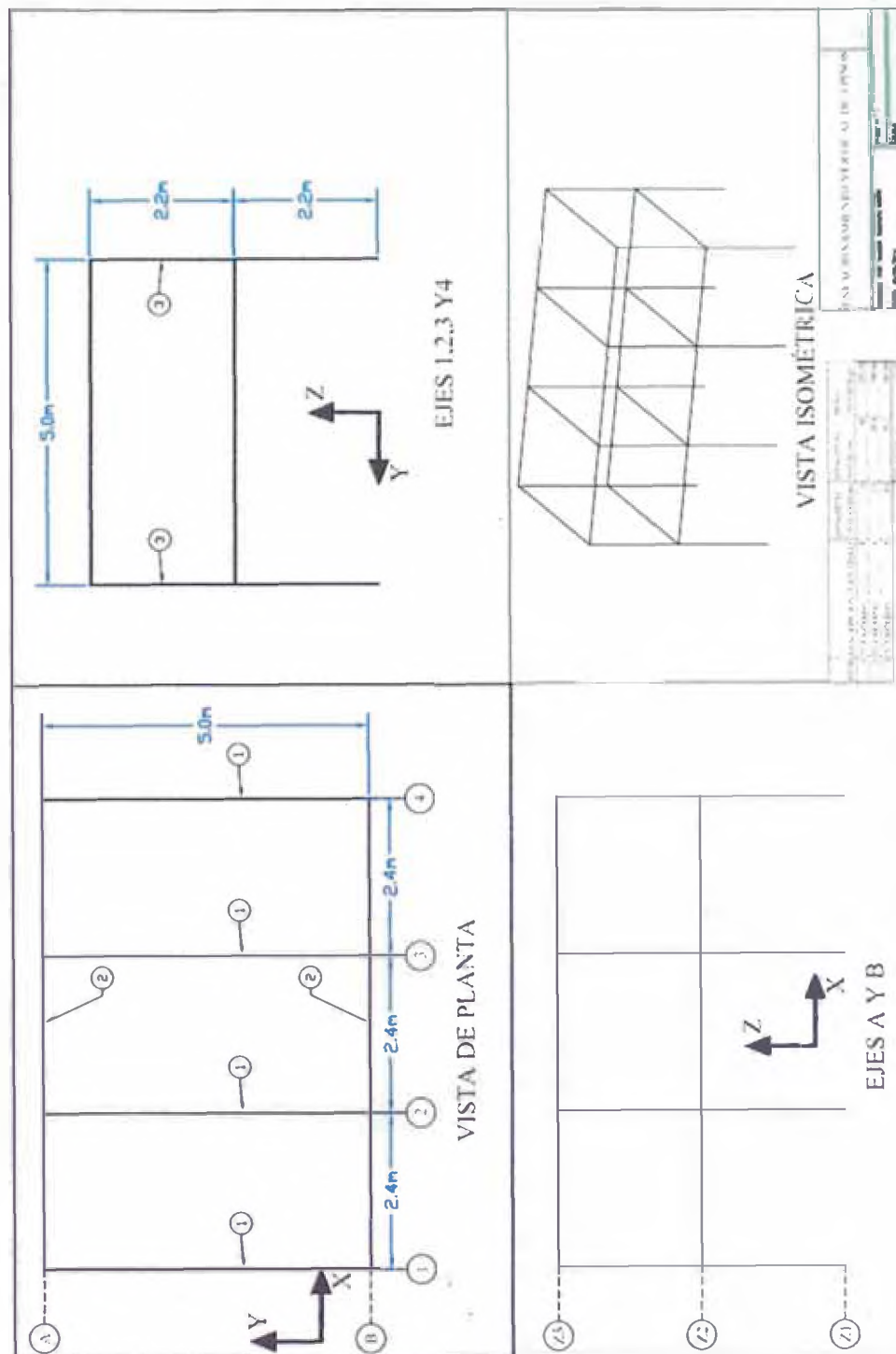


Figura 3.19: Primer modelo propuesto.

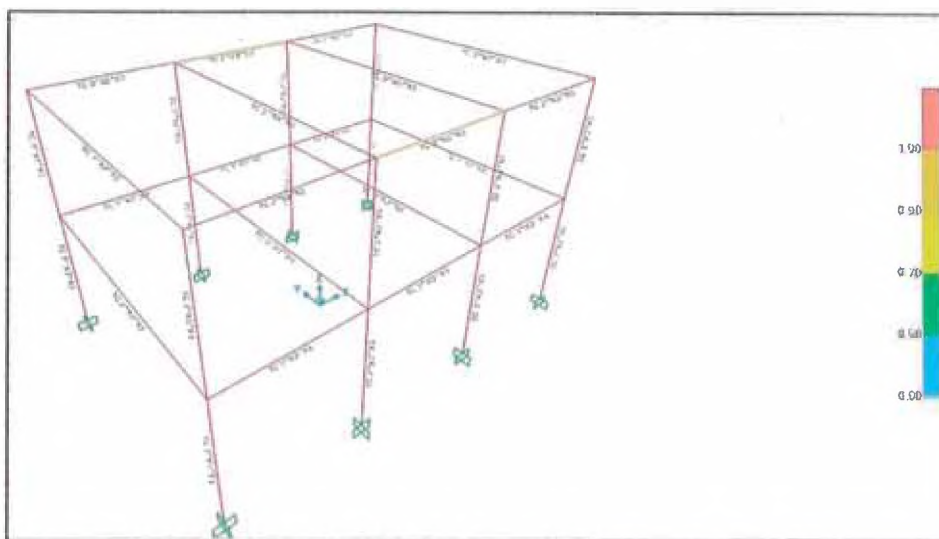


Figura 3.20: Diagrama de factores de carga.

La imagen nos muestra los ratios de uso por diagrama de colores, como se observa, la mayoría de secciones están en rojo, lo que nos indica que dichas secciones no satisfacen condiciones de carga, sin embargo podemos obtener información útil del modelo. La siguiente tabla nos muestra que los mayores esfuerzos de la estructura se deben a la combinación 3y (Ecuación 3.25 ítem 3.1.5), con esta información sabemos que debemos reforzar la estructura en esa dirección.

Tabla 3.5: Reporte de los factores de carga de los elementos más críticos.						
Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio	Combo	WarnMsg
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text
33	TC 3"X3"X3mm	Column	Overstressed	9.778439	COMB3y	No Messages
35	TC 3"X3"X3mm	Column	Overstressed	9.778439	COMB3y	No Messages
34	TC 3"X3"X3mm	Column	Overstressed	9.117883	COMB3y	No Messages
36	TC 3"X3"X3mm	Column	Overstressed	9.117883	COMB3y	No Messages
31	TC 3"X3"X3mm	Column	Overstressed	8.097753	COMB3y	No Messages

37	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	8.097753	COMB3y	No Messages
32	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	7.506209	COMB3y	No Messages
38	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	7.506209	COMB3y	No Messages
12	TC 3''X3''X3mm	Beam	Overstressed	6.601244	COMB3y	No Messages
13	TC 3''X3''X3mm	Beam	Overstressed	6.601244	COMB3y	No Messages
11	TC 3''X3''X3mm	Beam	Overstressed	6.132374	COMB3y	No Messages
14	TC 3''X3''X3mm	Beam	Overstressed	6.132374	COMB3y	No Messages
21	TC 3''X3''X3mm	Beam	Overstressed	4.019851	COMB3y	No Messages
24	TC 3''X3''X3mm	Beam	Overstressed	4.019851	COMB3y	No Messages
22	TC 3''X3''X3mm	Beam	Overstressed	3.848938	COMB3y	No Messages
23	TC 3''X3''X3mm	Beam	Overstressed	3.848938	COMB3y	No Messages
40	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	3.302367	COMB3y	No Messages
46	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	3.302367	COMB3y	No Messages
41	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	3.225002	COMB3y	No Messages
43	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	3.225002	COMB3y	No Messages
39	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	3.175784	COMB3y	No Messages
45	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	3.175784	COMB3y	No Messages
42	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	3.127029	COMB3y	No Messages
44	TC 3''X3''X3mm	Column	Overstressed	3.127029	COMB3y	No Messages

3.3.3. Análisis de segundo modelo propuesto

Las imágenes muestran los refuerzos que se agregaron en la dirección Y

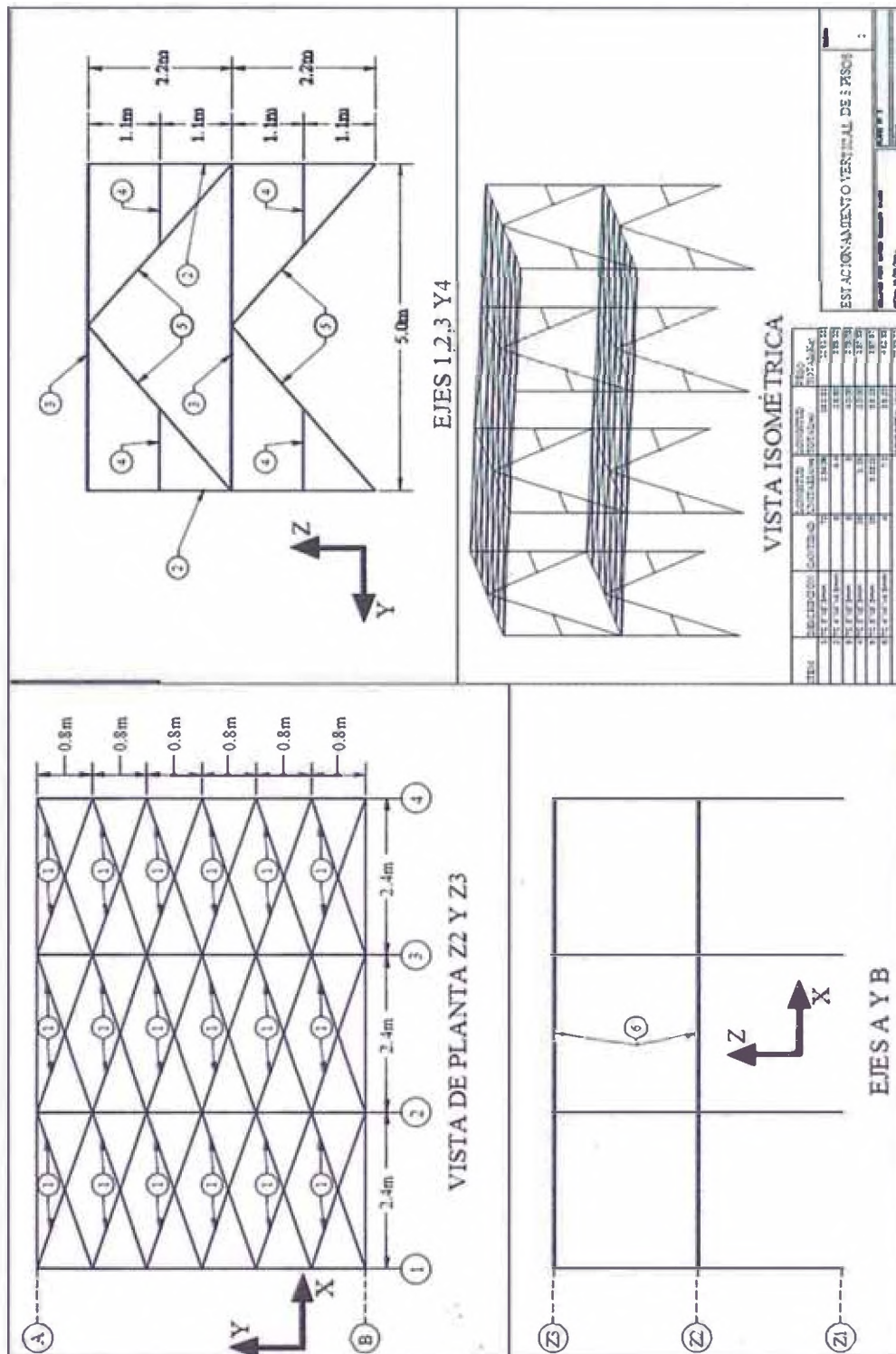


Figura 3.20: Segundo modelo propuesto.

