

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE DOS  
NIVELES QUE SOPORTA UN COMPRESOR RECIPROCANTE DE GNV**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**CLAUDIO EDUARDO BERRIOS SILVESTRE**

**Lima- Perú**

**2014**

**DEDICATORIA:**

A Dios nuestro Padre Celestial,

Por la bendición de la vida y de sus promesas.

A mis padres Orlando y Asunción,

Por brindarme su apoyo incondicional.

**AGRADECIMIENTO:**

A los profesores catedráticos de la FIC UNI

Al Ing. Leonardo Flores González,

Por su asesoría para el desarrollo de esta obra.

“Todo nuestro conocimiento arranca del sentido, pasa al entendimiento y termina en la razón”

**Immanuel Kant**

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES</b>	<b>19</b>
1.1 DEFINICIONES	19
1.2 COMPRESORES	20
1.2.1 Compresores de desplazamiento positivo	21
1.2.2 Compresores Dinámicos	22
1.3 COMPRESOR RECIPROCANTE TWIN IMW	22
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	24
1.5 ESTRUCTURACIÓN	25
1.5.1 Propiedades Mecánicas de los materiales	25
1.5.2 Descripción de los elementos componentes de la estructura	26
1.6 CONSIDERACIONES PARA LAS CARGAS DINAMICAS Y ESTATICAS DEL COMPRESOR RECIPROCANTE DE GNV TWIN IMW	28
1.6.1 Cargas dinámicas inducidas en mecanismos de biela-manivela Simple	28
1.6.2 Cargas dinámicas inducidas en mecanismos de biela-manivela múltiple.	34
1.6.3 Cargas dinámicas inducidas en el mecanismo biela-manivela doble del compresor TWIN IMW	35
1.6.4 Amortiguadores antivibratorios del compresor TWIN IMW.	43
1.7 CARGAS ESPECIALES, CARGAS VIVAS, CARGAS MUERTAS Y CARGAS DE SISMO	45
1.7.1 Cargas especiales del compresor TWIN IMW	45
1.7.2 Cargas muertas	49
1.7.3 Cargas vivas	50

	Pág.
1.7.4 Cargas de sismo	50
1.8 COMBINACIONES DE CARGA	51
<b>CAPÍTULO II: ANÁLISIS SÍSMICO Y ANÁLISIS DE RESONANCIA</b>	<b>52</b>
2.1 PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO	52
2.1.1 Parámetros de sitio	52
2.1.2 Requisitos generales	53
2.1.3 Espectro de diseño	53
2.2 ANÁLISIS SÍSMICO Y ANALISIS DE RESONANCIA DE LA ESTRUCTURA USANDO EL PROGRAMA SAP2000	54
2.2.1 Desplazamientos laterales y distorsiones debido a acciones de sismo	56
2.2.2 Desplazamientos debido a las vibraciones de la máquina	56
2.2.3 Periodos y modos naturales de vibración de la estructura-compresor	58
2.2.4 Criterios para el análisis de resonancia de la estructura.	59
2.2.5 Análisis de resonancia de la estructura en la dirección X.	61
2.2.6 Análisis de resonancia de la estructura en la dirección Y.	62
2.2.7 Análisis de resonancia de la estructura en la dirección Z.	64
2.2.8 Fuerzas globales	65
2.2.9 Fuerzas en muros	68
2.2.10 Fuerzas en la Losa maciza	69
2.2.11 Fuerzas en vigas y columnas	70
<b>CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA SAFE</b>	<b>74</b>
3.1 PRESIONES SOBRE EL SUELO	74
3.2 MOMENTOS FLECTORES EN LA LOSA DE CIMENTACIÓN	83
3.3 FUERZAS CORTANTES EN LA LOSA DE CIMENTACIÓN	85
<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO ESTRUCTURAL</b>	<b>88</b>
4.1 DISEÑO DE LOSAS MACIZAS	88
4.1.1 Diseño por flexión	88

	Pág.	
4.1.2	Diseño por cortante	89
4.1.3	Control de deflexiones	91
4.1.4	Control de fisuración	92
4.2	DISEÑO DE LOSAS ALIGERADAS	92
4.2.1	Diseño por flexión	93
4.2.2	Diseño por cortante	94
4.2.3	Diseño por contracción y temperatura	95
4.2.4	Control de deflexiones	96
4.2.5	Control de fisuración	96
4.3	DISEÑO DE VIGAS	96
4.3.1	Diseño por flexión	97
4.3.2	Diseño por cortante	97
4.3.3	Distribución de los estribos	98
4.3.4	Control de deflexiones	98
4.3.5	Control de fisuración	100
4.4	DISEÑO DE COLUMNAS	100
4.4.1	Efecto global de esbeltez	101
4.4.2	Efecto local de esbeltez	102
4.4.3	Condiciones adicionales	103
4.4.4	Diseño por cortante	104
4.4.5	Diseño por deslizamiento	106
4.5	DISEÑO DE MUROS DE CORTE	106
4.5.1	Refuerzo en los núcleos extremos	107
4.5.2	Diseño por cortante	108
4.5.3	Refuerzo horizontal distribuido en el muro de corte	109
4.5.4	Refuerzo vertical distribuido en el muro de corte	109
4.5.5	Diseño por deslizamiento	110
4.6	DISEÑO DE MURO DE SOTANO	110
4.6.1	Diseño por flexión	111
4.6.2	Diseño por cortante	112
4.6.3	Refuerzo horizontal	112
4.7	DISEÑO DE LA LOSA DE CIMENTACIÓN	113

	Pág.	
4.7.1	Diseño por flexión	113
4.7.2	Diseño por cortante	116
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>117</b>
5.1	CONCLUSIONES	117
5.2	RECOMENDACIONES	118
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>119</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>121</b>
A.1	PROPIEDADES DE SECCIONES FISURADAS EN VIGAS	121
A.2	FRECUENCIA DE LOS MODOS NATURALES DE VIBRACION DEL MODELO DEL COMPRESOR TWIN IMW Y SU ANALISIS DE RESONANCIA CON LA ESTRUCUTRA DE APOYO	121
A.3	PLANOS	127

## RESUMEN

Este Informe de Suficiencia plantea el desarrollo de un proyecto donde se da a conocer los criterios de análisis y el diseño estructurales de una edificación de dos niveles y sótano que soporta un compresor recíprocante de gnv. Este tipo de edificación se plantea frecuentemente en las estaciones de servicios que expenden combustible de gnv, la ubicación del compresor recíprocante de gnv en el techo de la edificación logra optimizar el espacio de las instalaciones de la estación de servicios, permitiendo el uso del sótano y del primer nivel de esta edificación para el empleo de oficinas, tiendas, etc. A continuación se describe la secuencia metodológica por capítulos, que se ha seguido para el análisis y diseño de esta estructura.

**Capítulo I:** Se define los términos empleados en este informe, se da una descripción básica de los compresores, se describe las características de la estructura de concreto armado que sirve de apoyo al compresor recíprocante de gnv. Se definen las ecuaciones de las fuerzas inerciales del compresor recíprocante de gnv TWIN IMW y se definen las cargas a la que estará sometida la estructura de concreto armado que le sirve de apoyo.

**Capítulo II:** Se define los parámetros para el análisis sísmico de la estructura de concreto armado según las normas vigentes y se hace un análisis de resonancia en las principales direcciones de la estructura debido a la interacción con el compresor recíprocante de gnv TWIN IMW.

**Capítulo III:** Se hace un análisis de la cimentación de la estructura de concreto armado con el programa SAFE, que es un programa especializado para cimentaciones.

**Capítulo IV:** Se diseña los diferentes componentes estructurales de la edificación de concreto armado según las fuerzas halladas del análisis estructural y conforme a las normas vigentes.

**Capítulo V:** Se describen las conclusiones y las recomendaciones a las que se ha llegado después de finalizado el proyecto.

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1.1. Pesos y masas de las componentes del compresor TWIN IMW	46
1.2. Factores de Cargas	51
2.1. Desplazamientos laterales y distorsiones de la estructura, dir. X	56
2.2. Desplazamientos laterales y distorsiones de la estructura, dir. Y	56
2.3. Resultados del análisis modal de la estructura	59
2.4. Periodos y frecuencias de la estructura en la dirección X	61
2.5. FADx	61
2.6. Periodos y frecuencias de la estructura en la dirección Y	63
2.7. FADy	63
2.8. Periodos y frecuencias de la estructura en la dirección Z	64
2.9. FADz	64
2.10. Peso de la carga viva	66
2.11. Cortante estático	67
3.1. Ubicación $X_r$ y $Y_r$ , centro de aplicación de las fuerzas en la Cimentación.	75
3.2. Cálculo de la capacidad admisible del terreno ( $q_{adm1}$ )	76
3.3. Cálculo del módulo de balasto de la cimentación ( $K_i$ )	78
4.1. Resumen de diseño de losa maciza por flexión, dirección X	89
4.2. Resumen de diseño de losa maciza por flexión, dirección Y	89
4.3. Resumen de diseño de losa maciza por cortante	89
4.4. Resumen de diseño de la vigueta por flexión.	94
4.5. Resumen de diseño de la vigueta por cortante.	95
4.6. Resumen de diseño de vigas por flexión y por cortante.	98
4.7. Combinaciones de carga para la columna C-1.	101
4.8. Valores del índice de estabilidad de la primera planta	102
4.9. Combinaciones de carga para el muro de corte P-2	107
4.10. Resumen de diseño de losa de cimentación por flexión, dir. X	114
4.11. Resumen de diseño de losa de cimentación por flexión, dir. Y	115
4.12. Diseño por flexión de la franja 2 del tramo A-B, dirección Y	115

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1.1. Diagrama de tipos de compresores	21.
1.2. Compresor recíprocante	21
1.3. Compresores rotativos	22
1.4. Compresores dinámicos	22
1.5. Vista en planta del compresor recíprocante de gnv modelo TWIN IMW	23
1.6. Disposición del módulo de almacenamiento de gnv de 2000l de capacidad	24
1.7. Distribución de muros en Sótano.	26
1.8. Distribución de muros en planta del primer nivel	26
1.9. Distribución de muros en el segundo nivel (R.C.A.)	27
1.10. Partes de un mecanismo de biela-manivela simple	29
1.11. Modelo de mecanismo de biela-manivela simple	29
1.12. Distribución de los cilindros del compresor TWIN IMW en elevación	35
1.13. Vista en elevación del interior de un mecanismo biela-manivela doble	36
1.14. Modelo de mecanismo biela-manivela doble	36
1.15. Proyección de las componentes locales de las fuerzas inerciales del cilindro a los ejes globales XZ	38
1.16. Proyección de las componentes locales de las fuerzas inerciales del segundo cilindro a los ejes globales XZ	39
1.17. Variación en el tiempo de la fuerza inercial en el eje global Z	40
1.18. Variación en el tiempo de la fuerza inercial en el eje global X	41
1.19. Vista en planta del interior de un mecanismo biela-manivela doble	41
1.20. Momento inercial en modelo de mecanismo biela-manivela doble	41
1.21. Variación en el tiempo de la fuerza inercial de momento alrededor del eje global Z	42
1.22. Amortiguador FADAM, serie 04, modelo R.M. 604	43
1.23. Datos de rigidez y amortiguamiento del amortiguador administrados al programa SAP2000 (kg, m)	45
1.24. Vista isométrica del compresor TWIN IMW	46
1.25. Ubicación en planta de los amortiguadores, centro de masas y de los mecanismos biela-manivela doble del compresor TWIN IMW	47

	<b>Pág.</b>
<b>1.26.</b> Vista isométrica de la ubicación de las masas del modelo matemático del compresor TWIN IMW	47
<b>1.27.</b> Se definen las fuerzas unitarias $F_x$ , $F_z$ y $M_z$ que serán factoradas por las funciones de las fuerzas inerciales según sus respectivas direcciones	48
<b>1.28.</b> Vista isométrica de la ubicación fuerza unitaria en la dirección X sobre el modelo matemático del compresor TWIN IMW.	48
<b>1.29.</b> Los valores de las fuerzas inerciales de la maquina compresora TWIN IMW serán analizados a través del tiempo que transcurre.	49
<b>1.30.</b> Vista en planta del módulo de almacenamiento de gnv	50
<b>2.1.</b> Espectro de pseudo-aceleraciones	54
<b>2.2.</b> Modelo de la edificación con elementos finitos y con elementos barra.	55
<b>2.3.</b> Deformada de la edificación (mm, rad) debido a la vibración de la máquina.	57
<b>2.4.</b> Amplitudes de vibraciones "pico a pico", permisibles en cimentaciones de compresores reciprocantes. Fuente: Manual de Ingeniería de Diseño PDVSA.	58
<b>2.5.</b> Modo 12, $T=0.10861s$	59
<b>2.6.</b> Relación de frecuencias en X vs $FAD_x$	62
<b>2.7.</b> Relación de frecuencias en Y vs $FAD_y$	64
<b>2.8.</b> Relación de frecuencias en Z vs $FAD_z$	65
<b>2.9.</b> Región del modelo matemático donde se realiza el análisis sísmico	66
<b>2.10.</b> Entrada en el programa de computo SAP2000 de la participación de las cargas al peso de la edificación para el análisis sísmico	67
<b>2.11.</b> Diagramas de fuerzas axiales P (t/m)	68
<b>2.12.</b> Diagramas de fuerzas cortantes V1-3 (t/m)	68
<b>2.13.</b> Diagramas de fuerzas cortantes V1-3 (t/m)	69
<b>2.14.</b> Diagramas de fuerzas cortantes V2-3 (t/m)	69
<b>2.15.</b> Diagramas de momentos flectores M1-1 (t-m/m)	70
<b>2.16.</b> Diagramas de momentos flectores M2-2 (t-m/m)	70
<b>2.17.</b> Diagramas de fuerzas axiales P (t)	71
<b>2.18.</b> Diagramas de fuerzas cortantes V2-2 (t)	71

	<b>Pág.</b>
2.19. Diagramas de fuerzas cortantes V3-3 (t)	72
2.20. Diagramas de momentos flectores M2-2 (t-m)	72
2.21. Diagramas de momentos flectores M3-3 (t-m)	73
3.1. Parámetros para hallar la capacidad portante del suelo	74
3.2. Parámetros para hallar el módulo de balasto de la cimentación (Ki)	77
3.3. Relación aproximada entre el módulo de balasto del suelo y el CBR Fuente: Portland Cement Association	78
3.4. Asentamientos de la Losa de cimentación (cm)	80
3.5. Presiones en el suelo debido a cargas de servicio sin sismo (kg/cm <sup>2</sup> )	81
3.6. Presiones en el suelo debido a cargas de servicio con sismo (kg/cm <sup>2</sup> )	81
3.7. Momentos flectores máximos en la losa de cimentación, Eje X (t-m)	83
3.8. Momentos flectores mínimos en la losa de cimentación, Eje X (t-m)	84
3.9. Momentos flectores máximos en la losa de cimentación, Eje Y (t-m)	84
3.10. Momentos flectores mínimos en la losa de cimentación, Eje Y (t-m)	85
3.11. Diagramas de fuerzas cortantes máximas en losa de cimentación (t), Eje X	85
3.12. Diagramas de fuerzas cortantes mínimas en losa de cimentación (t), Eje X	86
3.13. Diagramas de fuerzas cortantes máximas en losa de cimentación (t), Eje Y	86
3.14. Diagramas de fuerzas cortantes mínimas en losa de cimentación (t), Eje Y	87
4.1. Distribución del refuerzo por cortante en la losa maciza (m)	90
4.2. Distribución del refuerzo en la losa maciza	90
4.3. Diagramas de momentos flectores de la vigueta M3-3 (t-m)	93
4.4. Sección transversal de la vigueta	93
4.5. Diagramas de fuerzas cortantes de la vigueta V2-2 (t)	95
4.6. Distribución del refuerzo en la losa aligerada	96
4.7. Distribución del refuerzo en la viga V-102 (0.25x0.50)	98
4.8. Fuerzas Cortantes y Momentos Flectores por cargas de servicio en la viga V-102 (0.25x0.50)	99
4.9. Características de la columna C-1	101

	<b>Pág.</b>
<b>4.10.</b> Nomograma de Jackson y Moreland, sistema sin desplazamiento lateral	103
<b>4.11.</b> Diagrama de interacción flexocompresión biaxial de la columna C-1	104
<b>4.12.</b> Sección transversal de columna C-1	105
<b>4.13.</b> Sección transversal del muro de corte P-2	106
<b>4.14.</b> Diagrama de interacción $\phi M_n - \phi P_n$ del muro de corte P-2	108
<b>4.15.</b> Sección transversal del muro de corte P-2	110
<b>4.16.</b> Diagrama de distribución de fuerzas en el muro de sótano	111
<b>4.17.</b> Detalle de muro de sótano	113
<b>4.18.</b> Refuerzos de la losa de cimentación	116

## LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS

- $a$  : Profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos (cm)
- A.C.I. : American Concrete Institute
- Act : Área efectiva del concreto (cm<sup>2</sup>) que rodea el refuerzo principal de tracción y cuyo centroide coincide con el de dicho refuerzo, dividida entre el número de barras del refuerzo principal de tracción
- $A_C$  : Área de la sección transversal de un elemento en compresión (cm<sup>2</sup>)
- $A_{cw}$  : Área de corte de la sección transversal del muro (área del alma) o segmento del muro considerado (cm<sup>2</sup>)
- Ag : Área de sección bruta (cm<sup>2</sup>)
- $A_r$  : Amplitud máxima del amortiguador (m)
- As : Área del refuerzo longitudinal a tracción (cm<sup>2</sup>)
- Av : Área del refuerzo de cortante con un espaciamiento s (cm<sup>2</sup>)
- $A_{s_b}$  : Área del refuerzo longitudinal a tracción que produce condiciones balanceadas de deformación unitaria (cm<sup>2</sup>)
- $A_{s_{max}}$  : Área máxima del refuerzo longitudinal a tracción (cm<sup>2</sup>)
- $A_{s_{min}}$  : Área mínima del refuerzo longitudinal a tracción (cm<sup>2</sup>)
- $A'_s$  : Área del refuerzo longitudinal a compresión (cm<sup>2</sup>)
- Ax, Ay, Az: Amplitud X, Y, Z respectivamente (mm)
- b : ancho de franja, espesor del elemento o ancho de la cara en compresión del elemento (cm o m)
- c : Coeficiente de amortiguamiento (kg-s/m)
- C : Factor de amplificación sísmica
- $c_{cr}$  : Coeficiente de amortiguamiento critico (kg-s/m)
- $C_r$  : Coeficiente de amortiguamiento del amortiguador (kg-s/m)
- d : Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción (cm)
- dc : Espesor de recubrimiento (cm) de concreto medido desde la fibra extrema en tracción al centro de la barra de refuerzo más cercana de esa fibra.

- D : Cargas permanentes
- $E_c, E_v$  : Módulo de elasticidad del concreto de la columna y de la viga respectivamente (kg/cm<sup>2</sup>)
- FAD : Factor de amplificación dinámica
- FADx : Factor de amplificación dinámica analizado en la dirección X
- FADy : Factor de amplificación dinámica analizado en la dirección Y
- FADz : Factor de amplificación dinámica analizado en la dirección Z
- $f'_c$  : Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del vaciado (kg/cm<sup>2</sup>)
- $f_s$  : Esfuerzo en el refuerzo debido a las cargas de servicio (kg/cm<sup>2</sup>)
- $f_r$  : Frecuencia vertical del amortiguador o módulo de ruptura del concreto
- $f_y$  : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)
- $g$  : Aceleración de la gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>)
- gnv : Gas natural vehicular
- H : Altura del muro del sótano (m)
- Hm : Altura total de un muro medida desde la base hasta la parte superior o altura del segmento de muro considerado (cm)
- h : Espesor o peralte de un elemento (m o cm)
- $I_g$  : Momento de inercia de la sección bruta del elemento con respecto al eje que pasa por el centroide, sin tener en cuenta el refuerzo (cm<sup>4</sup>)
- $I_c$  : Momento de inercia con respecto al eje que pasa por el centroide de la sección bruta de un elemento en compresión (cm<sup>4</sup>)
- $I_v$  : Momento de inercia con respecto al eje que pasa por el centroide de la sección bruta de una viga (cm<sup>4</sup>)
- $K_A$  : Coeficiente de empuje activo del suelo
- $K_r$  : Rigidez del amortiguador (kg/m)
- k : Factor de longitud efectiva
- L : Cargas vivas
- $L_c$  : Longitud del elemento en compresión de un pórtico (cm)
- LDR : Load Dependent Ritz
- $L_n$  : Luz libre medida entre caras de los apoyos (m o mm)

- $L_v$  : Longitud del elemento viga de un pórtico (cm)
- $l$  : Longitud de la biela (m)
- $l_n$  : Longitud de la biela del n-ésimo cilindro (m)
- $\lambda m$  : Longitud total del muro o del segmento de muro considerado (cm)
- M1 : El menor momento amplificado de uno de los extremos de un elemento en compresión, debe tomarse como positivo si el elemento presenta curvatura simple y negativo si tiene curvatura doble (t-m)
- M2 : El mayor momento amplificado de uno de los extremos de un elemento en compresión, siempre positivo (t-m)
- $M_{cr}$  : Momento de fisuración (t-m)
- $M_n$  : Momento nominal a flexión de la sección (t-m)
- $M_{nx}, M_{ny}$ : Momento nominal a flexión de la sección en las direcciones X y Y respectivamente (t-m)
- $m_r$  : Masa máxima que carga el amortiguador (kg-s<sup>2</sup>/m)
- $m_{rec}$  : Masa de movimiento recíprocante (kg-s<sup>2</sup>/m)
- $m_{rec,n}$  : Masa de movimiento recíprocante del n-ésimo cilindro (kg-s<sup>2</sup>/m)
- $m_{rot}$  : Masa de movimiento rotatorio (kg-s<sup>2</sup>/m)
- $m_{rot,n}$  : Masa de movimiento rotatorio del n-ésimo cilindro (kg-s<sup>2</sup>/m)
- $M_{pry}$  : Resistencia máxima probable en flexión en la dirección Y (t-m), determinada usando las propiedades de los elementos en las caras de los nudos, suponiendo un refuerzo en tracción para las barras longitudinales de fy y un factor de reducción de la resistencia  $\phi$  de 1.0
- $M_s$  : Momento flector en condiciones de servicio (t-m o kg-cm)
- $M_u$  : Momento amplificado en la sección (t-m)
- $M_{ux}, M_{uy}$ : Momento amplificado en la sección (t-m) en la dirección X y Y respectivamente tomados del análisis estructural
- $M_z$  : Momento inercial alrededor del eje global Z (kg-m)
- $M_{z_{máx}}$  : Momento inercial máximo alrededor del eje global Z (kg-m)
- $M_{z_{mín}}$  : Momento inercial mínimo alrededor del eje global Z (kg-m)

- $n$  : número de unidades tales como cilindros del compresor IMW o de barras de refuerzo en tracción de la sección de un elemento estructural.
- N.T.P. : Norma Técnica Peruana
- $N_u$  : Carga axial amplificada normal a la sección transversal (t), que ocurre simultáneamente con  $V_u$  o  $T_u$ , debe tomarse positiva para compresión y negativa para tracción
- $P_D$  : Fuerza normal de la carga muerta (t)
- $P_n$  : Resistencia axial nominal de la sección transversal (t)
- $P_u$  : Fuerza axial amplificada (t)
- $P_r$  : Carga máxima del amortiguador (kg)
- $P_x$  : Fuerza inercial en el eje global X (kg)
- $P_{x\text{máx}}$  : Fuerza inercial máxima en el eje global X (kg)
- $P_{x\text{mín}}$  : Fuerza inercial mínima en el eje global X (kg)
- $p_{x'}$  : Componente local horizontal de la fuerza inercial (kg)
- $(P_{x'})_n$  : Componente local horizontal de la fuerza inercial del n-ésimo cilindro (kg)
- $P_z$  : Fuerza inercial en el eje global Z (kg)
- $P_{z\text{máx}}$  : Fuerza inercial máxima en el eje global Z (kg)
- $P_{z\text{mín}}$  : Fuerza inercial mínima en el eje global Z (kg)
- $p_{z'}$  : Componente local vertical de la fuerza inercial (kg)
- $(P_{z'})_n$  : Componente local vertical de la fuerza inercial del n-ésimo cilindro (kg)
- $\Sigma P_u$  : Suma de las cargas amplificadas acumuladas desde el extremo superior del edificio hasta el entrepiso considerado (t)
- $r_C$  : Radio de giro de la sección transversal de un elemento en compresión (cm)
- $r$  : Longitud de la manivela (m)
- $r_n$  : Radio de la manivela del n-ésimo cilindro (m)
- $R$  : Coeficiente de reducción sísmica

- R.C.A : Recinto para el compresor y almacenamiento
- R.N.E : Reglamento Nacional de Edificaciones
- S : Parámetro de suelo
- Sa : Aceleración espectral (m/s<sup>2</sup>)
- Sax : Cargas de sismo en la dirección global X
- Say : Cargas de sismo en la dirección global Y
- S/C : Sobre Carga
- s : Espaciamiento medido centro a centro del refuerzo longitudinal o del refuerzo transversal
- t : Tiempo (s)
- tw : Ancho del alma de la sección de una viga T (cm)
- T : Periodo de vibración (s)
- $T_{Mz}$  : Periodo del momento inercial alrededor del eje global Z (s)
- Tp : Periodo que define la plataforma del espectro según el tipo de suelo (s)
- $T_x$  : Periodo de la fuerza inercial en el eje global X (s)
- $T_z$  : Periodo de la fuerza inercial en el eje global Z (s)
- U : Factor de uso e importancia de la estructura
- Vc : Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto (t)
- Vax, Vay: Fuerza cortante amplificada (t) actuando en X y Y respectivamente determinada a partir del análisis de la estructura
- Vn : Resistencia nominal al cortante de la sección (t)
- Vs : Resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante (t)
- Vu : Fuerza cortante amplificada en la sección (t)
- Vus : Fuerza cortante en el entrepiso, debida a las carga laterales (t)
- Vux, Vuy: Fuerza cortante de diseño en la dirección X y Y respectivamente (t)
- $w_d$  : Frecuencia amortiguada del amortiguador (rad/s)
- $w_m$  : Velocidad angular de la manivela (rad/s)
- Wu : Carga amplificada distribuida linealmente (kg/m)
- X, Y, Z: Direcciones globales
- X', Y', Z': Direcciones locales

- $X'_C$  : Desplazamiento local horizontal del punto C (m)
- $\dot{X}'_C$  : Primera derivada de  $X'_C$  con respecto al tiempo (m/s)
- $\ddot{X}'_C$  : Segunda derivada de  $X'_C$  con respecto al tiempo (m/s<sup>2</sup>)
- $\ddot{X}'_p$  : Segunda derivada de  $X'_p$  con respecto al tiempo (m/s<sup>2</sup>)
- $y_s$  : Centroide del refuerzo principal de tracción por flexión medido desde la fibra extrema en tracción del elemento (cm)
- Yt : Distancia desde el eje centroidal de la sección total a la fibra extrema en tracción sin considerar el refuerzo (cm)
- z : Parámetro para el control de fisuración de una viga o losa (kg/cm)
- Z : Factor de zona (solo en los subtítulos 2.1.1 y 2.1.3)
- $Z'_C$  : Desplazamiento local vertical del punto C (m)
- $\dot{Z}'_C$  : Primera derivada de  $Z'_C$  con respecto al tiempo (m/s)
- $\ddot{Z}'_C$  : Segunda derivada de  $Z'_C$  con respecto al tiempo (m/s<sup>2</sup>)
- $Z'_p$  : Desplazamiento local vertical del pistón (m)
- $\dot{Z}'_p$  : Primera derivada de  $Z'_p$  con respecto al tiempo (m/s)
- $\ddot{Z}'_p$  : Segunda derivada de  $Z'_p$  con respecto al tiempo (m/s<sup>2</sup>)
- @ : Espaciado a cada
- $\alpha c$  : Coeficiente que interviene en la fórmula del aporte del concreto del muro de corte y que depende de la de la relación entre la longitud total o segmento del muro y la altura total del muro.
- $\beta_n$  : Angulo de fase entre la manivela del n-ésimo cilindro y la primera manivela ((°) o rad)
- $\varepsilon$  : Valor simbólico épsilon
- $\xi$  : Factor que depende del tiempo para cargas sostenidas (sólo en el capítulo IV)
- $\xi$  : Factor de amortiguamiento
- $\xi_r$  : Factor de amortiguamiento del amortiguador

- $\phi$  : Angulo de giro de la manivela (rad)
- $\phi$  : Factores de reducción de resistencia (sólo en el capítulo IV)
- $\gamma$  : Densidad natural del suelo (t/m<sup>3</sup>)
- $\varphi$  : Ángulo de fricción del suelo (°)
- $\lambda\Delta$  : Factor para deflexiones adicionales debidas a efectos de largo plazo
- $\mu$  : Coeficiente de fricción
- $\Omega$  : Frecuencia de excitación (r.p.m. o rad/s)
- $\rho'$  : Cuantía del refuerzo  $A'_s$  evaluada sobre el área bd
- $\rho_H$  : Cuantía del refuerzo horizontal del muro de concreto armado
- $\rho_V$  : Cuantía del refuerzo vertical del muro de concreto armado
- $\omega$  : Frecuencia natural (r.p.m. o rad/s)
- % : Porcentaje

**Unidades:**

- cm : centímetro
- galón : 3.7854 l
- Hz : Hertz (ciclo/s)
- kg : kilogramo
- l : litro
- lb : libra
- m : metro
- mils : 0.0254 mm
- mm : milímetro
- r.p.m. : revoluciones por minuto.
- rad : radian
- s : segundo
- t : tonelada
- (°) : grados sexagesimales

## INTRODUCCIÓN

Los compresores recíprocos son máquinas relativamente pesadas y que generan fuerzas vibratorias de magnitud considerable entre frecuencias intermedias a altas de operación. Las frecuencias de operación están a veces cercanas a las frecuencias naturales de las estructuras que sirven de apoyo, en los varios modos de vibración, creando así condiciones resonantes en el sistema de la estructura. La magnitud de la amplitud de vibración en la condición resonante llega a ser un criterio de control por la aproximación de la frecuencia natural de la estructura de apoyo y la frecuencia de operación del compresor de gnv. Por lo tanto, la inclusión de los amortiguadores en la base de la máquina, también el tipo de material y la geométrica que da rigidez a la estructura llega a ser una consideración importante en el análisis de este tipo de estructuras.

El presente informe de suficiencia titulado: "ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE DOS NIVELES Y SÓTANO QUE SOPORTA UN COMPRESOR RECÍPROCANTE DE GNV", desarrolla el análisis y diseño estructural para esta clase de edificaciones, cumpliendo con las exigencias establecidas por las normas.

Los procedimientos de análisis y diseño son desarrollados a través de programas de cómputo. Las herramientas básicas utilizadas en el análisis y diseño estructural son el SAP2000 versión 12.0.0, el SAFE versión 12.3.1 y CSI Column versión 8.4.0, el primer programa de cómputo está orientado al análisis y diseño de edificaciones, el segundo programa de cómputo está orientado exclusivamente al análisis y diseño de losas, y el tercer programa de cómputo está orientado al análisis y diseño de columnas y muros de corte.

## CAPITULO I: GENERALIDADES.

### 1.1 DEFINICIONES.

A través de este informe varios términos serán usados con los cuales el lector debe estar familiarizado y por lo tanto es necesario definirlos para conocer sus significados.

**Alta y Baja Frecuencia de vibración:** Una estructura de vibra en alta frecuencia cuando su frecuencia natural está en exceso de la frecuencia de excitación, por lo que la relación de frecuencia, entre la segunda y la primera, es menor que la unidad. Una estructura vibra en baja frecuencia es cuando su frecuencia natural es menor que la frecuencia de excitación por lo que la relación de frecuencia, entre la segunda y primera, es mayor que la unidad.

**Amplitud:** La amplitud de vibración describe la longitud máxima del movimiento producido, que es por decir el máximo desplazamiento desde la posición de reposo. Este movimiento es a menudo predominante vertical u horizontal.

**Ciclo:** Un ciclo describe una oscilación completa, que es un patrón completo de amplitud de vibración descrito en cada ciclo.

**Factor de amplificación dinámica (FAD):** Es la relación existente entre la amplitud de las vibraciones de un sistema sometido a una excitación tipo armónico y el desplazamiento estático (cuando la carga es aplicada estáticamente).

**Frecuencia:** La frecuencia es el número de ciclos repetidos en la unidad de tiempo, puede estar dado en revoluciones por minuto (r.p.m.) o radianes por segundo (rad/s).

**Frecuencia de excitación ( $\Omega$ ):** Frecuencia asociada a una acción exterior actuante sobre un sistema y que varía armónicamente en un problema de vibraciones forzadas debidas a una excitación armónica.

**Frecuencia natural ( $\omega$ ):** Es la frecuencia del movimiento armónico que resulta al introducir un desplazamiento y/o una velocidad inicial a un sistema que está en posición de equilibrio y dejarlo vibrar libremente.

**Periodo:** Es el tiempo requerido para completar un ciclo completo.

**Resonancia:** Sucede cuando la frecuencia de excitación ( $\Omega$ ) que actúa sobre un sistema coincide con alguna de sus frecuencias naturales ( $\omega$ ), para frecuencias de excitación próximas a alguna frecuencia natural, la amplitud del desplazamiento resultante puede ser varias veces el desplazamiento estático que se obtendría aplicando estáticamente una fuerza de la misma amplitud.

**Relación de frecuencia:** La relación de frecuencia es la razón de la frecuencia excitante y la frecuencia natural. La resonancia ocurre cuando la relación de estas frecuencias es unitaria.

**Vibración:** Vibración es un estado continuo de oscilación, el cuál ocurre repitiéndose a intervalos constantes o períodos, esto es una frecuencia regular.

**Vibración Libre:** La vibración libre es iniciada por una sola aplicación de una fuerza externa. Es continua a una frecuencia constante pero con una amplitud declinando constantemente debido a que la energía es absorbida por el sistema debido a la amortiguación.

**Vibración Forzada:** La vibración forzada es la vibración que es mantenida constantemente por la aplicación de una fuente externa de energía. Esta reemplaza la energía pérdida dentro del sistema debido al amortiguamiento interno, es el tipo de vibración que impone una máquina a su base de apoyo.

## 1.2 COMPRESORES

Son equipos que incrementan la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor. Estas máquinas se emplean principalmente para refrigeración, acondicionamiento de aire,

calefacción, transporte por tuberías, almacenamiento de gas natural, craqueo catalítico, polimerización y en muchos procesos químicos. Según la forma de compresión se clasifican en compresores de desplazamiento positivo y compresores dinámicos.

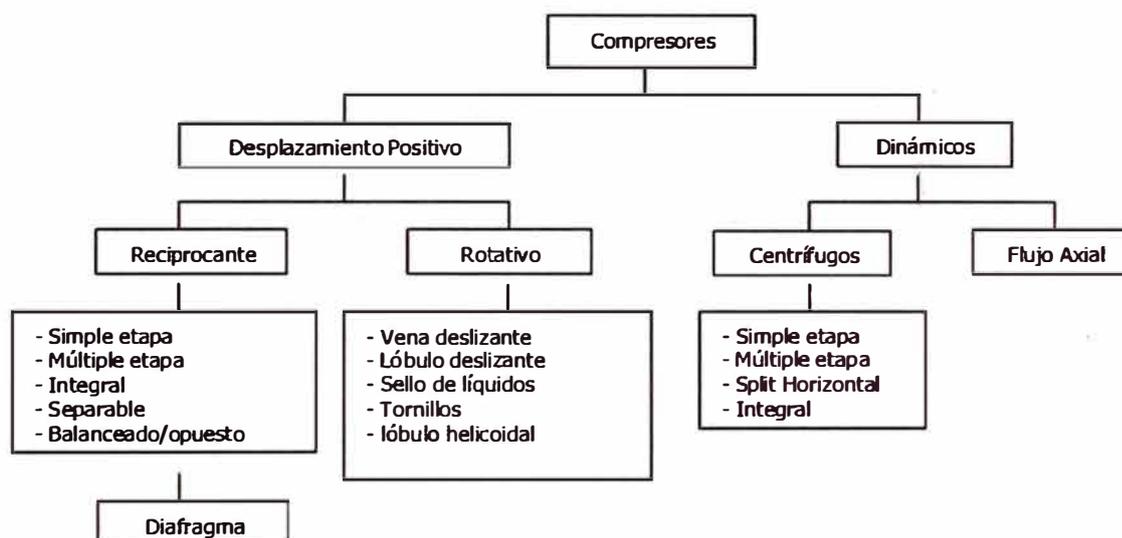


Figura N° 1.1.- Diagrama de tipos de compresores

### 1.2.1 Compresores de desplazamiento positivo

Son compresores de flujo intermitente, que basan su funcionamiento en tomar volúmenes sucesivos de gas para confinarlos en un espacio de menor volumen; logrando con este efecto, el incremento de la presión. Se dividen en dos grupos reciprocantes y rotativos.

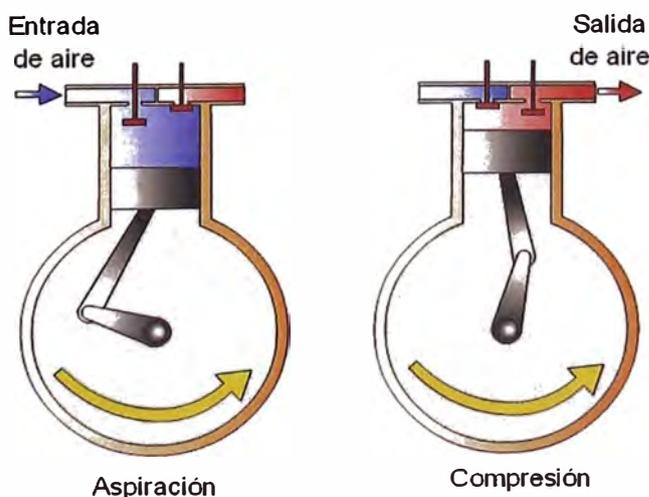


Figura N°1.2.- Compresor reciprocante

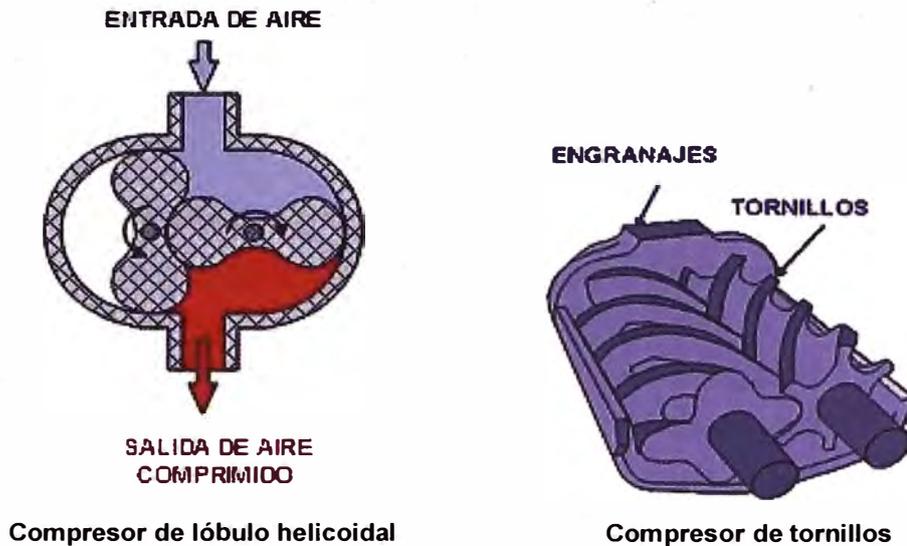


Figura N°1.3.- Compresores rotativos

### 1.2.2 Compresores Dinámicos

Son máquinas rotatorias de flujo continuo en la cual el cabezal de velocidad del gas es convertido en presión; estos compresores, se dividen de acuerdo al flujo que manejan en centrífugo (flujo radial) y axiales (flujo axial).

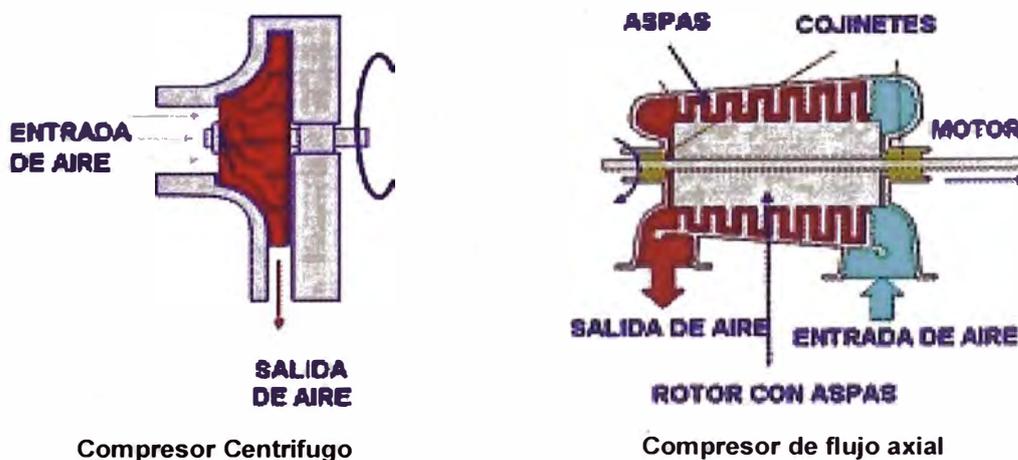


Figura N° 1.4.- Compresores dinámicos

### 1.3 COMPRESOR RECIPROCANTE TWIN IMW

Es un compresor de desplazamiento positivo, en donde la compresión se obtiene por desplazamiento de un pistón moviéndose lineal y secuencialmente de atrás hacia adelante dentro de un cilindro; reduciendo de esta forma, el

volumen de la cámara (cilindro) donde se deposita el gas; este efecto, origina el incremento en la presión del gas hasta alcanzar la presión de descarga, desplazando el fluido a través de la válvula de salida del cilindro.

El compresor TWIN IMW es de múltiples etapas (4 etapas) y están provistos de enfriadores entre etapas, los cuales disminuyen la temperatura del gas hasta valores aceptables por la siguiente etapa de compresión. El enfriamiento, reduce la temperatura y el volumen real del gas que es enviado a los cilindros de alta presión de las siguientes etapas; logrando con esto, reducir la potencia requerida para la compresión y mantener la temperatura debajo de la máxima permisible.

El compresor recíprocante de gnv, modelo TWIN IMW, tiene un peso total de 11140.69 kg y opera con una frecuencia de 915 revoluciones por minuto (r.p.m.).

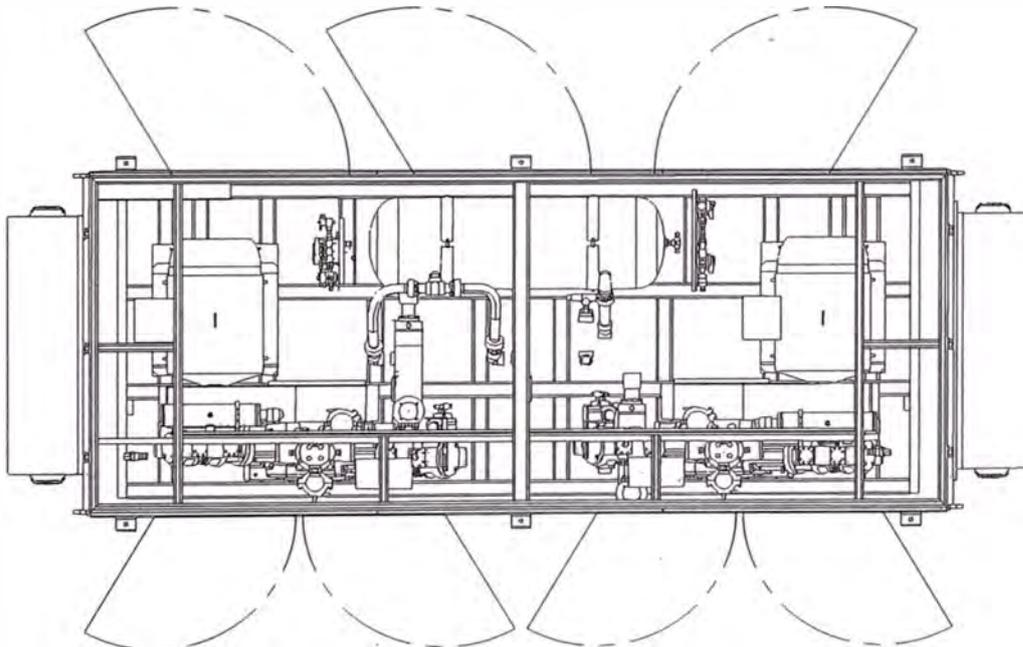


Figura N°1.5.- Vista en planta del compresor recíprocante de gnv modelo TWIN IMW

El almacenaje de gnv estará comprendido por dos módulos 16 tanques verticales cada uno, alojados en una estructura metálica interconectados entre sí por conductos de acero inoxidable, cada módulo tiene una capacidad de almacenaje de 2000l y se encuentran ubicados cerca al compresor de gnv.

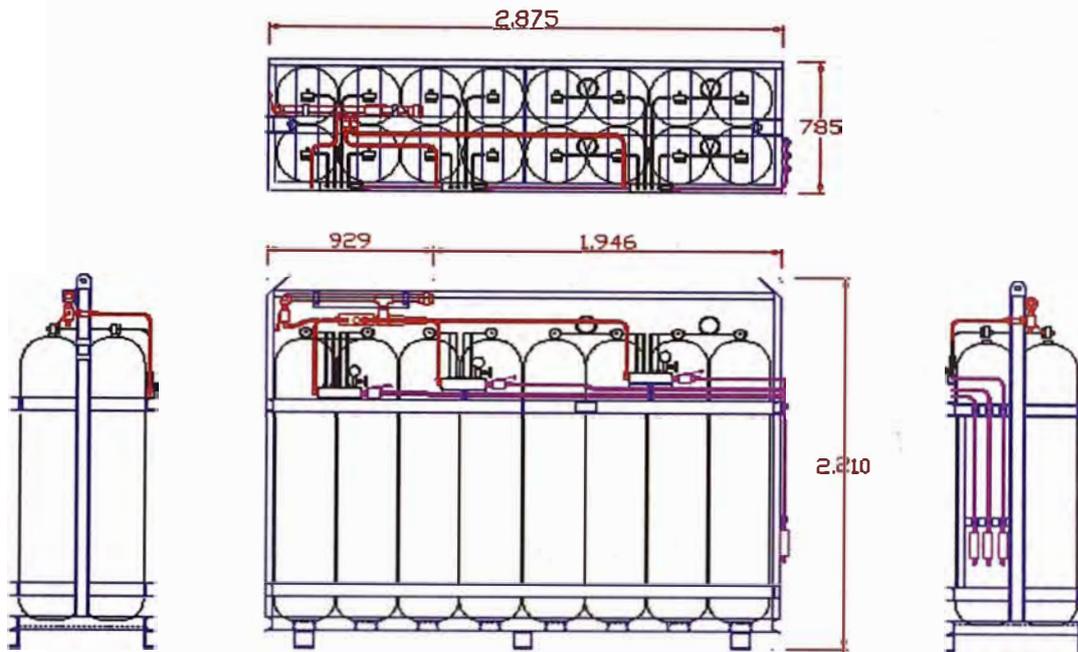


Figura N°1.6.- Disposición del módulo de almacenamiento de gnv de 2000l de capacidad

#### 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto a analizar y diseñar en el presente informe es una edificación de dos niveles y sótano, destinado a ser apoyo de un compresor recíprocante de gnv. El edificio está ubicado en la ciudad de Lima, y se plantea su cimentación sobre un suelo arenoso arcilloso.

La edificación tiene un frente de 6.18m y tiene lados de 10.39m y 6.18m, con un área de 64.21m<sup>2</sup> de planta típica.

En el anexo A.3 se presentan los planos de arquitectura (A-01, A-02 y A-03) correspondiente a la edificación, en los cuales se observa la distribución de los ambientes en los diferentes niveles.

El proyecto se diseñará de acuerdo al R.N.E. en las Normas Peruanas:

- E.020 (Norma de Cargas)
- E.030 (Norma de Diseño Sismorresistente)
- E.050 (Norma de Suelos y Cimentaciones)
- E.060 (Norma de Concreto Armado)

Norma Técnica Peruana de Gas Natural Seco. Estación de servicio para venta al público de gas natural vehicular (gnv) N.T.P. 111.019-2007.

## 1.5 ESTRUCTURACIÓN

La estructuración de una edificación que soporta un compresor reciprocante de gnv debe ser de tal manera que entre la frecuencia natural de la estructura de apoyo y la frecuencia de operación del compresor reciprocante de gnv, haya como mínimo una razón de aproximación del 15% y de esta manera evitar el fenómeno de resonancia en el sistema de la estructura, Para ello, la inclusión de los amortiguadores en la base de la máquina, también el tipo de material y la geométrica que da rigidez a la estructura llega a ser una consideración importante en el análisis de este tipo de estructuras.

Se plantea una solución donde se establece como elementos resistentes a muros de concreto armado de 0.25 m de espesor. En el sótano los muros están conectados entre sí por vigas de 0.25mx0.25m y una losa aligerada armada en una dirección de 0.25m de espesor. En el primer nivel los muros están conectados entre sí por vigas de 0.25mx0.50m y una losa maciza armada en dos direcciones de 0.20m de espesor. En el segundo nivel los muros son de concreto armado de 0.15m de espesor y 3.10m de alto, este tipo de muros son normados de acuerdo a la N.T.P. 111.019-2007.

### 1.5.1 Propiedades mecánicas de los materiales.

Según la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del vaciado:

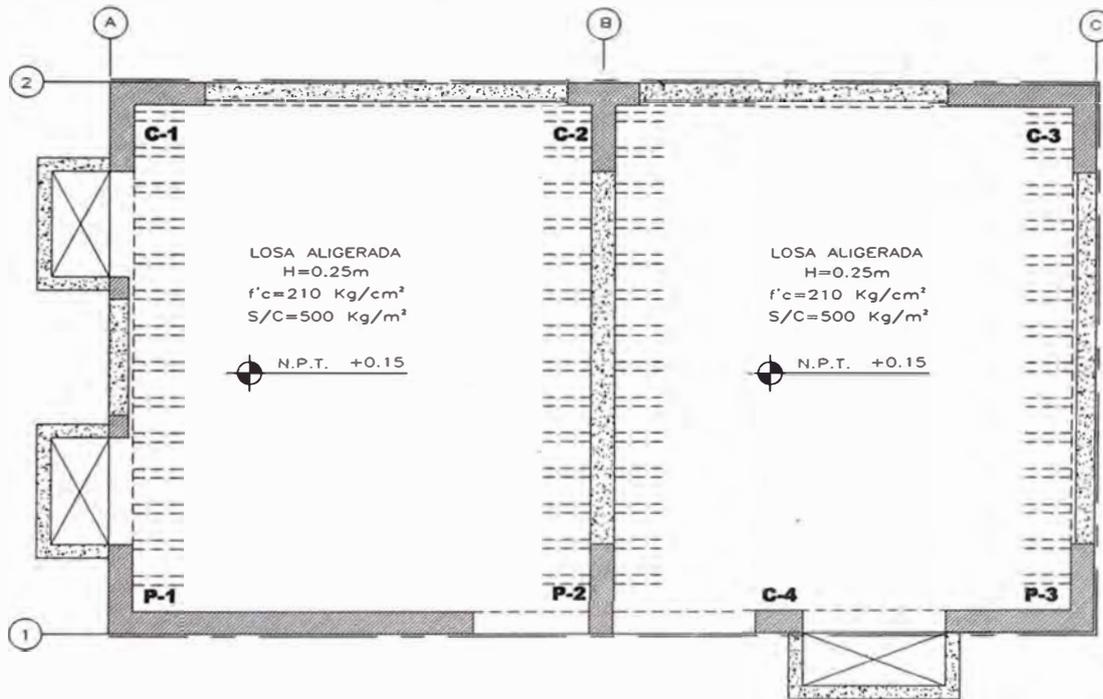
Concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  para la cimentación de la edificación.

Concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  para los muros, las columnas, el techo de losa aligerada y para la losa maciza que soportará el compresor reciprocante de gnv.

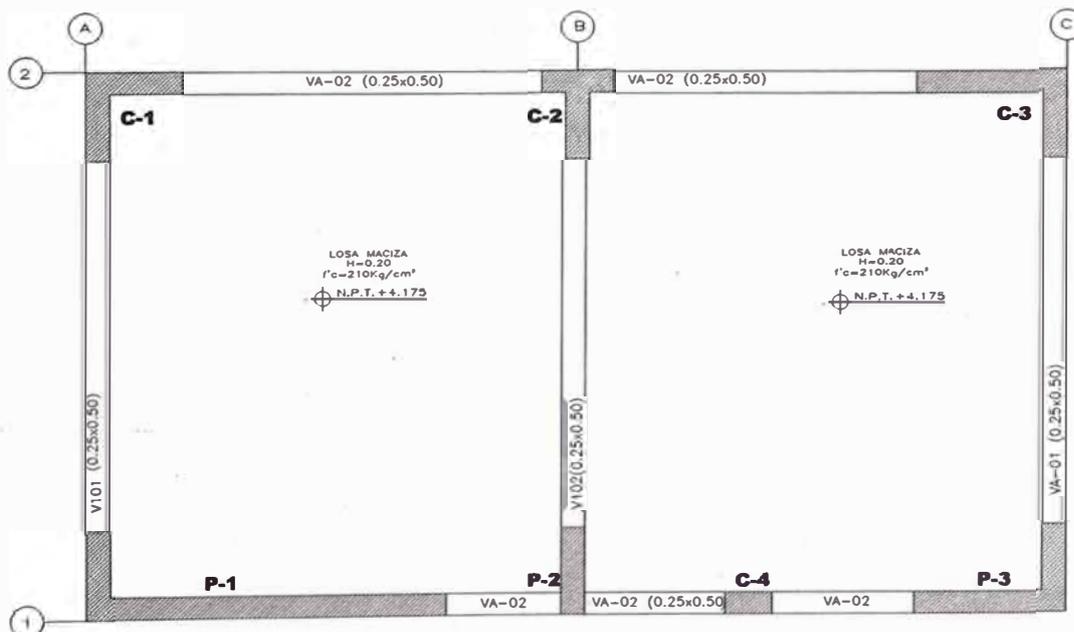
El acero de refuerzo para el concreto consistirá de varillas redondas corrugadas con un esfuerzo de fluencia  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**1.5.2 Descripción de los elementos componentes de la estructura.**

**Muros de concreto armado:** Distribuidos en las dos direcciones, con un espesor de 0.25m, se emplea este espesor teniendo en cuenta la rigidez apropiada de la edificación para alejar del limite de la resonancia del sistema estructural. Los muros del R.C.A. son de 0.15m de espesor. En las siguientes figuras se muestra la distribución de los muros en las direcciones X e Y.



**Figura N° 1.7.- Distribución de muros en Sótano.**



**Figura N° 1.8.- Distribución de muros en planta del primer nivel.**

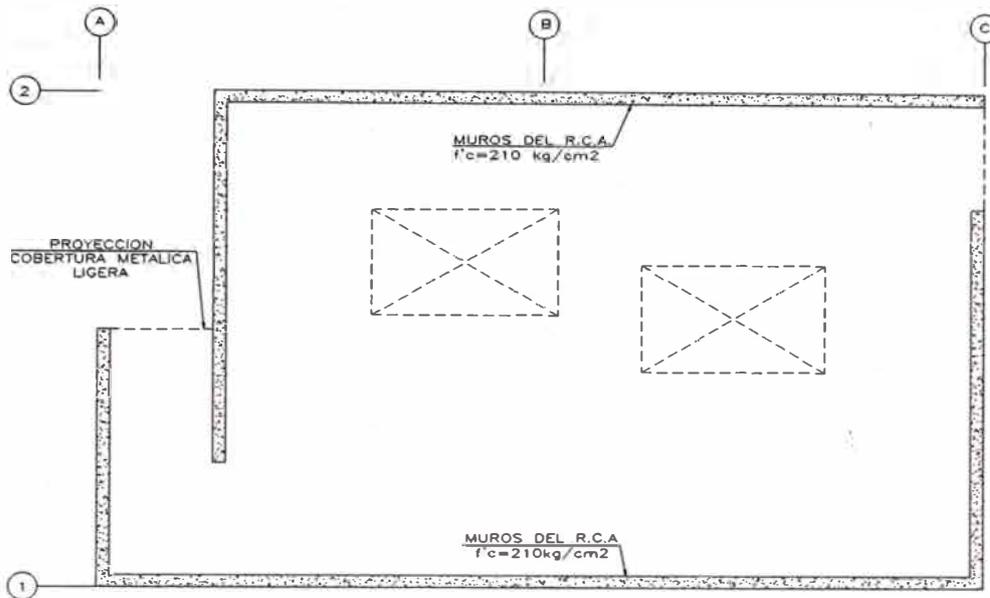


Figura N° 1.9.- Distribución de muros en el segundo nivel (R.C.A.)

**Recinto para el compresor y almacenamiento (R.C.A.):** El capítulo 7.4 de la norma N.T.P. 111.019 2007, describe la geometría y los materiales que constituyen a los muros del R.C.A., de la siguiente manera:

El recinto que rodea al compresor y/o almacenamiento se construirá de concreto armado con resistencia adecuada al fuego y calor (resistencia mínima de 3 horas al fuego), espesor mínimo de 0.15 metros y calidad de hormigón correspondiente a 130kg/cm<sup>2</sup> o superior. Se dispondrán dos mallas (armaduras) de diámetro 10 mm cada 15 cm o equivalente a un acero de calidad 4200 kg/cm<sup>2</sup>, una en cada cara (interior y exterior). Para lograr una mayor seguridad frente a la fragmentación del muro ante una eventual explosión o impacto, se debe desfasear las 2 mallas (armaduras).

Este muro perimetral deberá tener una altura mínima de 3 metros. El recinto debe tener dos accesos de tipo laberíntico diagonalmente opuestos, con un ancho libre de paso de 1.10 metros como mínimo. El recinto debe tener techo de fácil expulsión. El recinto de compresores y/o almacenamiento debe estar ventilado a nivel superior por debajo del techo y 50cm por encima del último elemento presurizado. Los compresores alijados en el recinto deben tener un pasillo de circulación de 0.90 metros de ancho entre compresores, y entre estos y las paredes del recinto.

**Vigas:** Con espesores de 0.25m. En el sótano la alta densidad de muros de concreto permite el desarrollo de vigas chatas de 0.25m de peralte. En el primer nivel las vigas son de 0.50m de peralte para contribuir a la rigidez de la estructura y debido a que las cargas son mayores en ese nivel.

**Losa aligerada:** Con un espesor de  $h=0.25m$ , su refuerzo está distribuido en una dirección, se emplea este espesor teniendo en cuenta las recomendaciones que da la ecuación 1.1, que relaciona el tamaño de luz libre ( $L_n$ ) que tiene el techo y que va de acuerdo con la sobrecarga de  $S/C=500$  kg/m<sup>2</sup> que soporta la losa aligerada.

$$h = \frac{L_n}{20} = \frac{4.82m}{20} = 0.241m \approx 0.25m \dots (1.1)$$

**Losa maciza:** Con un espesor de 0.20m, su refuerzo está distribuido en las dos direcciones, se ha decidido emplear este espesor teniendo en cuenta la rigidez para alejar del límite de la resonancia del sistema estructural y para que la losa pueda albergar los pernos de anclaje de los amortiguadores del compresor de gnv.

**Platea de cimentación:** Para el caso de un suelo de baja capacidad portante, que es la condición más desfavorable, se ha previsto una platea de cimentación con un espesor de 0.50m. En caso que se tenga un suelo de mejor calidad, sería factible una cimentación con cimientos corridos convencionales.

## 1.6 CONSIDERACIONES PARA LAS CARGAS DINAMICAS Y ESTÁTICAS DEL COMPRESOR RECIPROCANTE DE GNV TWIN IMW.

### 1.6.1 Cargas dinámicas inducidas en mecanismos de biela-manivela simple.

El ingeniero debe hacer cálculos manuales para estimar las fuerzas inerciales de una máquina de movimiento recíprocante en los casos en que los datos del fabricante no están disponibles.

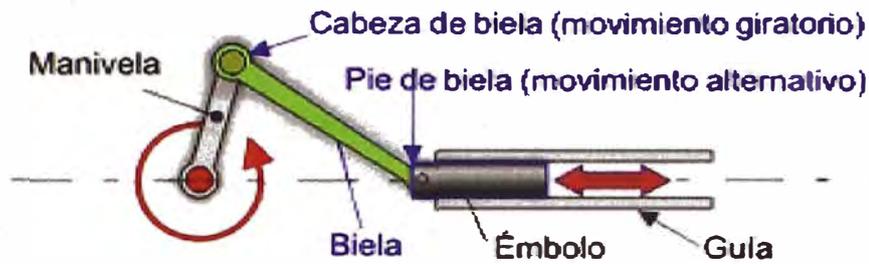


Figura N° 1.10.- Partes de un mecanismo de biela-manivela simple

Cuando se desea analizar un sistema real, lo primero que debe hacerse es determinar un modelo matemático para dicho sistema, en el que queden recogidas las características o propiedades físicas del modelo real. Las fuerzas inerciales originadas por mecanismos recíprocos son funciones de la velocidad de rotación de la manivela, el tiempo, las masas de la manivela, de la biela y del pistón, el tamaño de la manivela y de la biela, la orientación de la manivela (ángulo de fase) y los contrapesos de la manivela.

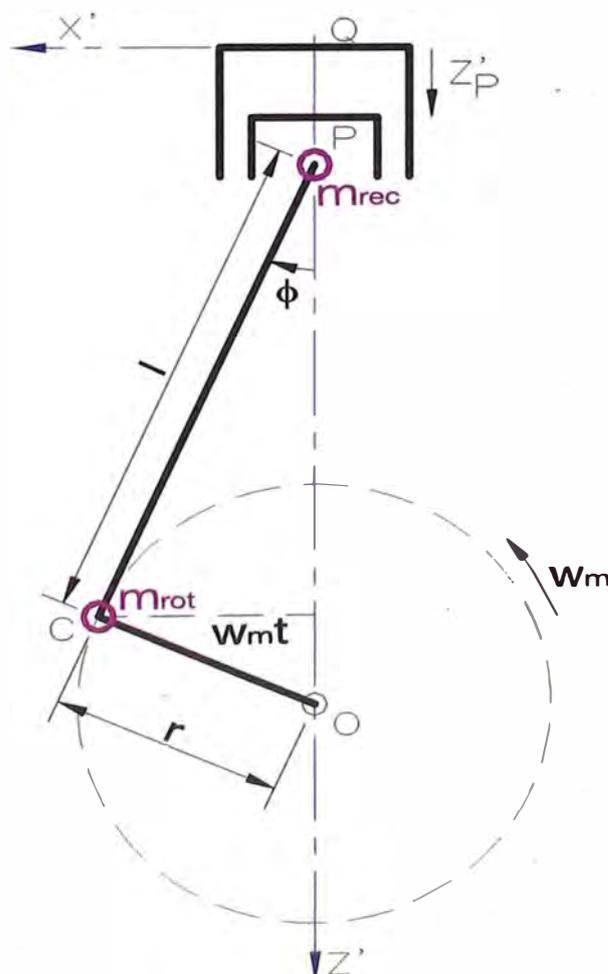


Figura N° 1.11.- Modelo de mecanismo de biela-manivela simple

Los motores de combustión interna, los compresores tipo pistón, las bombas, las máquinas de vapor, etc., producen fuerzas inerciales. El mecanismo de biela-manivela simple convierte el movimiento reciprocante a un movimiento de rotación, y viceversa. En la figura N° 1.11 se muestra un mecanismo biela-manivela simple o mecanismo de un solo cilindro. Se compone de un pistón (embolo) que se mueve dentro de un cilindro, de una manivela de longitud  $r$  que rota alrededor de un punto O y de una biela de longitud  $l$ , esta biela está unido al pistón en el punto P (conocido como "pie de biela") y está unido a la manivela en el punto C (conocido como "cabeza de biela"). Se asume que la manivela rota en sentido anti horario a una velocidad angular constante  $\omega_m$  y en que la variable  $t$  es el tiempo.

La cabeza de biela en el punto C sigue una trayectoria circular, mientras que el pie de biela en el punto P oscila a lo largo de una trayectoria lineal. Los puntos sobre la biela entre los puntos C y P siguen una trayectoria elíptica. El artículo 3.2.3.1 del manual del ACI 351.3R-04, permite designar a la masa de movimiento reciprocante  $m_{rec}$  a una parte de la masa de la biela (normalmente 1/3 de la masa de la biela) más la masa del pistón y se idealiza esta masa concentrándola en el punto P. Se designa a la masa de movimiento rotatorio  $m_{rot}$  a la masa que se mueve con la manivela más el resto de la masa de la biela y se idealiza esta masa concentrándola en el punto C. La manera de construir modelos simples de masa concentrada de sistemas complejos permite que estos sean analizados dinámicamente en forma fácil, en este caso tiene poco sentido dedicar mucho tiempo a análisis complejos. Es mejor, para el diseño de los ingenieros mecánicos, obtener una respuesta razonablemente aproximada y rápida que permita determinar si el concepto debe replantearse, en vez de ocupar mucho tiempo en llegar a la misma conclusión con cifras decimales.

Como no se cuenta con los datos sobre la forma precisa de la biela, se puede obtener información sobre las fuerzas dinámicas con la regla empírica al colocar dos tercios de la masa de la biela en el extremo que limita con la manivela y un tercio de la masa de la biela en el extremo que limita con el pistón (ACI 351.3R-04 art. 3.2.3.), estas masas puntuales concentradas se

supone que están conectadas con una barra sin masa pero rígida. Este modelo aproximado es adecuado para los cálculos de diseño iniciales que los ingenieros mecánicos hacen para obtener una geometría viable de la biela, donde la pieza mecánica cumpla con los tres requerimientos de la equivalencia dinámica: a) La masa del modelo debe ser igual a la del modelo del cuerpo original, b) el centro de gravedad debe estar en el mismo lugar que el cuerpo original, y c) el momento de inercia de masa debe ser igual al del cuerpo original.

Como la manivela se analiza para una velocidad angular constante (estado estable), donde la pieza mecánica debe cumplir con los dos requerimientos de la equivalencia estática: a) La masa del modelo debe ser igual a la del modelo del cuerpo original, y b) el centro de gravedad debe estar en el mismo lugar que el cuerpo original. Por lo que el momento de inercia de masa del modelo no necesariamente debe ser igual al del cuerpo original. El centro de gravedad de la manivela está desplazado cerca a su límite con la biela, debido a esto es que en el cálculo de las fuerzas inerciales, el artículo 3.2.3.1 del manual del ACI 351.3R-04, permite concentrar la masa de la manivela en su extremo que limita con la biela. En algunas máquinas se contrabalancea o se coloca un contrapeso en la manivela de tal modo que el centro de gravedad de la manivela se desplaza hasta el punto O y así se evita que la masa de la manivela se sume o se concentre en el punto C, consiguiendo con esto bajar la magnitud de las fuerzas inerciales de la máquina.

**Aceleración del Pistón:** Si consideramos el punto Q como el origen de las coordenadas locales X' Y' y lo ubicamos en la posición superior más extrema del pistón, entonces podemos expresar el desplazamiento del pistón en el punto P como:

$$Z'_p = r + l - r \cos w_m t - l \cos \phi = r + l - r \cos w_m t - l \sqrt{1 - \text{sen}^2 \phi} \dots (1.2)$$

Pero

$$l \text{sen} \phi = r \text{sen} w_m t \dots (1.3)$$

Y por lo tanto

$$\cos\phi = \left(1 - \frac{r^2}{l^2} \operatorname{sen}^2 w_m t\right)^{1/2} \dots(1.4)$$

Mediante la sustitución de la ecuación 1.4 en la ecuación 1.2, obtenemos.

$$Z'_p = r + l - r \cos w_m t - l \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \operatorname{sen}^2 w_m t} \dots(1.5)$$

Debido a la presencia del término que implica la raíz cuadrada, la ecuación 1.5 no es muy conveniente para un cálculo adicional, por lo que la ecuación 1.5 puede simplificarse observando que en general  $r/l < 1/4$  y usando la relación de expansión de la serie binomial de Taylor.

$$\sqrt{1 - \varepsilon} \approx 1 - \frac{\varepsilon}{2} \dots(1.6)$$

Por lo tanto la ecuación (1.5) puede aproximarse a:

$$Z'_p \approx r(1 - \cos w_m t) + \frac{r^2}{2l} \operatorname{sen}^2 w_m t \dots(1.7)$$

O de manera equivalente:

$$Z'_p \approx r\left(1 + \frac{r}{2l}\right) - r\left(\cos w_m t + \frac{r}{4l} \cos 2w_m t\right) \dots(1.8)$$

La ecuación 1.8 puede derivarse con respecto al tiempo para obtener expresiones para la velocidad y la aceleración del pistón.

$$\dot{Z}'_p = r w_m \left( \operatorname{sen} w_m t + \frac{r}{2l} \operatorname{sen} 2w_m t \right) \dots(1.9)$$

$$\ddot{Z}'_p = r w_m^2 \left( \cos w_m t + \frac{r}{l} \cos 2w_m t \right) \dots(1.10)$$

**Aceleración de la manivela en el punto C:** Con respecto a los ejes de coordenadas locales X'Z' que se muestran en la figura N° 1.11, los desplazamientos vertical y horizontal de la manivela en el punto C están dados por:

$$Z'_C = l + r - r \cos w_m t \dots(1.11)$$

$$X'_C = r \operatorname{sen} w_m t \dots (1.12)$$

La derivada de las ecuaciones 1.11 y 1.12 con respecto al tiempo, da los componentes de la velocidad y la aceleración de la manivela en el punto C como sigue:

$$\dot{X}_C = r w_m \operatorname{sen} w_m t \dots (1.13)$$

$$\dot{X}'_C = r w_m \cos w_m t \dots (1.14)$$

$$\ddot{X}_C = r w_m^2 \cos w_m t \dots (1.15)$$

$$\ddot{X}'_C = -r w_m^2 \operatorname{sen} w_m t \dots (1.16)$$

**Componentes locales de la Fuerza inercial:** Se tienen obtienen las componentes locales vertical y horizontal de la fuerza inercial de la siguiente manera:

La componente local vertical de la fuerza inercial  $p_{z'}$  (que actúa a lo largo de la dirección del pistón) está dado por:

$$p_{z'} = m_{rec} \ddot{X}_P + m_{rot} \ddot{X}'_C \dots (1.17)$$

Sustituyendo las Ecuaciones 1.10 y 1.15 de las aceleraciones de P y C en la ecuación 1.17 esta se convierte en:

$$p_{z'} = (m_{rec} + m_{rot}) r w_m^2 \cos w_m t + m_{rec} \frac{r^2 w_m^2}{l} \cos 2 w_m t \dots (1.18)$$

Se puede observar que la componente local vertical de la fuerza inercial (Ecuación 1.18) consta de dos partes, una parte conocida como una componente primaria que es igual a la frecuencia de rotación de la manivela ( $w_m$ ) y la otra parte, conocida como componente secundaria que es igual al doble de la frecuencia de rotación de la manivela ( $2w_m$ ).

De manera similar, la componente local horizontal de la fuerza inercial  $p_{x'}$  (que actúa perpendicular a la dirección del pistón) puede obtenerse como:

$$p_{x'} = m_{rec} \ddot{x}_p + m_{rot} \ddot{x}_c \dots (1.19)$$

Donde  $\ddot{x}_p = 0$  y  $\ddot{x}_c$  está dada por la ecuación 1.16, entonces:

$$p_{x'} = -m_{rot} r w_m^2 \text{sen} w_m t \dots (1.20)$$

Se puede observar que la componente local horizontal de la fuerza inercial solo tiene una parte primaria.

La masa  $m_{rec}$  siempre es positiva, pero la masa  $m_{rot}$  se puede hacer cero contrabalanceando la manivela. Por tanto, es posible reducir la componente local horizontal de fuerza inercial  $p_{x'}$  a cero, pero la componente local vertical de la fuerza inercial  $p_{z'}$  siempre existe. Así, un mecanismo reciprocante de un cilindro es inherentemente desbalanceado.

### 1.6.2 Cargas dinámicas inducidas en mecanismos de biela-manivela múltiple.

En mecanismos reciprocantes de varios cilindros, es posible disponer los cilindros en una manera tal que las fuerzas de desbalance se reducen al mínimo.

Para una máquina particular, las fuerzas inerciales de desbalance primarias y secundarias son suministradas por el fabricante de la máquina. Alternativamente, el diseñador debe contar con todos los datos (por ejemplo, pesos y medidas de las piezas reciprocantes y rotatorias) necesarios para su cálculo. Para una maquinaria de varios cilindros que tiene los cilindros paralelos, las fuerzas inducidas vienen dadas por las siguientes expresiones:

Las componentes locales verticales de las fuerzas inerciales  $(P_{z'})_n$ , se pueden escribir como:

$$(P_{z'})_n = (m_{rec,n} + m_{rot,n}) r_n w_m^2 \cos(w_m t + \beta_n) + m_{rec,n} \frac{r_n^2 w_m^2}{l_n} \cos 2(w_m t + \beta_n) \dots (1.21)$$

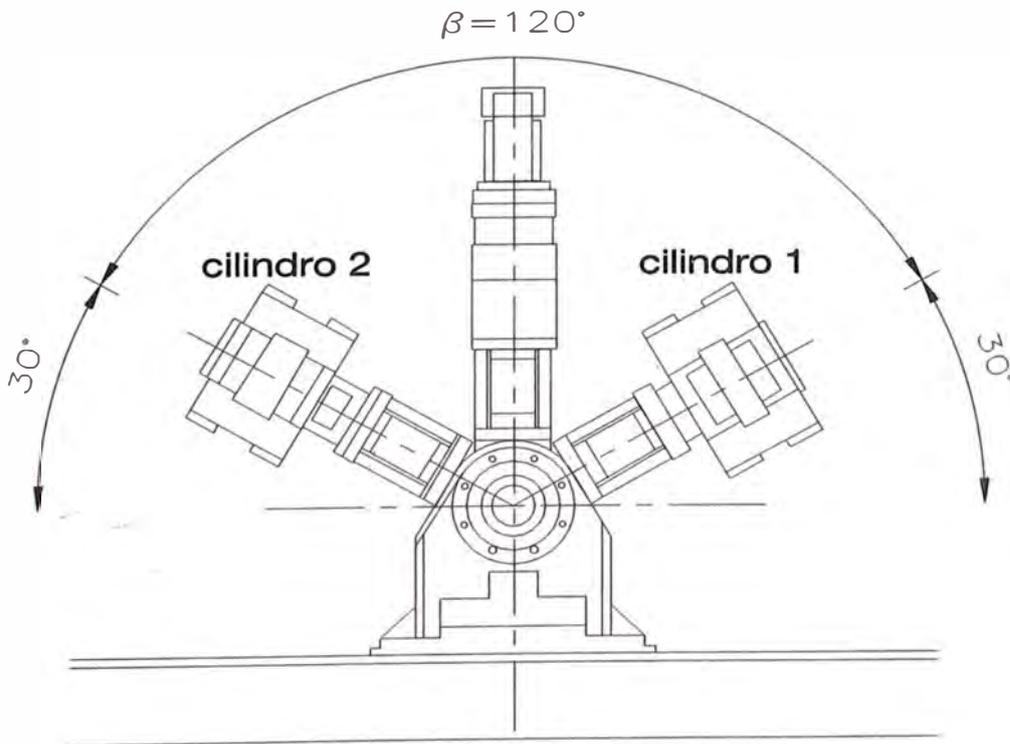
Las componentes locales horizontales de las fuerzas inerciales  $(P_x)_n$ , se pueden escribir como:

$$(P_x)_n = -m_{rot,n} r_n w_m^2 \text{sen}(w_m t + \beta_n) \dots (1.22)$$

Donde  $t$  es la variable del tiempo,  $r_n$  es el radio de la manivela del  $n$ -ésimo cilindro,  $l_n$  es la longitud de la biela del  $n$ -ésimo cilindro,  $w_m$  es la velocidad angular de rotación,  $m_{rec,n}$  y  $m_{rot,n}$  son las masas respectivas de movimiento recíprocante y movimiento rotatorio del  $n$ -ésimo cilindro,  $\beta_n$  es el ángulo de fase (ángulo entre la manivela del  $n$ -ésimo cilindro y la primera manivela) y  $n$  es el número de cilindros de la maquinaria.

**1.6.3 Cargas dinámicas inducidas en el mecanismo biela-manivela doble del compresor TWIN IMW.**

El compresor recíprocante TWIN IMW, tiene dos unidades de compresión de gas natural vehicular (gnv), cada unidad se compone dos cilindros, la distribución de los cilindros de cada unidad es como se indica la figura N° 1.12.