Nuevamente nos referimos a una tabla de resultados, y podemos apreciar que los Tubos cuadrados de 3" tienen una esbeltez mayor a la permitida por norma E090 ($Kl/r < 200$), el análisis nos indica que debemos buscar otra configuración en el arreglo para los planos XY.

Tabla 3.6: Reporte de los factores de carga de los elementos más críticos.

Frame	DesignSect	Design	Status	Ratio	Combo	WarnMsg
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text
229	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.994286	COMB3x	No Messages
231	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.994286	COMB3x	No Messages
233	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.984564	COMB3x	No Messages
235	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.984564	COMB3x	No Messages
237	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.968396	COMB3x	No Messages
239	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.968396	COMB3x	No Messages
225	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.938087	COMB3x	No Messages
227	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.938087	COMB3x	No Messages
203	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.734947	COMB2	No Messages
204	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.734947	COMB2	No Messages
209	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.734947	COMB2	No Messages
210	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.734947	COMB2	No Messages
576	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.727303	COMB2	No Messages
577	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.727303	COMB2	No Messages
582	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.727303	COMB2	No Messages
583	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.727303	COMB2	No Messages
574	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.66068	COMB2	No Messages
579	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.66068	COMB2	No Messages
580	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.66068	COMB2	No Messages
585	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.66068	COMB2	No Messages
93	TC 3"X3"X3mm	Brace	No	0.639768	COMB3y	No Messages
97	TC 3"X3"X3mm	Brace	No	0.639768	COMB3y	No Messages
189	TC 4"X4"X4.5mm	Beam	No	0.621758	COMB3x	No Messages
192	TC 4"X4"X4.5mm	Beam	No	0.621758	COMB3x	No Messages
191	TC 4"X4"X4.5mm	Beam	No	0.616854	COMB3x	No Messages
194	TC 4"X4"X4.5mm	Beam	No	0.616854	COMB3x	No Messages
632	TC 3"X3"X3mm	Beam	See	0.586167	COMB3x	kl/r > 200
643	TC 3"X3"X3mm	Beam	See	0.586167	COMB3x	kl/r > 200
201	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.570515	COMB2	No Messages
206	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.570515	COMB2	No Messages
207	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.570515	COMB2	No Messages
212	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.570515	COMB2	No Messages
89	TC 3"X3"X3mm	Brace	No	0.561837	COMB3x	No Messages
90	TC 3"X3"X3mm	Brace	No	0.561837	COMB3x	No Messages
101	TC 3"X3"X3mm	Brace	No	0.540701	COMB3x	No Messages

102	TC 3"X3"X3mm	Brace	No	0.540701	COMB3x	No Messages
234	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.500078	COMB3x	No Messages
236	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.500078	COMB3x	No Messages
230	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.497534	COMB3x	No Messages
232	TC 4"X4"X4.5mm	Column	No	0.497534	COMB3x	No Messages
592	TC 3"X3"X3mm	Beam	See	0.486828	COMB3x	kl/r > 200
623	TC 3"X3"X3mm	Beam	See	0.486828	COMB3x	kl/r > 200
197	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.460485	COMB2	No Messages
198	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.460485	COMB2	No Messages
215	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.460485	COMB2	No Messages
216	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.460485	COMB2	No Messages
94	TC 3"X3"X3mm	Brace	No	0.451104	COMB3x	No Messages
570	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.450228	COMB2	No Messages
571	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.450228	COMB2	No Messages
588	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.450228	COMB2	No Messages
589	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.450228	COMB2	No Messages
98	TC 3"X3"X3mm	Brace	No	0.446869	COMB3x	No Messages
624	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.415277	COMB3x	No Messages
651	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.415277	COMB3x	No Messages
190	TC 4"X4"X4.5mm	Beam	No	0.414531	COMB3x	No Messages
193	TC 4"X4"X4.5mm	Beam	No	0.414531	COMB3x	No Messages
568	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.412961	COMB2	No Messages
573	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.412961	COMB2	No Messages
586	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.412961	COMB2	No Messages
591	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.412961	COMB2	No Messages
575	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.406088	COMB3y	No Messages
581	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.406088	COMB3y	No Messages
598	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.371695	COMB3x	No Messages
617	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.371695	COMB3x	No Messages
202	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.365344	COMB2	No Messages
205	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.365344	COMB2	No Messages
208	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.365344	COMB2	No Messages
211	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.365344	COMB2	No Messages
619	TC 3"X3"X3mm	Beam	See	0.353932	COMB3y	kl/r > 200
636	TC 3"X3"X3mm	Beam	See	0.353932	COMB3y	kl/r > 200
578	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.353552	COMB2	No Messages
584	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.353552	COMB2	No Messages
195	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.351821	COMB2	No Messages
200	TC 3"X3"X3mm	Beam	No	0.351821	COMB2	No Messages

3.3.4. Análisis del tercer modelo (definitivo)

La figura muestra el refuerzo realizado en los planos XY

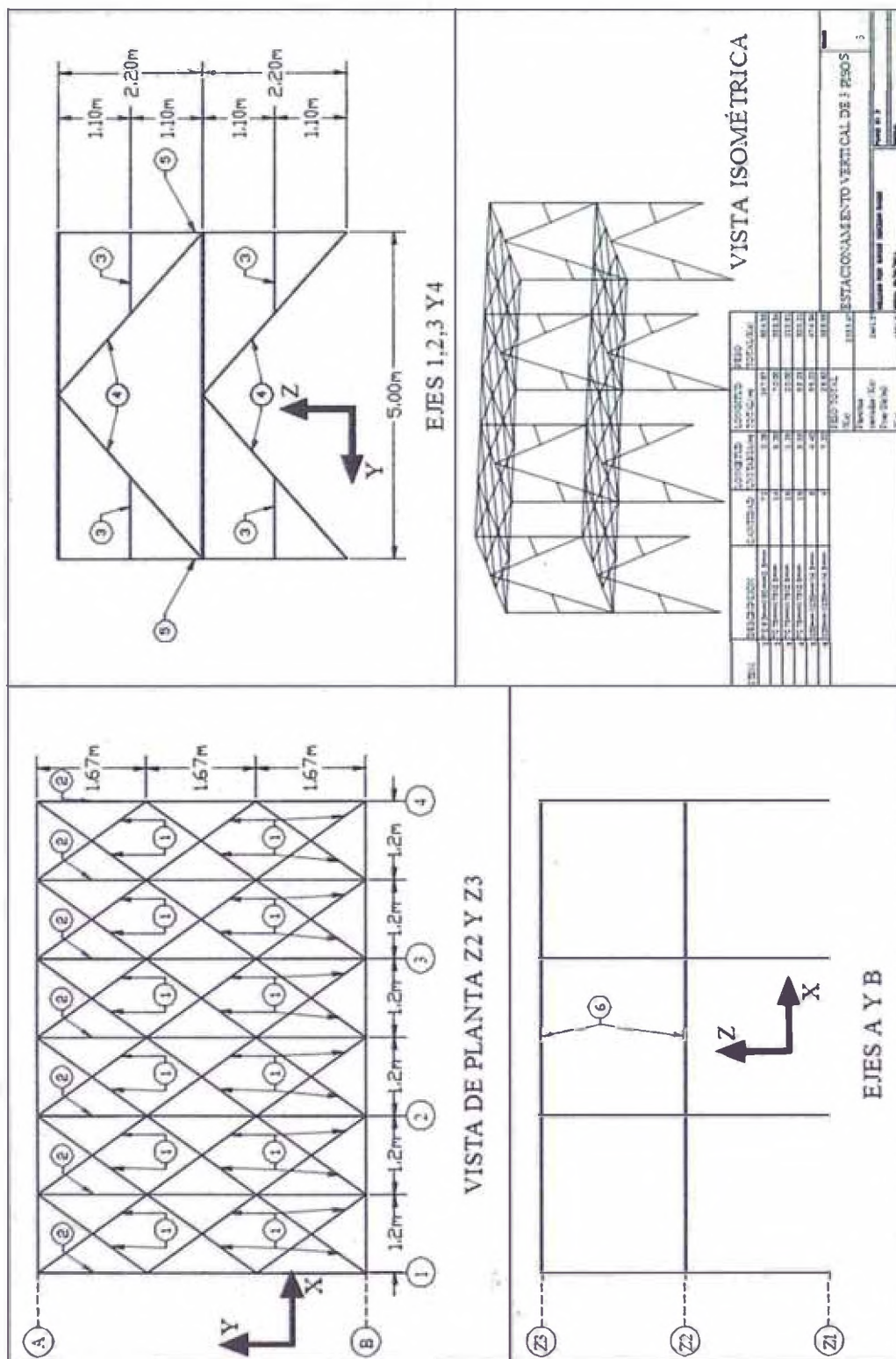


Figura 3.21: Tercer modelo propuesto.

Para los elementos de la estructura se muestra el reporte del SAP para el elemento más cargado y la respectiva tabla para los elementos del mismo tipo, empezando por el elemento de sección más grande y terminando por el elemento de la sección más pequeña.