**Figura N° 1.12.- Distribución de los cilindros del compresor TWIN IMW en elevación**

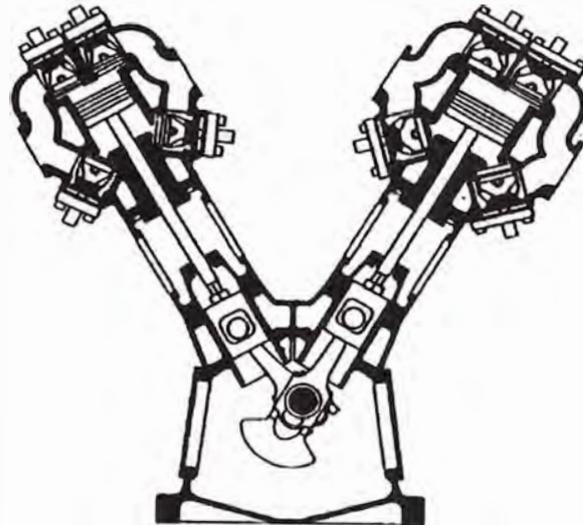


Figura N° 1.13.- Vista en elevación del interior de un mecanismo biela-manivela doble

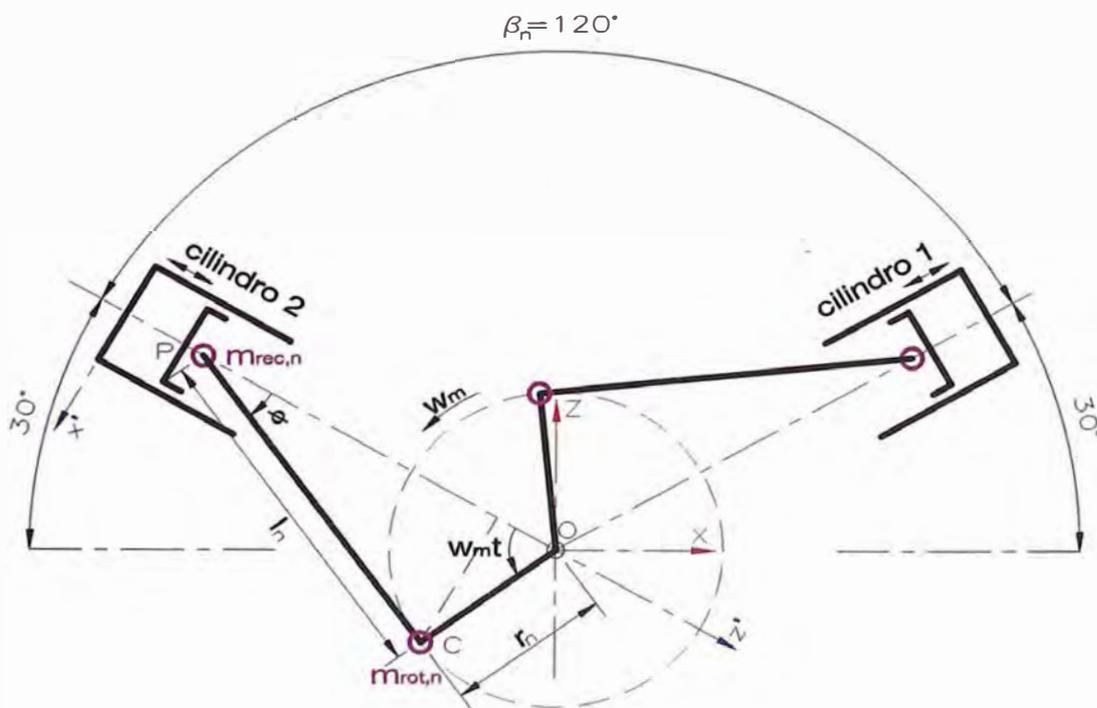


Figura N° 1.14.- Modelo de mecanismo biela-manivela doble

#### Datos del compresor recíprocante de gnv TWIN IMW:

El mecanismo es de dos cilindros,  $n=2$ .

Tiempo en segundos,  $t$ .

Radios de la manivela,  $r_n : r_1 = r_2 = 0.07m$

Longitudes de la biela,  $l_n : l_1 = l_2 = 0.29m$

Frecuencia de operación de la máquina,  $w_m = 915 r.p.m. \Leftrightarrow 95.82 rad/s$

Ángulos de desfase de los cilindros respecto al cilindro 1,

$$\beta_n : \beta_1 = 0^\circ \Leftrightarrow 0.0 rad, \beta_2 = 120^\circ \Leftrightarrow 2.09 rad$$

Masas de movimiento recíprocante,  $m_{rec,n} : m_{rec,1} = m_{rec,2} = 2.11 kg - s^2 / m$

Masas de movimiento rotacional,  $m_{rot,n} : m_{rot,1} = m_{rot,2} = 1.56 kg - s^2 / m$

Entonces la componente local vertical de la fuerza inercial del primer cilindro, está dado por el reemplazo de los datos en la ecuación 1.21, obteniéndose:

$$(P_z')_1 = (m_{rec,1} + m_{rot,1})r_1 w_m^2 \cos(w_m t + \beta_1) + m_{rec,1} \frac{r_1^2 w_m^2}{l_1} \cos 2(w_m t + \beta_1)$$

$$(P_z')_1 = 2358.65 \cos(95.82t) + 327.33 \cos(191.64t)$$

De la misma manera la componente local horizontal de la fuerza inercial del primer cilindro, se obtiene reemplazando los datos en la ecuación 1.22:

$$(P_x')_1 = -m_{rot,1} r_1 w_m^2 \text{sen}(w_m t + \beta_1)$$

$$(P_x')_1 = -1002.59 \text{sen}(95.82t)$$

También la componente local vertical de la fuerza inercial del segundo cilindro se obtiene reemplazando los datos en la ecuación 1.21:

$$(P_z')_2 = (m_{rec,2} + m_{rot,2})r_2 w_m^2 \cos(w_m t + \beta_2) + m_{rec,2} \frac{r_2^2 w_m^2}{l_2} \cos 2(w_m t + \beta_2)$$

$$(P_z')_2 = 2358.65 \cos(95.82t + 2.09) + 327.33 \cos(191.64t + 4.19)$$

Y la Componente local horizontal de la fuerza inercial del segundo cilindro, se obtiene reemplazando los datos en la ecuación 1.22:

$$(P_x')_2 = -m_{rot,2} r_2 w_m^2 \text{sen}(w_m t + \beta_2)$$

$$(P_x')_2 = -1002.59 \text{sen}(95.82t + 2.09)$$

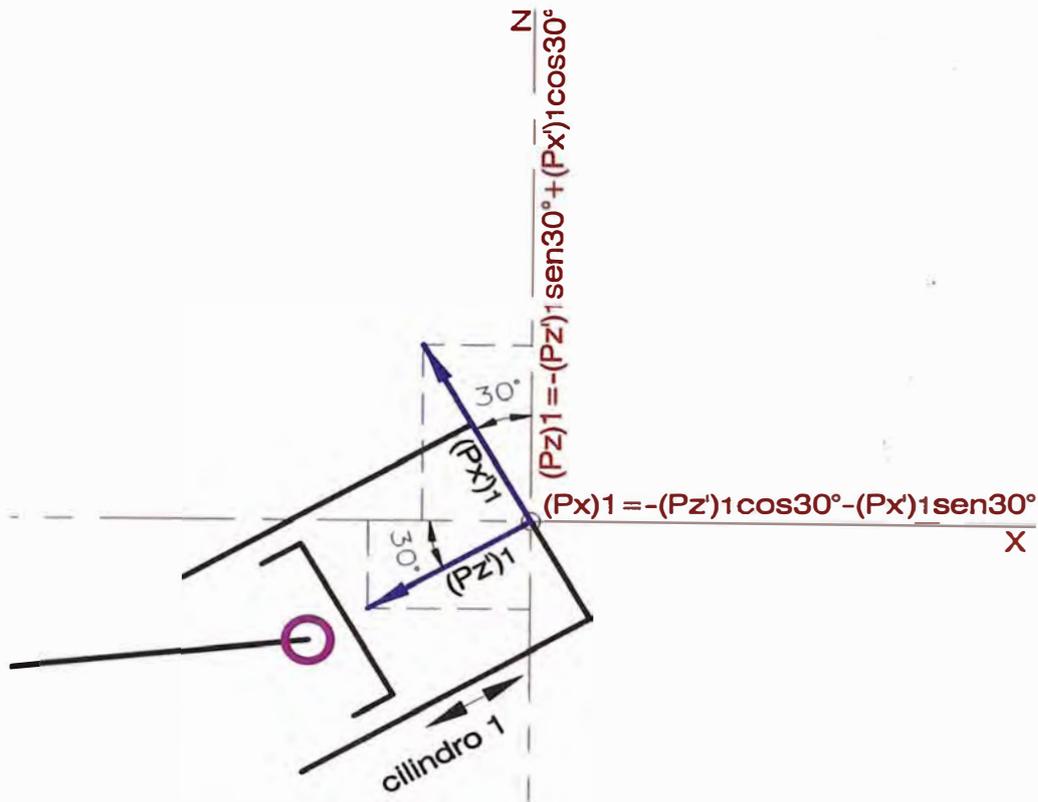


Figura N° 1.15.- Proyección de las componentes locales de las fuerzas inerciales del primer cilindro a los ejes globales XZ

Siguiendo el diagrama de la figura N° 1.15, se obtiene la proyección al eje global Z de las componentes locales de las Fuerzas inerciales del primer cilindro:

$$(P_z)_1 = -(P_z)_1 \text{sen}(30^\circ) + (P_x)_1 \text{cos}30^\circ$$

Reemplazando los datos:

$$(P_z)_1 = -1179.33 \text{cos}(95.82t) - 163.66 \text{cos}(191.64t) - 868.27 \text{sen}(95.82t)$$

Siguiendo el diagrama de la figura N° 1.15, se obtiene la proyección al eje global X de las componentes locales de las Fuerzas inerciales del primer cilindro:

$$(P_x)_1 = -(P_z)_1 \text{cos}(30^\circ) - (P_x)_1 \text{sen}30^\circ$$

Reemplazando los datos:

$$(P_x)_1 = -2042.65 \text{cos}(95.82t) - 283.47 \text{cos}(191.64t) + 501.29 \text{sen}(95.82t)$$

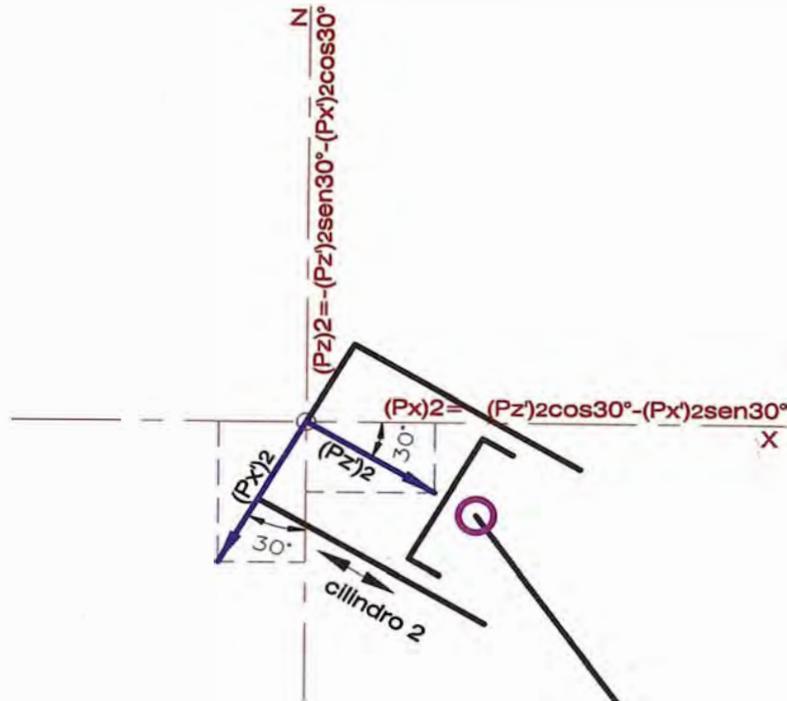


Figura N° 1.16.- Proyección de las componentes locales de las fuerzas inerciales del segundo cilindro a los ejes globales XZ

Siguiendo el diagrama de la figura N° 1.16, se obtiene la proyección al eje global Z de las componentes locales de las fuerzas inerciales del segundo cilindro:

$$(P_z)_2 = -(P_{z'})_2 \text{sen}(30^\circ) - (P_{x'})_2 \text{cos}30^\circ$$

Reemplazando los datos:

$$(P_z)_2 = -1179.33 \text{cos}(95.82t + 2.09) - 163.66 \text{cos}(191.64t + 4.19) + 868.27 \text{sen}(95.82t + 2.09)$$

Siguiendo el diagrama de la figura N° 1.16, se obtiene la proyección al eje global X de las componentes locales de las Fuerzas inerciales del segundo cilindro:

$$(P_x)_2 = (P_{z'})_2 \text{cos}(30^\circ) - (P_{x'})_2 \text{sen}30^\circ$$

Reemplazando los datos:

$$(P_x)_2 = 2042.65 \text{cos}(95.82t + 2.09) + 283.47 \text{cos}(191.64t + 4.19) + 501.29 \text{sen}(95.82t + 2.09)$$

Ahora podemos obtener en el eje global Z la fuerza inercial producida por los dos cilindros con la siguiente expresión:

$$P_z = (P_z)_1 + (P_z)_2$$

Reemplazando los datos:

$$P_z = 162.28 \cos(95.82t) - 81.83 \cos(191.64t) \\ - 281.07 \sin(95.82t) - 141.74 \sin(191.64t)$$

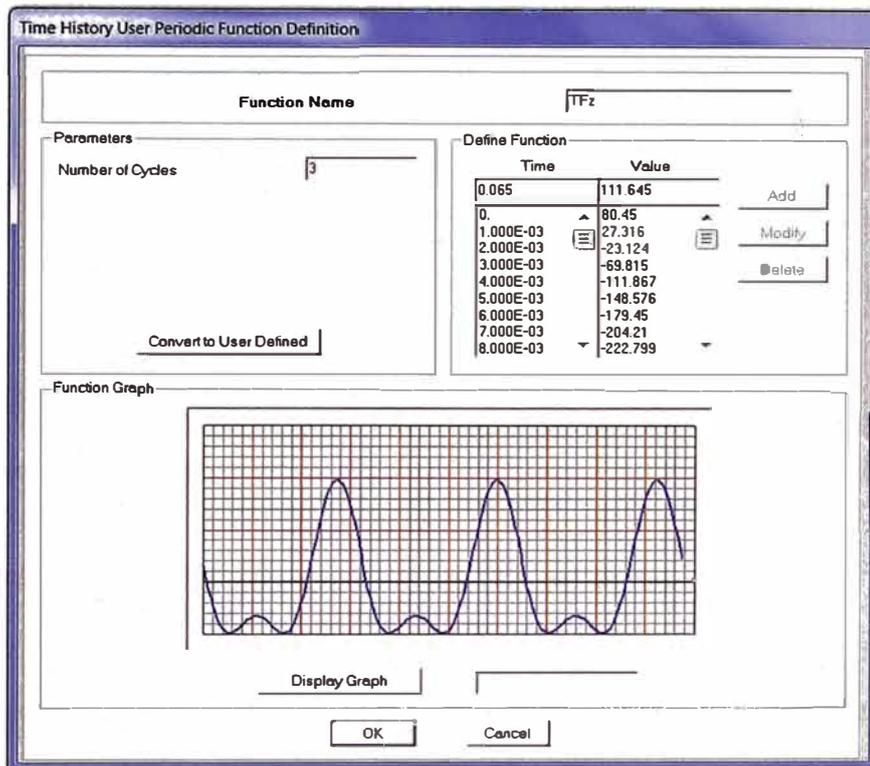


Figura N° 1.17.- Variación en el tiempo de la fuerza inercial en el eje global Z

Las Fuerzas inerciales máximas y mínimas en el eje global Z producida por los dos cilindros son:  $P_{Zmáx} = 487.65kg$  y  $P_{Zmín} = -244.08kg$ , respectivamente. Su periodo es de  $T_z = 0.06557s$  y tiene una frecuencia de  $\Omega = 915$  r.p.m.

También podemos obtener en el eje global X la fuerza inercial producida por los dos cilindros con la siguiente expresión:

$$P_x = (P_x)_1 + (P_x)_2$$

Reemplazando los datos:

$$P_x = -2629.84 \cos(95.82t) - 425.21 \cos(191.64t) \\ - 1518.34 \sin(95.82t) + 245.49 \sin(191.64t)$$

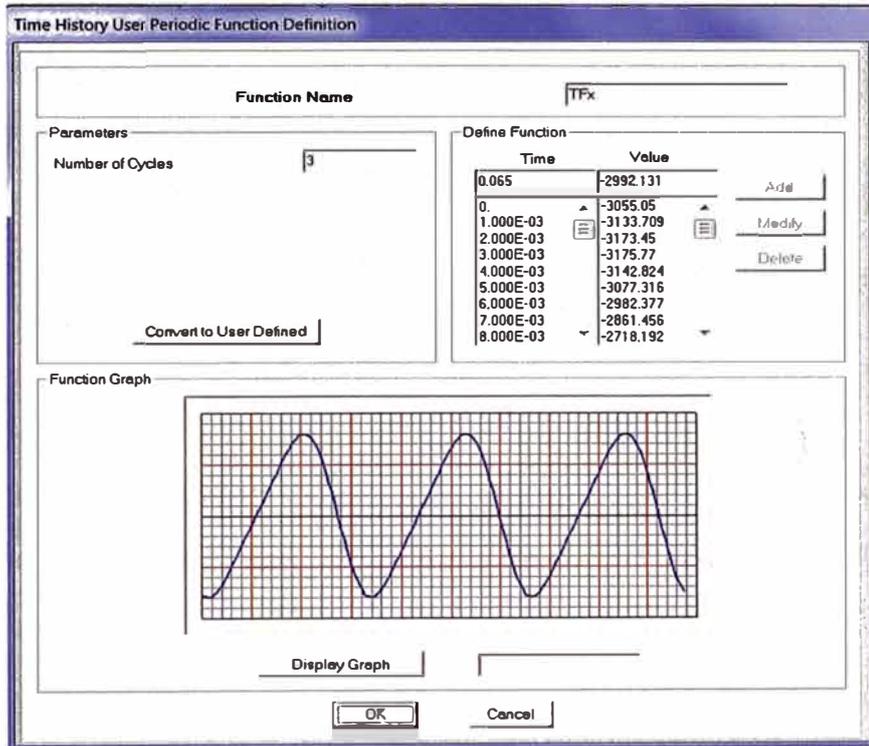


Figura N° 1.18.- Variación en el tiempo de la fuerza inercial en el eje global X

Las Fuerzas inerciales máximas y mínimas en el eje global X producida por los dos cilindros son:  $P_{x\text{máx}} = 3178.90\text{kg}$  y  $P_{x\text{mín}} = -3178.90\text{kg}$ , respectivamente. Su periodo es de  $T_x = 0.06557\text{s}$  y tiene una frecuencia de  $\Omega = 915 \text{ r.p.m.}$

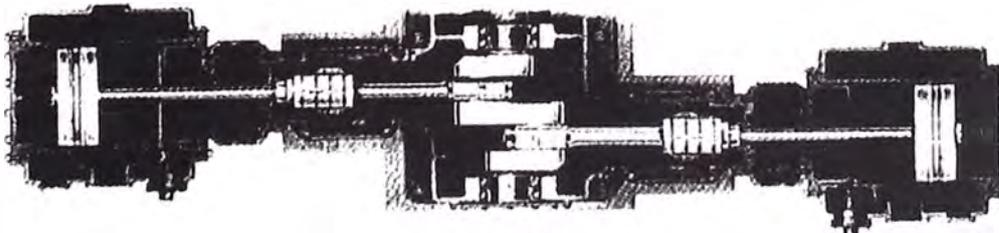


Figura N° 1.19.- Vista en planta del interior de un mecanismo biela-manivela doble

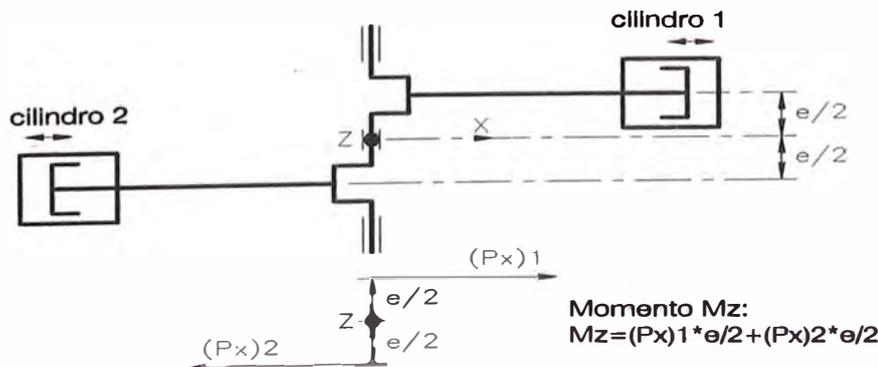


Figura N° 1.20.- Momento inercial en modelo de mecanismo biela-manivela doble

De las figuras N° 1.19 y N° 1.20, se puede observar que en la máquina se produce un momento inercial alrededor del eje global Z debido a la operación de los dos cilindros:

$$M_Z = (P_x)_1 e/2 + (P_x)_2 e/2$$

Se tiene como dato  $e/2=0.0385m$ , reemplazando los datos:

$$M_Z = -101.25 \cos(95.82t) - 16.37 \cos(191.64t) \\ - 58.46 \sin(95.82t) + 9.45 \sin(191.64t)$$

Los Momentos inerciales máximos y mínimos alrededor del eje global Z producidos por los dos cilindros son:  $M_{Zmáx} = 122.40kg - m$  y  $M_{Zmín} = -122.40kg - m$ , respectivamente. Su periodo es de  $T_{Mz} = 0.06557s$  y tiene una frecuencia de  $\Omega = 915$  r.p.m.

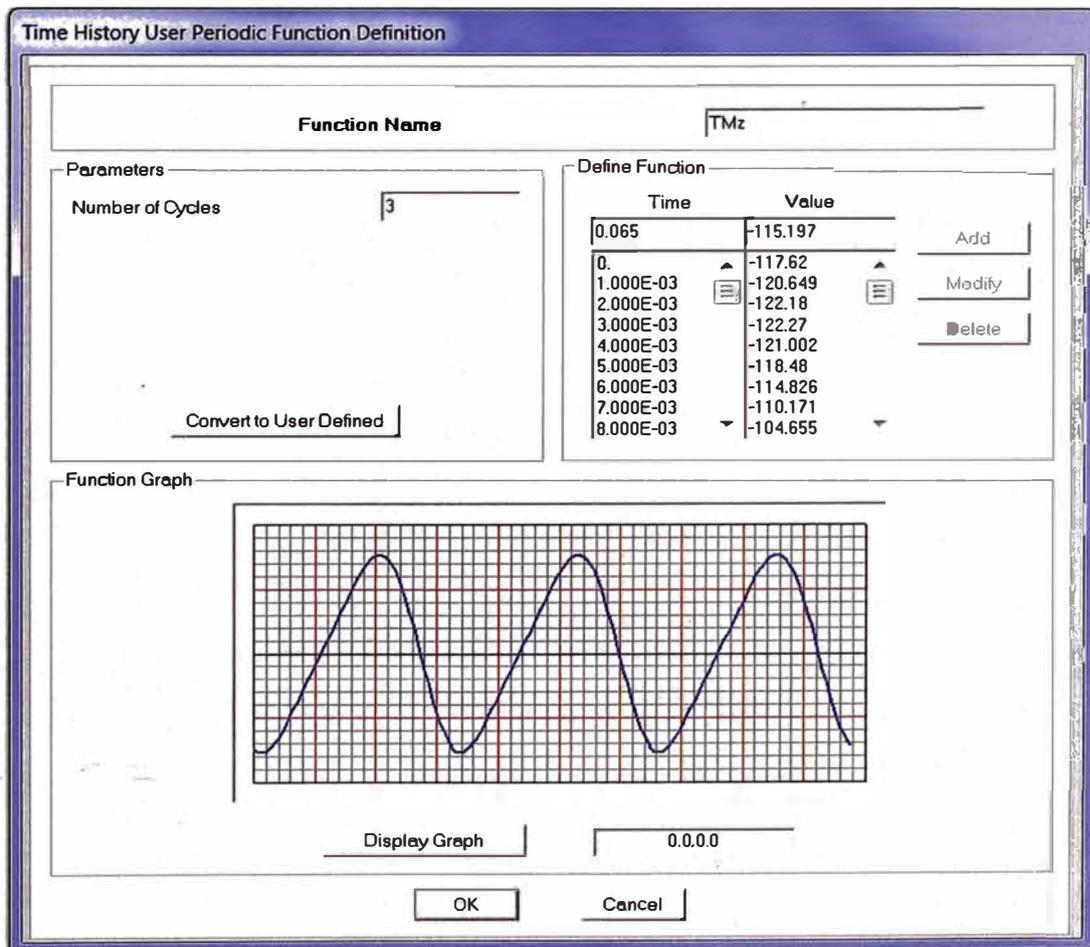


Figura N° 1.21.- Variación en el tiempo de la fuerza inercial de momento alrededor del eje global Z

#### 1.6.4 Amortiguadores antivibratorios del compresor TWIN IMW.

En las especificaciones técnicas del compresor TWIN IMW, se informa que el equipo cuenta con un sistema de amortiguamiento. Los sistemas de amortiguamiento reducen considerablemente los efectos de la vibración para que no se transmitan excesivas vibraciones a la estructura de apoyo y a los equipos adyacentes. El modelo del amortiguador antivibratorio empleado es el FADAM serie 04, modelo R.M. 604

Este amortiguador antivibratorio es especialmente diseñado para la aislación activa de máquinas rotativas con velocidades de giro superiores a los 600 r.p.m., tales como: compresores, grupos electrógenos, bombas, molinos y ventiladores, etc. La constitución del amortiguador es totalmente metálica, de base SAE 1010, de resorte de acero SAE 9260 templado y revenido. La almohadilla interior resiliente es de acero inoxidable. El tratamiento superficial es totalmente epoxilico. La tapa es revestida con neopreno antivibratorio de 3mm de espesor.

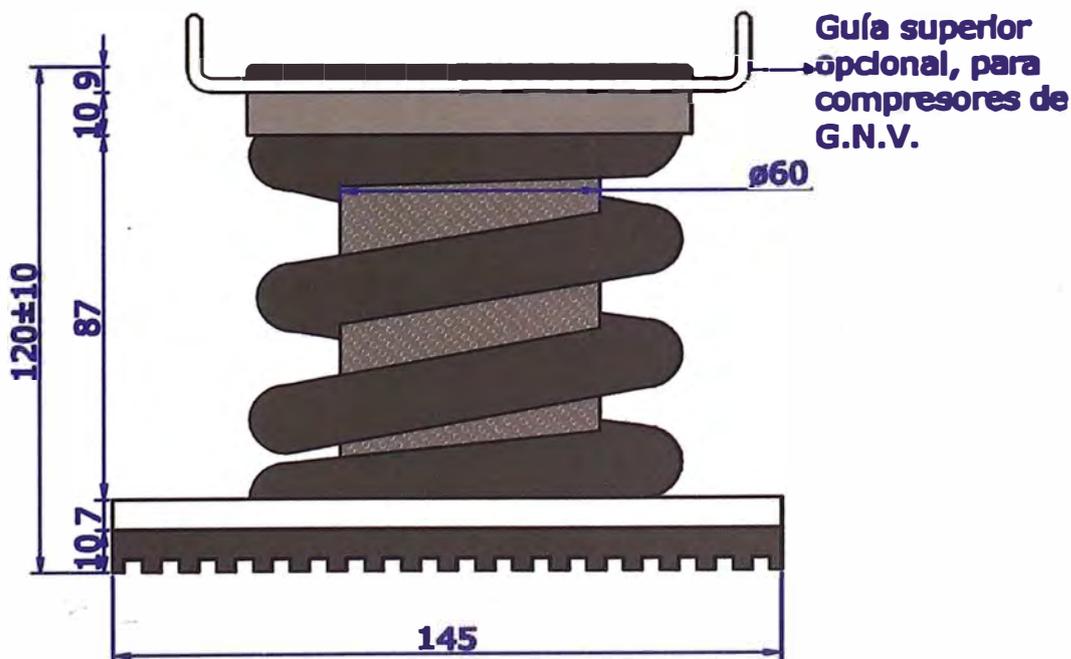


Figura N° 1.22.- Amortiguador FADAM, serie 04, modelo R.M. 604

Características del amortiguador:

$f_r$  : Frecuencia amortiguada propia: 4 a 5 Hz en vertical.

$K_r$  : Rigidez lateral igual a rigidez vertical.

$\xi_r$  : Amortiguamiento con respecto al crítico (10% a 15%)

$A_r$  : Amplitud máxima de excitación admitida ( $\pm 1.25\text{mm}$ )

$P_r$  : Carga (520kg – 650kg)

Masa que carga el amortiguador:

$$m_r = \frac{P_r}{g} = \frac{650\text{kg}}{9.81\text{m/s}^2} = 66.26 \frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

Frecuencia amortiguada del amortiguador:

$$w_d = 2\pi f_r = 2\pi(5) \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Rigidez del amortiguador:

De la expresión  $w_d = \sqrt{\frac{K_r}{m_r}(1 - \xi_r^2)}$  despejamos el valor de  $K_r$

$$K_r = \frac{w_d^2 m_r}{1 - \xi_r^2} = \frac{(10\pi)^2 66.26 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{1 - 0.15^2} = 66901.28 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Coefficiente de amortiguamiento del amortiguador:

$$C_r = 2\xi_r \sqrt{K_r m_r} = 2 \times 0.15 \times \sqrt{66901.28 \times 66.26} = 631.63 \frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

Podemos observar que los amortiguadores antivibratorios instalados en la base del compresor TWIN IMW, le proporcionan un amortiguamiento del tipo subamortiguado debido a que  $\xi_r < 1$ , esto hace que la amplitud de la vibración disminuya con el tiempo en periodos iguales, hasta que el movimiento cese; pero esto no ocurrirá hasta que la fuerza de restitución que provocan las fuerzas inerciales de los mecanismos de doble manivela, instalados en la máquina, dejen de operar.

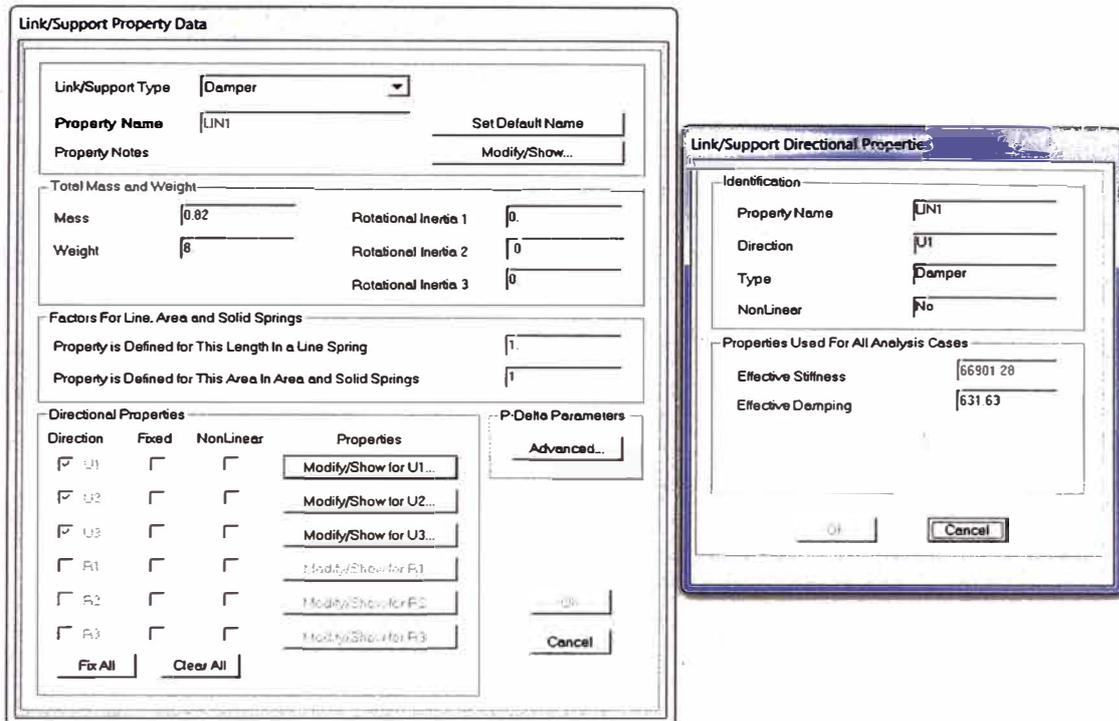


Figura N° 1.23.- Datos de rigidez y amortiguamiento del amortiguador administrados al programa SAP2000 (kg, m)

## 1.7 CARGAS ESPECIALES, CARGAS VIVAS, CARGAS MUERTAS Y CARGAS DE SISMO

Las cargas involucradas en el diseño de la edificación son: las cargas especiales del compresor TWIN IMW, las cargas muertas, las cargas vivas y las cargas de sismo. Entendiéndose por las cargas especiales del compresor TWIN IMW a los pesos de las diferentes partes de la maquinaria y también a las fuerzas inerciales de los dos mecanismos biela-manivela doble incorporados dentro del compresor. Las cargas muertas son todas aquellas que son permanentes como son el peso de los materiales, tabiques y similares. Las cargas vivas son aquellas que tienen carácter de eventuales como son los ocupantes, los muebles y el almacenaje.

### 1.7.1 Cargas especiales del compresor TWIN IMW

A continuación se da la relación de los pesos y masas de las diferentes componentes del compresor recíprocante de gnv TWIN IMW, tomadas del plano M-01 del anexo A.3.

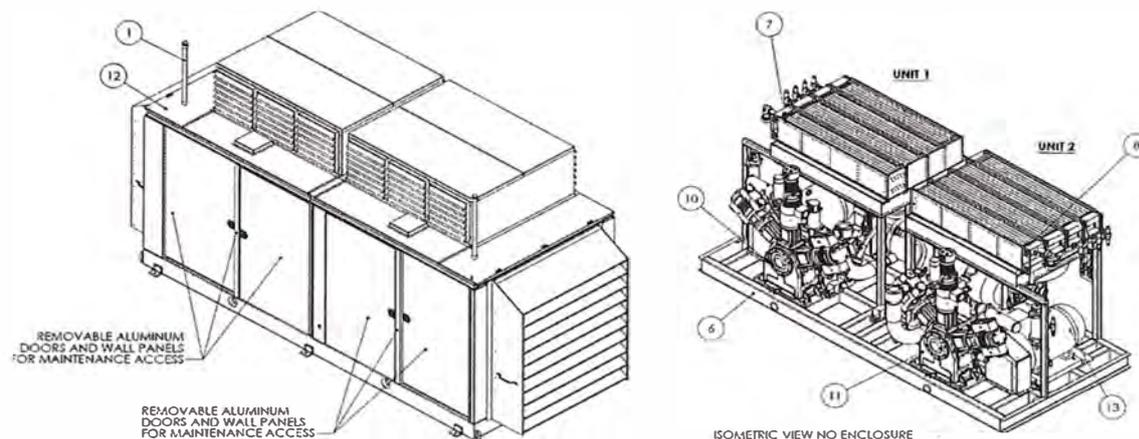


Figura N° 1.24.- Vista isométrica del compresor TWIN IMW

Tabla N°1.1.-Pesos y masas de las componentes del compresor TWIN IMW

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	PESO (lb)	PESO (kg)	MASA (kg-s2/m)
1	2	VENT ASSEMBLY-IMW & ALPHA3	4.2	1.91	0.194
2	1	BELT GUARD SINGLE DRIVE IMW50-44XT	35.4	16.06	1.63
3	1	BELT GUARD SINGLE DRIVE IMW50-44XT	35.4	16.06	1.63
4	1	DIVERTER PANEL SINGLE LINE MEDIUM FLOW	71.4	32.38	3.3
5	1	CONTROL PANEL C1D1			
6	1	SKID ASM TWO IMW50 84 IN WIDE	2450.3	1111.44	113.3
7	1	COOLER SUBASSEMBLY 4STG TWIN U1	2669.0	1210.64	123.41
8	1	COOLER SUBASSEMBLY 4STG TWIN U2	2680.6	1215.9	123.94
9	1	REC TANK SUBASM HORIZ 130GAL 400 PSI_TWIN	1015.8	460.76	46.97
10	1	CBA SUB 72D-40D-32C15H-AC-C	3052.7	1384.68	141.15
11	1	CBA SUB 72D-40D-32C15H-AC-C	3053.0	1384.82	141.16
12	1	ENCLOSURE ASM 90IN TWIN IMW50 AC MIRROW	3854.1	1748.19	178.2
13	2	MOTOR 447T & SLIDE BASE	2275.0	1031.92	105.2
<b>TOTAL</b>			<b>23476.1</b>	<b>10648.59</b>	<b>1085.48</b>

Fuente: IMW Industries Ltd.

Del ítem N°6 se tiene que la carcasa de la base del compresor IMW pesa 1111.44 kg que al distribuirlo en toda su área equivale a 97 kg/m<sup>2</sup>. De los ítems N°1 y N°12 se tiene que la carcasa lateral del compresor IMW pesa  $2 \times 1.91 \text{kg} + 1748.19 \text{kg} = 1752.01 \text{kg}$  que al distribuirlo alrededor del perímetro de la base del compresor IMW equivale a una carga de 118kg/m (equivale a una masa distribuida de 12.03 kg-s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>). Del ítem N°9 se tiene que al peso del tanque de 130 galones de capacidad se le tiene que agregar el peso del líquido que contendrá, este peso que se agrega se aproxima como sigue: 130 galones equivale a 492.1 litros que equivale aproximadamente a 492.1kg, entonces el peso de total del tanque de 130 galones será de  $460.76 + 492.1 = 952.86 \text{kg}$  y esto equivale a una masa de 97.13 kg-s<sup>2</sup>/m. Por lo tanto, considerando los pesos adicionales, el peso total del compresor IMW se incrementará a  $10648.59 \text{kg} + 492.1 \text{kg} = 11140.7 \text{kg}$ .



Las fuerzas inerciales  $P_z$ ,  $P_x$  y  $M_z$ , halladas en el subcapítulo 1.6.3, estarán consideradas como cargas vivas y son introducidas en el programa SAP2000, como se muestra la secuencia de las figuras N° 1.27, 1.28 y 1.29:

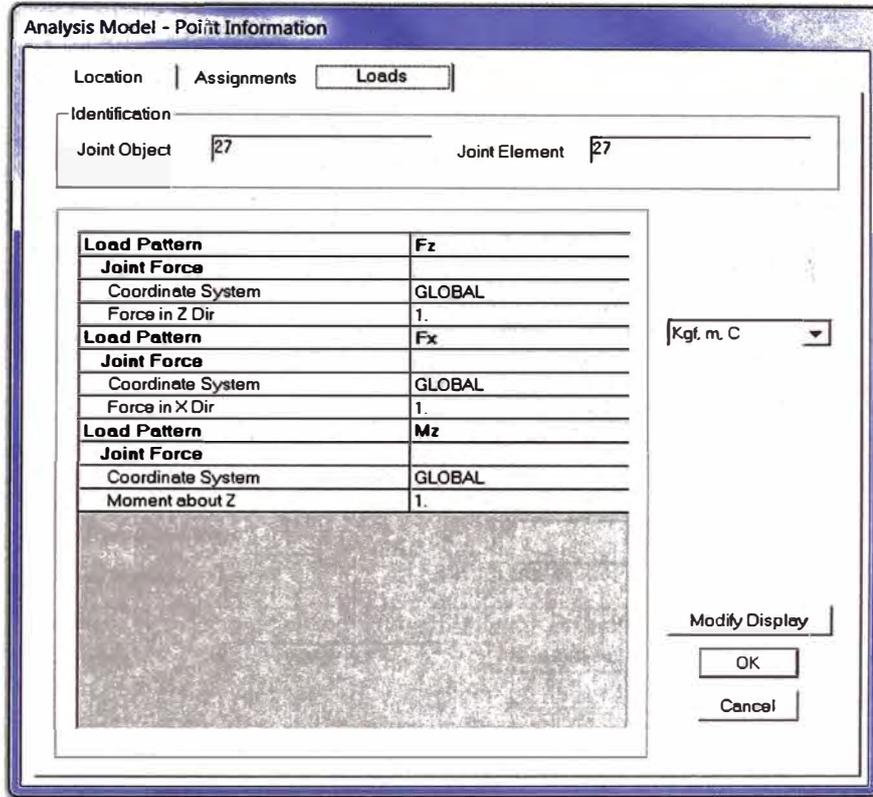


Figura N° 1.27.- Se definen las fuerzas unitarias Fx, Fz y Mz que serán factoradas por las funciones de las fuerzas inerciales según sus respectivas direcciones

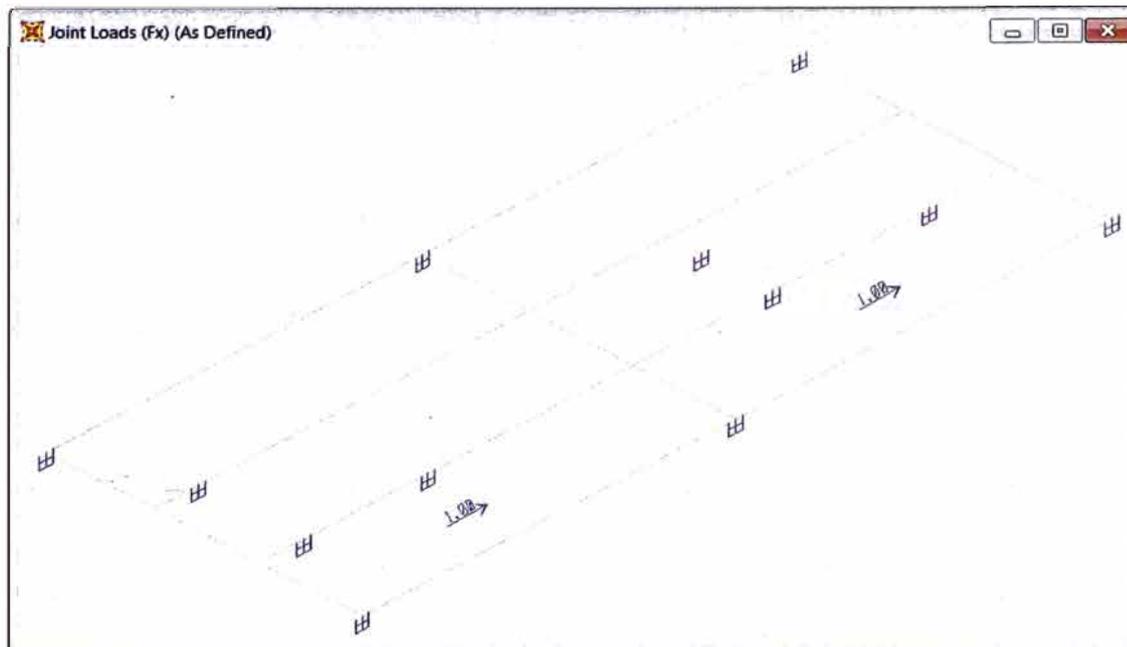


Figura N° 1.28.- Vista isométrica de la ubicación fuerza unitaria en la dirección X sobre el modelo matemático del compresor TWIN IMW.

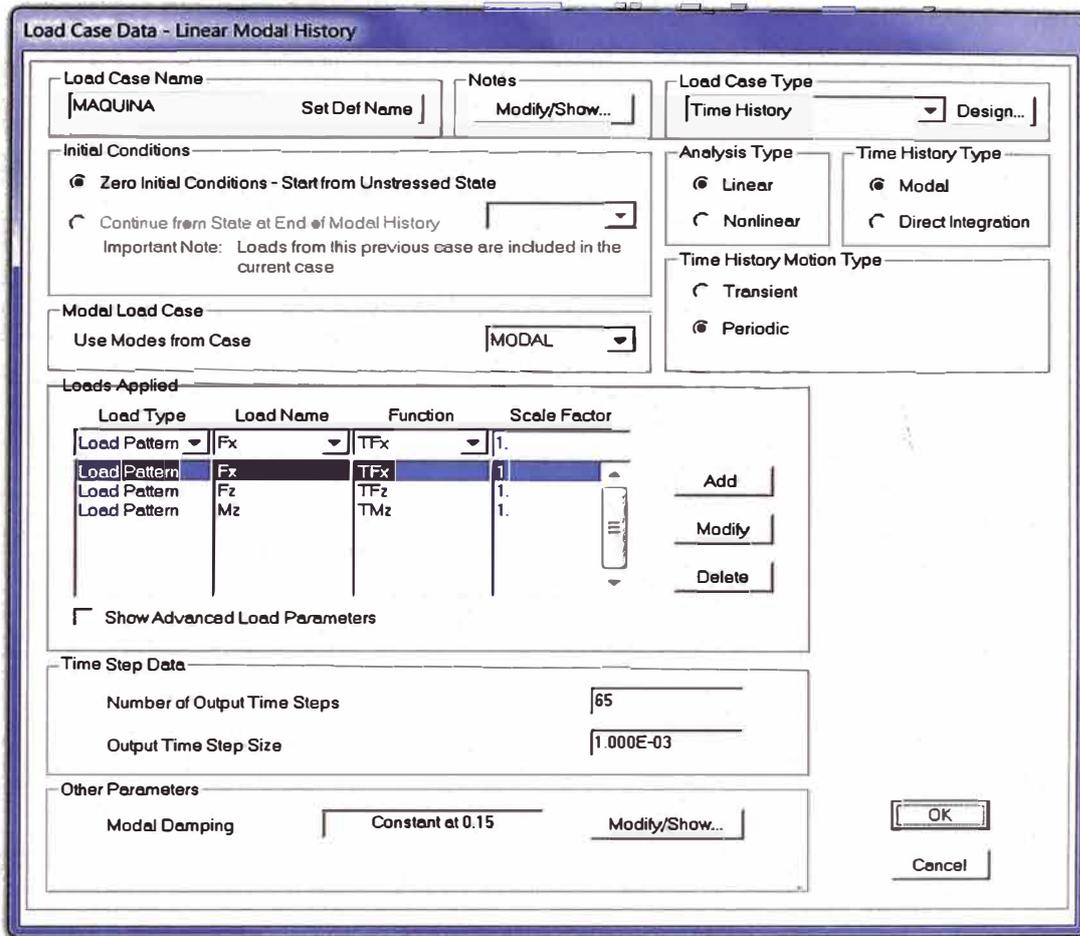


Figura N° 1.29.- Los valores de las fuerzas inerciales de la maquina compresora TWIN IMW serán analizados a través del tiempo que transcurre.

### 1.7.2 Cargas muertas

Peso propio de elementos de concreto armado: 2.40 t/m<sup>3</sup>

Peso propio de elementos de albañilería: 1.80 t/m<sup>3</sup>

Peso de los acabados: 0.12 t/m<sup>2</sup>

Peso de la losa aligerada (h=0.25m): 0.35 t/m<sup>2</sup>

El peso de los dos módulos de almacenamiento de gnv, en el segundo piso, se calcula considerando que el peso de cada cilindro metálico de almacenamiento es de 0.172 t y el peso de la estructura metálica que encapsula a los cilindros es de 0.40t, entonces la carga muerta repartido por área de cada uno de los dos módulos de almacenamiento (cada módulo comprende de 16 cilindros), es de:  $(0.172 \times 16 + 0.40) / (2.875 \times 0.785) = 1.4 \text{ t/m}^2$ .

También en el segundo nivel, la parte superior de los muros del recinto para el compresor y almacenamiento (R.C.A.) recibe la carga muerta proveniente del techo metálico que pesa  $0.10 \text{ t/m}^2$ , esta carga muerta repartida por metro lineal sobre los muros es de:  $0.10 \text{ t/m}^2 \times 3.09 \text{ m} = 0.309 \text{ t/m}$ .

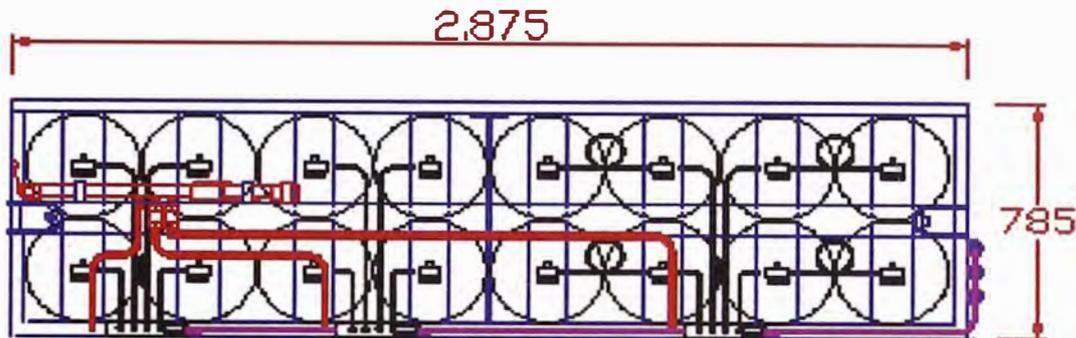


Figura N°1.30.- Vista en planta del módulo de almacenamiento de gnv

### 1.7.3 Cargas vivas

Oficinas en el sótano:  $0.25 \text{ t/m}^2$

Tienda en el primer nivel:  $0.50 \text{ t/m}^2$

En el segundo nivel, la carga almacenamiento de gnv de cada módulo se obtiene usando como dato que cada cilindro almacena  $125 \text{ l}$  de gnv comprimido por lo que el peso de esta cantidad se aproxima a un peso de  $0.125 \text{ t}$ , entonces la carga viva de almacenaje repartida por área de cada módulo es de:  $(0.125 \times 16) / (2.875 \text{ m} \times 0.785 \text{ m}) = 0.887 \text{ t/m}^2$ . Por otro lado, para el piso de tránsito libre del segundo nivel se considerará una carga viva de  $0.50 \text{ t/m}^2$ .

La parte superior de los muros del recinto para el compresor y almacenamiento (R.C.A.), recibe la carga viva proveniente del techo metálico de  $0.03 \text{ t/m}^2$ , que equivale a una carga viva repartida por metro lineal, sobre los muros de:  $0.03 \text{ t/m}^2 \times 3.09 \text{ m} = 0.093 \text{ t/m}$ .

### 1.7.4 Cargas de sismo

Se utilizó el espectro de pseudo-aceleraciones definido por el Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 "Diseño Sismorresistente" (Artículo 18.2.b).

## 1.8 COMBINACIONES DE CARGA

Para el diseño de los elementos de concreto armado se utilizan cargas factoradas, es decir, las obtenidas de la suma de las cargas actuantes en la estructura afectadas por factores de amplificación, conforme lo establece el R.N.E. E.060 "Concreto Armado". Los factores se indican en la siguiente tabla, donde se denotan: D cargas muertas, L cargas vivas, Sax y Say cargas de sismo en las direcciones X e Y respectivamente.

Tabla N°1.2.- Factores de Cargas

Combinación	D	L	Sax	Say
1	1.4	1.7	0	0
2	1.25	1.25	±1	0
3	1.25	1.25	0	±1
4	0.9	0	±1	0
5	0.9	0	0	±1

Fuente: N.T.E. E.060 CONCRETO ARMADO

## CAPITULO II: ANÁLISIS SÍSMICO Y ANÁLISIS DE RESONANCIA

El equipo TWIN IMW instalado sobre amortiguadores además de tener una masa significativa va a sufrir una amplificación de su movimiento propio debido al movimiento de la edificación ante un sismo, por lo que el equipo y la estructura serán analizados juntos para considerar sus propiedades dinámicas.

Para el análisis sísmico de la estructura, el Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 “Diseño Sismorresistente”, contempla dos formas: el análisis estático y el análisis dinámico.

En el análisis estático las solicitaciones sísmicas se presentan mediante un conjunto de fuerzas horizontales actuando en cada nivel de la estructura. Estas fuerzas en cada nivel son fracciones de la fuerza cortante en la base. Por otro lado, el análisis dinámico se realiza mediante procedimientos de combinación espectral.

El fenómeno llamado resonancia se produce cuando  $\Omega \approx \omega$ , en el cual la amplitud de las oscilaciones aumenta permanentemente, aun cuando la fuerza impulsora sea pequeña, lo que puede derivar en una respuesta muy grande de la estructura en caso de que la excitación tenga una duración suficiente. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que conforme la amplitud de las oscilaciones aumenta debido a la resonancia, el fenómeno comienza a perder su linealidad y por lo tanto cambia el periodo propio de la estructura, apartándola del fenómeno de la resonancia, pero en general, a costa de grandes daños en las estructuras.

### 2.1 PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO

A continuación se resume los parámetros considerados en el análisis dinámico de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 “Diseño Sismorresistente”, para luego determinar el espectro de diseño para la estructura:

#### 2.1.1 Parámetros de sitio

**Zonificación:** La estructura se encuentra ubicada en la ciudad de Lima, lo cual corresponde a la zona 3 y por consiguiente el factor Z es igual a 0.4.

**Condiciones locales:** Se considera la condición más desfavorable para la estructura, correspondiente al perfil de suelo tipo S3, y por consiguiente  $T_p$  es igual a 0.9 y S es igual a 1.4.

**Factor de amplificación sísmica:** De acuerdo a las condiciones establecidas anteriormente podemos definir la expresión de la amplificación sísmica como:

$$C = 2.5 \left( \frac{0.9}{T} \right); C \leq 2.5 \dots (2.1)$$

Siendo la estructura baja y rígida se tendrá para todos los modos  $T < T_p$  y por lo tanto  $C=2.5$ .

### 2.1.2 Requisitos generales.

**Categoría de la edificación:** La edificación analizada corresponde a la categoría A de edificaciones importante, porque almacena combustible; por lo tanto el factor U es igual a 1.5.

**Configuración estructural:** La edificación no presenta discontinuidades tanto horizontales como verticales, pero soporta una carga considerable de una máquina apoyada sobre amortiguadores y que genera cargas dinámicas, por lo que la estructura es calificada como irregular.

**Sistema estructural:** El sistema estructural planteado corresponde al sistema de muros de concreto armado y que presenta irregularidad torsional en planta, por lo cual le corresponde un coeficiente de reducción R igual a  $3/4 \times 6 = 4.5$ . El factor  $3/4$  es debido a la presencia de la irregularidad torsional en planta.

### 2.1.3 Espectro de diseño.

El análisis dinámico de la edificación se realizará mediante la combinación modal espectral, para lo cual se muestra el espectro de pseudo-aceleraciones usado en el análisis:

$$S_a = \left( \frac{ZUCS}{R} \right) g \dots (2.2)$$

Reemplazando los parámetros sísmicos se tiene el espectro de pseudo-aceleraciones mostrado en la figura N°2.1.

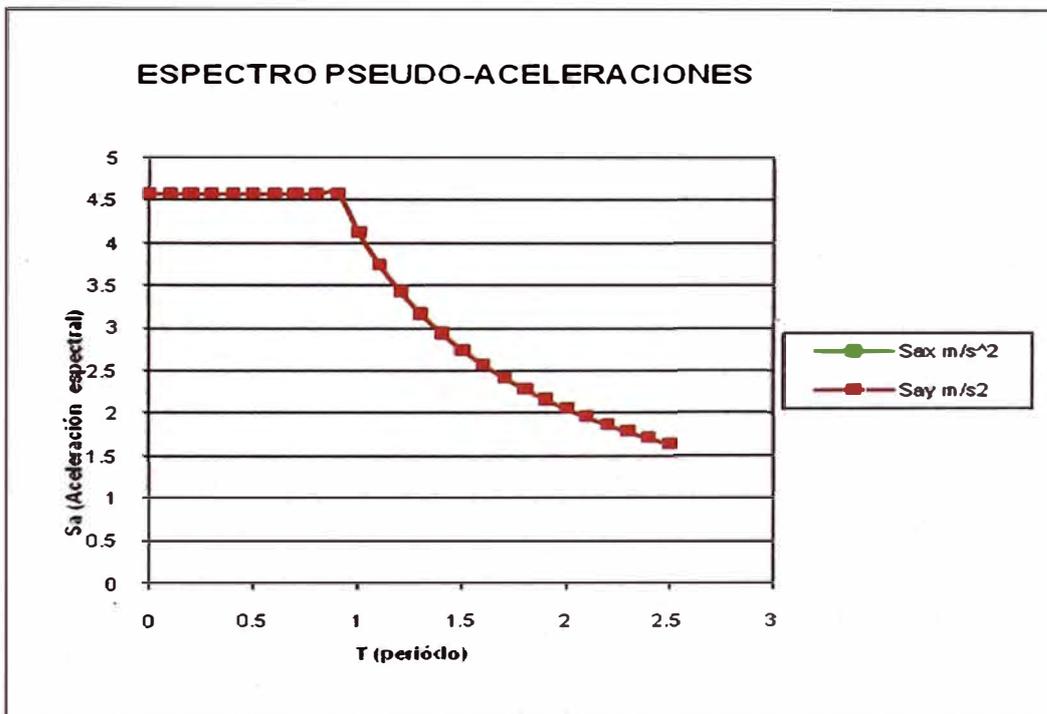


Figura N°2.1: Espectro de pseudo-aceleraciones

## 2.2 ANÁLISIS SÍSMICO Y ANALISIS DE RESONANCIA DE LA ESTRUCTURA USANDO EL PROGRAMA SAP2000.

La edificación y el compresor TWIN IMW es modelada en el programa de computo SAP2000, mediante elementos finitos, como se muestra en la figura N°2.2. El modelo de la edificación está constituido por 22 elementos barra y 2342 elementos de área. El modelo del compresor TWIN IMW está constituido

por 11 elementos barra, 12 elementos tipo amortiguadores y 119 elementos de área.

El techo metálico encima del recinto del compresor recíprocante y almacenamiento de gnv no se ha considerado como parte de la geometría del modelo matemático; pero si se ha colocado como una carga distribuida, esto permitirá determinar mejor los periodos naturales de la estructura que soporta el compresor recíprocante de gnv.

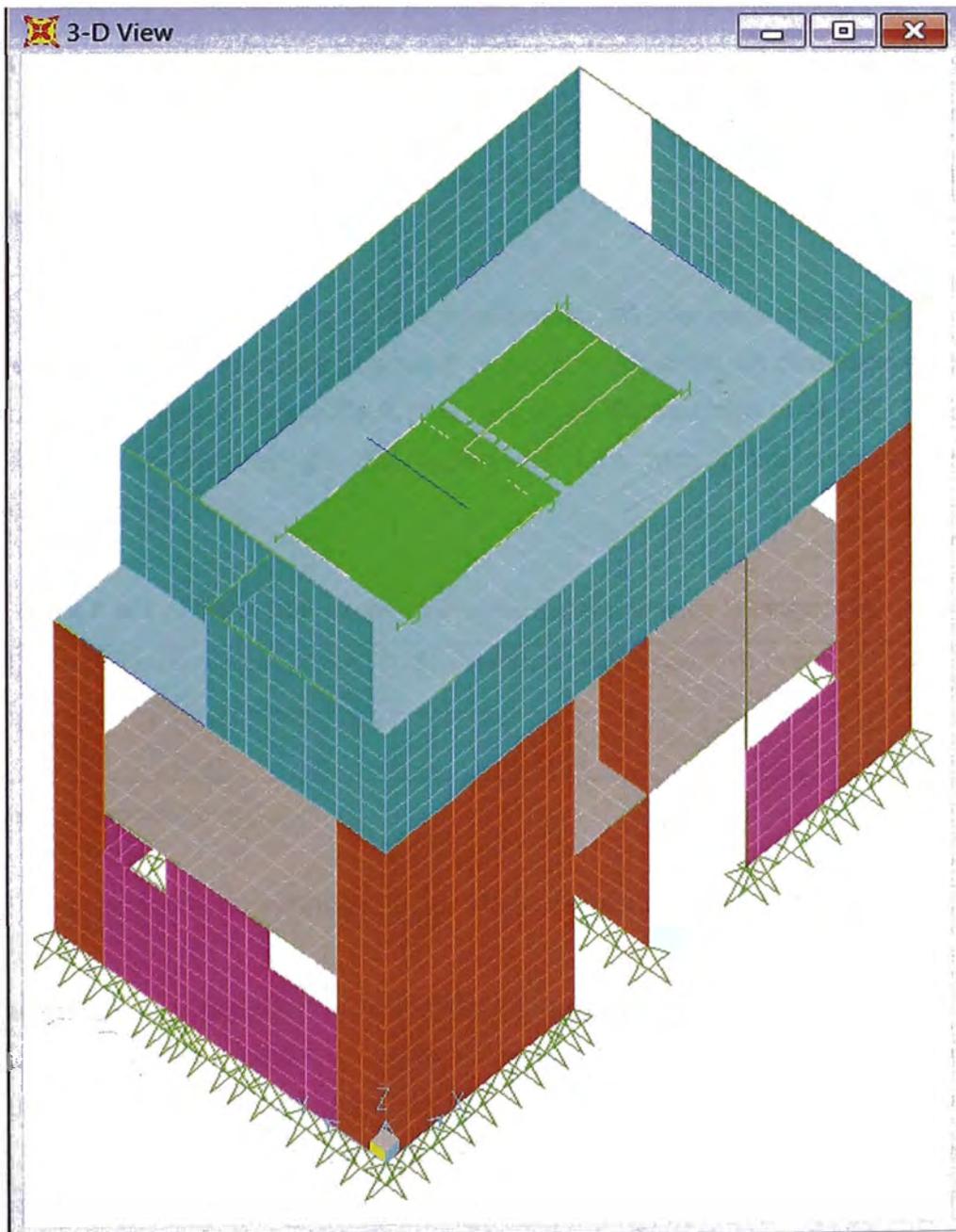


Figura N°2.2.- Modelo de la edificación con elementos finitos y con elementos barra.

### 2.2.1 Desplazamientos Laterales y distorsiones debido a acciones de sismo.

La tabla N°2.1 muestra los desplazamientos, en los ejes más alejados del centro de masas, originados por el sismo de diseño actuando en dirección global X, los cuales incluyen el factor de  $0.75 \times R$ , según lo indicado en la N.T.E. E.030. El desplazamiento máximo es del orden de 1.38 mm y las distorsiones no exceden el límite 0.7%.

**TABLA N°2.1.-Desplazamientos laterales y distorsiones de la estructura, dir. X**

Nivel	Altura (mm)	Sismo X-X( $\times 0.75R=3.375$ )		Desplazamiento Relativo (mm)		Distorsión	
		Eje 1	Eje 2	Eje 1	Eje 2	Eje 1	Eje 2
1	4025	0.6157	1.3770	0.6157	1.3770	0.0002	0.0003
2	3100	0.7719	1.3626	0.1562	-0.0144	0.0001	0.0000

Fuente.- Elaboración Propia

La tabla N°2.2 muestra los desplazamientos, en los ejes más alejados del centro de masas, originados al aplicar el sismo de diseño en dirección global Y, los cuales incluyen el factor de  $0.75R$ , según lo indicado en la N.T.E. E.030. El desplazamiento máximo es del orden de 4.74 mm y las distorsiones no exceden el límite 0.7%.

**TABLA N°2.2.-Desplazamientos laterales y distorsiones de la estructura, dir. Y**

Nivel	Altura (mm)	Sismo Y-Y( $\times 0.75R=3.375$ )		Desplazamiento Relativo (mm)		Distorsión	
		Eje A	Eje C	Eje A	Eje C	Eje A	Eje C
1	4025	1.3770	3.2573	1.3770	3.2573	0.0003	0.0008
2	3100	1.3626	3.1940	-0.0144	-0.0633	0.0000	0.0000

Fuente.- Elaboración Propia

### 2.2.2 Desplazamientos debido a las vibraciones de la máquina.

Cuando las fuerzas debido a la inercia de los eslabones en movimiento de la máquina varían de magnitud o dirección, tienden a sacudir o hacer vibrar la máquina que a su vez transmite las fuerzas y momentos de sacudimiento a su base de apoyo. La amplitud de las vibraciones de las cimentaciones o estructuras de apoyo de los compresores recíprocos, puede ser limitado a los niveles pedidos por los fabricantes de la maquinaria, por la tolerancia

especificada del cliente, por la tolerancia humana, por la tolerancia de las normas o bibliografía especializada, entre otros. Del análisis se observa que el compresor recíprocante TWIN IMW, genera en el techo del primer nivel de la estructura de apoyo desplazamientos máximos en la dirección X de  $A_x=0.0108\text{mm}$ , en la dirección Y de  $A_y=0.0062\text{mm}$  y en la dirección Z de  $A_z=0.0037\text{mm}$ . Por lo tanto, se tiene que la maquinaria de 915 R.P.M., genera amplitudes de “pico a pico” de  $2A_x=0.0216\text{mm}$  (0.85mils),  $2A_y=0.0124\text{mm}$  (0.488mils) y  $2A_z=0.0074\text{mm}$  (0.291mils).

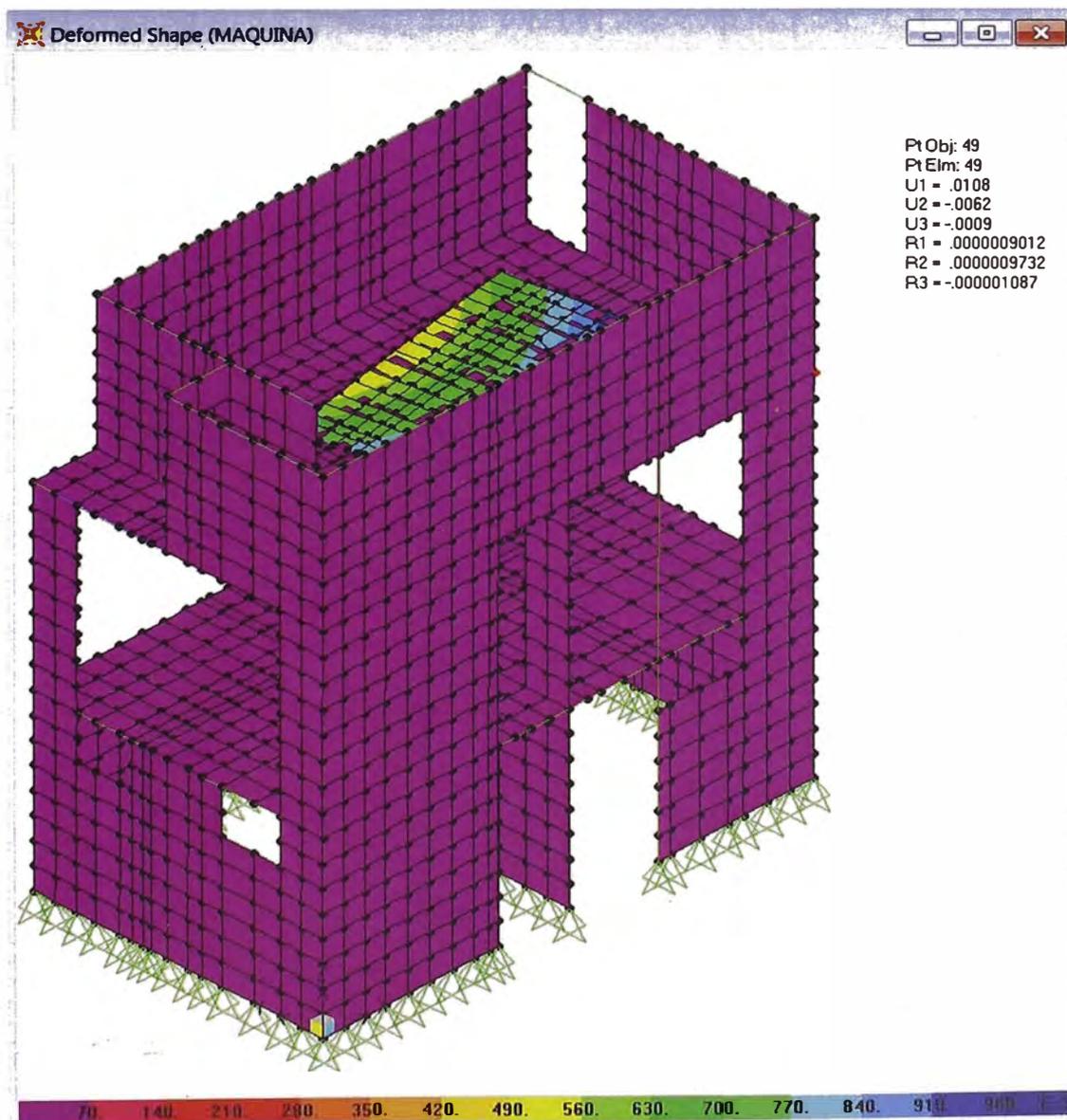


Figura N°2.3.- Deformada de la edificación (mm, rad) debido a la vibración de la máquina.

Del nomograma de la Figura N°2.4, se puede observar que la vibración en el eje X será claramente perceptible y que las vibraciones en los ejes Y y Z serán

ligeramente perceptibles. En todos los casos la vibración de la edificación producida por la operación de la maquina compresora es aceptable.

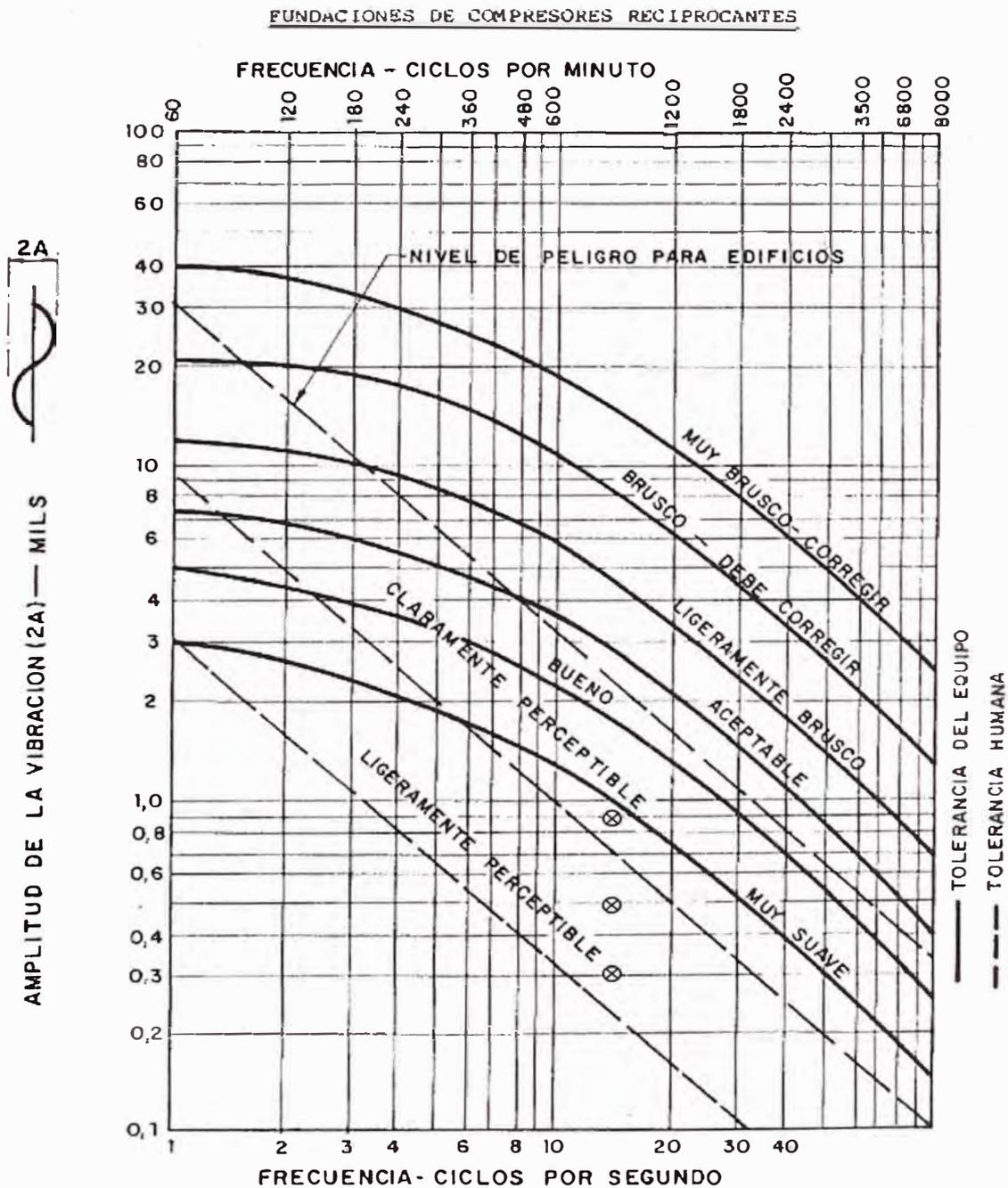


Figura N°2.4.- Amplitudes de vibraciones “pico a pico”, permisibles en cimentaciones de compresores recíprocos. Fuente: Manual de Ingeniería de Diseño PDVSA.

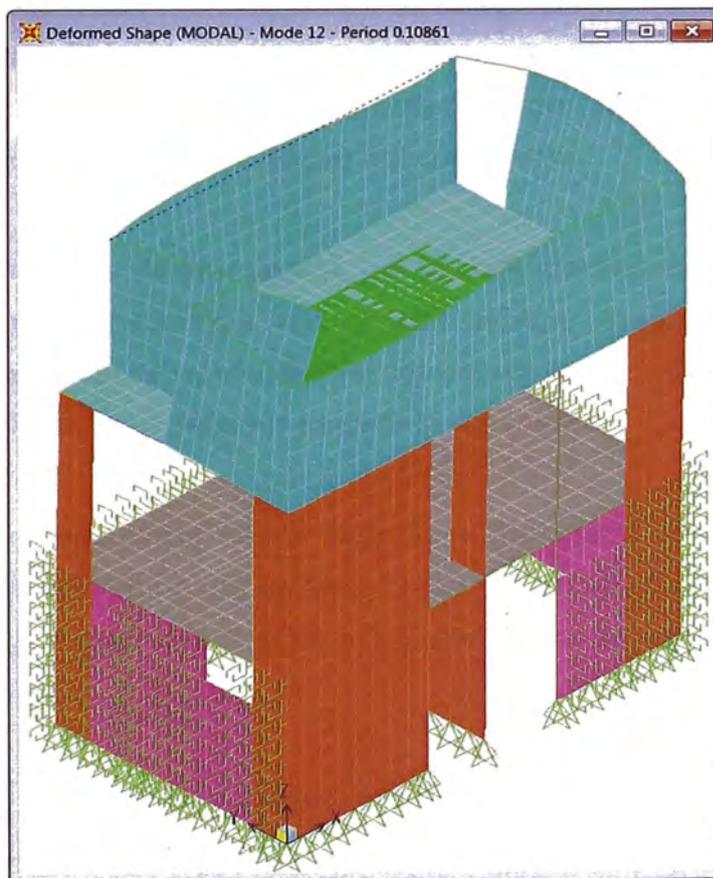
### 2.2.3 Periodos y modos naturales de vibración de la estructura-compresor.

Se han hallado los modos y los periodos naturales de vibración del modelo matemático de la interacción Estructura-Compresor, mostrado en la Figura N°2.2. La tabla N°2.3 muestra una lista de los modos naturales de vibración que más influyen en cada dirección global del modelo matemático.

**TABLA N°2.3.- Resultados del análisis modal de la estructura**

Modo	Período (s)	Masa Efectiva (%)			Masa Efectiva Acumulada (%)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
5	0.242304	<b>0.057288</b>	0.004031	0.000002797	<b>0.058591</b>	0.103665	0.042766
8	0.174522	0.000106	<b>0.230286</b>	0.000121	0.059109	<b>0.345404</b>	0.043638
11	0.114367	0.008166	<b>0.174718</b>	0.000035	0.067359	<b>0.533997</b>	0.048987
12	0.108608	<b>0.234414</b>	0.002749	0.000068	<b>0.301773</b>	0.536746	0.049055
16	0.078651	<b>0.159169</b>	0.000301	0.000009106	<b>0.499166</b>	0.557395	0.050827
24	0.056028	0.000575	0.000686	<b>0.120924</b>	0.648211	0.558934	<b>0.266389</b>
27	0.051896	0.000839	0.000013	<b>0.034247</b>	0.651684	0.559795	<b>0.317726</b>
41	0.032974	0.000257	0.001634	<b>0.024951</b>	0.664815	0.563418	<b>0.367672</b>
66	0.022349	0.00004	<b>0.070277</b>	0.00007	0.71436	<b>0.804529</b>	0.421878

Fuente: Elaboración Propia



**Figura N°2.5.- Modo 12, T=0.10861s**

## 2.2.4 Criterios para el análisis de resonancia de la estructura.

La frecuencia de operación del compresor TWIN IMW, llegaría a ser la frecuencia de excitación  $\Omega=915$  r.p.m., que actúa sobre la estructura que le sirve de apoyo y la frecuencia de cualquier modo natural de vibración de la estructura de apoyo es  $\omega$ . La estructura vibra en baja frecuencia cuando los valores de la relación  $\Omega/\omega$  son mayores a la unidad. La estructura vibra en alta frecuencia cuando los valores de la relación  $\Omega/\omega$  son menores a la unidad.