Tabla 3.7: RESULTADOS PARA LOS TUBOS CUADRADOS DE 100mmX100mmX4.5mm						
TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93						
Frame	DesignSect	Design Type	Status	Ratio	Combo	WarnMsg
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text
229	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.995938	COMB3x	No Messages
231	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.992661	COMB3x	No Messages
233	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.982297	COMB3x	No Messages
235	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.979245	COMB3x	No Messages
237	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.965682	COMB3x	No Messages
239	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.962814	COMB3x	No Messages
227	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.919745	COMB3x	No Messages
225	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.917302	COMB3x	No Messages
701	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.715852	COMB3x	No Messages
707	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.710028	COMB3x	No Messages
697	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.671403	COMB3x	No Messages
703	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.662824	COMB3x	No Messages
702	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.626287	COMB3x	No Messages
696	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.620432	COMB3x	No Messages
699	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.570459	COMB3x	No Messages
705	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.562529	COMB3x	No Messages
230	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.556189	COMB3x	No Messages

232	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.555207	COMB3x	No Messages
234	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.538669	COMB3x	No Messages
236	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.538167	COMB3x	No Messages
706	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.507298	COMB3x	No Messages
700	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.498786	COMB3x	No Messages
704	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.432842	COMB3x	No Messages
698	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.424889	COMB3x	No Messages
238	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.370831	COMB3x	No Messages
240	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.36775	COMB3x	No Messages
226	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.349004	COMB2	No Messages
228	100mmX100mmX4.5mm	Column	No Messages	0.345924	COMB2	No Messages
1032	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.292051	COMB3x	No Messages
1038	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.28781	COMB3x	No Messages
1034	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.270935	COMB3x	No Messages
1040	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.266968	COMB3x	No Messages
1036	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.255813	COMB3x	No Messages
1042	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.253032	COMB3x	No Messages
1035	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.212428	COMB2	No Messages
1041	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.208122	COMB2	No Messages
1031	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.206979	COMB2	No Messages
1037	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.202656	COMB2	No Messages
1033	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.18587	COMB2	No Messages
1039	100mmX100mmX4.5mm	Beam	No Messages	0.181906	COMB2	No Messages

La siguiente imagen muestra el elemento más cargado de las secciones 100mmX100mmX4.5mm, perteneciente al eje B del diagrama estructural Versión 3 mostrado en los anexos.

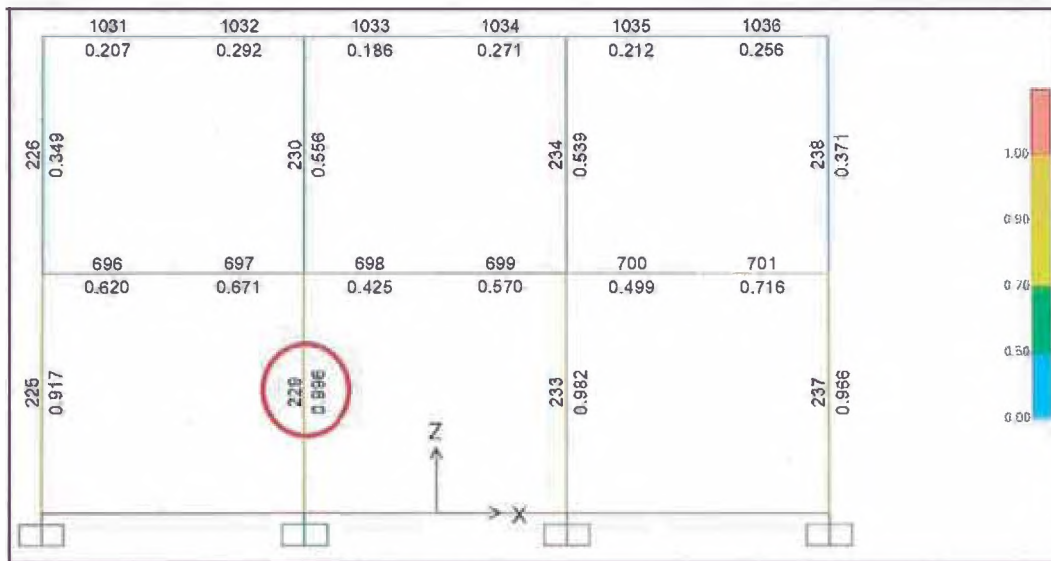


Figura 3.22: Diagrama de factores de carga.

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK
 Combo : COMB3x
 Units : Kgf, m, C

Etiqueta de elemento **Sección Estructural**

Frame : 229	Design Sect: 100mmX100mmX4.5mm
X Mid : -1.200	Design type: Column
Y Mid : -2.500	Frame Type : Moment Resisting Frame
Z Mid : 1.100	Sect Class : Compact
Length : 2.200	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3
Loc : 0.000	RLRF : 1.000

Area : 0.002 SMajor : 5.238E-05 rMajor : 0.039 AVMajor: 9.000E-04
 IMajor : 2.619E-06 SMinor : 5.238E-05 rMinor : 0.039 AVMinor: 9.000E-04
 IMinor : 2.619E-06 ZMajor : 6.161E-05 E : 20389019158
 Ixy : 0.000 ZMinor : 6.161E-05 Fy : 25310506.541

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.000	-2194.339	1316.224	-25.473	1077.129	-26.789	9.842

PNM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation (H1-lb)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
(H1-lb)	0.996	= 0.040	+ 0.938	+ 0.018	1.000	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-2194.339	27504.737	39157.885

MOMENT DESIGN

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	1316.224	1403.380	0.850	1.000	1.000	1.331	1.000	2.167
Minor Moment	-25.473	1403.380	0.850	1.000	1.000	2.056	0.500	

SHEAR DESIGN

	Vu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion
Major Shear	1077.129	12300.906	0.088	OK	0.000
Minor Shear	26.789	12300.906	0.002	OK	0.000

Ratio<1, satisface Condiciones de carga

Figura 3.23: Reporte de detalle para el perfil crítico 229.

Tabla 3.8: RESULTADOS PARA LOS TUBOS CUADRADOS DE						
75mmX75mmX2.5mm						
TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93						
Frame	DesignSect	Design Type	Status	Ratio	Combo	WarnMsg
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text
888	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.947758	COMB2	No Messages
894	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.947758	COMB2	No Messages
873	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.912779	COMB2	No Messages
879	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.912779	COMB2	No Messages
871	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.721948	COMB2	No Messages
883	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.721948	COMB2	No Messages
869	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.720991	COMB2	No Messages
881	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.720991	COMB2	No Messages
877	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.704414	COMB2	No Messages
875	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.703588	COMB2	No Messages
886	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.688289	COMB2	No Messages
898	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.688289	COMB2	No Messages
884	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.687827	COMB2	No Messages
896	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.687827	COMB2	No Messages
892	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.667896	COMB2	No Messages
890	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.667473	COMB2	No Messages
870	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.56909	COMB2	No Messages
882	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.56909	COMB2	No Messages
876	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.559837	COMB2	No Messages
885	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.559416	COMB2	No Messages
897	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.559416	COMB2	No Messages

891	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.552218	COMB2	No Messages
858	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.48929	COMB2	No Messages
861	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.48929	COMB2	No Messages
864	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.464372	COMB2	No Messages
867	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.464372	COMB2	No Messages
872	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.451691	COMB3y	No Messages
878	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.451691	COMB3y	No Messages
863	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.396847	COMB3y	No Messages
866	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.396847	COMB3y	No Messages
1070	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.375256	COMB3y	No Messages
1082	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.375256	COMB3y	No Messages
1067	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.373599	COMB3x	No Messages
1079	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.367634	COMB3x	No Messages
1069	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.367419	COMB3y	No Messages
1081	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.367419	COMB3y	No Messages
1091	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.360291	COMB3x	No Messages
1094	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.360143	COMB3x	No Messages
1058	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.326549	COMB3x	No Messages
1055	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.326318	COMB3x	No Messages
1057	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.301235	COMB3y	No Messages
1093	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.301235	COMB3y	No Messages
887	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.280775	COMB2	No Messages
893	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.280775	COMB2	No Messages
889	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.280233	COMB2	No Messages
895	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.280233	COMB2	No Messages
874	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.275541	COMB2	No Messages
880	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.275541	COMB2	No Messages

1066	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.202978	COMB2	No Messages
1078	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.202978	COMB2	No Messages
1063	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.202886	COMB2	No Messages
1075	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.202886	COMB2	No Messages
1065	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.184459	COMB3y	No Messages
1077	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.184459	COMB3y	No Messages
1068	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.179454	COMB3x	No Messages
1092	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.176689	COMB3x	No Messages
1051	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.172485	COMB2	No Messages
1087	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.172485	COMB2	No Messages
1080	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.172033	COMB3x	No Messages
1054	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.171339	COMB2	No Messages
1090	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.171339	COMB2	No Messages
1052	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.168972	COMB2	No Messages
1088	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.168972	COMB2	No Messages
1053	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.168561	COMB2	No Messages
1089	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.168561	COMB2	No Messages
1056	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.149346	COMB2	No Messages
857	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.146724	COMB2	No Messages
860	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.146724	COMB2	No Messages
859	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.146624	COMB2	No Messages
862	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.146624	COMB2	No Messages
865	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.133669	COMB2	No Messages
868	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.133669	COMB2	No Messages
1064	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.125746	COMB2	No Messages
1076	TC 75mmX75X2.5mm	Brace	No Messages	0.125746	COMB2	No Messages
1059	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.121947	COMB3x	No Messages

1060	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.121559	COMB3x	No Messages
1062	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.121378	COMB3y	No Messages
1074	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.121378	COMB3y	No Messages
1071	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.11896	COMB3x	No Messages
1072	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.118601	COMB3x	No Messages
1083	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.112628	COMB3x	No Messages
1084	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.112298	COMB3x	No Messages
1047	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.09704	COMB3x	No Messages
1048	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.09703	COMB3x	No Messages
1061	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.082702	COMB2	No Messages
1073	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.082702	COMB2	No Messages
1050	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.069729	COMB3y	No Messages
1086	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.069729	COMB3y	No Messages
1049	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.058543	COMB2	No Messages
1085	TC 75mmX75X2.5mm	Beam	No Messages	0.058543	COMB2	No Messages

La siguiente imagen muestra el elemento más cargado de las secciones 75mmX75X2.5mm, perteneciente al eje Z3 del diagrama estructural Versión 3 mostrado en los anexos.