La estructura será diseñada verificando que para cada uno de los tres modos de vibración más influyentes en una determinada dirección global, se obtengan frecuencias naturales diferentes a la frecuencia de excitación que provoca la operación del compresor. Como resultado indiferente para cada uno de los modos de vibrar, la estructura se puede ubicar en alta o baja frecuencia de vibración.

Cuando el período de vibración del sistema del equipo es aproximadamente el mismo que los periodos de vibración de la edificación que lo soporta, la respuesta de la edificación puede resultar una amplificación de 10 veces o más. Se puede evitar posibles problemas de resonancia rigidizando adecuadamente la estructura de apoyo del compresor.

El párrafo 3.4.3 Ratios de Frecuencia, del Manual práctico del ACI 351.3R-04, recomienda que la frecuencia natural del sistema suelo-equipos-estructura difiera de la frecuencia de operación del compresor en un margen certero, para que según el criterio del diseñador se evite la resonancia.

Se tiene que la resonancia ocurre cuando la frecuencia del compresor y la frecuencia de la estructura son iguales ( $\Omega=\omega$ ), entonces se debe evitar que la relación de frecuencias sea 1 ( $\Omega/\omega=1$ ) y para esto se dará un margen de seguridad del 15%.

Para el cálculo del factor de amplificación dinámica (FAD), se emplea la siguiente ecuación:

$$FAD = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\Omega/\omega)^2]^2 + 4x\xi^2x(\Omega/\omega)^2}} \dots(2.3)$$

Para las estructuras de concreto armado sin daño alguno el valor de  $\xi$  puede estar entre 0.01 y 0.05; para este caso se considerará el valor de 0.05.

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} = 0.05 \dots (2.4)$$

La relación entre el periodo y la frecuencia de vibración está dada por las siguientes ecuaciones:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} (\text{rad/s}) \dots (2.5) \quad \text{O} \quad \omega = \frac{60}{T} (\text{r.p.m.}) \dots (2.6)$$

### 2.2.5 Análisis de resonancia de la estructura en la dirección X.

Se tiene como dato que la frecuencia de operación del compresor TWIN IMW y que a su vez es la frecuencia de excitación  $\Omega=915$  r.p.m., y de la Tabla N°2.3 se toman los periodos de los tres modos de vibración de la estructura que más influyen en la dirección X, los cuales se analizan en las tablas N°2.4 y N°2.5.

**TABLA N°2.4.- Periodos y frecuencias de la estructura en la dirección X**

Modo	Período (s)	Frecuencia (Ciclos/s)	Frecuencia (r.p.m.)	Frecuencia (rad/s)
<b>5</b> (1er modo)	0.242304	4.13	247.62	25.93
<b>12</b> (2do modo)	0.108608	9.21	552.45	57.85
<b>16</b> (3er modo)	0.078651	12.71	762.86	79.89

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N°2.5.- FADx**

$$FADx = 1 / \sqrt{\{[1 - (\Omega/\omega)]^2 + 4 \times 0.05^2 \times (\Omega/\omega)^2\}}$$

FAD	Frecuencia del sistema Compresor - amortiguador $\Omega$ (r.p.m.)	Frecuencia de la Estructura $\omega$ (r.p.m.)	Relación frecuencias $(\Omega/\omega)$	FADx
FADx (1er modo)	915	247.62	3.70	0.08
FADx (2do modo)	915	552.45	1.66	0.57
FADx (3er modo)	915	762.86	1.20	2.20

Fuente: Elaboración Propia

Las relaciones de frecuencias en la dirección X, son:

$$\Omega/\omega \text{ (1er modo)} = 3.70 > = 1.15$$

$$\Omega/\omega \text{ (2do modo)} = 1.66 > = 1.15$$

$$\Omega/\omega \text{ (3er modo)} = 1.20 \geq 1.15$$

La estructura en los tres modos más influyentes en la dirección X vibra en baja frecuencia y en todos los casos los márgenes de seguridad son mayores al 15%.

Resonancia en la dirección X de la estructura.

$$\omega \text{ (1er modo)} = 247.62 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

$$\omega \text{ (2do modo)} = 552.45 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

$$\omega \text{ (3er modo)} = 762.86 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

De los resultados del análisis podemos concluir que no ocurre resonancia en la dirección X de la estructura.

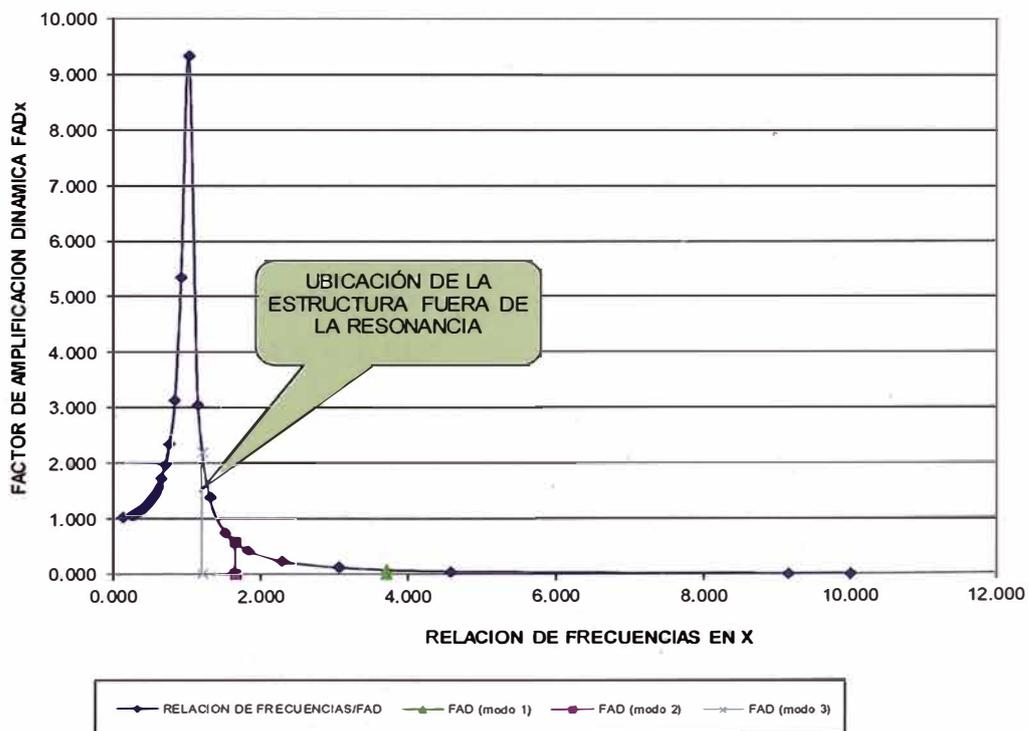


Figura N°2.6.- Relación de frecuencias en X vs FADx

### 2.2.6 Análisis de resonancia de la estructura en la dirección Y.

Se tiene como dato que la frecuencia de operación del compresor TWIN IMW y que a su vez es la frecuencia de excitación  $\Omega=915$  r.p.m., y de la Tabla N°2.3

se toman los periodos de los tres modos de vibración de la estructura que más influyen en la dirección Y, los cuales se analizan en las tablas N°2.6 y N°2.7.

**TABLA N°2.6.- Periodos y frecuencias de la estructura en la dirección Y**

Modo	Período (s)	Frecuencia (Ciclos/s)	Frecuencia (r.p.m.)	Frecuencia (rad/s)
<b>8</b> (1er modo)	0.17452	5.73	343.80	36
<b>11</b> (2do modo)	0.11437	8.74	524.63	54.94
<b>66</b> (3er modo)	0.02235	44.74	2684.68	281.14

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N°2.7.- FADy**

$FADy = 1 / \sqrt{\{[1 - (\Omega/\omega)]^2 + 4 \times 0.05^2 \times (\Omega/\omega)^2\}}$				
FAD	Frecuencia del sistema Compresor - amortiguador $\Omega$ (r.p.m.)	Frecuencia de la Estructura $\omega$ (r.p.m.)	Relación frecuencias $(\Omega/\omega)$	FADy
FADy (1er modo)	915	343.80	2.66	0.16
FADy (2do modo)	915	524.63	1.74	0.49
FADy (3er modo)	915	2684.68	0.34	1.13

Fuente: Elaboración Propia

Las relaciones de frecuencias en la dirección Y, son:

$$\Omega/\omega \text{ (1er modo)} = 2.66 \geq 1.15$$

$$\Omega/\omega \text{ (2do modo)} = 1.74 \geq 1.15$$

$$\Omega/\omega \text{ (3er modo)} = 0.34 \leq 0.85$$

La estructura en los dos primeros modos más influyentes en la dirección Y vibra en baja frecuencia y en el tercer modo más influyente en la dirección Y vibra en alta frecuencia y en todos los casos los márgenes de seguridad son mayores al 15%.

Resonancia en la dirección Y de la estructura.

$$\omega \text{ (1er modo)} = 343.80 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

$$\omega \text{ (2do modo)} = 524.63 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

$$\omega \text{ (3er modo)} = 2684.68 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

De los resultados del análisis podemos concluir que no ocurre resonancia en la dirección Y de la estructura.

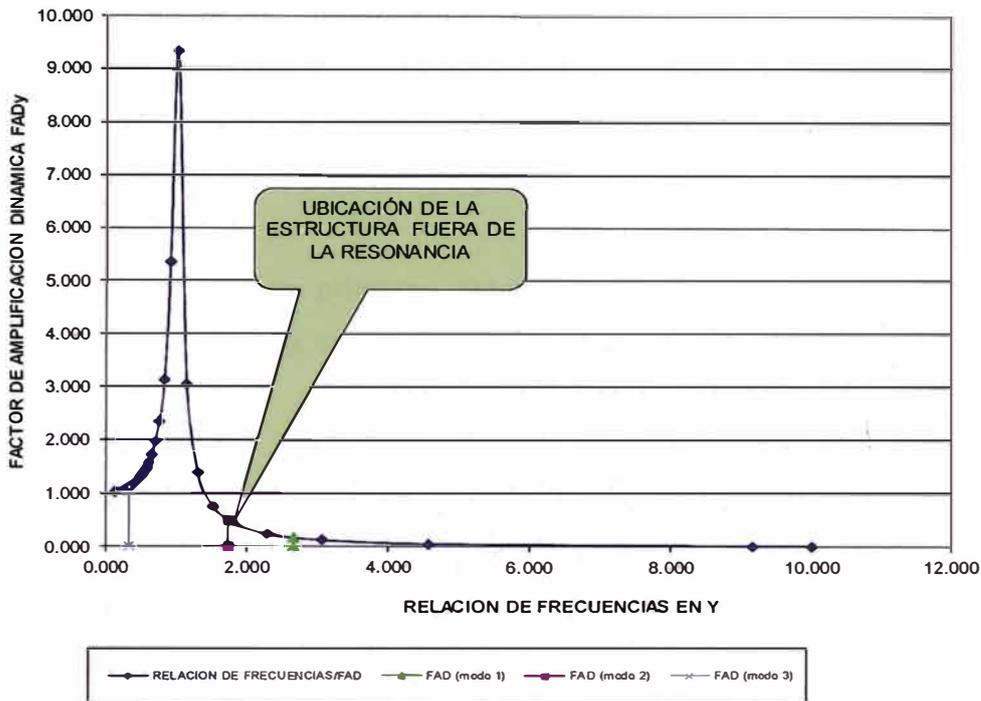


Figura N°2.7.- Relación de frecuencias en Y vs FADy

**2.2.7 Análisis de resonancia de la estructura en la dirección Z.**

Se tiene como dato que la frecuencia de operación del compresor TWIN IMW y que a su vez es la frecuencia de excitación  $\Omega=915$  r.p.m., y de la Tabla N°2.3 se toman los periodos de los tres modos de vibración de la estructura que más influyen en la dirección Z, los cuales se analizan en las tablas N°2.8 y N°2.9.

**TABLA N°2.8.- Periodos y frecuencias de la estructura en la dirección Z**

Modo	Período (s)	Frecuencia (Ciclos/s)	Frecuencia (r.p.m.)	Frecuencia (rad/s)
24 (1er modo)	0.056028	17.85	1070.89	112.14
27 (2do modo)	0.051896	19.27	1156.16	121.07
41 (3er modo)	0.032974	30.33	1819.62	190.55

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N°2.9.- FADz**

$$FADz = 1 / \sqrt{\{[1 - (\Omega/\omega)^2]^2 + 4 \times 0.05^2 \times (\Omega/\omega)^2\}}$$

FAD	Frecuencia del sistema Compresor - amortiguador $\Omega$ (r.p.m.)	Frecuencia de la Estructura $\omega$ (r.p.m.)	Relación frecuencias $(\Omega/\omega)$	FADz
FADz (1er modo)	915	1070.89	0.85	3.53
FADz (2do modo)	915	1156.16	0.79	2.62
FADz (3er modo)	915	1819.62	0.50	1.34

Fuente: Elaboración Propia

Las relaciones de frecuencias en la dirección Z, son:

$$\Omega/\omega \text{ (1er modo)} = 0.85 \leq 0.85$$

$$\Omega/\omega \text{ (2do modo)} = 0.79 \leq 0.85$$

$$\Omega/\omega \text{ (3er modo)} = 0.50 \leq 0.85$$

La estructura en los tres primeros modos más influyentes en la dirección Z vibra en alta frecuencia y en todos los casos los márgenes de seguridad son mayores al 15%.

Resonancia en la dirección Z de la estructura.

$$\omega \text{ (1er modo)} = 1070.89 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

$$\omega \text{ (2do modo)} = 1156.16 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

$$\omega \text{ (3er modo)} = 1819.69 \neq 915 \text{ r.p.m.}$$

De los resultados del análisis podemos concluir que no ocurre resonancia en la dirección Z de la estructura.

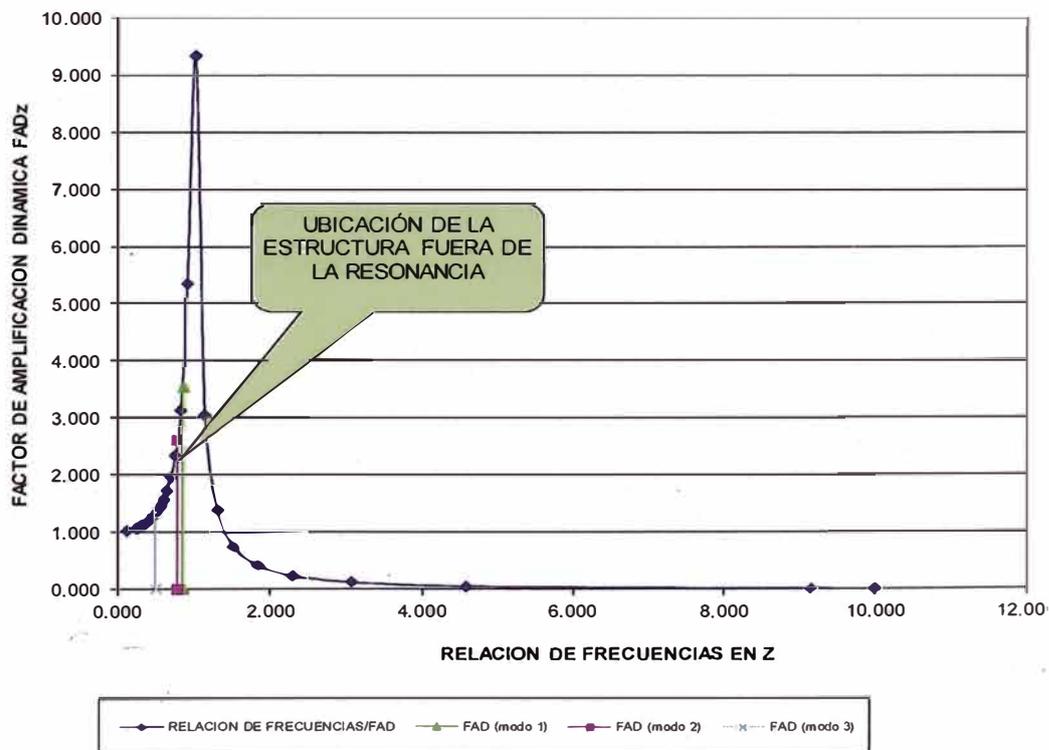


Figura N°2.8.- Relación de frecuencias en Z vs FADz

### 2.2.8 Fuerzas globales

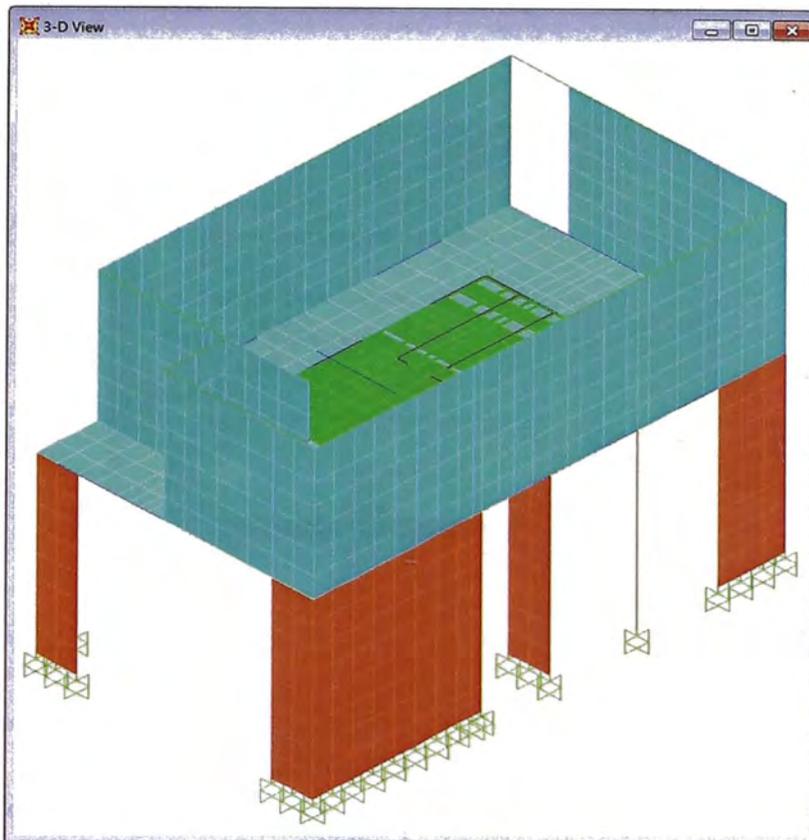


Figura N°2.9.- Región del modelo matemático donde se realiza el análisis sísmico

El peso total debido a la carga muerta de los dos niveles de la estructura, en los cuales se incluyen el peso propio de los elementos estructurales, de la maquinaria y de los acabados entre otros, es de 136.502 t, mientras que el peso debido a la carga viva es de 19.441 t, como se muestra en la tabla N°2.10. Por lo tanto el peso de la edificación es de 155.943 t.

TABLA N°2.10.- Peso de la carga viva

Nivel	Nombre	%	Carga (t/m2)	Area (m2)	Peso (t)
AZOTEA	CV TECHO	25	0.030	-	2.181
2°	BATCV	100	0.887	4.51	4.000
2°	Fz	100	-	-	0.975
2°	CV1	50	0.50	29.95	7.488
2°	CV2	50	0.50	19.19	4.798
Total					19.441

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

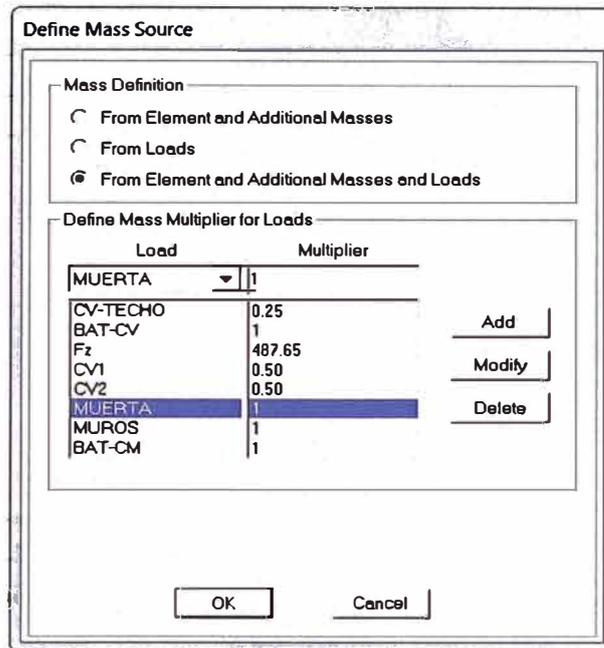
CV TECHO: Carga viva del techo metálico.

Fz: Carga de la fuerza inercial máxima del compresor en el eje global Z

BATCV: Carga de almacenamiento de gnv de los dos módulos de balones.

CV1: Carga viva 1

CV2: Carga viva 2



**Figura N°2.10.- Entrada en el programa de computo SAP2000 de la participación de las cargas al peso de la edificación para el análisis sísmico.**

Del cuadro anterior se puede observar que la fuerza inercial  $F_z=1.0\text{kg}$  se ha multiplicado por 487.65 para que se contemple la fuerza inercial máxima de  $F_z=487.65\text{kg}$  en la participación del peso de la edificación para el análisis sísmico (100% de participación). Por otra parte, empleando los parámetros del análisis sísmico de la N.T.E. E030 y el peso de la edificación, se obtiene el cortante estático en la base como muestra la tabla N°2.11.

**TABLA N°2.11.- Cortante estático**

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P(t)	V(t)	90%V(t)
X,Y	0.4	1.5	2.50	1.4	4.5	0.467	155.943	72.77	65.50

Fuente: Elaboración Propia

El cortante obtenido del análisis dinámico en la dirección X es de 35.60 t y es menor que el 90% del cortante estático, por lo que debe ser amplificado por un factor de corrección igual a  $65.50/35.60=1.84$ . Para el cortante obtenido del análisis dinámico en la dirección Y se obtuvo un cortante de 40.77 t, el cual también resulta menor que el 90% del cortante estático, por lo que debe ser amplificado por un factor de corrección igual a  $65.50/40.77=1.61$ .

### 2.2.9 Fuerzas en muros

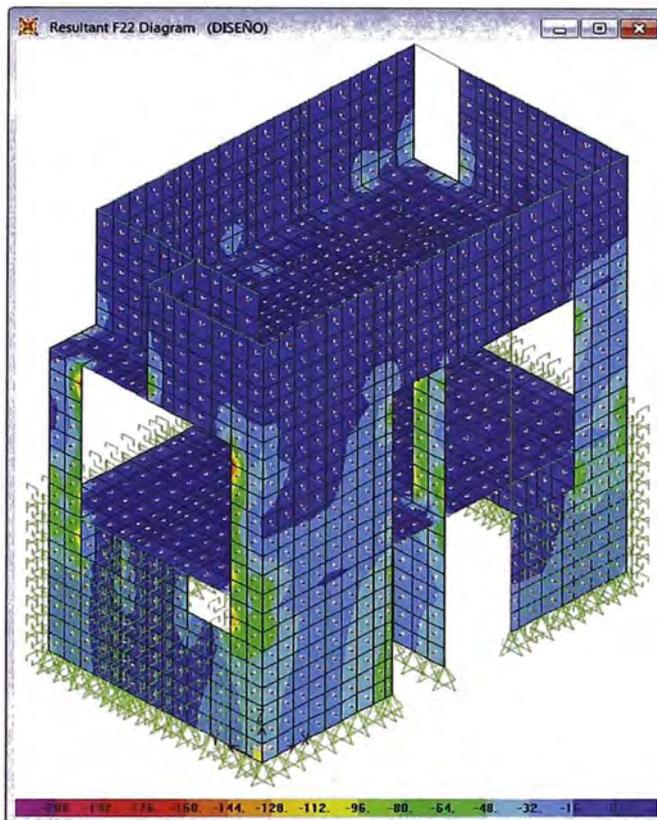


Figura N°2.11.- Diagramas de fuerzas axiales P (t/m)

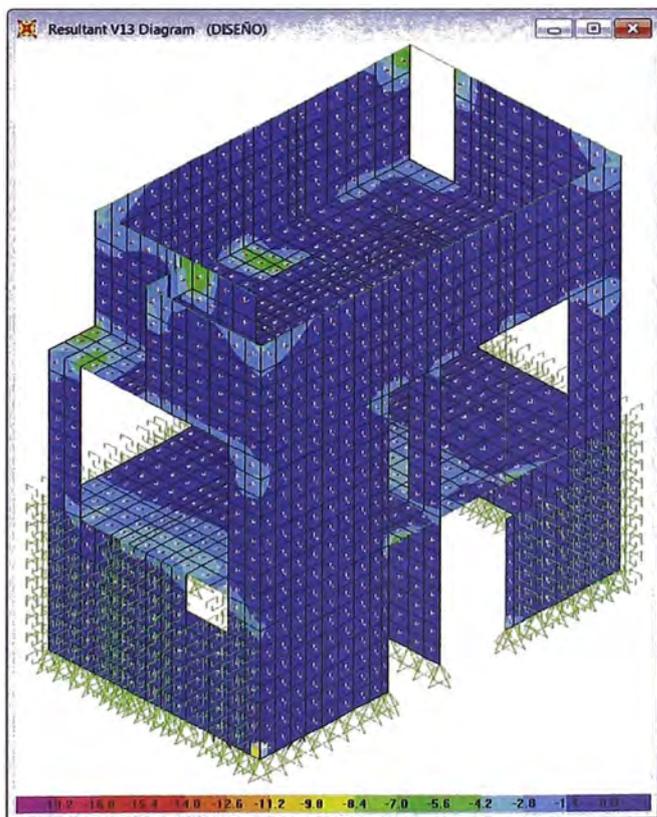


Figura N°2.12.- Diagramas de fuerzas cortantes V1-3 (t/m)

## 2.2.10 Fuerzas en la losa maciza

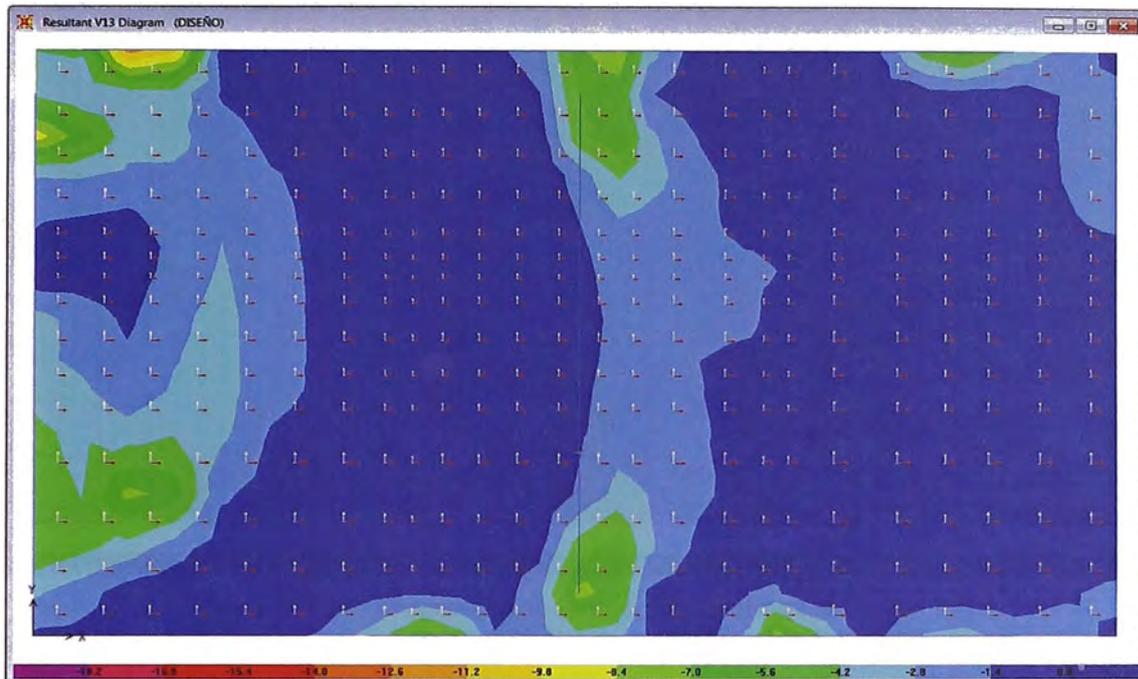


Figura N°2.13.- Diagramas de fuerzas cortantes V1-3 (t/m)

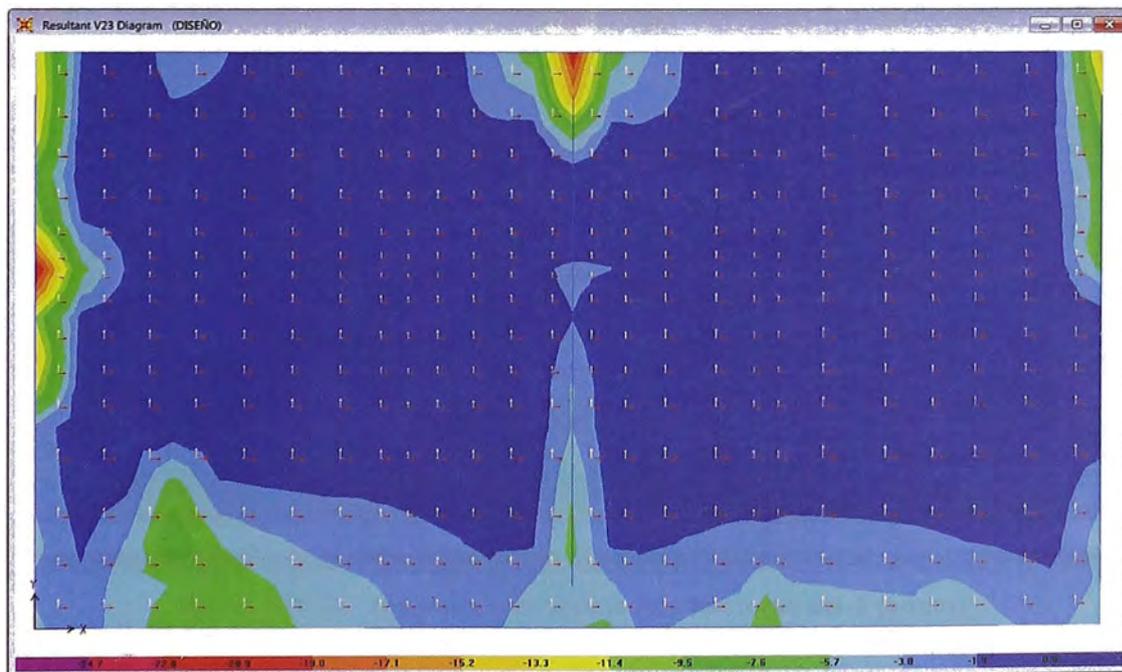


Figura N°2.14.- Diagramas de fuerzas cortantes V2-3 (t/m)

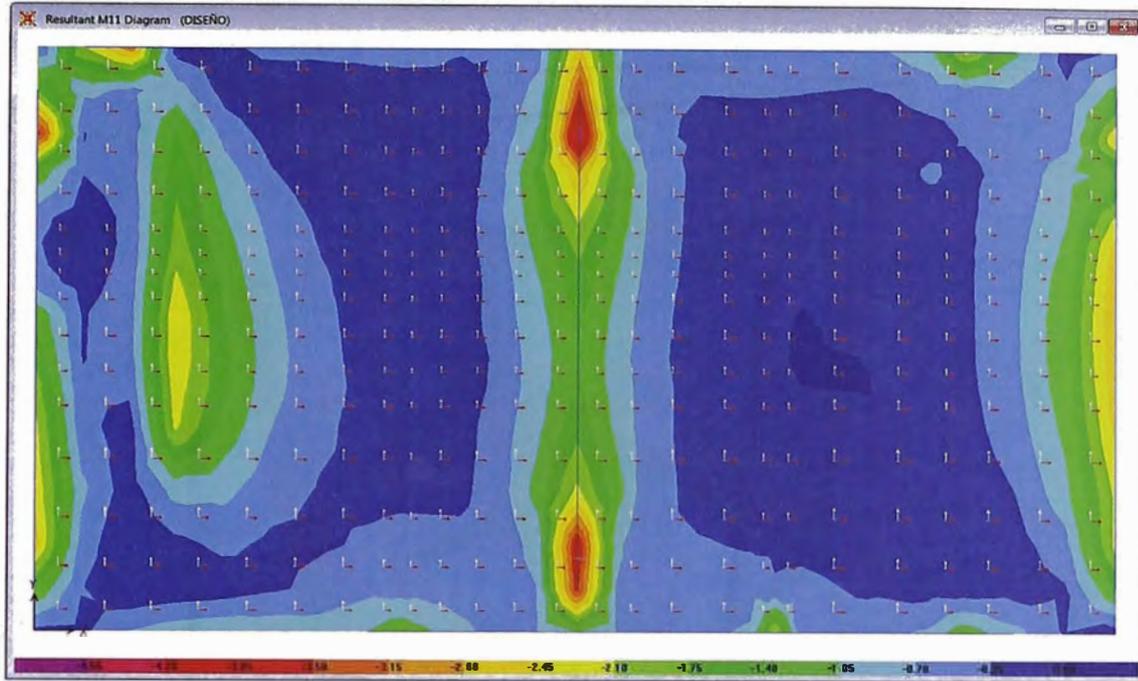


Figura N°2.15.- Diagramas de momentos flectores M1-1 (t-m/m)

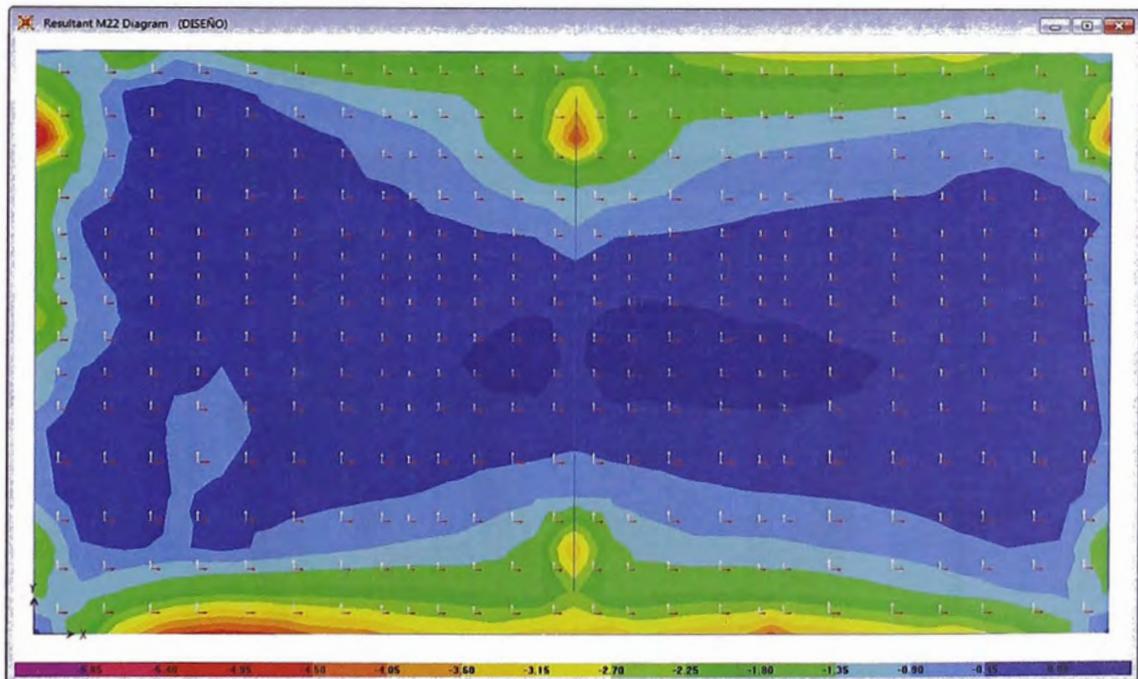


Figura N°2.16.- Diagramas de momentos flectores M2-2 (t-m/m)

### 2.2.11 Fuerzas de Vigas y Columnas

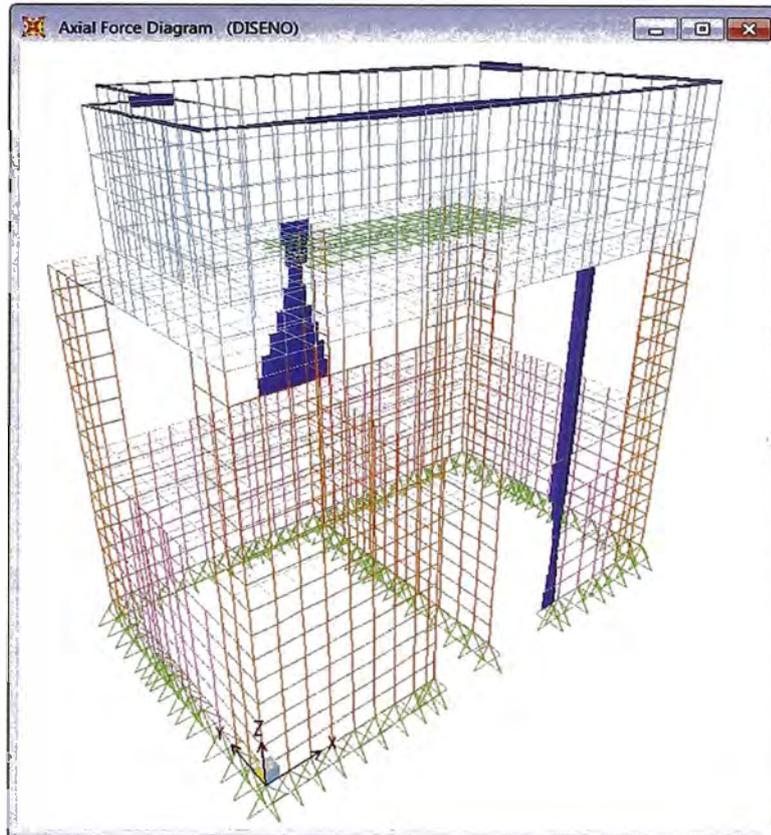


Figura N°2.17.- Diagramas de fuerzas axiales P (t)

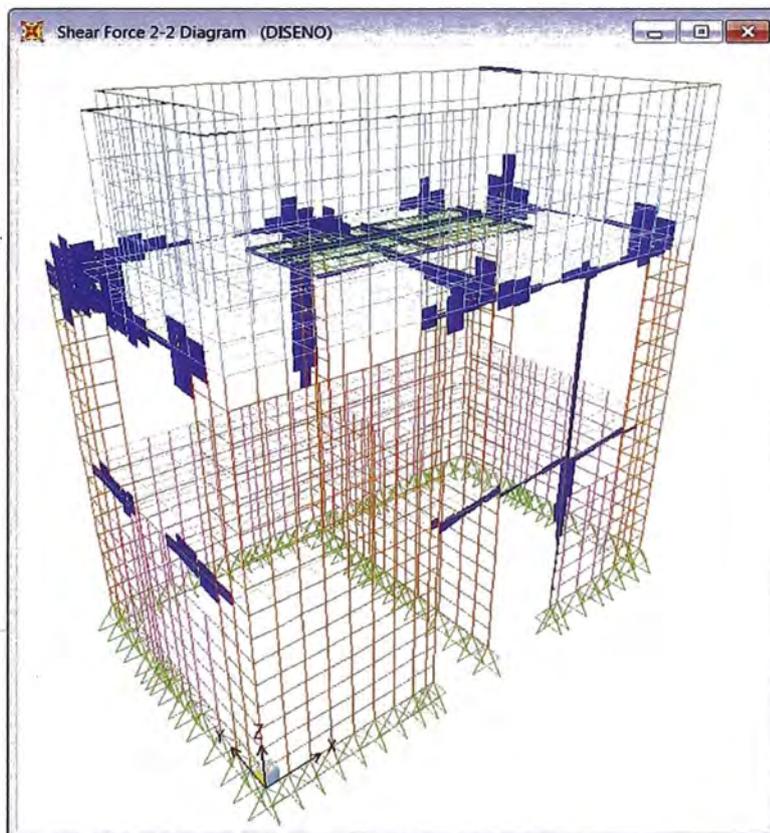


Figura N°2.18.- Diagramas de fuerzas cortantes V2-2 (t)

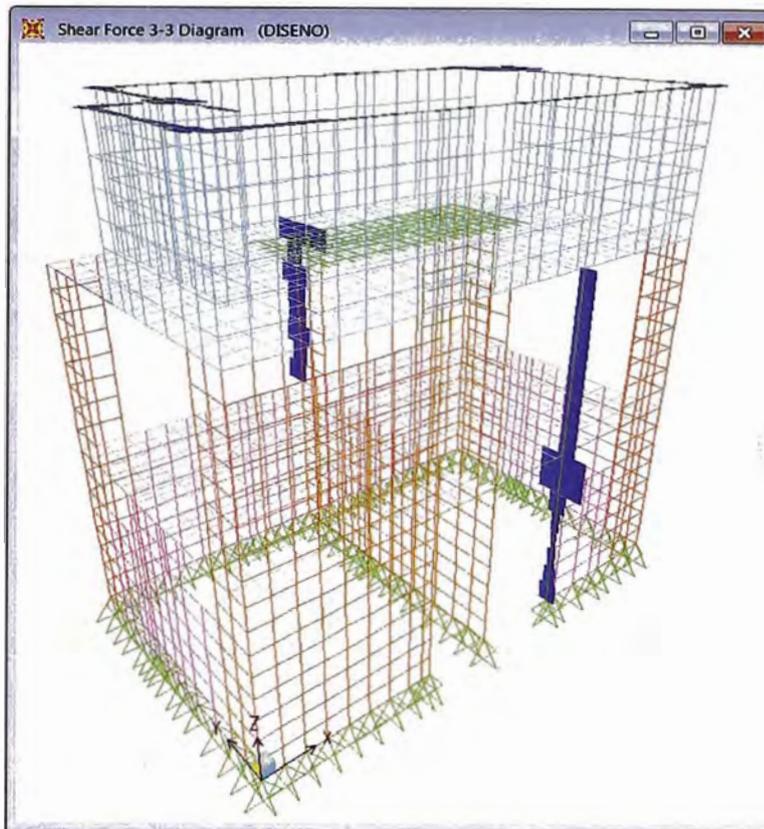


Figura N°2.19.- Diagramas de fuerzas cortantes V3-3 (t)



Figura N°2.20.- Diagramas de momentos flectores M2-2 (t-m)

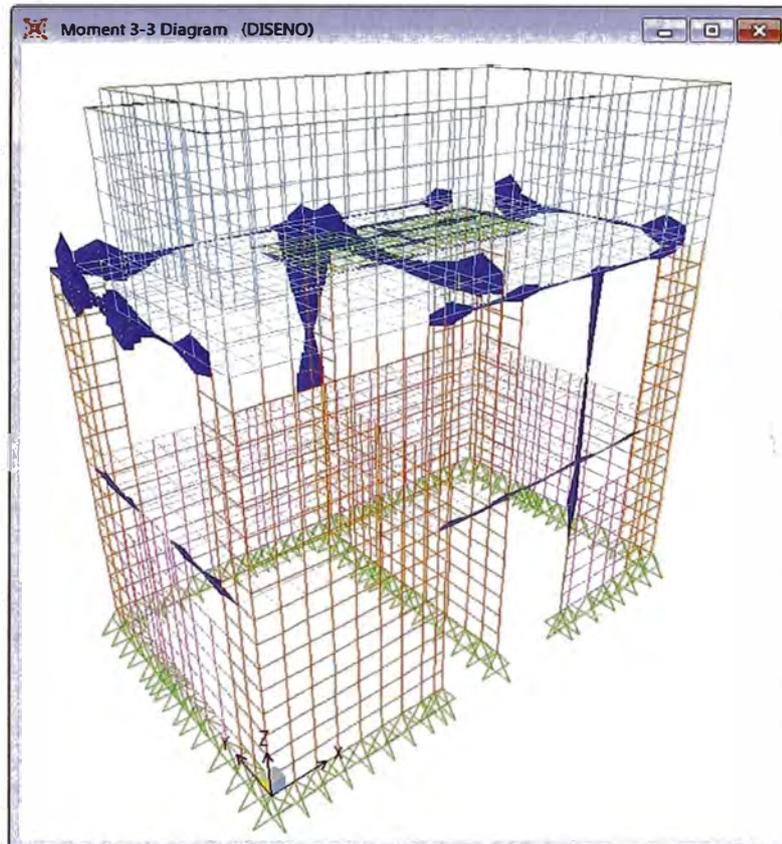
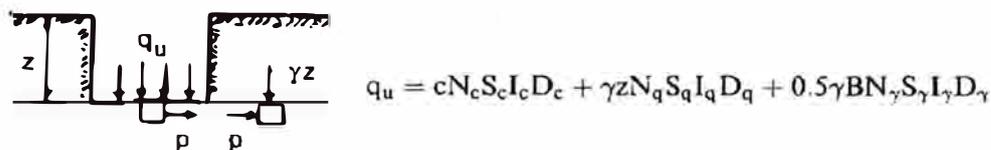


Figura N°2.21.- Diagramas de momentos flectores M3-3 (t-m)

### CAPÍTULO III: ANALISIS DE LA CIMENTACIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA SAFE

#### 3.1 PRESIONES SOBRE EL SUELO.

La capacidad de carga ( $q_u$ ) del suelo de arena compacta, está influenciada por la naturaleza misma del suelo ( $\chi$ ,  $C$ ,  $\phi$ ,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_r$ ), la forma ( $B$ ,  $L$ ,  $S_c$ ,  $S_q$ ,  $S_r$ ) y la profundidad ( $z$ ,  $D_c$ ,  $D_q$ ,  $D_r$ ) de la cimentación, y también por la inclinación ( $\alpha$ ,  $I_c$ ,  $I_q$ ,  $I_r$ ) y la excentricidad ( $e_B$ ,  $e_L$ ) de la carga sobre la cimentación, entre otros. La figura N°3.1, resume este principio de la mecánica de suelos.



$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

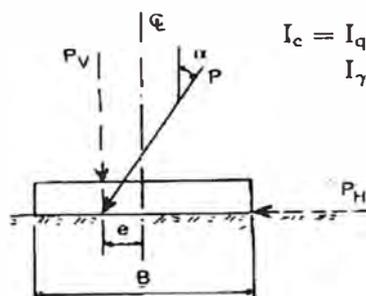
$$N_q = \tan^2(45^\circ + \phi/2) \exp(\pi \tan \phi)$$

$$N_r = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$S_r = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$



$$I_c = I_q = (1 - \alpha/90^\circ)^2$$

$$I_r = (1 - \alpha/\phi)^2$$

$$z/B \leq 1.0$$

$$z/B > 1.0$$

$D_c$	$1 + 0.4(z/B)$	$1 + 0.4 \arctan(z/B)$
$D_q$	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (z/B)$	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctan(z/B)$
$D_r$	1.0	1.0

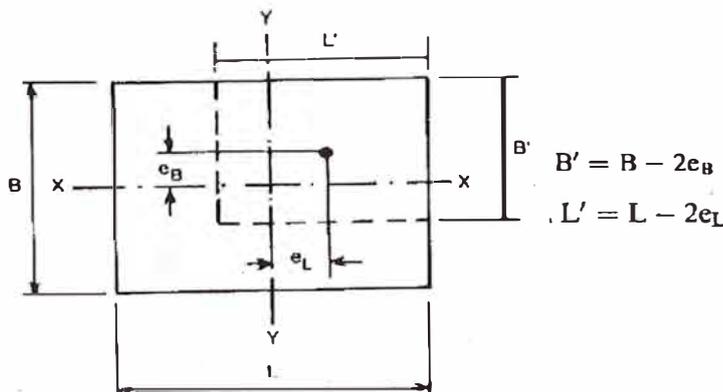


Figura N°3.1.- Parámetros para hallar la capacidad portante del suelo

En la estructura se ha diseñado una Losa de cimentación de  $B=6.18\text{m}$  y  $L=10.39\text{m}$ , y de un espesor de  $50\text{cm}$ .

**TABLA N°3.1.- Ubicación Xr y Yr, centro de aplicación de las fuerzas en la cimentación**

Joint Text	FUERZAS Y MOMENTOS DE SERVICIO						COORDENADAS					
	U1	U2	U3	R1	R2	R3	GlobalX	GlobalY	GlobalZ	U3*X+R2	U3*Y+R1	
	t	t	t	t-m	t-m	t-m	m	m	m	t	t	
43	0.78	0.609	5.5919	-0.02095	0.045	-0.0003	0	0	0	0.04503	-0.02095	
45	0.498	0.072	4.9856	-0.01784	0.0203	-0.00049	0.435	0	0	2.189066	-0.01784	
46	0.355	-0.003	4.7961	0.00721	0.0125	0.00016	0.87	0	0	4.185137	0.00721	
47	0.208	-0.016	4.891	0.02068	0.0081	6.06E-05	1.3	0	0	6.36637	0.02068	
48	0.06	-0.019	5.0542	0.02722	0.0019	3.27E-05	1.755	0	0	8.872051	0.02722	
51	-0.09	-0.019	5.1002	0.03031	-0.0023	1.71E-05	2.21	0	0	11.269172	0.03031	
153	-0.25	-0.019	5.1619	0.03604	-0.0093	4.61E-06	2.665	0	0	13.7471935	0.03604	
155	-0.33	-0.016	4.4582	0.03465	-0.0126	-1.4E-05	3.12	0	0	13.896954	0.03465	
156	-0.25	-0.012	3.1593	0.02449	-0.0109	-4.1E-06	3.43	0	0	10.825509	0.02449	
157	-0.43	0.004	1.4983	0.00949	-0.0031	0.00281	3.62	0	0	5.413526	0.00949	
158	0.17	-0.014	3.4942	0.01439	0.0047	-0.00041	8.69	0	0	30.369278	0.01439	
159	0.032	-0.013	4.6317	0.01429	0.0005	-0.00017	9.17333	0	0	42.4886026	0.01429	
160	-0.12	0.056	4.9288	-0.01317	-0.0056	0.00061	9.65667	0	0	47.5901551	-0.01317	
161	-0.49	0.674	5.3755	-0.02318	-0.0254	0.00031	10.14	0	0	54.48217	-0.02318	
162	0.47	-0.255	3.844	0.01317	0.025	0.00139	0	5.94	0	0.02504	22.84653	
163	0.225	-0.02	3.5113	0.0055	0.0089	0.00039	0.435	5.94	0	1.5362855	20.862622	
164	0.053	0.028	3.0751	-0.00209	0.0028	-0.00024	0.87	5.94	0	2.678117	18.264004	
165	0.209	-0.036	3.1106	0.02905	0.0065	-0.00099	4.7	5.94	0	14.62631	18.506014	
166	0.037	-0.547	5.6577	0.05544	0.0053	0.00033	5.08	5.94	0	28.746446	33.662178	
167	-0.09	-0.039	2.651	0.02644	-0.0015	0.00166	5.45	5.94	0	14.44649	15.77338	
168	0.042	0.02	2.821	-0.00573	0.0008	0.00068	8.69	5.94	0	24.51524	16.75101	
169	-0.07	0.041	3.6826	-0.00593	-0.0023	0.0002	9.17333	5.94	0	33.7794551	21.868714	
170	-0.17	-0.014	3.8094	0.00743	-0.0065	-0.00036	9.65667	5.94	0	36.7795887	22.635266	
171	-0.38	-0.331	4.0889	0.01962	-0.0211	0.00012	10.14	5.94	0	41.440356	24.307686	
172	0.117	0.197	4.5869	-0.00221	0.0585	0.00051	0	0.44	0	0.05854	2.016026	
173	0.031	0.074	4.0313	0.00229	0.0439	0.00151	0	0.88	0	0.04389	3.549834	
174	0.021	0.249	2.8412	-0.00371	0.0273	-0.00047	0	5.06	0	0.0273	14.372762	
175	0.062	0.093	3.4701	0.00272	0.0355	-0.00023	0	5.5	0	0.03554	19.08827	
176	0.038	0.753	3.6924	-0.00852	0.031	0.00497	5.08	0	0	18.788372	-0.00852	
177	0.077	0.418	6.4063	-0.01064	0.0811	0.00029	5.08	0.44	0	32.625144	2.808132	
178	0.096	0.097	6.6441	-0.0006217	0.1104	4.52E-05	5.08	0.88	0	34.878398	6.0227458	
179	0.011	-0.188	3.952	0.01181	0.033	7.61E-05	5.08	5.06	0	20.10916	20.00893	
180	0.009	-0.302	4.1101	0.01989	0.0173	7.57E-05	5.08	5.5	0	20.896638	22.62544	
181	-0.07	0.284	4.4792	-0.00505	-0.034	-0.00035	10.14	0.44	0	45.385118	1.965798	
182	-0.02	0.105	4.1967	0.001	-0.0259	-0.00085	10.14	0.88	0	42.526628	3.694096	
183	-0.02	0.126	2.9588	0.00164	-0.0198	0.00159	10.14	5.06	0	29.982652	14.973168	
184	-0.06	-0.018	3.5331	0.00652	-0.0279	0.00031	10.14	5.5	0	35.797724	19.43857	
185	0.007	0.094	3.9008	0.00414	0.046	-6E-05	0	1.43	0	0.046	5.582284	
419	0.018	0.101	3.1052	0.00111	0.0546	-1.8E-05	0	2.08	0	0.05461	6.459926	
421	0.021	0.084	1.9461	-0.00025	0.0439	9.71E-06	0	2.49	0	0.04394	4.845539	
423	0.026	0.113	1.9152	-0.00221	0.0477	-1.4E-05	0	2.79	0	0.0477	5.341198	
425	0.027	0.142	1.9717	-0.0035	0.0493	3.03E-05	0	3.21	0	0.04926	6.325657	
427	0.016	0.122	1.3193	-0.00301	0.0309	2.85E-05	0	3.54	0	0.03092	4.667312	
429	0.01	0.116	1.0641	-0.00277	0.0226	-1E-06	0	3.71	0	0.02258	3.945041	
431	0.008	0.151	1.3278	-0.0029	0.0246	-7.7E-06	0	3.94	0	0.0246	5.228632	
433	0.005	0.249	2.0729	-0.00541	0.03	3.29E-05	0	4.2	0	0.02996	8.70077	
435	-0	0.27	2.5117	-0.00352	0.026	1.27E-05	0	4.68	0	0.02604	11.751236	
438	0.13	-0.153	7.8953	0.00516	0.1513	5.35E-05	5.08	1.43	0	40.259424	11.295439	
441	0.129	-0.28	6.5832	0.01087	0.1451	2.78E-05	5.08	2.08	0	33.587756	13.703926	
443	0.091	-0.177	4.1937	0.00595	0.1007	1.5E-05	5.08	2.49	0	21.404716	10.448263	
445	0.094	-0.153	4.0942	0.00773	0.1015	3.96E-05	5.08	2.79	0	20.900006	11.430548	
447	0.095	-0.123	4.1415	0.00496	0.1017	2.28E-05	5.08	3.21	0	21.14055	13.299175	
449	0.06	-0.068	2.6978	0.00447	0.0638	2.95E-05	5.08	3.54	0	13.768664	9.554682	
451	0.044	-0.041	2.1234	0.00298	0.0475	8.33E-06	5.08	3.71	0	10.834322	7.880794	
453	0.048	-0.046	2.5642	0.00417	0.0531	1.59E-06	5.08	3.94	0	13.079206	10.107118	
455	0.057	-0.075	3.7954	0.00573	0.0687	1.62E-05	5.08	4.2	0	19.347372	15.94641	
607	0.041	-0.121	4.3079	0.00983	0.0576	5.22E-05	5.08	4.68	0	21.941692	20.170802	
610	-0.01	0.081	4.3392	0.00362	-0.0258	8.29E-05	10.14	1.43	0	43.973708	6.208676	
613	-0.01	0.051	3.8247	0.00257	-0.028	1.73E-05	10.14	2.08	0	36.726498	7.541946	
615	-0.01	0.042	2.3334	0.00125	-0.0213	-4.1E-06	10.14	2.49	0	23.639426	5.811416	
617	-0.01	0.065	2.3129	0.00021	-0.0225	3.07E-05	10.14	2.79	0	23.430286	6.453201	
619	-0.01	0.087	2.3775	-0.00102	-0.0233	-9.3E-06	10.14	3.21	0	24.08459	7.630755	
621	-0.01	0.073	1.575	-0.00117	-0.0148	-9.2E-06	10.14	3.54	0	15.95566	5.57433	
623	-0.01	0.071	1.2601	-0.00103	-0.0111	3.27E-06	10.14	3.71	0	12.766294	4.673941	
625	-0.01	0.095	1.5456	-0.00131	-0.0125	-1.5E-06	10.14	3.94	0	15.659844	6.088354	
627	-0.01	0.146	2.3478	-0.00137	-0.0163	-1.2E-05	10.14	4.2	0	23.790402	9.85939	
661	-0	0.157	2.7463	-0.00077	-0.0156	-1.5E-05	10.14	4.68	0	27.831862	12.851914	
664	0.578	0.003	5.7883	0.02826	0.0929	0.00258	6.94	0	0	40.263672	0.02826	
665	0.249	-0.004	3.1494	0.00985	0.0094	2.29E-05	7.18	0	0	22.622092	0.00985	
668	0.27	-0.005	4.229	0.01093	0.0086	-9.8E-06	7.8	0	0	32.99479	0.01093	
670	0.163	-0.005	3.2329	0.00979	0.0052	9.92E-06	8.36	0	0	27.032234	0.00979	
673	0.023	0.016	2.7621	-0.00269	0.0009	-1.8E-05	1.3	5.94	0	3.59159	16.404184	
676	0.114	-3E-04	2.3133	0.00511	0.0045	1.5E-05	3.12	5.94	0	7.222036	13.746112	
678	0.092	0.002	1.5398	0.00449	0.0036	4.25E-06	3.43	5.94	0	5.285094	9.150902	
680	0.119	0.004	1.7374	0.00625	0.0045	1.87E-05	3.62	5.94	0	6.293928	10.326406	
882	0.15	0.008	2.2062	0.00967	0.0055	1.91E-05	3.98	5.94	0	8.786188	13.114498	
884	0.159	0.005	2.434	0.01351	0.0057	8.76E-05	4.3	5.94	0	10.47185	14.47147	
687	-0.07	0.002	2.6086	0.01534	-0.0026	3.29E-05	5.73	5.94	0	14.944728	15.510424	
690	-0.07	0.003	2.249	0.00717	-0.0027	-7.5E-06	8.71	5.94	0	15.0881	13.36623	
692	-0.03	6E-04	1.4322	0.00322	-0.0009	-2.1E-07	6.94	5.94	0	9.938548	8.510488	
694	-0.03	3E-04	2.5776	0.00319	-0.0017	6.91E-06	7.18	5.94	0	18.505488	15.314134	
696	-0.01	0.004	3.5215	0.00005284	0.0004	2.81E-05	7.8	5.94	0	27.46814	20.917763	
698	0.014	0.009	2.6741	-0.00277	0.0005	5.48E-06	8.36	5.94	0	22.355956	15.881384	
783	0.014	0.008	2.7744	-0.00136	0.0004	-9.7E-06	1.755	5.94	0	4.869462	16.478576	
785	0.041	0.001	2.7274	0.00097	0.0016	-2.9E-06	2.21	5.94	0	6.029164	16.201726	
787	0.087	-0.002	2.7206	0.00036	0.0029	1.81E-06	2.665	5.94	0	7.253319	16.163964	
789	-0.08	0.008	3.176	0.01415	-0.0014	-7.7E-06	6.22	5.94	0	19.75328	18.87959	
<b>SUMATORIA</b>			<b>298.326</b>							<b>1506.73819</b>	<b>840.05164</b>	
			<b>ΣA</b>	<b>Xr = ΣB/ΣA =</b>	<b>5.05</b>	<b>m</b>	<b>Yr = ΣC/ΣA =</b>	<b>2.82</b>	<b>m</b>	<b>ΣB</b>	<b>ΣC</b>	

Fuente: Elaboración Propia

Con la ubicación del centro de aplicación de las fuerzas sobre la losa de cimentación (ver cuadro N° 3.1) y con la geometría de la losa de cimentación se obtiene las dimensiones de las excentricidades y por lo tanto, también se obtienen las dimensiones de B' y L' de la losa de cimentación.

$$B' = B - 2e_B = 6.18m - 2 \times .15m = 5.88m$$

$$L' = L - 2e_L = 10.39m - 2 \times .02m = 10.35m$$

Del estudio de mecánicas de suelos, se tiene como dato que el estrato de apoyo de la cimentación es de naturaleza arena arcillosa (SC) compacta, con un ángulo de fricción interna  $\phi=28^\circ$  y una cohesión  $C=0.22 \text{ kg/cm}^2$ , también se tiene como dato que la densidad húmeda inicial del suelo  $\gamma=1900 \text{ gr/cm}^3$ . También debido a la existencia de un sótano la profundidad de la cimentación será de  $z=4.30m$ ,

Con los datos anteriores se calcula la capacidad de carga del suelo de cimentación ( $q_u$ ) para esto se usaran los factores de capacidad de carga ( $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_r$ ) de Vesic y a continuación se calcula la presión admisible del suelo de cimentación  $q_{adm1}$ , teniendo en cuenta un factor de seguridad  $F.S.=3 \times 1.5=4.5$  porque la edificación soporta una máquina que origina cargas dinámicas.

**TABLA N°3.2.- Cálculo de la capacidad admisible del terreno ( $q_{adm1}$ )**

$\phi^\circ = 28.0$ $\gamma(t/m^3) = 1.90$ $C(t/m^2) = 0.00$ $L(m) = 10.35$ $B(m) = 5.88$ $z(m) = 4.40$												
Factores de capacidad			Factores de forma			Factores de profundidad			Factores de inclinación			
$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$S_c$	$S_q$	$S_\gamma$	$D_c$	$D_q$	$D_\gamma$	$I_c$	$I_q$	$I_\gamma$	
25.80	14.72	16.72	1.32	1.30	0.77	1.30	1.22	1.00	1.00	1.00	1.00	
$q_u(t/m^2) =$		268.28	$q_{u \text{ net}}(t/m^2) =$			259.92	F.S. = 4.5		$q_{adm1}(t/m^2) =$			66.12

Fuente: Elaboración Propia

La estimación del asentamiento inicial o instantáneo del suelo de fundación y su relación con las cargas transferidas por la estructura se resuelve con el uso del Coeficiente de Balasto del suelo  $K_{ti}$ . La hipótesis de Terzaghi, considera al suelo como un medio o espacio elástico y que puede ser reducido a un sistema de resortes, también señala que la deformación del suelo es proporcional a la carga aplicada, siempre y cuando los valores de la presión de contacto de la cimentación no superen la mitad de la capacidad de carga ( $q_u$ ) del suelo de fundación. Por otra parte, se sabe que el asentamiento de una gran

cimentación es muy diferente al asentamiento de una pequeña superficie a pesar que en ambos casos exista una misma presión unitaria, razón que justifica las correcciones al Coeficiente de Balasto del suelo ( $K_{1i}$ ) para obtener, en forma particular, el coeficiente de Balasto de la cimentación ( $K_i$ ). La figura N°3.2, resume este principio de la mecánica de suelos.

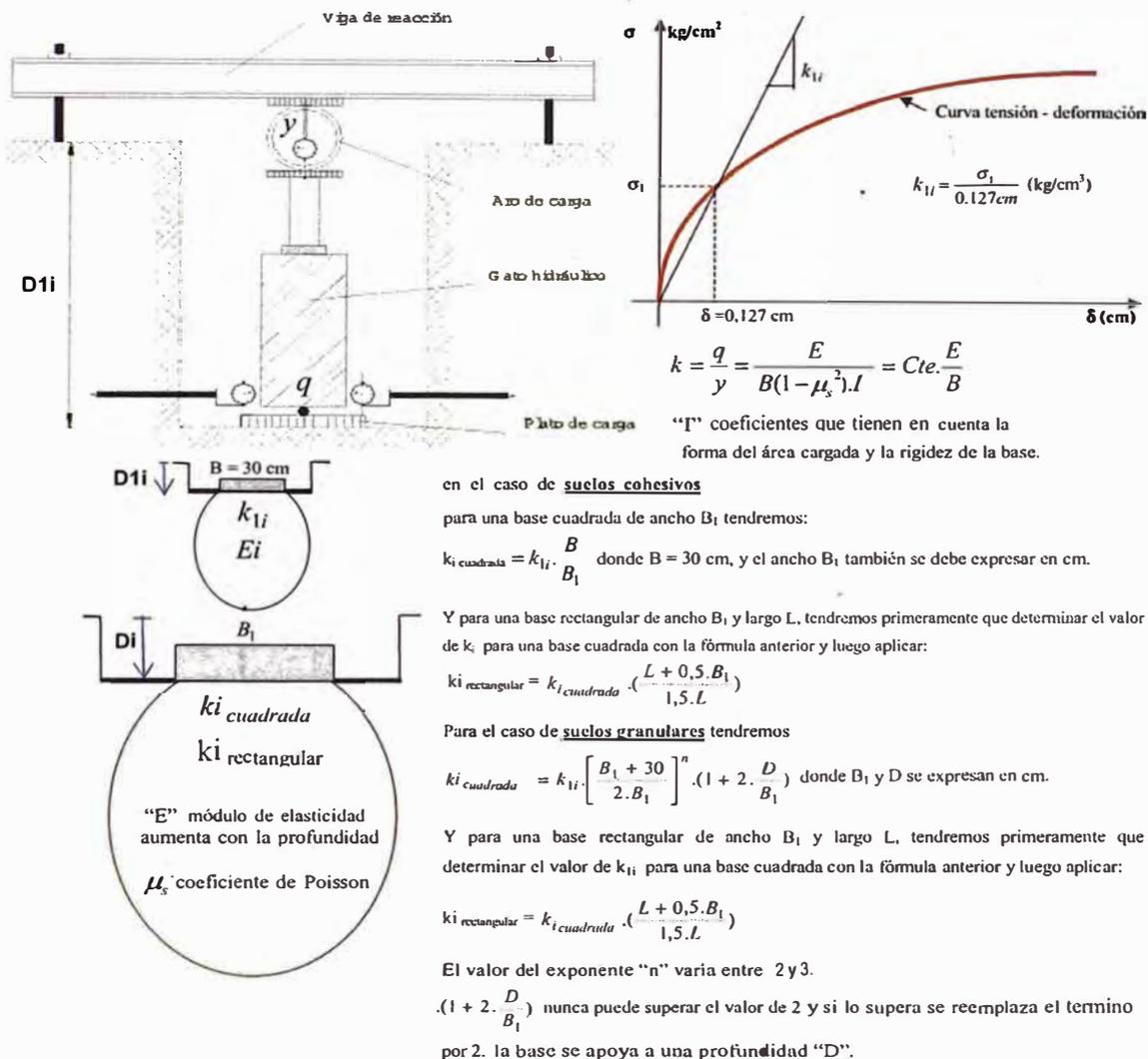


Figura N°3.2. Parámetros para hallar el módulo de balasto de la cimentación ( $K_i$ )

El estudio de mecánica de suelos indica que a una profundidad de  $D_{1i} = 60 \text{ cm}$  y con la prueba de una placa cuadrada rígida de  $B = 30 \text{ cm}$  de lado, se encontró un módulo de balasto del suelo de  $K_{1i} = 9.51 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ . También se tiene que módulo de elasticidad del suelo de  $E_i = 192 \text{ kg/cm}^2$ . El suelo es homogéneo y de naturaleza arena arcillosa (SC) compacta y tiene un módulo de Poisson de  $\mu_s = 0.30$ . Como parte del diseño, la profundidad de la cimentación debido a la existencia de un sótano será  $D_i = 440 \text{ cm}$ .

**TABLA N°3.3.- Cálculo del módulo de balasto de la cimentación (Ki)**

D1i (cm)	B (cm)	Ei (kg/cm <sup>2</sup> )	K1i (kg/cm <sup>2</sup> /cm)	Di (cm)	D=(Di-D1i) (cm)	B1 (cm)	(1+2D/B1) ≤ 2	n	Kicuadrada (kg/cm <sup>2</sup> /cm)	L (cm)	Kirectangular (kg/cm <sup>2</sup> /cm)
60	30	192	9.51	440	380	588	2.0	2.0	5.25	1035	4.50

Fuente: Elaboración Propia.

Cuando el estudio de mecánica de suelos no contemple el módulo de balasto del suelo (K<sub>1i</sub>) en su informe; pero si tenga el dato del CBR(%) del suelo, debido a que el diseño de pavimentos en una estación de servicios de grifos es algo común, entonces se puede hallar el módulo de balasto del suelo (K<sub>1i</sub>) con el nomograma de la Figura N° 3.3 y de allí se procede a calcular el módulo de balasto la cimentación (K<sub>i</sub>) siguiendo las instrucciones de la figura N° 3.2.

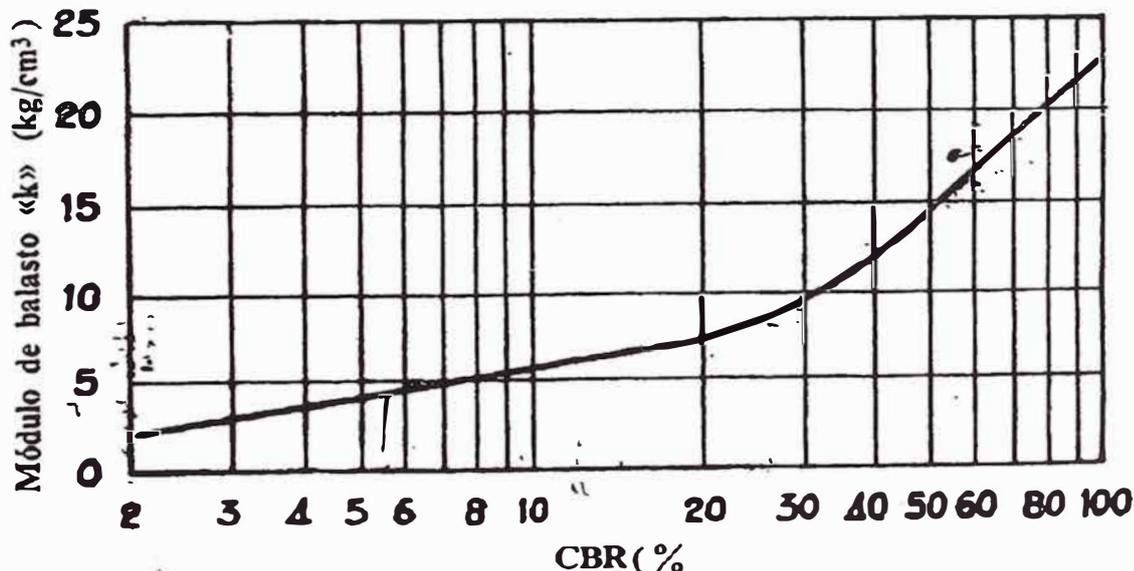


Figura N°3.3. Relación aproximada entre el módulo de balasto del suelo y el CBR.

Fuente: Portland Cement Association.

La cimentación de esta edificación está limitada a una distorsión angular de 1/750, porque la edificación soporta una máquina pesada que origina cargas dinámicas. También, la norma E.050 reglamenta que para suelos granulares el asentamiento diferencial ( $\delta_{dif}$ ) se puede estimar como el 75% del asentamiento total ( $\delta_t$ ), para este caso sólo consideraremos al asentamiento total ( $\delta_t$ ) como el asentamiento elástico o asentamiento inmediato y despreciamos los asentamientos por consolidación primaria y secundaria en este suelo granular compacto. En los planos se puede ver que en la edificación hay un pórtico de longitud  $L_p=5.93m$  (ver la medida del pórtico entre los ejes N°1 y N°2 del plano E-03, en el anexo A.3).

El asentamiento diferencial ( $\delta_{dif}$ ) admisible en la cimentación será de:

$$\delta_{dif} = \frac{Lp}{750} = \frac{593cm}{750} = 0.79cm$$

Y el asentamiento total ( $\delta_t$ ) admisible en la cimentación para suelos granulares será de:

$$\delta_t = \frac{\delta_{dif}}{0.75} = \frac{0.79cm}{0.75} = 1.05cm$$

Por lo tanto, podemos calcular la presión admisible  $q_{adm2}$ , que causa el asentamiento admisible en el suelo de cimentación, con la siguiente expresión:

$$q_{adm2} = \delta_t \times K_{i_{rectangular}} = 1.05cm \times 4.50 \frac{kg}{cm^3} = 4.725 \frac{kg}{cm^2}$$

La presión admisible para el diseño de la cimentación es el menor valor entre  $q_{adm1}$  y  $q_{adm2}$ . Por lo tanto, al comparar estos valores y hallar que  $q_{adm2}$  es la presión admisible para el diseño de la cimentación, podemos concluir que la cimentación se diseñará con el valor de la presión admisible que causa el asentamiento admisible.

Para el caso de un análisis de la cimentación con cargas de gravedad y adicionando las cargas temporales tales como viento o sismo, se elevará la capacidad admisible de suelo este suelo no cohesivo y no saturado a 1.10 veces su valor, entonces tenemos que:

$$1.10 \times q_{adm2} = 1.10 \times 4.725 \frac{kg}{cm^2} = 5.19 \frac{kg}{cm^2}$$

El programa de computo SAP2000 permite exportar las cargas de reacción en la base del modelo matemático de la estructura al programa de computo SAFE. En el análisis de la losa de cimentación, además de considerar las cargas provenientes de los de los pisos superiores, también se considerará las cargas de gravedad a nivel del piso del sótano.

Cargas muertas de sótano:

Falso piso de espesor 10cm:  $2300kg/m^3 \times 0.10m = 230 kg/m^2$

Suelo de relleno de espesor 30cm:  $1900\text{kg/m}^3 \times 0.30\text{m} = 570\text{ kg/m}^2$

Tabiquería:  $210\text{ kg/m}^2$

Acabados de piso:  $100\text{ kg/m}^2$

Cargas vivas de sótano:  $250\text{ kg/m}^2$  para la sobrecarga en zonas de oficina.

La Norma Sísmorresistente del año 2003 modifica los factores de reducción sísmica "R" de la Norma Sísmorresistente del año 1997 con:  $R_{2003} = R_{1997} / 1.25$ , y de esta manera logra conseguir en las edificaciones un cortante sísmico de:  $V_{2003} = V_{1997} \times 1.25$ , esto permite obtener un sismo amplificado a cargas últimas. Por lo tanto, si las cargas de sismo se han obtenido de acuerdo a la Norma E.030, estas deberán ser divididas por 1.25, debido a que el dimensionamiento de la cimentación y la verificación de las presiones actuantes sobre el suelo de fundación se hace por medio de cargas de servicio. A continuación se presentan las combinaciones de cargas de servicio con las cuales se verifica las presiones actuantes sobre el suelo de fundación:

D+L

D+L  $\pm$  Sax/1.25

D+L  $\pm$  Say/1.25



Figura N°3.4.-Asentamientos de la Losa de cimentación (cm)

Del Análisis de las cargas de gravedad con el programa SAFE, se halla que, el asentamiento máximo de la losa de cimentación es  $0.275\text{cm} < \delta_t = 1.05\text{cm}$  y se observa una distorsión angular de:  $(0.275\text{cm} - 0.121\text{cm}) / 593\text{cm} = 0.00026 < 1/750$ .

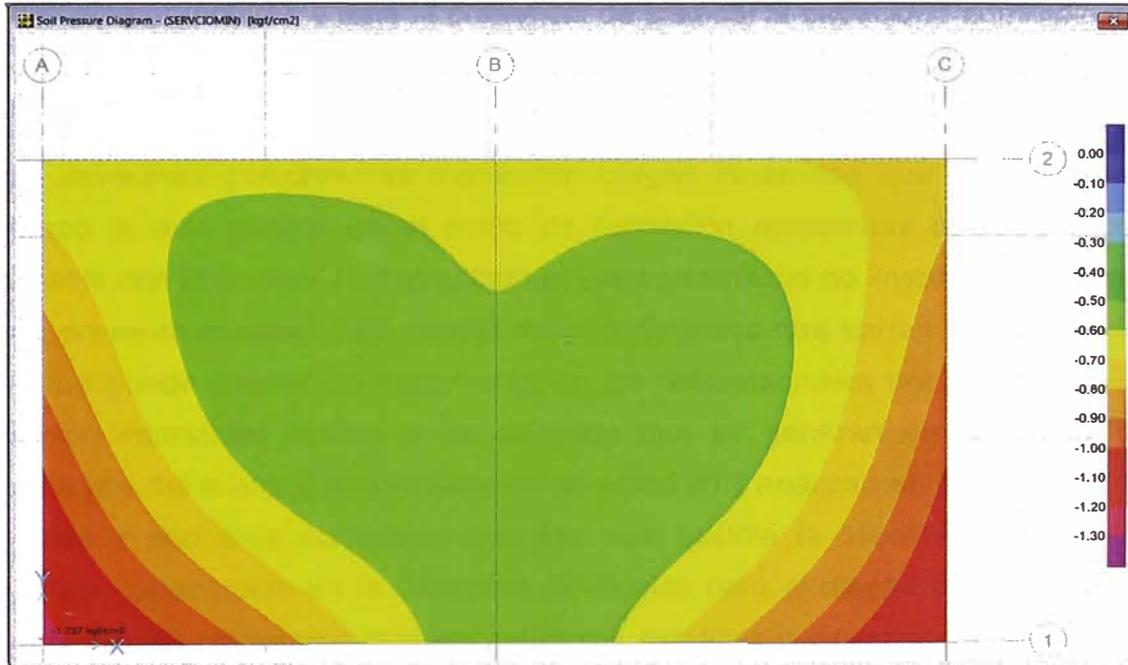


Figura N°3.5.-Presiones en el suelo debido a cargas de servicio sin sismo (kg/cm<sup>2</sup>)



Figura N°3.6.-Presiones en el suelo debido a cargas de servicio con sismo (kg/cm<sup>2</sup>)

Del Análisis con el programa SAFE, se halla que la presión máxima en el suelo debido a las cargas de servicio sin sismo es de  $1.237 \text{ kg/cm}^2 < q_{adm2} = 4.725 \text{ kg/cm}^2$  y se halla que la presión máxima en el suelo debido a las cargas de servicio con sismo es de  $2.823 \text{ kg/cm}^2 < 1.10 \times q_{adm2} = 5.19 \text{ kg/cm}^2$ , porque en suelos granulares y ante la presencia de sismos, la capacidad admisible del suelo aumenta alrededor del 10%.