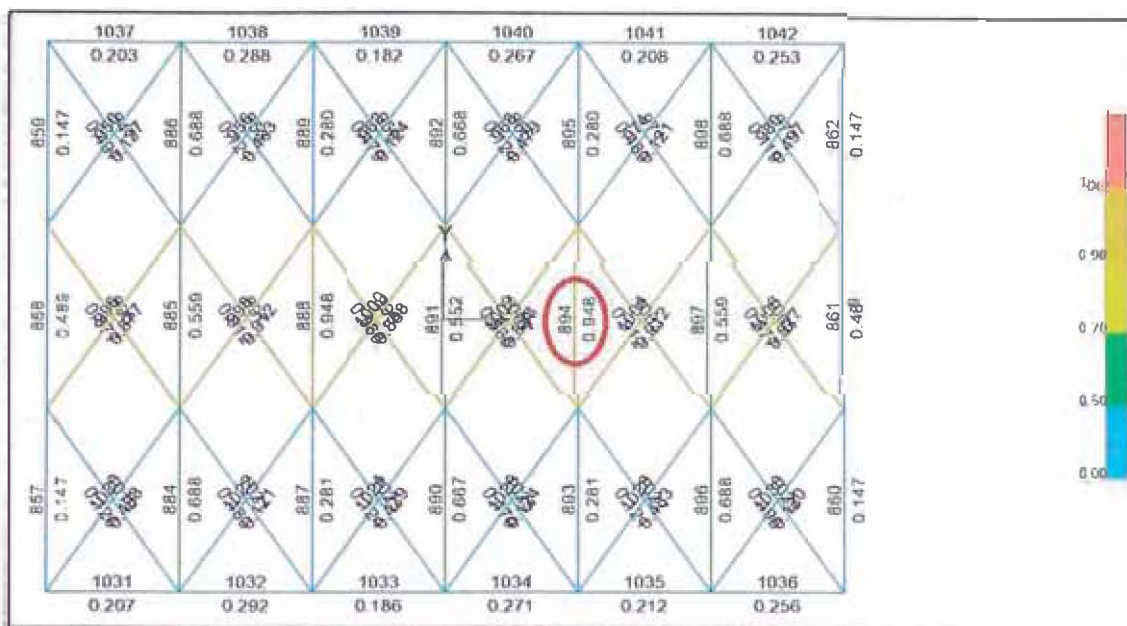


Figura 3.24: Diagrama de factores de carga

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK
 Combo : COMB2
 Units : Kgf, m, C

Etiqueta de elemento **Sección Estructural**

Frame : 894 Design Sect: TC 75mmX75X2.5mm
 X Mid : 1.200 Design Type: Beams
 Y Mid : 0.000 Frame Type : Moment Resisting Frame
 Z Mid : 4.400 Sect Class : Compact
 Length : 1.667 Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3
 Loc : 0.833 RLLF : 1.000

Area : 7.250E-04 SMajor : 1.696E-05 rMajor : 0.030 AVMajor: 3.750E-04
 IMajor : 0.000 SMInor : 1.696E-05 rMinor : 0.030 AVMinor: 3.750E-04
 IMInor : 0.000 ZMajor : 1.972E-05 E : 20389019158
 Ixy : 0.000 ZMinor : 1.972E-05 Fy : 25310506.541

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.833	-131.275	-423.265	-0.217	982.374	0.428	-1.072

PER DESIGN/CAPACITY RATIO

Governing Equation (H1-lb)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0.948	= 0.005	+ 0.942	+ 0.000	1.000	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-131.275	13202.270	16515.106

MOMENT DESIGN

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-423.265	449.182	0.850	1.000	1.000	1.000	0.500	1.864
Minor Moment	-0.217	449.182	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	

SHEAR DESIGN

	Vu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion
Major Shear	982.374	5125.378	0.192	OK	0.000
Minor Shear	0.428	5125.378	8.354E-05	OK	0.000

Ratio < 1, satisfice Condiciones de carga

Figura 3.25: Detalle de cargas del elemento crítico 894.

Tabla 3.9: RESULTADOS PARA LOS TUBOS CUADRADOS DE 50mmX50mmX3mm						
TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93						
Frame	DesignSect	Design Type	Status	Ratio	Combo	WarnMsg
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text
998	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.912407	COMB2	No Messages
1003	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.912407	COMB2	No Messages
997	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.912353	COMB2	No Messages
1004	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.912353	COMB2	No Messages
985	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.894717	COMB2	No Messages
992	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.894717	COMB2	No Messages
986	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.894652	COMB2	No Messages
991	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.894652	COMB2	No Messages
1000	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.888192	COMB2	No Messages
1001	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.888192	COMB2	No Messages
999	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.888153	COMB2	No Messages
1002	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.888153	COMB2	No Messages
996	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.876967	COMB2	No Messages
1005	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.876967	COMB2	No Messages
995	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.87686	COMB2	No Messages
1006	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.87686	COMB2	No Messages
988	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.871424	COMB2	No Messages
989	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.871424	COMB2	No Messages
987	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.871315	COMB2	No Messages
990	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.871315	COMB2	No Messages
984	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.858547	COMB2	No Messages
993	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.858547	COMB2	No Messages

983	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.858521	COMB2	No Messages
994	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.858521	COMB2	No Messages
1008	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.532642	COMB2	No Messages
1017	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.532642	COMB2	No Messages
911	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.532411	COMB2	No Messages
944	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.532411	COMB2	No Messages
1009	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.522767	COMB2	No Messages
1016	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.522767	COMB2	No Messages
920	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.522132	COMB2	No Messages
935	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.522132	COMB2	No Messages
1012	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.516476	COMB2	No Messages
1013	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.516476	COMB2	No Messages
923	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.515843	COMB2	No Messages
932	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.515843	COMB2	No Messages
1020	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.497524	COMB2	No Messages
1029	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.497524	COMB2	No Messages
947	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.497375	COMB2	No Messages
980	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.497375	COMB2	No Messages
1021	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.48289	COMB2	No Messages
1028	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.48289	COMB2	No Messages
956	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.482639	COMB2	No Messages
971	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.482639	COMB2	No Messages
1024	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.478968	COMB2	No Messages
1025	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.478968	COMB2	No Messages
959	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.478616	COMB2	No Messages
968	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.478616	COMB2	No Messages
914	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.216836	COMB3x	No Messages

1007	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.21586	COMB3x	No Messages
950	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.126961	COMB3x	No Messages
1019	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.126314	COMB3x	No Messages
1023	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.124159	COMB2	No Messages
1026	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.124159	COMB2	No Messages
962	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.123761	COMB2	No Messages
965	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.123761	COMB2	No Messages
1022	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.121304	COMB2	No Messages
1027	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.121304	COMB2	No Messages
953	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.120729	COMB2	No Messages
974	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.120729	COMB2	No Messages
1030	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.11986	COMB2	No Messages
977	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.119478	COMB2	No Messages
941	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.113656	COMB2	No Messages
1018	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.113544	COMB2	No Messages
1010	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.106401	COMB2	No Messages
1015	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.106401	COMB2	No Messages
1011	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.10627	COMB2	No Messages
1014	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.10627	COMB2	No Messages
917	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.105475	COMB2	No Messages
938	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.105475	COMB2	No Messages
926	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.105445	COMB2	No Messages
929	TC 50mmX50mmX3mm	Beam	No Messages	0.105445	COMB2	No Messages

La siguiente imagen muestra el elemento más cargado de las secciones 50mmX50mmX3mm, perteneciente al eje Z3 del diagrama estructural Versión 3 mostrado en los anexos.

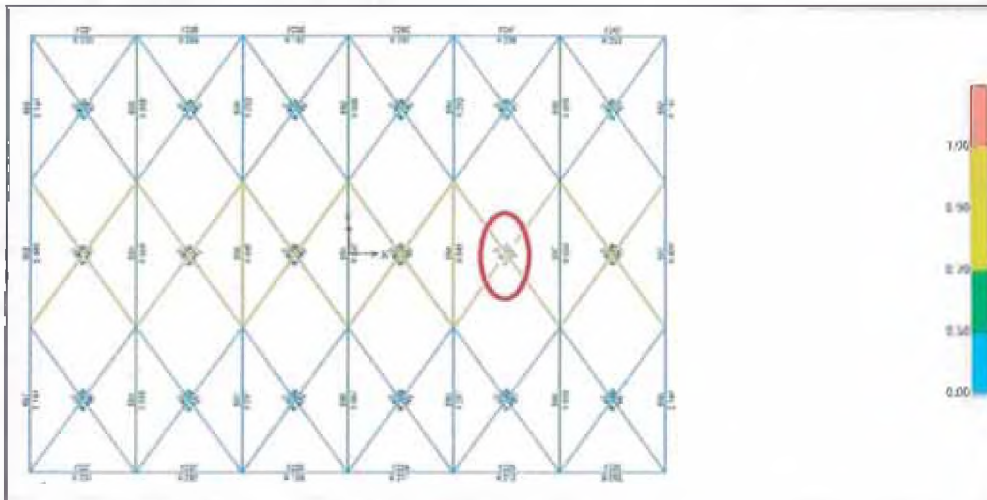


Figura 3.26: Diagrama de factores de carga.

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK
 Combo : COMB2
 Units : Kgf, m, C

Etiqueta de elemento **Sección Estructural**

Frame : 1003 Design Sect: TC 50mmX50mmX3mm
 X Mid : 1.800 Design type: Beam
 Y Mid : 0.000 Frame Type: Moment Resisting Frame
 Z Mid : 4.400 Sect Class : Compact
 Length : 2.054 Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3
 Loc : 2.054 RLLF : 1.000

Area : 5.640E-04 SMajor : 8.340E-06 rMajor : 0.019 AVMajor: 3.000E-04
 IMajor : 0.000 SMinor : 8.340E-06 rMinor : 0.019 AVMinor: 3.000E-04
 IMinor : 0.000 ZMajor : 9.954E-06 E : 20389019158
 Ixy : 0.000 ZMinor : 9.954E-06 Fy : 25310506.541

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Pu	Hu33	Hu22	Vu2	Vu3	Tu
2.054	-53.345	205.964	-0.012	-181.057	0.003	-5.923

FROM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation (H1-lb)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0.912	= 0.004	+ 0.908	+ 0.000	1.000	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-53.345	6654.834	12847.613

MOMENT DESIGN

	Hu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	205.964	226.747	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	2.223
Minor Moment	-0.012	226.747	0.783	1.000	1.000	1.000	1.000	

SHEAR DESIGN

	Vu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion
Major Shear	181.057	4100.302	0.044	OK	0.000
Minor Shear	0.003	4100.302	0.000	OK	0.000

Ratio<1, satisfice Condiciones de carga

Figura 3.27: Diagrama de factores de carga.

3.4 Diseño de las conexiones con uniones empernadas

Para el cálculo de uniones empernadas, consideraremos el uso de tablas de resistencia de cada perno según el manual AISC –LRFD:

Tabla 3.10: Resistencia al corte por cada perno en kips

(Ref. 8 - Table 7-1 del Manual Construction AISC 13th Ed.)

Nominal Bolt Diameter d_b , in.		$5/8$		$3/4$		$7/8$		1				
Nominal Bolt Area, in. ²		0.307		0.442		0.601		0.785				
ASTM Desig.	Thread Cond.	F_u/Ω (ksi)	ϕF_u (ksi)	Load- ing	r_u/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_u/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_u/Ω_v	$\phi_v r_n$
		ASD	LRFD		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
A325 F1852	N	24.0	36.0	S	7.36	11.0	10.6	15.9	14.4	21.6	18.8	28.3
		D	14.7	22.1	21.2	31.8	28.9	43.3	37.7	56.5		
	X	30.0	45.0	S	9.20	13.8	13.3	19.9	18.0	27.1	23.6	35.3
		D	18.4	27.6	26.5	39.8	36.1	54.1	47.1	70.7		
A490	N	30.0	45.0	S	9.20	13.8	13.3	19.9	18.0	27.1	23.6	35.3
		D	18.4	27.6	26.5	39.8	36.1	54.1	47.1	70.7		
	X	37.5	56.3	S	11.5	17.3	16.6	24.9	22.5	33.8	29.5	44.2
		D	23.0	34.5	33.1	49.7	45.1	67.6	58.9	88.4		
A307	-	12.0	18.0	S	3.68	5.52	5.30	7.95	7.22	10.8	9.42	14.1
		D	7.36	11.0	10.6	15.9	14.4	21.6	18.8	28.3		
Nominal Bolt Diameter d_b , in.		$1 1/8$		$1 1/4$		$1 3/8$		$1 1/2$				
Nominal Bolt Area, in. ²		0.994		1.23		1.48		1.77				
ASTM Desig.	Thread Cond.	F_u/Ω (ksi)	ϕF_u (ksi)	Load- ing	r_u/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_u/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_u/Ω_v	$\phi_v r_n$
		ASD	LRFD		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
A325 F1852	N	24.0	36.0	S	23.9	35.8	29.5	44.2	35.6	53.5	42.4	63.6
		D	47.7	71.6	58.9	88.4	71.3	107	84.8	127		
	X	30.0	45.0	S	29.8	44.7	36.8	55.2	44.5	66.8	53.0	79.5
		D	59.6	89.5	73.6	110	89.1	134	106	159		
A490	N	30.0	45.0	S	29.8	44.7	36.8	55.2	44.5	66.8	53.0	79.5
		D	59.6	89.5	73.6	110	89.1	134	106	159		
	X	37.5	56.3	S	37.3	55.9	46.0	69.0	55.7	83.5	66.3	99.4
		D	74.6	112	92.0	138	111	167	133	199		
A307	-	12.0	18.0	S	11.9	17.9	14.7	22.1	17.8	26.7	21.2	31.8
		D	23.9	35.8	29.5	44.2	35.6	53.5	42.4	63.6		
ASD	LRFD											
$\Omega_v = 2.00$	$\phi_v = 0.75$											

A continuación tomare una de las conexiones para indicar el procedimiento según el manual del AISC (Steel Construction manual 13th edition), para el caso de la conexión del arriostre que sucede entre perfiles TC 75mmX75mmX2.5mm

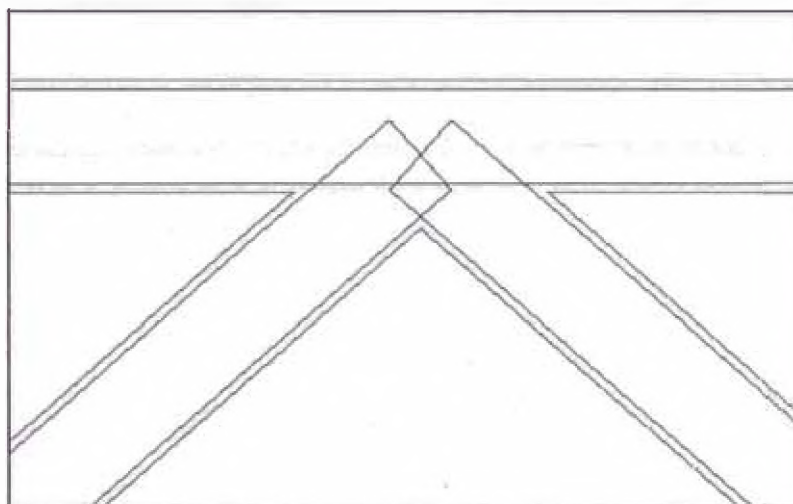


Figura 3.28: Esquema de conexión para perfil 75x2.5mm.

Para una mejor distribución se usarán 4 pernos ubicados sobre la línea de simetría, para evitar excentricidad en las conexiones, así como se usarán planchas A36 para conectarlas de la siguiente forma:

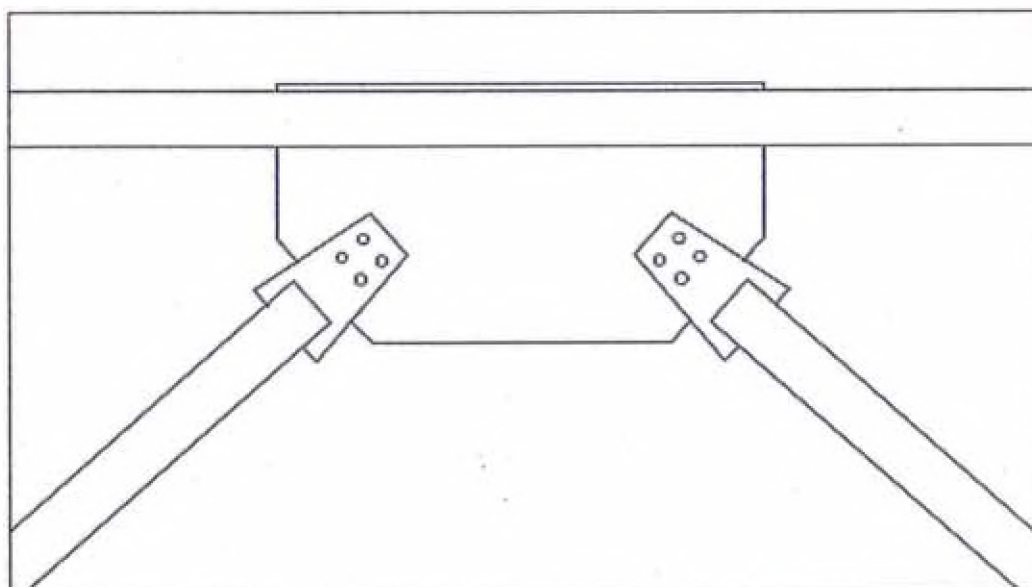


Figura 3.29: Esquema de conexión para perfil 75x2.5mm.

La carga según SAP es de: 1326 Kgf a corte para el perno(Fc).

Debido a que las unidades del manual del AISC se encuentra en el sistema ingles, usaré la conversión: 1 kips=453.6 kgf

El área del perno de 1/2" es $A_b=0.2 \text{ pulg}^2$

Según la tabla 3.1, la resistencia de cada perno al corte es:

$$\Phi F_{nv}=36*0.2=7.2 \text{ kips}=3266 \text{ Kgf}$$

Para los 4 pernos la resistencia al corte será de:

$$13064 \text{ kgf} > 1326 \text{ kgf} \quad (\text{ok})$$

El espaciado en pernos según el manual del AISC en la sección J3.3 es:

$$E_p=2 \frac{2}{3}(1/2)=1.333 \text{ pulg} = 34 \text{ mm} \text{ como mínimo}$$

por lo tanto asignaré 40 mm

El margen se determina con la siguiente tabla del AISC.

Tabla 3.11: Margen de los agujeros

(Ref. 8 - Sección J3.3 del Manual Construction AISC 13th Ed.)

Minimum Edge Distance from Center of Standard Hole to Edge of Connected Part, in.	
Bolt Diameter, in.	Minimum Edge Distance
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{3}{4}$	1
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{8}$
1	$1\frac{1}{4}$
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{2}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{5}{8}$
Over $1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4} \times d$

Para nuestro caso usare $20\text{mm} > 3/4''$, configurándose con las siguientes distancias:

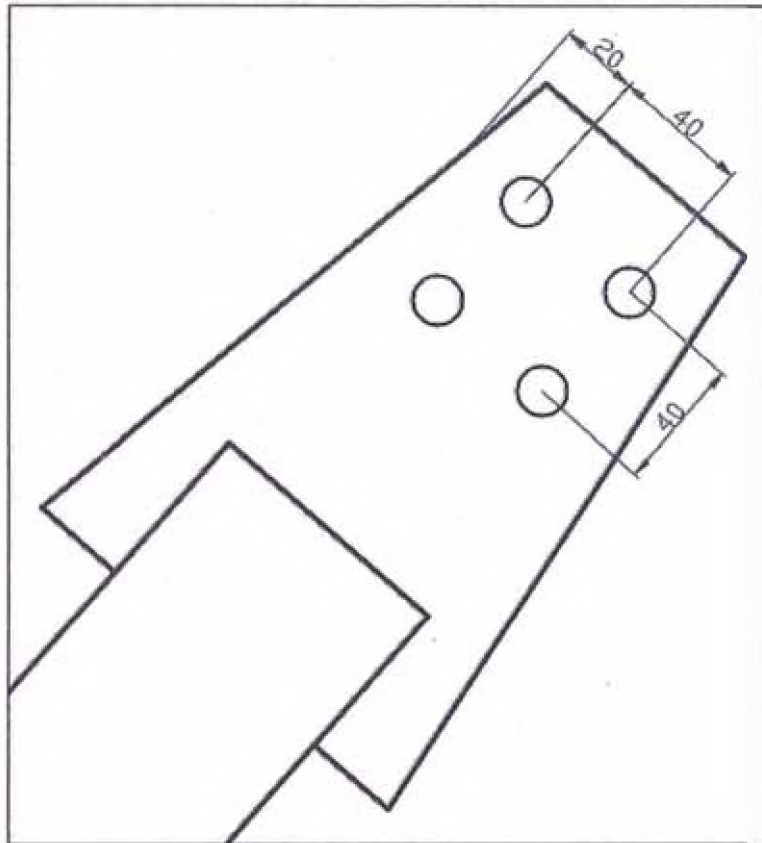


Figura 3.30: Esquema de la distribución de los 4 pernos.

Calculando la resistencia del agujero del perno basado en el margen en la plancha, para ello usaré la siguiente tabla del manual del AISC:

Tabla 3.12: Resistencia del agujero del perno

(Ref. 8 - Sección J3.3 del Manual Construction AISC 13th Ed.)