Las máquinas compresoras transmiten cargas dinámicas que varían con el tiempo lo que genera en el suelo de fundación respuestas de igual modo variable con el tiempo. Por otro, lado el comportamiento no lineal y no uniforme que presenta el suelo bajo cargas del tipo dinámico que varían en función del tiempo puede causar un incremento en las deformaciones del suelo y de su presión intersticial debido a los cambios que se generan en el estado de esfuerzos del suelo. Estos problemas se estudian y analizan en la Dinámica de Suelos y son más complejos que los que estudia la Mecánica de Suelos Clásica. La solución en la Dinámica de Suelos para el diseño de cimentación de máquinas contempla que los esfuerzos estáticos y dinámicos inducidos en la cimentación no deben exceder los límites de capacidad del suelo en que se apoya y que el suelo debe capaz de soportar las fuerzas estáticas y dinámicas que se transmiten por medio de la cimentación, sin sufrir asentamientos importantes.

Para este caso particular de diseño de cimentación, se tiene que el peso de la estructura supera en 22 veces el peso de la máquina reciprocante, cuando el recomendado en los textos de cimentación de máquinas es de 5 veces, esto hace que la influencia de las fuerzas inerciales de la máquina pierdan intensidad cuando llegan al suelo de cimentación debido al amortiguamiento propio del material de la estructura de apoyo, de tal manera que el movimiento y las cargas inducidas en el suelo de fundación no son significativas y esto hace que se puedan suponer como cargas estáticas, por lo tanto, los procedimientos y el diseño de esta cimentación con los parámetros de la Mecánica de Suelos Clásica son apropiados para dar la solución a este problema. Por ejemplo, en el modelo matemático podemos observar que las fuerzas inerciales de la máquina, transmiten en la base del muro del sótano una carga máxima de  $240 \text{ kg/m}$  y un desplazamiento "pico a pico" máximo de  $2A_z = 0.193 \text{ mils}$ , estos resultados son pequeños en comparación a la

participación de las cargas de servicios de la estructura y a la participación de las cargas de sismo.

### 3.2 MOMENTOS FLECTORES EN LA LOSA DE CIMENTACIÓN

El programa de computo SAFE, tiene la opción de generar franjas de análisis y de diseño. Con la técnica de Wood-Armer, dentro de estas franjas se integran las fuerzas y momentos en los elementos de área por medio de un análisis de elementos finitos, con esto se logra reportar las resultantes para un ancho de franja específico y de esta manera obtener los diagramas axiales, diagramas de momentos flectores, diagramas de fuerzas de corte y diagramas de fuerzas de torsión. Con los diagramas obtenidos se procede a diseñar la armadura de refuerzo necesaria para cada franja generada.

Con el programa de computo SAFE, se generan franjas de análisis de 1m de ancho sobre la losa de cimentación, para hallar los momentos flectores últimos en las principales direcciones ortogonales.

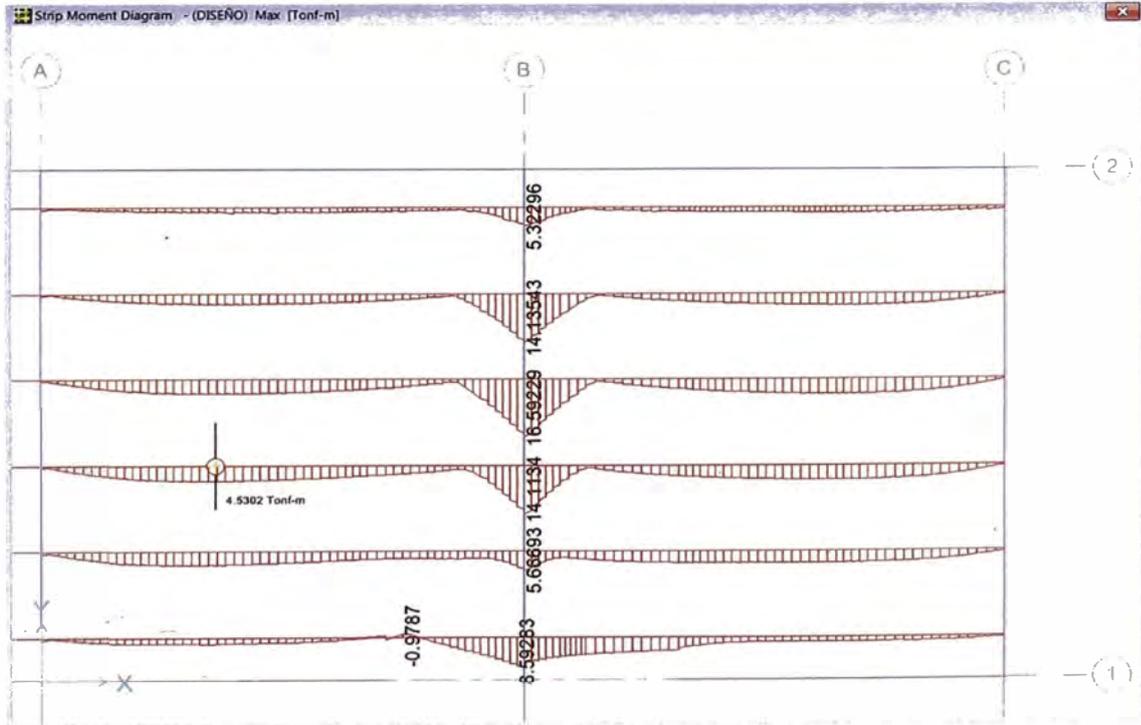


Figura N°3.7.-Momentos flectores máximos en la losa de cimentación, Eje X (t-m)

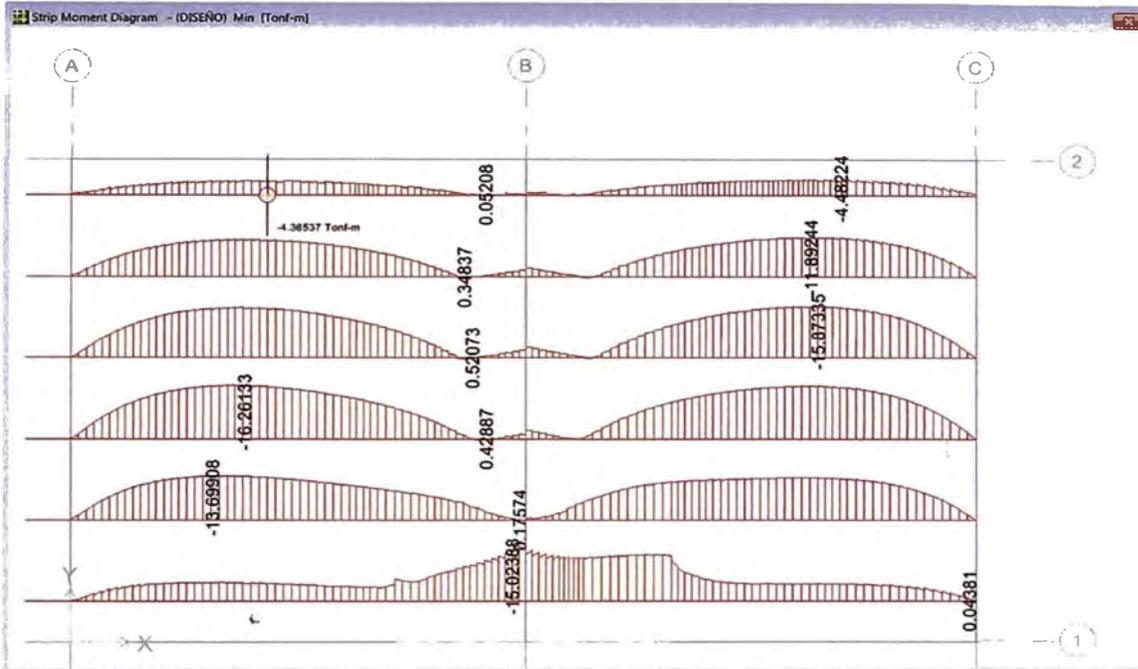


Figura N°3.8.-Momentos flectores mínimos en la losa de cimentación, Eje X (t-m)

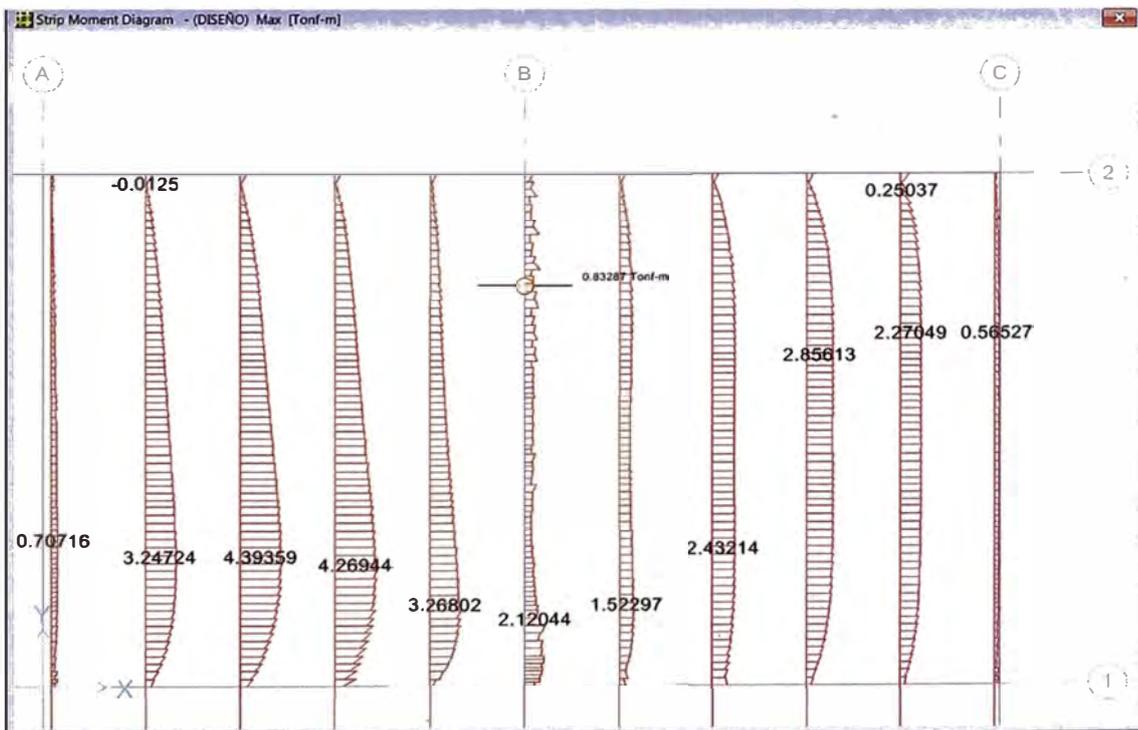


Figura N°3.9.-Momentos flectores máximos en la losa de cimentación, Eje Y (t-m)

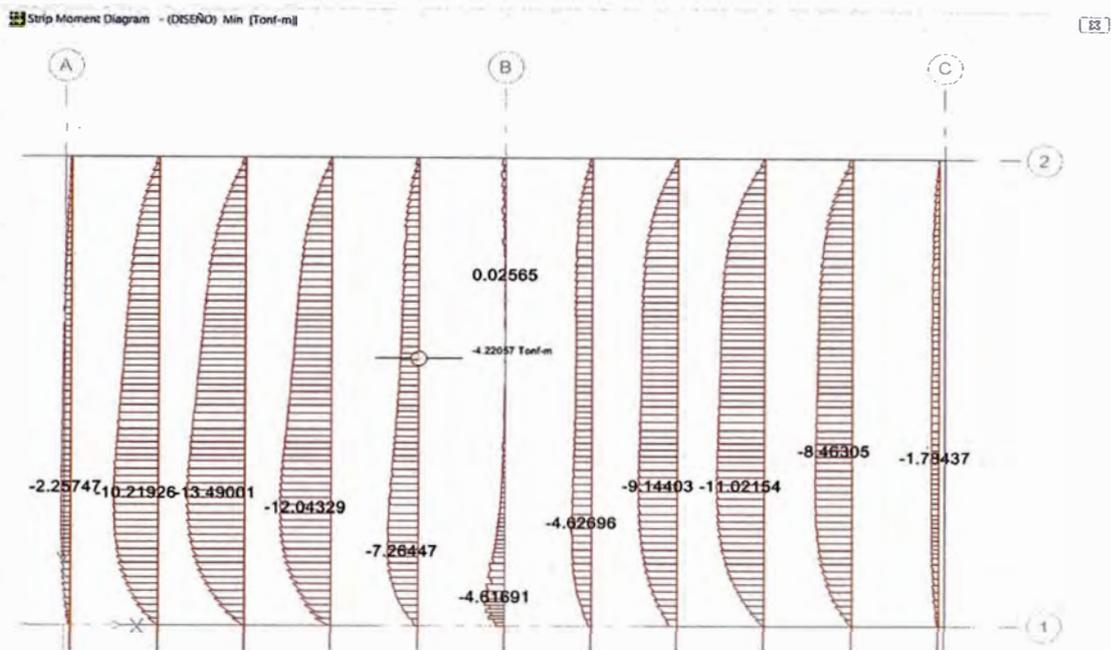


Figura N°3.10.-Momentos flectores mínimos en la losa de cimentación, Eje Y (t-m)

### 3.3 FUERZAS CORTANTES EN LA LOSA DE CIMENTACIÓN

Con el programa de computo SAFE, se generan franjas de análisis de 1m de ancho, para hallar las fuerzas cortantes últimas en la losa de cimentación para las principales direcciones ortogonales.

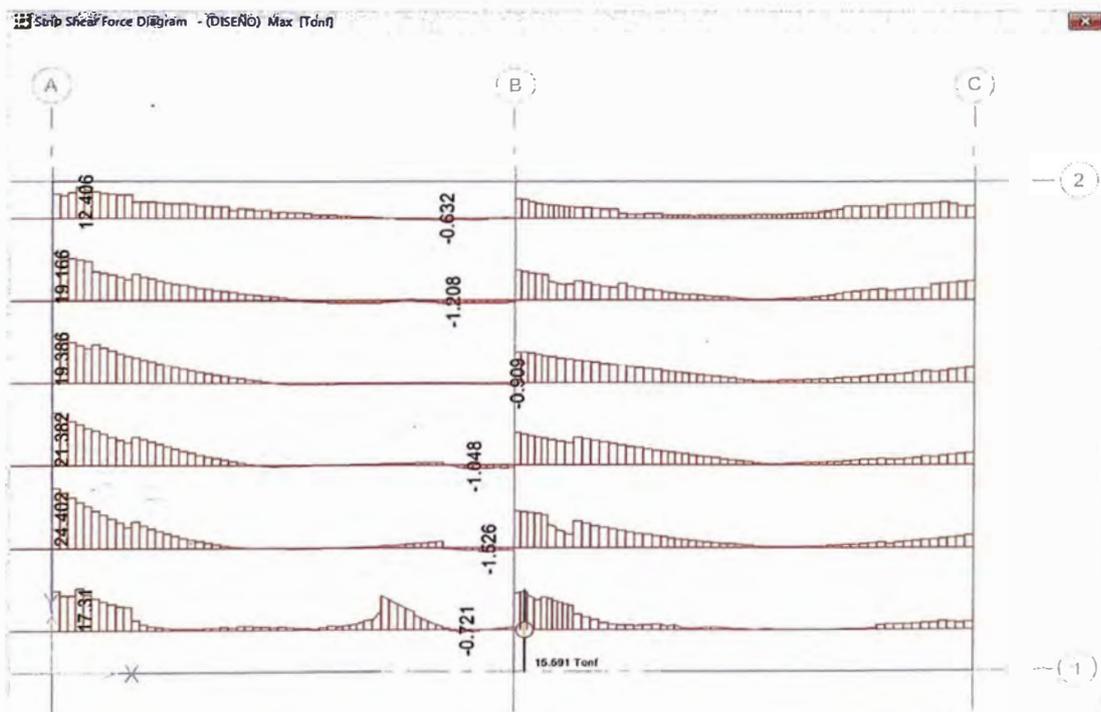


Figura N°3.11.- Diagramas de fuerzas cortantes máximas en losa de cimentación (t), Eje X

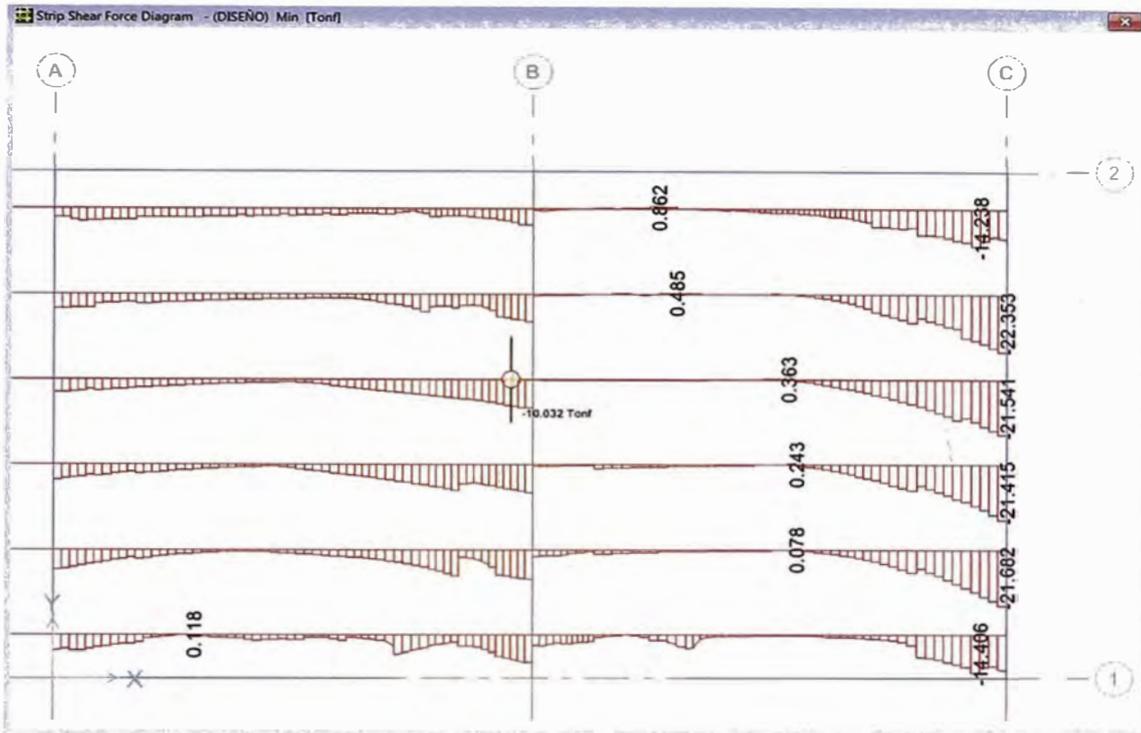


Figura N°3.12.- Diagramas de fuerzas cortantes mínimas en losa de cimentación (t), Eje X

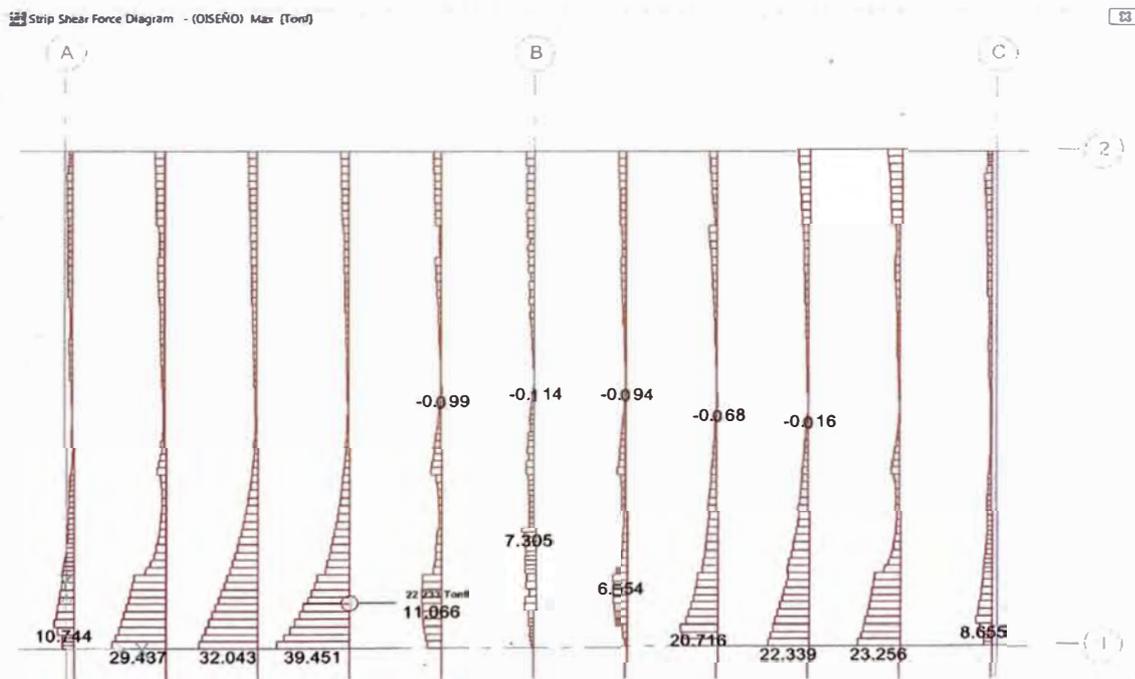


Figura N°3.13.- Diagramas de fuerzas cortantes máximas en losa de cimentación (t), Eje Y

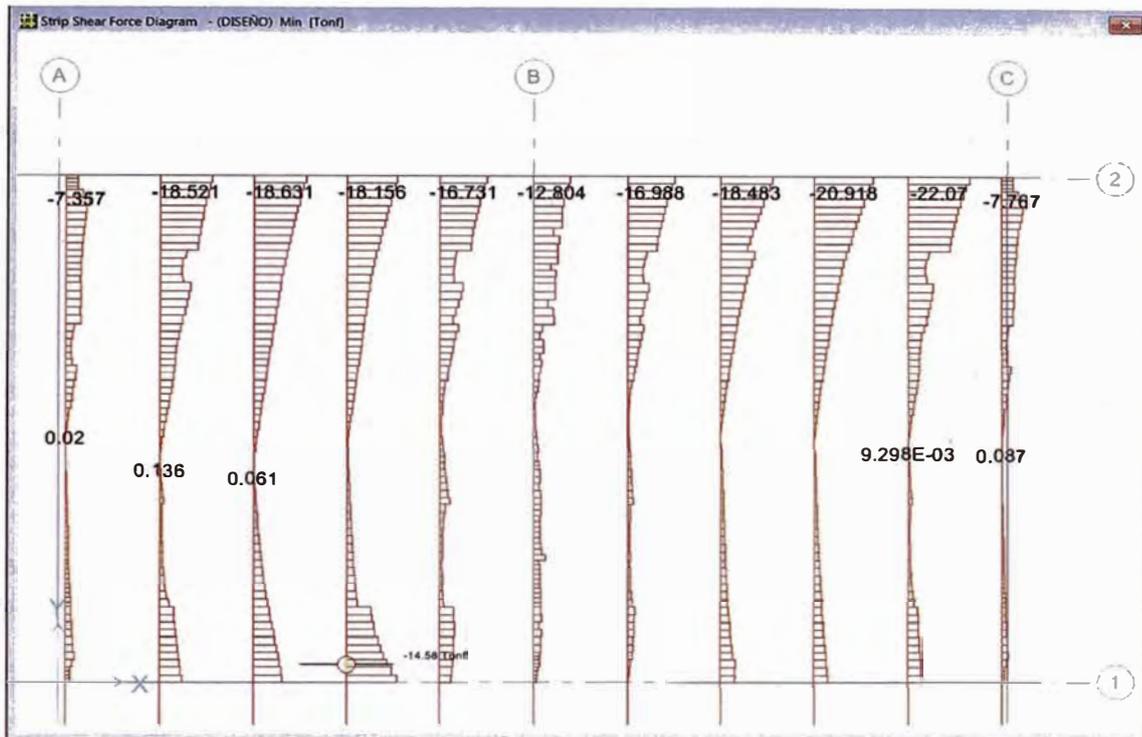


Figura N°3.14.- Diagramas de fuerzas cortantes mínimas en losa de cimentación (t), Eje Y

## CAPÍTULO IV: DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño a la rotura o diseño por resistencia consiste en dotar a la sección en análisis a una resistencia (capacidad), igual o mayor a la resistencia requerida (demanda).

Factores de reducción de resistencia

Flexión  $\phi=0.90$

Cortante  $\phi=0.85$

Carga axial de compresión  $\phi=0.70$

Para las diferentes solicitaciones las resistencias nominales que deben satisfacerse son:

Flexión  $\phi M_n \geq M_u$

Cortante  $\phi V_n \geq V_u$

Carga axial de compresión  $\phi P_n \geq P_u$

### 4.1 DISEÑO DE LOSAS MACIZAS

#### 4.1.1 Diseño por flexión

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_u|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}}$$

$$A_s = \frac{0.85 \times f'_c \times b}{f_y} \left( d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_u|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}} \right)$$

Las losas macizas tienen 20cm de espesor, se diseñarán tomando franjas  $b=100\text{cm}$  de ancho tanto en la dirección X y también en la dirección Y, por lo tanto, se entiende que las unidades de los momentos flectores, de las fuerzas cortantes y de las áreas del acero de refuerzo están divididas por metro. El refuerzo mínimo en la cara en tracción por flexión de la losa maciza será:

$$A_{s_{\min}} = 0.0012 \times b \times d = 0.0012 \times 100 \times 16.87 = 2.024\text{cm}^2$$

El refuerzo máximo en la cara en tracción por flexión de la losa maciza será:

$$A_{s_{\max}} = 0.75 \times A_{s_b} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times f'_c \times b \times d)$$

$$A_{s_{max}} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times 210 \times 100 \times 16.87) = 26.87 \text{ cm}^2$$

**TABLA N°4.1.- Resumen de diseño de losa maciza por flexión, dirección X**

Dirección X	Mu (t-m)	b (cm)	d (cm)	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )	As (colocado)	Ascol (cm <sup>2</sup> )	Verif.
Eje A	-2.82	100	14.65	210	4200	5.32	1ø1/2"@.20	6.35	ok
Tramo A-B	5.76	100	15.60	210	4200	10.6	1ø1/2"@.10	12.70	ok
Eje B	-3.44	100	15.60	210	4200	6.12	1ø1/2"@.20	6.35	ok
Tramo B-C	1.76	100	15.60	210	4200	3.60	1ø1/2"@.20	6.35	ok
Eje C	-2.43	100	15.60	210	4200	4.26	1ø1/2"@.20	6.35	ok

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N°4.2.- Resumen de diseño de losa maciza por flexión, dirección Y**

Dirección Y	Mu (t-m)	b (cm)	d (cm)	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )	As (colocado)	Ascol (cm <sup>2</sup> )	Verif.
Eje 1	-4.09	100	16.87	210	4200	7.35	1ø1/2"@.10	12.70	ok
Tramo 1-2	5.83	100	16.87	210	4200	10.8	1ø1/2"@.10	12.70	ok
Eje 2	-2.60	100	16.87	210	4200	4.57	1ø1/2"@.20	6.35	ok

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2 Diseño por cortante

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_c = \phi \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$\phi V_s = \frac{\phi \times A_v \times f_y \times d}{s}$$

Se considerará el aporte del acero para la resistencia por cortante cuando  $d \geq 15 \text{ cm}$ . La fuerza cortante  $V_u$  se obtiene a una distancia "d" de la cara del apoyo.

**TABLA N°4.3.- Resumen de diseño de losa maciza por cortante**

Apoyo	V <sub>u</sub> (t)	b (cm)	d (cm)	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	øV <sub>c</sub> (t)	Estribos (NTE E.060 Art. 11.12.3)	øV <sub>s</sub> (t)	Verif.
Eje A	14.30	100	16	210	4200	10.45	□ø8mm@.08	7.14	ok
Eje B	9.80	100	16	210	4200	10.45	-	-	ok
Eje C	4.85	100	16	210	4200	10.45	-	-	ok
Eje 1	9.80	100	16	210	4200	10.45	-	-	ok
Eje 2	8.80	100	16	210	4200	10.45	-	-	ok

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto al refuerzo por cortante en la losa maciza, se tiene que el espaciamiento entre los estribos es de  $d/2$ , con una longitud de confinamiento de  $2d$ , espaciado en la dirección perpendicular al cortante.

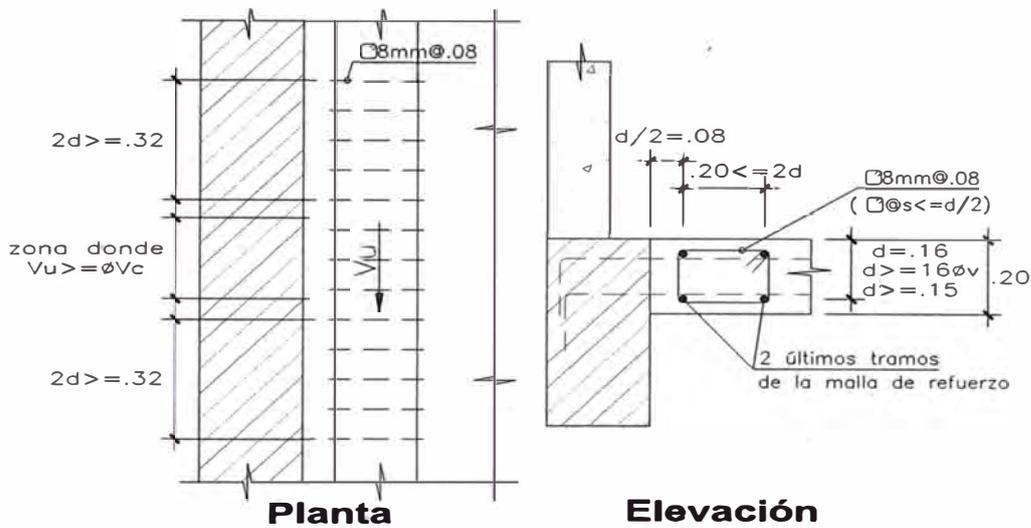


Figura N°4.1.- Distribución del refuerzo por cortante en la losa maciza (m)

También, en la norma se especifica que  $V_n = V_c + V_s$ , debe ser menor que la siguiente expresión:

$$V_n \leq 1.6 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1.6 \times \sqrt{210} \times 100 \times 16}{1000} = 37.10t$$

En el eje A se tiene que:  $V_n = 10.45t/0.85 + 7.14t/0.85 = 20.69t < 37.10t$ , por lo tanto, cumple.

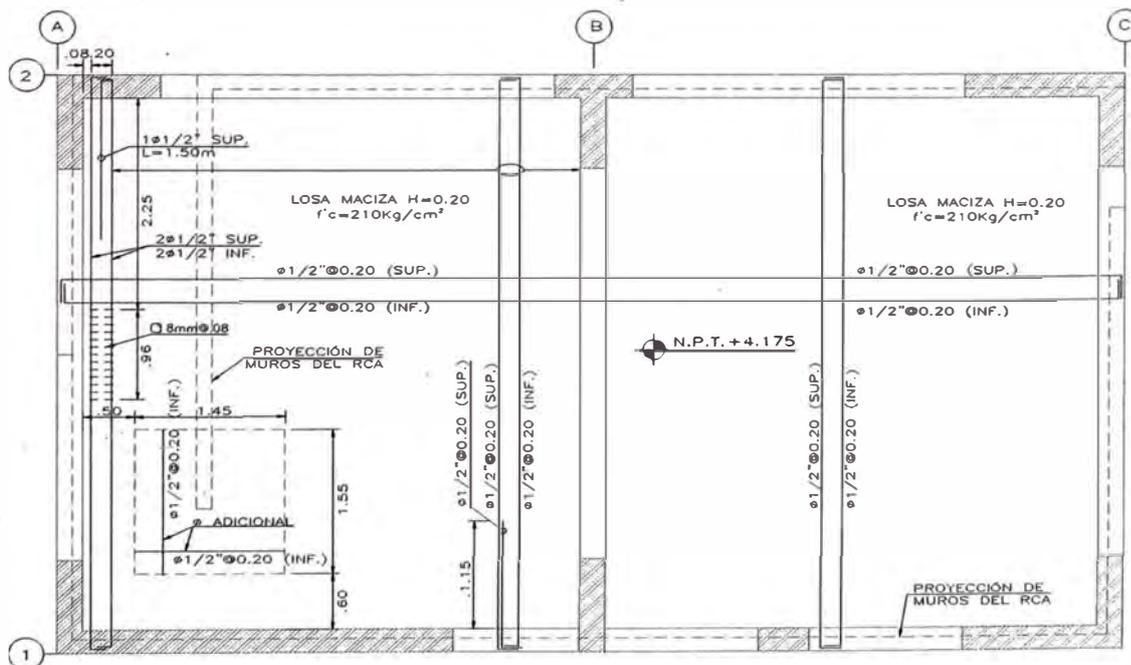


Figura N°4.2.- Distribución del refuerzo en la losa maciza.

### 4.1.3 Control de deflexiones.

El momento de agrietamiento de la losa maciza de espesor  $h=20\text{cm}$  en una franja de ancho  $b=100\text{cm}$ , será:

$$I_g = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{100 \times 20^3}{12} = 6.66 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{Y_t} = \frac{2 \times \sqrt{f_c'} \times I_g}{Y_t} = \frac{2 \times \sqrt{210} \times 6.66 \times 10^4}{20/2 \times 10^5} = 1.932 \text{ t} \cdot \text{m}$$

Los momentos flectores por cargas de servicio, tomados del análisis estructural no superan el momento de fisuramiento de la sección ( $M_{cr}=1.932\text{t}\cdot\text{m}$ ), por lo tanto, la losa trabaja en el rango elástico en la etapa de servicio por lo que las deflexiones se trabajan con la inercia bruta de la sección y se obtienen directamente del modelo estructural.

Deflexión inmediata al 100% de la carga muerta:  $\Delta_i(D)=1.247\text{mm}$

Deflexión inmediata al 100% de la carga viva:  $\Delta_i(100\%L)=0.427\text{mm}$

Debido a que los datos disponibles sobre deflexiones diferidas de los elementos armados en dos direcciones son escasos para justificar procedimientos más elaborados, El artículo 9.6.3.4 de la N.T.E. E0.30, permite usar los mismos procedimientos de verificación de elementos armados en una dirección. Para deflexiones diferidas para un período de más de 5 años se puede usar  $\xi=2.5$ .

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50 \times \rho'} = \frac{\xi}{1 + 50 \times (A_s' / (b \times d))} = \frac{2.5}{1 + 50 \times (5 \times 1.27 / (100 \times 16))} = 2.086$$

$$\Delta_d(D) = \Delta_i(D) \times \lambda_{\Delta} = 1.247\text{mm} \times 2.086 = 2.601\text{mm}$$

$$\Delta_d(100\%L) = \Delta_i(100\%L) \times \lambda_{\Delta} = 0.427\text{mm} \times 2.086 = 0.891\text{mm}$$

Deflexión máxima.

$$\Delta_{\text{total}}(\text{máx.}) = \Delta_i(D) + \Delta_i(L) + \Delta_d(D) + \Delta_d(100\%L) = 1.247 + 0.427 + 2.601 + 0.891$$

$$\Delta_{\text{total}}(\text{máx.}) = 5.166\text{mm}$$

Las deflexiones máximas permisibles según la norma son las siguientes:

Deflexión inmediata debido al 100% de la carga viva

$$L_n/360 = 4820\text{mm}/360 = 13.38\text{mm} > \Delta_i(L) = 0.427\text{mm}$$

$$\text{Deflexión diferida } L_n/480 = 4820\text{mm}/480 = 10.04\text{mm} > \Delta_{\text{total}}(\text{máx.}) = 5.166\text{mm}$$

Los valores de deflexión máxima permisible son superiores a lo calculado, por lo tanto, las losas macizas de esta edificación no tendrán problemas de deflexiones.

#### 4.1.4 Control de fisuración.

El control de la fisuración en losas macizas armadas en dos direcciones, habitualmente no constituye un problema, y por lo tanto el código ACI no lo trata específicamente. Sin embargo es importante seguir las especificaciones de refuerzo mínimo, espaciamiento restringido del refuerzo en las secciones de momento crítico que es a dos veces el espesor de la losa y se debe seguir los requisitos sobre el espesor mínimo de los elementos armados en dos direcciones para limitar las deflexiones, todas estas recomendaciones anteriores sirven de forma indirecta como una manera de limitar la fisuración excesiva en las losas macizas armadas en dos direcciones.

## 4.2 DISEÑO DE LOSAS ALIGERADAS

El diseño se hace en base a las cargas de gravedad y mediante modelos simples de análisis, por lo tanto, se usará la combinación de carga que corresponde para las cargas muertas (D) y las cargas vivas (L).