Available Bearing Strength at Bolt Holes Based on Edge Distance										
kips/in. thickness										
Hole Type	Edge Distance L_e , in.	F_u , ksi	Nominal Bolt Diameter d_p , in.							
			$3/8$		$3/4$		$7/8$		1	
			r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$
			ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
STD	$1\frac{1}{4}$	58	31.5	47.3	29.4	44.0	27.2	40.8	25.0	37.5
		65	35.3	53.0	32.9	49.4	30.5	45.7	28.0	42.0
SSLT	2	58	43.5	65.3	52.2	78.3	53.3	79.9	51.1	76.7
		65	48.8	73.1	58.5	87.8	59.7	89.6	57.3	85.9
SSLP	$1\frac{1}{8}$	58	28.3	42.4	26.1	39.2	23.9	35.9	20.7	31.0
		65	31.7	47.5	29.3	43.9	26.8	40.2	23.2	34.7
	2	58	43.5	65.3	52.2	78.3	50.0	75.0	46.8	70.1
		65	48.8	73.1	58.5	87.8	56.1	84.1	52.4	78.6
OVS	$1\frac{3}{4}$	58	29.4	44.0	27.2	40.8	25.0	37.5	21.8	32.6
		65	32.9	49.4	30.5	45.7	28.0	42.0	24.4	36.6
	2	58	43.5	65.3	52.2	78.3	51.1	76.7	47.9	71.8
		65	48.8	73.1	58.5	87.8	57.3	85.9	53.6	80.4
LSLP	$1\frac{1}{4}$	58	16.3	24.5	10.9	16.3	5.44	8.16	—	—
		65	18.3	27.4	12.2	18.3	6.09	9.14	—	—
	2	58	42.4	63.6	37.0	55.5	31.5	47.3	26.1	39.2
		65	47.5	71.3	41.4	62.2	35.3	53.0	29.3	43.9
LSLT	$1\frac{1}{4}$	58	26.3	39.4	24.5	36.7	22.7	34.0	20.8	31.3
		65	29.5	44.2	27.4	41.1	25.4	38.1	23.4	35.0
	2	58	36.3	54.4	43.5	65.3	44.4	66.6	42.6	63.9
		65	40.6	60.9	48.8	73.1	49.8	74.6	47.7	71.6
STD, SSLT, SSLP, OVS, LSLP	$L_e \geq L_{e,full}$	58	43.5	65.3	52.2	78.3	60.9	91.4	69.6	104
		65	48.8	73.1	58.5	87.8	68.3	102	78.0	117
LSLT	$L_e \geq L_{e,full}$	58	36.3	54.4	43.5	65.3	50.8	76.1	58.0	87.0
		65	40.6	60.9	48.8	73.1	56.9	85.3	65.0	97.5
Edge distance for full bearing strength $L_e \geq L_{e,full}^a$, in.		STD, SSLT, LSLT	$1\frac{3}{8}$		$1\frac{5}{16}$		$2\frac{1}{4}$		$2\frac{9}{16}$	
		OVS	$1\frac{11}{16}$		2		$2\frac{5}{16}$		$2\frac{5}{8}$	
		SSLP	$1\frac{11}{16}$		2		$2\frac{9}{16}$		$2\frac{11}{16}$	
		LSLP	$2\frac{1}{16}$		$2\frac{7}{16}$		$2\frac{7}{8}$		$3\frac{1}{4}$	

STD = Standard Hole
 SSLT = Short-Slotted Hole oriented transverse to the line of force
 SSLP = Short-Slotted Hole oriented parallel to the line of force
 OVS = Oversized Hole
 LSLP = Long-Slotted Hole oriented parallel to the line of force
 LSLT = Long-Slotted Hole oriented transverse to the line of force

ASD	LRFD	— indicates spacing less than minimum spacing required per AISC Specification Section J3.3.
$\Omega_v = 2.00$	$\phi_v = 0.75$	Note: Spacing indicated is from the center of the hole or slot to the center of the adjacent hole or slot in the line of force. Hole deformation is considered. When hole deformation is not considered, see AISC Specification Section J3.10.
^a Decimal value has been rounded to the nearest sixteenth of an inch.		

Extrapolando se tiene una resistencia de 50 kips x pulgada de espesor

Así mismo se usará una plancha A36 de 2.5 mm de espesor

$$R_p = 50 \text{ kips/pulg} \left(\frac{2.5}{25.4} \right) = 4.92 \text{ kips} = 2232 \text{ kgf}$$

$$2232 > 1326$$

Ok

Determinando la resistencia debido al espaciado entre pernos, para ello

usare la siguiente tabla de la AISC.

Tabla 3.13: Resistencia debido al espaciado entre pernos

(Ref. 8 - Sección J3.3 del Manual Construction AISC 13th Ed.)

Available Bearing Strength at Bolt Holes Based on Bolt Spacing										
kips/in. thickness										
Hole Type	Bolt Spacing, s, in.	F_u , ksi	Nominal Bolt Diameter d_b , in.							
			$\frac{5}{16}$		$\frac{3}{4}$		$\frac{7}{8}$		1	
			r_u/Ω_v	$\phi_v r_u$	r_u/Ω_v	$\phi_v r_u$	r_u/Ω_v	$\phi_v r_u$	r_u/Ω_v	$\phi_v r_u$
			ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
STD SSLT	$2\frac{2}{3} d_b$	58	34.1	51.1	41.3	62.0	48.6	72.9	55.8	83.7
		65	38.2	57.3	46.3	69.5	54.4	81.7	62.6	93.8
	3 in.	58	43.5	65.3	52.2	78.3	60.9	91.4	67.4	101
		65	48.8	73.1	58.5	87.8	68.3	102	75.6	113
SSLP	$2\frac{2}{3} d_b$	58	27.6	41.3	34.8	52.2	42.1	63.1	47.1	70.7
		65	30.9	46.3	39.0	58.5	47.1	70.7	52.8	79.2
	3 in.	58	43.5	65.3	52.2	78.3	60.9	91.4	58.7	88.1
		65	48.8	73.1	58.5	87.8	68.3	102	65.8	98.7
OVS	$2\frac{2}{3} d_b$	58	29.7	44.6	37.0	55.5	44.2	66.3	49.3	74.0
		65	33.3	50.0	41.4	62.2	49.6	74.3	55.3	82.9
	3 in.	58	43.5	65.3	52.2	78.3	60.9	91.4	60.9	91.4
		65	48.8	73.1	58.5	87.8	68.3	102	68.3	102
LSLP	$2\frac{2}{3} d_b$	58	3.62	5.44	4.35	6.53	5.08	7.61	5.80	8.70
		65	4.06	6.09	4.88	7.31	5.69	8.53	6.50	9.75
	3 in.	58	43.5	65.3	39.2	58.7	26.3	42.4	17.4	26.1
		65	48.8	73.1	43.9	65.8	31.7	47.5	19.5	29.3
LSLT	$2\frac{2}{3} d_b$	58	28.4	42.6	34.4	51.7	40.5	60.7	46.5	69.8
		65	31.8	47.7	38.6	57.9	45.4	68.0	52.1	78.2
	3 in.	58	36.3	54.4	43.5	65.3	50.8	76.1	56.2	84.3
		65	40.6	60.9	48.8	73.1	56.9	85.3	63.0	94.5
STD, SSLT, SSLP, OVS, LSLP	$s \geq s_{min}$	58	43.5	65.3	52.2	78.3	60.9	91.4	69.6	104
		65	48.8	73.1	58.5	87.8	68.3	102	78.0	117
LSLT	$s \geq s_{min}$	58	36.3	54.4	43.5	65.3	50.8	76.1	58.0	87.0
		65	40.6	60.9	48.8	73.1	56.9	85.3	65.0	97.5
Spacing for full bearing strength s_{min} , in.		STD, SSLT, LSLT	$1\frac{5}{16}$		$2\frac{5}{16}$		$2\frac{1}{2}$		$3\frac{1}{16}$	
		OVS	$2\frac{1}{16}$		$2\frac{7}{16}$		$2\frac{13}{16}$		$3\frac{1}{4}$	
		SSLP	$2\frac{1}{8}$		$2\frac{1}{2}$		$2\frac{7}{8}$		$3\frac{5}{16}$	
		LSLP	$2\frac{13}{16}$		$3\frac{3}{8}$		$3\frac{15}{16}$		$4\frac{1}{2}$	
Minimum Spacing ^a = $2\frac{2}{3} d_b$, in.			$1\frac{1}{16}$		2		$2\frac{5}{16}$		$2\frac{11}{16}$	

Extrapolando se tiene una resistencia de 55.1 kips x pulgada de espesor

$$R_p = 55.1 \text{ kips/pulg} (2.5 / 25.4) = 5.42 \text{ kips} = 2459 \text{ kgf}$$

$$2459 > 1326$$

Ok

Quedando finalmente las siguientes dimensiones.

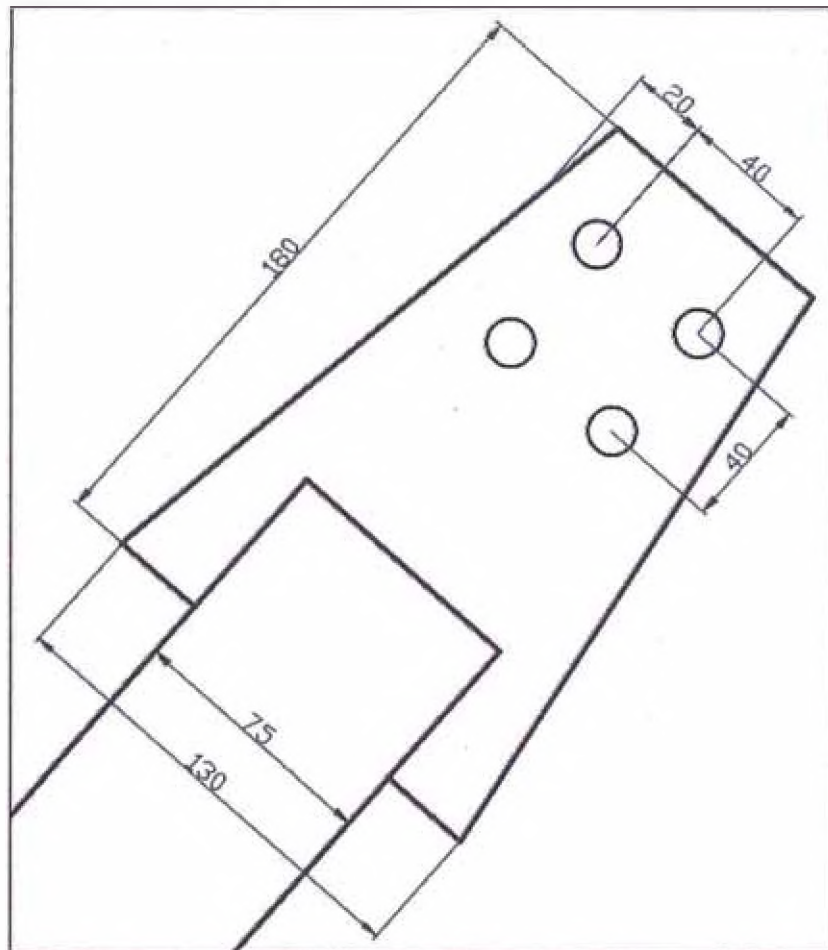


Figura 3.31: Esquema de la distribución de los 4 pernos.

Se repite este proceso de cálculo para todas las uniones y se verifica que para todos se usaran bloques de 4 pernos de ½" ASTM A325

También se verificó con el módulo de uniones emperradas de Autodesk Inventor Professional 2016, la cual utiliza el procedimiento indicado por

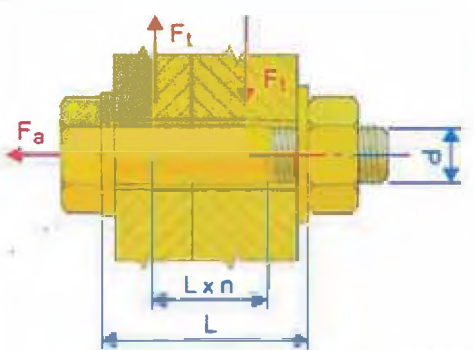
las normas ANSI y cargando los parámetros equivalentes en el cálculo manual, para el caso del perfil de 75x75x2.5 mm, se verifica también que para 4 pernos de 1/2" también cumplen las cargas a la que está sometida.

Bolted Connection Component Generator

Design **Calculation** Fatigue Calculation

Type of Strength Calculation
Check calculation

Loads



Maximal Axial Force F_a 0 N >
 Maximal Tangent Force F_t 1326*9.81 >
 Tightness Factor k 1.50 ul >
 Force Input Factor n 0.50 ul >
 Joint Friction Factor f 0.40 ul >
 Required Safety Factor k_s 1.5 >

Plates Material
 User material
 Modulus of Elasticity E_2 206700 MPa >
 Joint Properties
 Functional Width L 5 >
 Bolt
 Number of bolts z 4 >
 Thread Diameter d 1/2" >
 Pitch p 1.500 mm >
 Mean Bolt Diameter d_s 11.726 mm
 Minimal Bolt Diameter d_{min} 10.860 mm

Bolt Material
 User material
 Yield Strength S_y 689 MPa >
 Modulus of Elasticity E_1 206700 MPa >
 Allowable Thread Pressure p_a 100 >
 Thread Friction Factor f_1 0.20 ul >
 Head Friction Factor f_2 0.25 ul >

Results

F_v	12195.056 N
F_{max}	12195.056 N
M_u	47.019 N m
σ_t	131.661 MPa
τ_k	186.978 MPa
σ_{red}	349.595 MPa
σ_{max}	131.661 MPa
p_c	59.377 MPa
k_{sc}	1.97085 ul

12:41:37p.m. Calculation: Calculation indicates design compliance!

Figura 3.32: Esquema de la distribución de los 4 pernos.

Así mismo se han verificado las otras conexiones y también cumplen los pernos calculados manualmente.

3.5 Disposición definitiva de la estructura en 3D

Autodesk presenta varios programas para el modelado, uno de los más recientes es Autodesk Advanced Steel vs 2016, la cual use para poder representar el modelo tridimensionalmente.

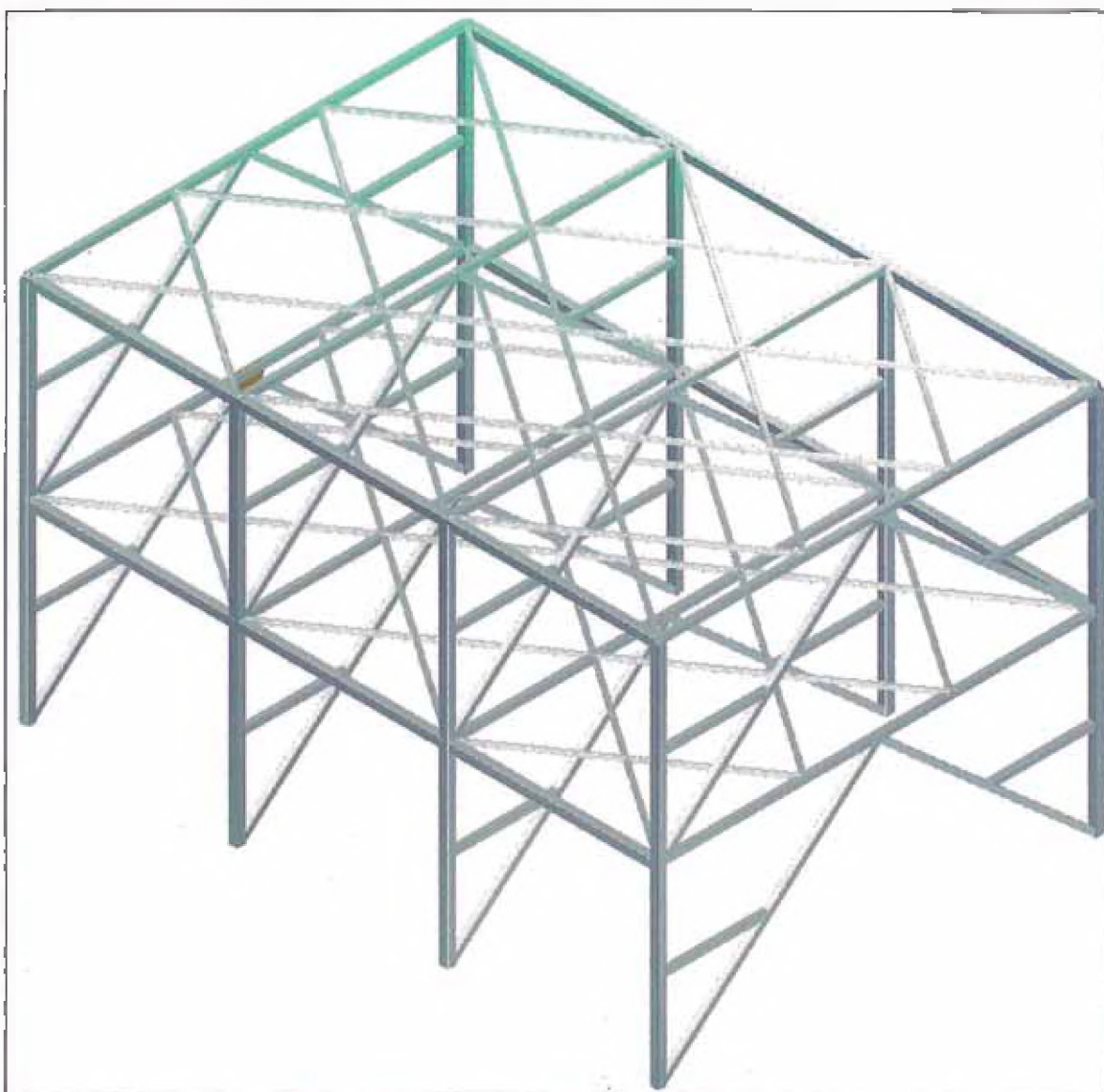


Figura 3.33: Esquema de la distribución de los 4 pernos.

CAPITULO IV

VALIDACIÓN MANUAL DEL DISEÑO POR SOFTWARE

4.1 Ejemplo de cálculo manual

Para la verificación, utilizaremos la siguiente distribución:

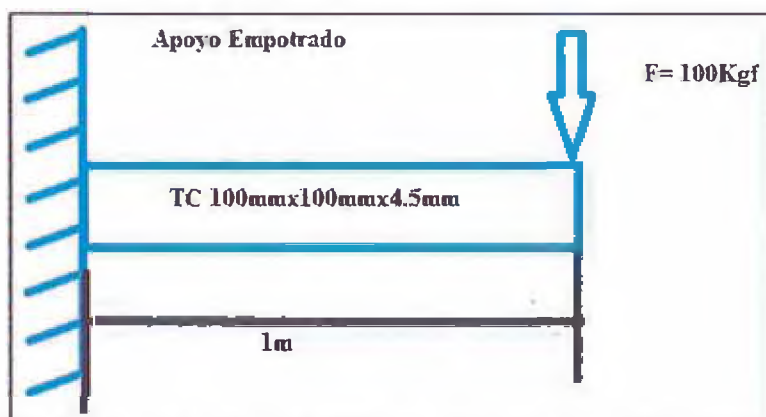


Figura 4.1: Esquema de una viga empotrada en un extremo.

Del diagrama de cuerpo Libre tenemos:

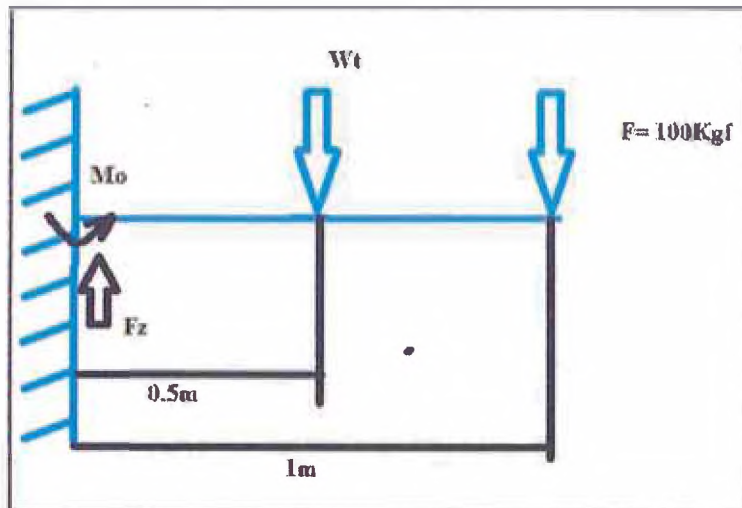


Figura 4.2: Diagrama de cuerpo libre.

$$\sum M=0, M_o-(W_t*0.5)+(100*1) = 0 \quad (a)$$

$$\sum F=0, F_z-W_t-100 = 0 \quad (b)$$

Tenemos que el peso de 1 metro de tubo cuadrado es de 13.49, reemplazando en las ecuaciones a y b, tenemos: $M_o = 106.745 \text{Kgf-m}$ y $F_z = 113.49 \text{Kgf}$.

Tenemos que en el análisis no hay fuerza axial $\rightarrow P_u = 0$, por lo tanto para verificar el ratio de uso consideramos la ecuación 3.22b ya que

$$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0,2$$

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

Entonces tenemos: $M_{ux} = 106.745 \text{Kgf-m}$

$$\phi_b M_{nx} = 0.9 * F_x * F_y, \text{ donde:}$$

$F_x = \text{Momento Plástico alrededor de eje X} = 6.161 \cdot 10^{-3}$

$F_y = \text{Fluencia para el A36} = 25310507$

Reemplazando valores tenemos:

$$\Rightarrow \phi_b M_{nx} = 0.9 \cdot F_x \cdot F_y = 1403.44$$

\Rightarrow Finalmente reemplazando los valores de M_{ux} y $\phi_b M_{nx}$ en

la ecuación 3.22b, tenemos: el ratio $106.745/1403.44 =$

0.076.

Observaremos que estos resultados obtenidos con cálculos manuales concuerdan con los cálculos realizados por el SAP en el siguiente ítem.

4.2 Evaluación de cargas por SAP2000

La figura muestra el modelado de la viga empotrada de la sección 4.1.

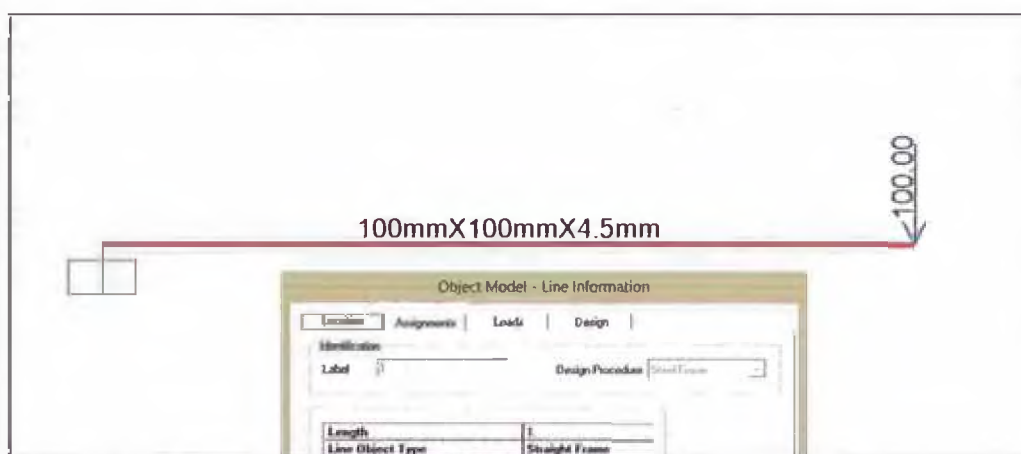


Figura 4.3: Esquema cargado en SAP2000.

La siguiente figura muestra que se combinan las fuerzas C1(100kg) + Dead (Peso de la viga)

Load Combination Name (User-Generated) COMB1

Notes

Load Combination Type Linear Add

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.
C	Linear Static	1.

Figura 4.4: Formulario para la ingreso de cargas.

La siguiente imagen muestra el resultado del análisis usando el SAP



Figura 4.5: Diagrama de factores de carga.

La siguiente imagen muestra el reporte detallado del SAP2000, los recuadros en rojo nos muestran información relevante, tal como el ratio, el momento aplicado y la resistencia a momento del elemento.

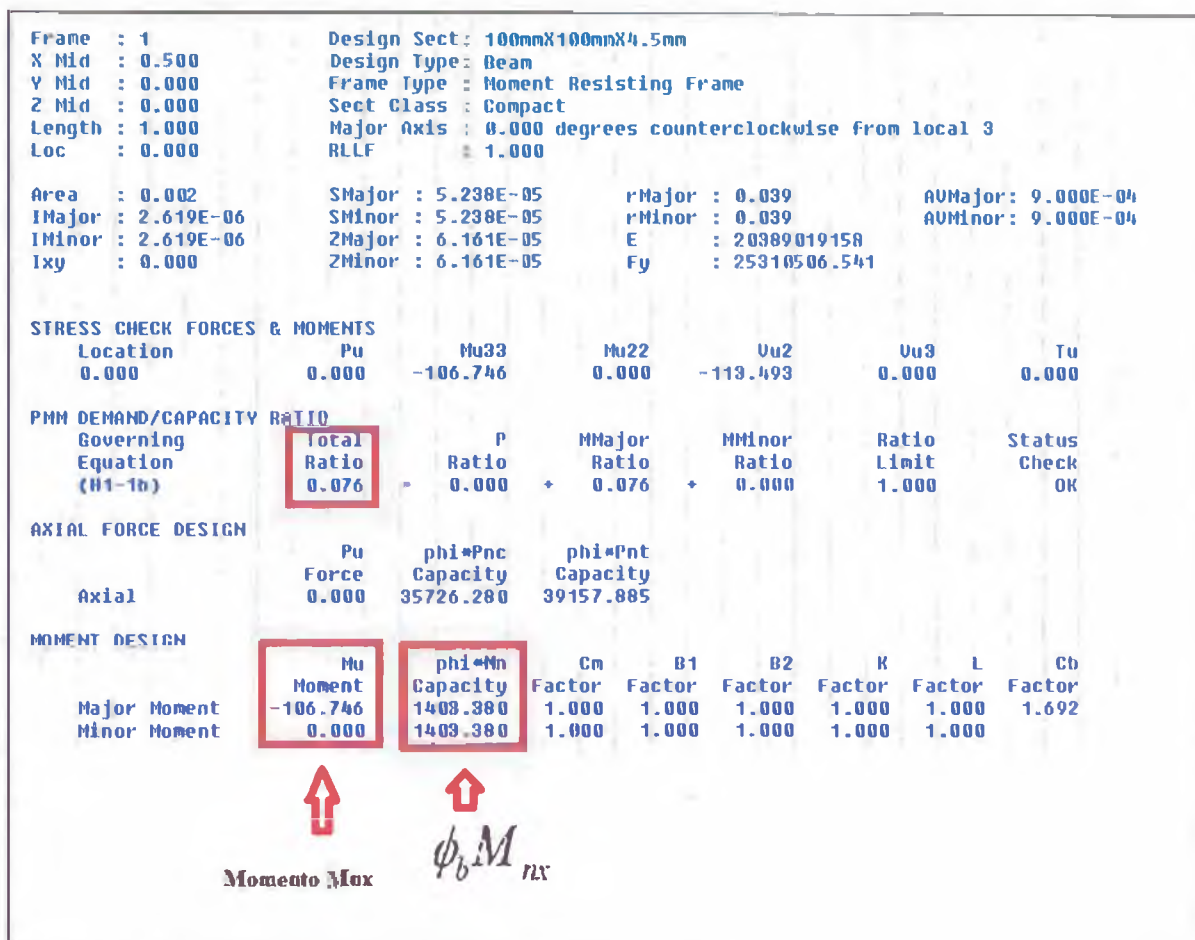


Figura 4.6: Diagrama de factores de carga.

4.3 Comparación del cálculo manual versus SAP2000

Como hemos observado en la sección 4.1, el ratio obtenido manualmente es de 0.076 para el Tubo cuadrado de 100mmX100mmX4.5mm, asimismo en el resultado gráfico del SAP2000 y también en el reporte detallado, observamos que también obtenemos un ratio = 0.076, por lo tanto comprobamos que los resultados que se obtienen con el SAP2000 son consistentes y se adecuan correctamente a los cálculos estructurales y a la normativa respectiva.

CAPITULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Análisis de costos sin estructura metálica

Según un informe emitido por el diario Perú 21, el costo por metro cuadrado de terreno en San Isidro es de aproximadamente 2355\$, el área de la estructura para 3 espacios es de $5 \times 7.2 = 36 \text{ m}^2$ sin considerar los espacios adicionales para ubicar los accesos de entrada y salida de los vehículos.

Si se distribuye en un solo nivel los 9 vehículos, tendría que usarse un área $2.5 \times 5 \text{ m}$ por cada vehículo.

Tabla 5.1: Resumen de costos del espacio a usar sin estructura metálica

DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)
Costo de terreno por m^2	2355
Costo total por los 9 espacios considerando que el ancho de cada vehículo es de 2.5 como mínimo. $2.4 \times 9 = 112.5 \text{ m}^2$	264937

5.2 Análisis de costo con estructura metálica

Para el cálculo del costo unitario total por kilogramo de material se considera lo siguientes valores aproximadamente según los costos actuales del mercado local:

- El costo de *materiales* por kilogramo en general es como sigue:

- Perfiles 1.3 \$/Kg.

Considera que existe un desperdicio aproximado de 3% del material usado; se considera dentro de este rubro los pernos, arandelas y pintura.

- El costo aproximado de la *mano de obra* son los siguientes :

- Fabricación 2.20 \$/Kg

- Montaje 0.85 \$/Kg

- El costo de las *herramientas* constituirá el 10% del costo de los materiales.
- Los *gastos administrativos* será el 10% de la suma de los costos de material, mano de obra y herramientas.
- Los *gastos generales y utilidades* estará comprendido entre el 15% de la suma de los costos de material, mano de obra, herramientas y gastos administrativos.

Tabla 5.2: Cuadro resumen de costos unitarios con estructura de metálica

DESCRIPCION	COSTO UNITARIO (\$/Kg.)
Materiales	1.340
Mano de obra	3.050
Herramientas	0.134
Gastos administrativos	0.450
Gastos generales y utilidades	0.920
Costo unitario total por kilogramo	5.900

Para el caso de la instalación de la estructura del estacionamiento vertical para los 9 vehículos será de $7.2 \times 5 = 36\text{m}^2$

El peso de la estructura metálica seleccionada es de 4774 kg según reporta el software.

Tabla 5.3: Costo total para la opción de uso del estacionamiento vertical.

DESCRIPCION	COSTO (\$)
Costo por el espacio ocupado 36m^2	89490
Costo por la estructura metálica	28167
Costo total	117657

Esto significa que el ahorro sería de 147 280\$ la cual representa el 55.6 % de ahorro respecto al costo sin usar la estructura metálica para el estacionamiento vertical.

CONCLUSIONES

- Considerando que el ahorro es de más del 50% comparado a una instalación de concreto, recomiendo su implementación inmediata en los lugares de déficit de parqueo, sobre todo en las zonas exclusivas de Lima, donde suceden los mayores costos de terreno por m².
- Así mismo se recomienda diseñar usando este tipo de software como el SAP2000 para agilizar los procesos de cálculo de instalaciones similares, así mismo en el mercado se dispone de varias alternativas como el Autodesk Robot o Cype, que también presentan grandes funcionalidades, además de hasta producir planos de detalles de las conexiones usando las diferentes normas que se aplican en cada país como en el nuestro, las cuales usan los métodos LRFD o ASD.
- Quedaría pendiente el desarrollo del sistema automatizado para el mecanismo de inserción de los vehículos a esta matriz.

BIBLIOGRAFÍA

1. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, Ministerio de Vivienda del Peru, 2006
2. O. C. ZIENKIEWICZ - El método de los elementos finitos, 6ta ed. McGraw – Hill, versión castellana 2011.
3. CATEDRA DE ELEMENTOS FINITOS – En la facultad de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Nacional de Ingeniería 2014.
4. F. P. BEER Y E. R. JOHNSTON JR. – Mecánica de materiales, 6ta ed. McGraw – Hill 2011.
5. L. F. ZAPATA – Diseño estructural de acero, 2ra ed. Agosto 1991.
6. J. C. MCCORMAC – Diseño de estructuras de acero método LRFD, ed. Harper & Row 1989 .
7. Estructuras Metálicas y Mixtas, Carles Romea Director 2015, Canal en youtube: Zigurat E-learning
8. AISC – Manual of Steel Construction, 13 th ed. 2005.
9. AISC - Specification for structural Steel Building, Junio 2010
10. AISC – Design Examples versión 14.1, febrero 2013
11. FREDERICK S. ROLAND – Steel Design for the Civil PE an structural SE Exams 2da ed. 2015
12. CHARLES G. SALMON – Steel Structures Design and 5ta ed. 2009
13. ALAN WILLIAMS, PhD – Structural Engineering Reference Manual, 8va ed. 2015
14. INFOUNI – Manual del curso de Sap 2000 vs 15, 2014.
15. JORGE RODRIGUEZ – Teoría y Calculo de estructuras, 2009.