Cargas muertas: 350kg/m<sup>2</sup> para el peso del aligerado (h=25cm) y 120kg/m<sup>2</sup> para el peso de acabados.

$$D = (350\text{kg}/\text{m}^2 + 120\text{kg}/\text{m}^2) \times 0.40\text{m} = 188\text{kg}/\text{m}$$

Cargas vivas: 500kg/m<sup>2</sup> para la sobrecarga en zonas de tienda.

$$L = (500\text{kg}/\text{m}^2) \times 0.40\text{m} = 200\text{kg}/\text{m}$$

Carga última distribuida:

$$W_u = 1.4D + 1.7L = 1.4 \times 188\text{kg}/\text{m} + 1.7 \times 200\text{kg}/\text{m} = 603.2\text{kg}/\text{m}$$

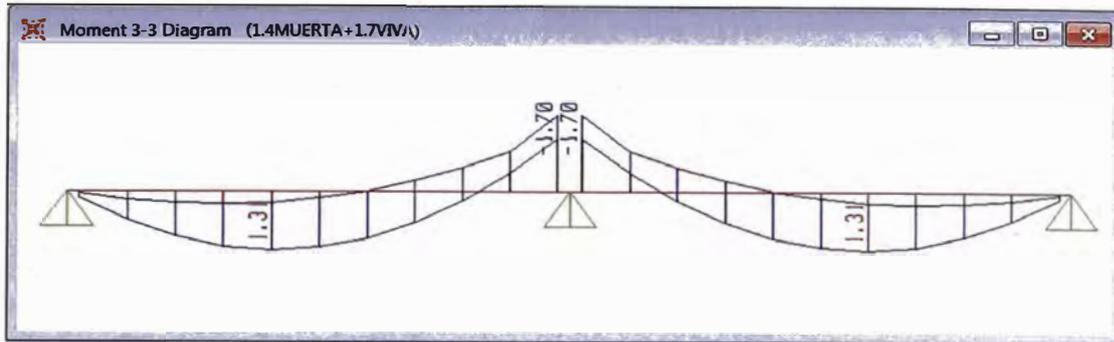


Figura N°4.3.- Diagramas de momentos flectores de la vigueta M3-3 (t-m)

#### 4.2.1 Diseño por flexión

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}}$$

$$A_s = \frac{0.85 \times f'_c \times b}{f_y} \left( d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}} \right)$$

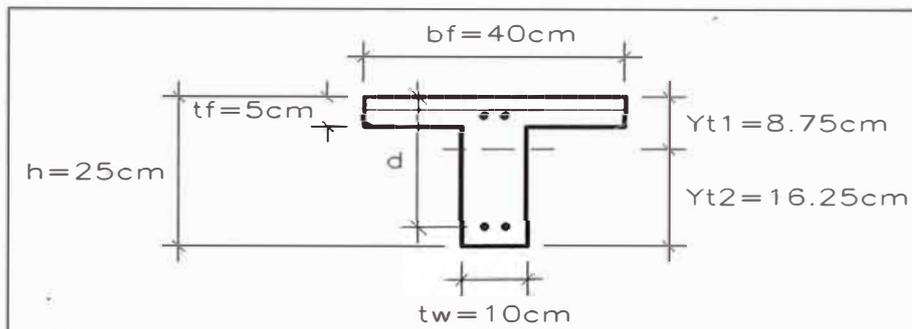


Figura N°4.4.- Sección transversal de la vigueta

$$Y_{t1} = \frac{1}{2} \times \frac{tw \times h^2 + (bf - tw) \times tf^2}{tw \times h + (bf - tw) \times tf} = \frac{1}{2} \times \frac{10 \times 25^2 + (40 - 10) \times 5^2}{10 \times 25 + (40 - 10) \times 5} = 8.75 \text{ cm}$$

$$Y_{t2} = h - Y_{t1} = 25 - 8.75 = 16.25 \text{ cm}$$

$$I_g = \frac{bf \times Y_{t1}^3 - (bf - tw) \times (h - Y_{t2} - tf)^3 + tw \times Y_{t2}^3}{3}$$

$$I_g = \frac{40 \times 8.75^3 - (40 - 10) \times (25 - 16.25 - 5)^3 + 10 \times 16.25^3}{3} = 2.27 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

Refuerzo mínimo por flexión en secciones de momentos negativos.

$$Mcr_1 = \frac{fr \times Ig}{Yt_1} = \frac{2 \times \sqrt{f'_c} \times Ig}{Yt_1} = \frac{2 \times \sqrt{210} \times 2.27 \times 10^4}{8.75 \times 10^5} = 0.752t - m$$

$$\phi Mn = 1.2Mcr = 1.2 \times 0.752 = 0.902t - m \rightarrow As_{\min} = 1.2cm^2$$

Refuerzo mínimo por flexión en secciones de momentos positivos.

$$Mcr_2 = \frac{fr \times Ig}{Yt_2} = \frac{2 \times \sqrt{f'_c} \times Ig}{Yt_2} = \frac{2 \times \sqrt{210} \times 2.27 \times 10^4}{16.25 \times 10^5} = 0.405t - m$$

$$\phi Mn = 1.2Mcr = 1.2 \times 0.405 = 0.486t - m \rightarrow As_{\min} = 0.60cm^2$$

Refuerzo mínimo por flexión en vigas T con ala en compresión (secciones de momentos positivos).

$$As_{\min} = \frac{0.70 \times \sqrt{f'_c} \times tw \times d}{f_y} = \frac{0.7 \times \sqrt{210} \times 10 \times 21.5}{4200} = 0.52cm^2$$

Refuerzo máximo por flexión.

$$As_{\max} = 0.75 \times As_b = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times f'_c \times tw \times d)$$

$$As_{\max} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times 210 \times 10 \times 21.5) = 3.43cm^2$$

**TABLA N°4.4.- Resumen de diseño de la vigueta por flexión**

Dirección	Mu	b	d	f <sub>c</sub>	f <sub>y</sub>	As	As	Ascol	a	Verif.
X	(t-m)	(cm)	(cm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(colocado)	(cm <sup>2</sup> )	(cm)	
Eje A	-0.88	10	21.5	210	4200	1.15	1ø1/2"	1.27	2.99	ok
Tramo A-B	1.31	40	21.5	210	4200	1.65	1ø1/2"+1ø3/8"	1.98	1.16	ok
Eje B	-1.70	10	21.5	210	4200	2.41	2ø1/2"	2.54	5.98	ok
Tramo B-C	1.31	40	21.5	210	4200	1.65	1ø1/2"+1ø3/8"	1.98	1.16	ok
Eje C	-0.88	10	21.5	210	4200	1.15	1ø1/2"	1.27	2.99	ok

Fuente: Elaboración Propia

Los momentos flectores negativos Mu, en el eje A y en el eje B, más desfavorables son de las viguetas que se apoyan en la placa y se hallan por el método de los coeficientes del A.C.I., que en este caso sería:

$$Mu = -Wux(Ln)^2/16 = -603.2x(4.82)^2/16 = -875.76kg-m \leftrightarrow -0.88t-m$$

#### 4.2.2 Diseño por cortante.

$$\phi V_n = \phi V_c$$

La fuerza cortante  $V_u$  se obtiene a una distancia "d" de la cara del apoyo.

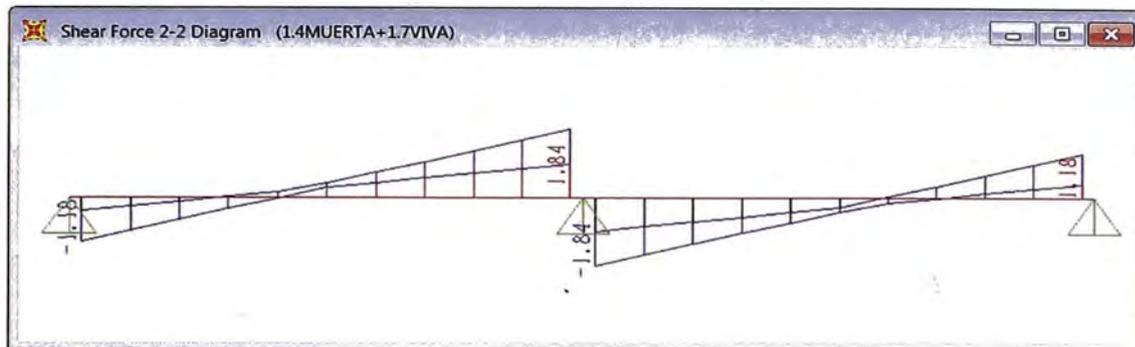


Figura N°4.5.- Diagramas de fuerzas cortantes de la viga V2-2 (t)

Debido a la ausencia de refuerzo por cortante en las viguetas, entonces para poder incrementar la resistencia por cortante de la viga se procederá hacer ensanches por corte, que consiste en reemplazar por concreto a uno o a los dos ladrillos que están a los costados de la viga. La norma peruana permite aumentar en 10% la resistencia por corte del concreto de las viguetas debido al factor de grupo.

$$\phi V_c = \phi \times 1.1 \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times tw \times d$$

TABLA N°4.5.- Resumen de diseño de la viga por cortante

Apoyo	$V_u$ (t)	$tw$ (cm)	$d$ (cm)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi V_c$ (t)	Verif.
Eje A	1.05	10	21.5	210	1.54	ok
Eje B	1.71	25	21.5	210	3.86	ok
Eje C	1.05	10	21.5	210	1.54	ok

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3 Refuerzo por contracción y temperatura.

El refuerzo por temperatura para la losa de 5cm que conforma el ala de las viguetas con un arreglo perpendicular al refuerzo principal de la viga.  $A_s = 0.0018 \times b \times h = 0.0018 \times 100 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 0.9 \text{ cm}^2$ , que equivale a un refuerzo de  $\phi 1/4" @ 0.68$ ; pero, el espaciamiento mínimo del refuerzo por temperatura para losas aligeradas en una dirección es el mínimo entre 40cm y  $5x_t = 5 \times 5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$ . Entonces se colocará un refuerzo de una malla de  $\phi 1/4" @ 0.25$ . En las zonas de ensanche de viguetas se le agregará un refuerzo de una malla de  $\phi 1/4" @ 0.25$  en la parte inferior de la sección transversal del ensanche.

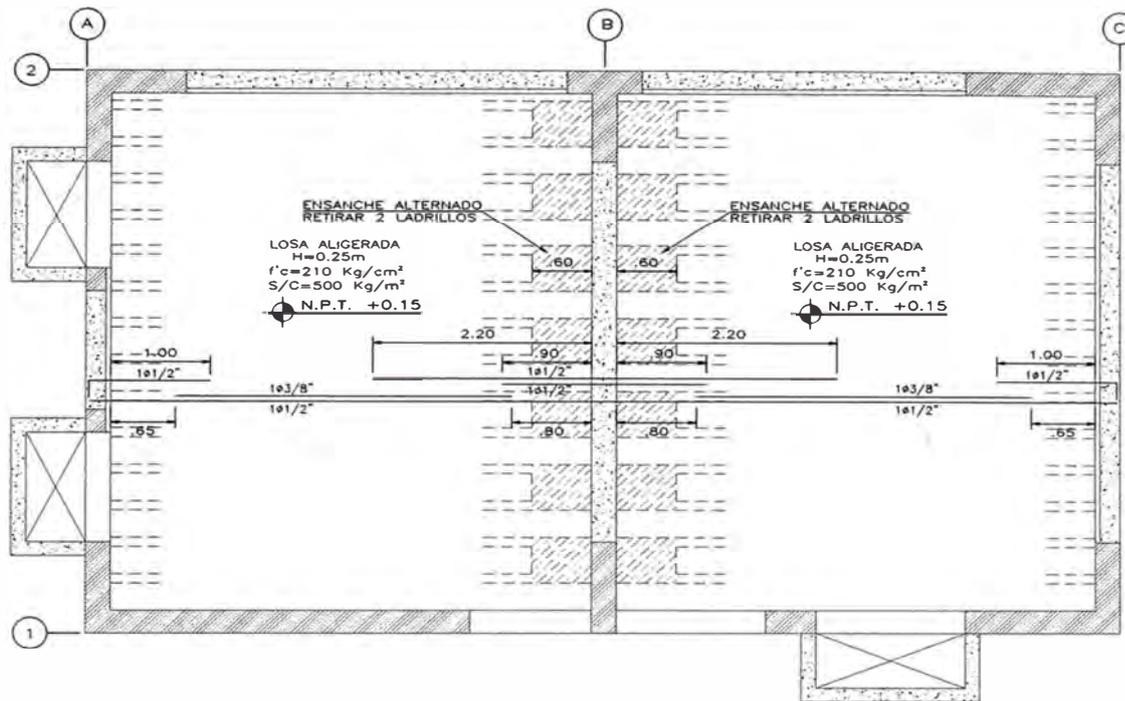


Figura N°4.6.- Distribución del refuerzo en la losa aligerada.

#### 4.2.4 Control de deflexiones.

Como el espesor de la losa aligerada ha sido dimensionada de acuerdo con la ecuación 1.1, que dimensiona el espesor de losas aligeradas unidireccionales con sobrecargas que varían entre 300kg/m<sup>2</sup> y 500 kg/m<sup>2</sup>, entonces no se verificará las deflexiones en las viguetas.

#### 4.2.5 Control de fisuración.

Se verifica el control de fisuración en el apoyo intermedio (Eje B) donde el momento flector por cargas de servicio es mayor.

$$A_{ct} = \frac{2 \times y_s \times b}{n} = \frac{2 \times 3.5 \times 25}{2} = 87.5 \text{ cm}^2$$

$$f_s = \frac{M_s}{0.9 \times d \times A_s} = \frac{109390.96}{0.9 \times 21.5 \times (2 \times 1.27)} = 2225.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$z = f_s \times \sqrt[3]{d \times A_{ct}} = 2225.7 \times \sqrt[3]{3.5 \times 87.5} = 15002 \text{ kg/cm} \leq 26000 \text{ kg/cm}$$

Por lo tanto, la vigueta de concreto armado cumple con el control de las fisuras.

### 4.3 DISEÑO DE VIGAS

Las vigas peraltadas a diseñar tienen una sección transversal de 25cmx50cm.

**4.3.1 Diseño por flexión.**

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_u|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}}$$

$$A_s = \frac{0.85 \times f'_c \times b}{f_y} \left( d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_u|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}} \right)$$

Refuerzo mínimo por flexión

$$I_g = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{25 \times 50^3}{12} = 26.04 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{Y_t} = \frac{2 \times \sqrt{f'_c} \times I_g}{Y_t} = \frac{2 \times \sqrt{210} \times 26.04 \times 10^4}{50/2 \times 10^5} = 3.01 \text{ t-m}$$

$$\phi M_n = 1.2 M_{cr} = 1.2 \times 3.01 = 3.62 \text{ t-m} \quad \rightarrow A_{s_{\min}} = 2.23 \text{ cm}^2$$

Refuerzo mínimo por flexión para de secciones rectangulares

$$A_{s_{\min}} = \frac{0.70 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d}{f_y} = \frac{0.7 \times \sqrt{210} \times 25 \times 44}{4200} = 2.66 \text{ cm}^2$$

Refuerzo máximo por flexión

$$A_{s_{\max}} = 0.75 \times A_{s_b}$$

Para  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$  y  $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ , entonces se cumple que:

$$A_{s_b} = 1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times f'_c \times b \times d$$

$$A_{s_{\max}} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times f'_c \times b \times d)$$

$$A_{s_{\max}} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times 210 \times 25 \times 44) = 17.52 \text{ cm}^2$$

**4.3.2 Diseño por cortante.**

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_c = \phi \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$\phi V_s = \frac{\phi \times A_v \times f_y \times d}{s}$$

La fuerza cortante  $V_u$  se obtiene a una distancia "d" de la cara del apoyo.

**TABLA N°4.6.- Resumen de diseño de vigas por flexión y por cortante**

Viga	f <sub>c</sub> = 210 (kg/cm <sup>2</sup> )		f <sub>y</sub> = 4200 (kg/cm <sup>2</sup> )		Verif.	b = 25 (cm)		d = 44 (cm)		Verif.
	Mu (t-m)	As (cm <sup>2</sup> )	As (colocado)	Ascol		Vu (t)	øVc (t)	Estribos	øVs (t)	
V101	-3.09	1.90	2ø5/8"	3.96	ok	6.40	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
	9.55	6.15	4ø5/8"	7.92	ok	6.94	7.18	□ø3/8"@.22	10.14	ok
	-10.15	6.56	4ø5/8"	7.92	ok	10.00	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
V102	-6.31	3.96	2ø5/8"	3.96	ok	7.91	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
	1.76	1.07	2ø5/8"	3.96	ok	1.82	7.18	□ø3/8"@.22	10.14	ok
	-7.80	4.95	3ø5/8"	5.94	ok	6.11	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
VA-01	-3.04	1.87	2ø5/8"	3.96	ok	6.2	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
	0.22	0.13	2ø5/8"	3.96	ok	0.29	7.18	□ø3/8"@.22	10.14	ok
	-5.43	3.39	2ø5/8"	3.96	ok	3.89	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
VA-02	-3.62	2.23	2ø5/8"	3.96	ok	4.74	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
Eje 2	0.23	0.14	2ø5/8"	3.96	ok	0.22	7.18	□ø3/8"@.22	10.14	ok
(1° tramo)	-1.23	0.75	2ø5/8"	3.96	ok	0.89	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
VA-02	-0.83	0.50	2ø5/8"	3.96	ok	0.83	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok
Eje 2	0.21	0.13	2ø5/8"	3.96	ok	0.09	7.18	□ø3/8"@.22	10.14	ok
(2° tramo)	-2.50	1.53	2ø5/8"	3.96	ok	1.27	7.18	□ø3/8"@.10	22.31	ok

Fuente: Elaboración Propia

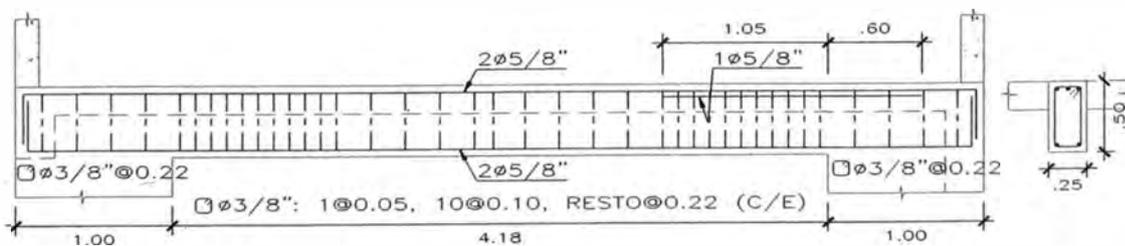
#### 4.3.3 Distribución de los estribos

Del cuadro anterior se puede observar que en todas las vigas se cumple que:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \leq 1.1 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = \frac{1.1 \times \sqrt{210} \times 25 \times 44}{1000} = 17.53t$$

Entonces tendremos un espaciamiento de estribos de:  $s \leq \frac{d}{2} = \frac{44}{2} = 22cm$

Los estribos de las vigas serán de diámetro de 3/8" y estarán distribuidos por recomendación de confinamiento: 1@5cm, 10@10cm resto a 22cm, a cada extremo.



**Figura N°4.7.- Distribución del refuerzo en la viga V-102 (0.25x0.50)**

#### 4.3.4 Control de deflexiones

Se analizará la Viga V102, por tener mayor Ms.

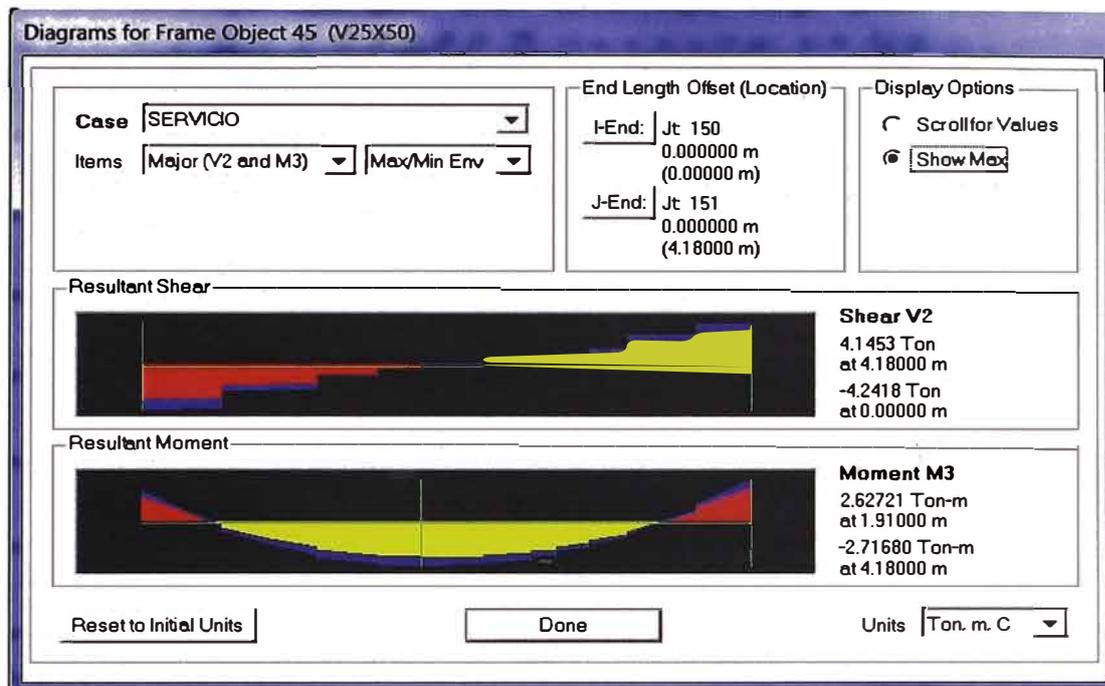


Figura N°4.8.- Fuerzas Cortantes y Momentos Flectores por cargas de servicio en la viga V-102 (0.25x0.50)

Los momentos flectores por cargas de servicio, tomados del análisis estructural no superan el momento de agrietamiento de la sección ( $M_{cr}=3.01t\cdot m$ ), por lo tanto, la viga trabaja en el rango elástico en la etapa de servicio por lo que las deflexiones se trabajan con la inercia bruta de la sección y se obtienen directamente del modelo estructural.

Deflexión inmediata al 100% de la carga muerta:  $\Delta_i(D)=2.917mm$

Deflexión inmediata al 100% de la carga viva:  $\Delta_i(100\%L)=0.245mm$

Las deflexiones diferidas para un período de más de 5 años se usará  $\xi=2.0$  y la siguiente ecuación:

$$\lambda\Delta = \frac{\xi}{1 + 50 \times \rho'} = \frac{\xi}{1 + 50 \times (A_s' / (b \times d))} = \frac{2.0}{1 + 50 \times (2 \times 1.98 / (25 \times 44))} = 1.695$$

$$\Delta_d(D) = \Delta_i(D) \times \lambda\Delta = 2.9175mm \times 1.695 = 4.945mm$$

$$\Delta_d(100\%L) = \Delta_i(100\%L) \times \lambda\Delta = 0.2451mm \times 1.695 = 0.415mm$$

Deflexión máxima.

$$\Delta_{\text{total(máx.)}} = \Delta_i(D) + \Delta_i(L) + \Delta_d(D) + \Delta_d(100\%L) = 2.917 + 0.245 + 4.945 + 0.415$$

$$\Delta_{\text{total(máx.)}} = 8.522 \text{ mm}$$

Las deflexiones máximas permisibles según la norma son las siguientes:

Deflexión inmediata debido al 100% de la carga viva:

$$L_n/360 = 4180 \text{ mm} / 360 = 11.61 \text{ mm} > \Delta_i(L) = 0.245 \text{ mm}$$

$$\text{Deflexión diferida: } L_n/480 = 4180 \text{ mm} / 480 = 8.708 \text{ mm} > \Delta_{\text{total(máx.)}} = 8.522 \text{ mm}$$

Los valores de deflexión máxima permisible son superiores a lo calculado, por lo tanto, la viga V-102 no tendrán problemas de deflexiones.

#### 4.3.5 Control de fisuración.

Se analizará la Viga V102, por tener mayor  $M_s$ .

$$A_{ct} = \frac{2 \times y_s \times b}{n} = \frac{2 \times 6 \times 25}{2} = 150 \text{ cm}^2$$

$$f_s = \frac{M_s}{0.9 \times d \times A_s} = \frac{262720.92}{0.9 \times 44 \times (2 \times 1.98)} = 1675.35 \text{ kg/cm}^2$$

$$z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A_{ct}} = 1675.35 \times \sqrt[3]{6 \times 150} = 16175.33 \text{ kg/cm} \leq 26000 \text{ kg/cm}$$

Por lo tanto, la viga de concreto armado cumple con el control de las fisuras.

#### 4.4 DISEÑO DE COLUMNAS

Se diseña la columna C-1 en la base del primer piso, como se puede apreciar en la figura N°4.9, la cuantía del refuerzo principal de la columna es de 1.001%, por lo tanto, es mayor que la cuantía mínima del 1.0%, requerido para las columnas.

Del análisis con el programa SAP2000, se presenta los valores de las siguientes combinaciones de carga y con el programa CSI Column, se halla la capacidad de sección de la columna:

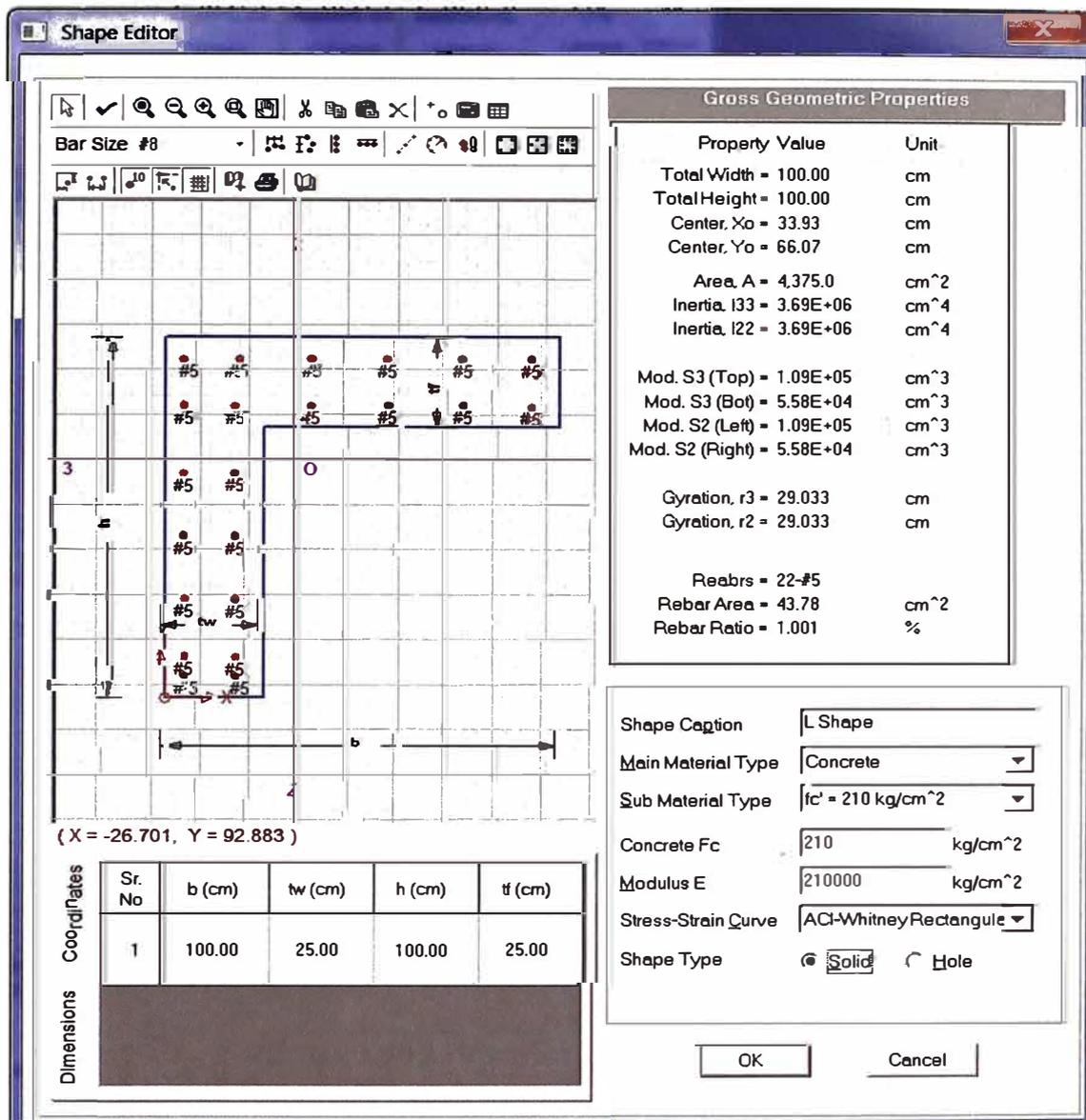


Figura N°4.9.- Características de la columna C-1

TABLA N°4.7.- Combinaciones de carga para la columna C-1

Combinación de Carga	Vax (t)	Vay (t)	Pu (t)	Mux (t-m)	Muy (t-m)	Capacidad de sección ≤ 1	øVc (t)
1.4D+1.7L (max)	2.38	-1.96	27.2	7.22	1.73	0.13	ok 16.02
1.4D+1.7L (min)	1.63	-2.80	21.9	5.04	1.02	0.09	ok 15.89
1.25(D+L)±Sa (max)	<b>11.26</b>	11.45	<b>39.03</b>	<b>39.30</b>	<b>27.60</b>	<b>0.96</b>	ok <b>16.31</b>
1.25(D+L)±Sa (min)	-7.79	-15.56	3.95	-28.71	-25.2	0.53	ok 15.44
0.9D±Sa (max)	10.31	<b>11.95</b>	29.5	36.41	26.90	0.95	ok 16.08
0.9D±Sa (min)	-8.18	-14.45	-1.68	-30.00	-25.4	0.56	ok 15.30

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.1 Efecto global de esbeltez

En el siguiente cuadro se muestra el índice de estabilidad (Q) del entrepiso de la primera planta de la edificación en cada una de las direcciones analizadas.

**TABLA N°4.8.- Valores del índice de estabilidad de la primera planta**

Entrepiso 1° Planta, Dirección X			Entrepiso 1° Planta, Dirección Y		
Distorsión ( $\Delta_0/he$ )	$\Sigma Pu$ (t)	$V_{us}$ (t)	Distorsión ( $\Delta_0/he$ )	$\Sigma Pu$ (t)	$V_{us}$ (t)
0.0003	229.40	76.63	0.0003	229.4	67.25
<b>Q =</b>	0.001	< 0.06	<b>Q =</b>	0.001	< 0.06

Fuente: Elaboración Propia

Donde los valores de la distorsión ( $\Delta_0/he$ ) se han tomado de las Tablas N°2.1 y N°2.2, y el valor del índice de estabilidad del entrepiso está dado por la expresión:

$$Q = \frac{(\Sigma Pu)}{V_{us}} \times (Distorsión)$$

Por lo tanto, debido a que  $Q < 0.06$ , entonces no será tomado en cuenta los efectos globales de esbeltez en las columnas de este entrepiso.

#### 4.4.2 Efecto local de esbeltez

$$r_c = \sqrt{\frac{0.7 \times I_c}{A_c}} = \sqrt{\frac{0.70 \times 3.69 \times 10^6 \text{ cm}^4}{4375 \text{ cm}^2}} = 24.30 \text{ cm}$$

$$\frac{0.7 \times I_c}{L_c} = \frac{0.70 \times 3.69 \times 10^6 \text{ cm}^4}{352.5 \text{ cm}} = 7327.66 \text{ cm}^3$$

$$0.35 \times I_v = 0.35 \times \frac{b \times h^3}{12} = 0.35 \times \frac{25 \times 50^3}{12} = 91145.83 \text{ cm}^4$$

$$\frac{0.35 \times I_v}{L_v} = \frac{91145.83 \text{ cm}^4}{418 \text{ cm}} = 218.05 \text{ cm}^3$$

$$\psi_A = \frac{\Sigma E_c \times (0.7 I_c) / L_c}{\Sigma E_v \times (0.35 I_v) / L_v} = 33.61 \quad \text{y} \quad \psi_B = 0 \text{ (extremo empotrado)}$$

Empleando los nomogramas de Jackson y Moreland, para sistemas sin desplazamiento lateral ( $Q < 0.06$ ), se obtiene el valor de  $k = 0.69$ .

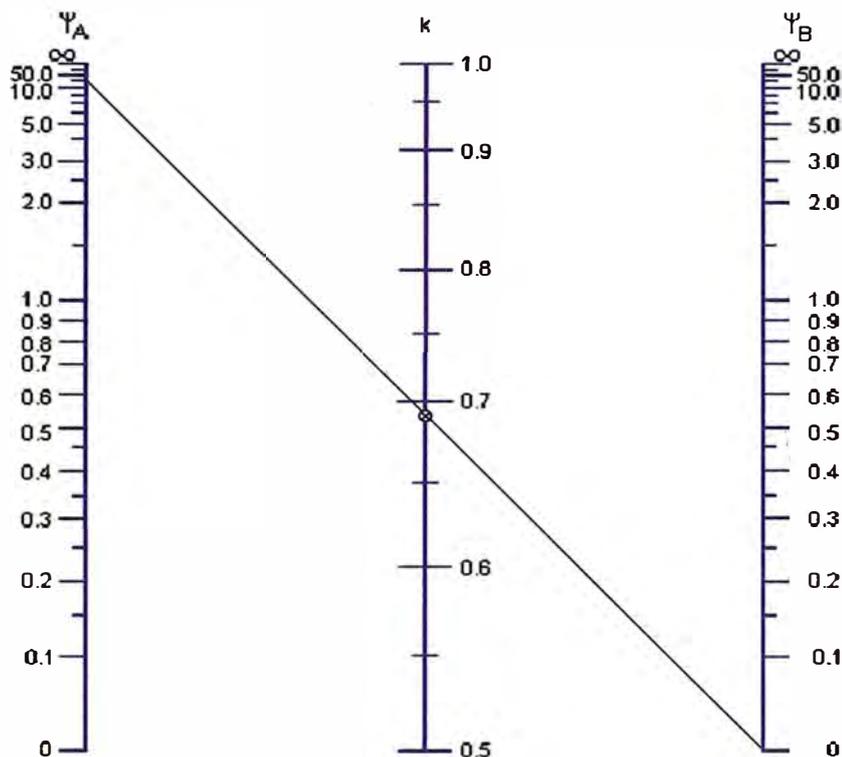


Figura N°4.10.- Nomograma de Jackson y Moreland, sistema sin desplazamiento lateral

Los efectos de la esbeltez se pueden despreciar cuando:

$$k \times L_c / r_c < 34 - 12(M1/M2)$$

$$\frac{k \times L_c}{r_c} = \frac{0.69 \times 352.5}{24.30} = 10.0 < 34 - 12 \times \left( \frac{M1}{M2} \right) = 34 - 12 \times \left( \frac{-28.71}{39.30} \right) = 42.76$$

Como la columna cumple la expresión anterior y se puede observar que las propiedades de esbeltez de la columna C-1 son similares tanto en la dirección X y en la dirección Y, por lo tanto, no se tomará en cuenta los efectos locales de esbeltez de la columna en ambas direcciones.

#### 4.4.3 Condiciones adicionales

Una manera de diferenciar el comportamiento de una columna al de una viga, es calcular la carga axial que soporta. Si  $P_u < 0.1 \times f'_c \times A_g$ , el elemento deberá diseñarse como una viga y en caso contrario como una columna.

$$P_u = 39.03t < 0.1 f'_c A_c = \frac{0.1 \times 210 \times 4375}{1000} = 91.875t$$

De la expresión anterior se concluye que el elemento se diseñará como viga, por lo tanto, los diagramas de interacción estarán afectados por un factor de reducción  $\phi = 0.9$ . Este tipo de columnas se presentan generalmente en los

últimos pisos de los edificios o edificaciones de poca altura, donde la carga axial es pequeña y los momentos flectores son grandes. Debido a que se presentan en el elemento estructural, momentos flectores importantes en ambas direcciones a la vez, se verificará con un diagrama de interacción biaxial si la flexión biaxial es crítica, para ello se verificará con la combinación de carga mostrada en la cuarta fila de la tabla N°4.7.



Figura N°4.11.-Diagrama de interacción flexocompresión biaxial de la columna C-1

De la Figura N°4.11, se observa que el diseño de C-1 es apropiado y cumple una verificación biaxial de los momentos flectores. También de esta gráfica y conociendo que  $\phi=0.9$ , se puede hallar  $Mny$  y  $Mnx$  cuando  $Pu=39.03t$ .

#### 4.4.4 Diseño por cortante

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

La fuerza cortante de diseño se calcula de la siguiente manera:

$$V_{ux} = \frac{2 \times M_{pry}}{L_c} = \frac{2 \times (1.25 \times M_{ny})}{L_c} = \frac{2 \times (1.25 \times 86.46)}{3.525} = 61.32t > V_{ax} = 11.26t$$

Considerando el aporte del concreto por cortante:

$$\phi V_c = \phi \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \times \left(1 + \frac{P_u}{140 \times A_c}\right)$$

$$\phi V_c = \frac{0.85 \times 0.53 \times \sqrt{210} \times 25 \times (100 - 6)}{1000} \times \left(1 + \frac{39.03 \times 1000}{140 \times 4375}\right) = 16.31t$$

$$V_c = 19.18t$$

Observamos también que el valor de  $V_c$  cumple con la limitación normada:

$$V_c \leq 0.93 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \times \sqrt{1 + \frac{Pu}{35 \times A_c}}$$

$$V_c = 19.18t < \frac{0.93 \times \sqrt{210} \times 25 \times (100 - 6)}{1000} \times \sqrt{1 + \frac{39.03 \times 1000}{35 \times 4375}} = 35.47t$$

Considerando el aporte del refuerzo por cortante:

$$V_s \geq \frac{(V_{ux} - \phi V_c)}{\phi} = \frac{(61.32 - 16.31)}{.85} = 52.95t$$

Comparando el valor mínimo de  $V_s$ , que es de 52.95t, la norma exige que este valor debe estar limitado por un valor máximo de:

$$52.95t \leq V_s \leq 2.1 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{2.1 \times \sqrt{210} \times 25 \times (100 - 6)}{1000} = 71.51t, \text{ cumple}$$

$$s \leq \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{5 \times 0.71 \times 4200 \times (100 - 6)}{52.95 \times 1000} = 26cm$$

También la distribución del refuerzo por cortante está dada por la siguiente relación:

$$\text{Si: } V_s \geq 52.95t \geq 1.1 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1.1 \times \sqrt{210} \times 25 \times (100 - 6)}{1000} = 37.46t$$

$$\text{Entonces: } s \leq \frac{d/2}{2} = \frac{(100 - 6)/2}{2} = 23.5cm$$

El estribo de 3/8" de diámetro, estará distribuido por recomendación de la norma en 1@5cm, 10@10cm, resto @ 23cm, a cada extremo.

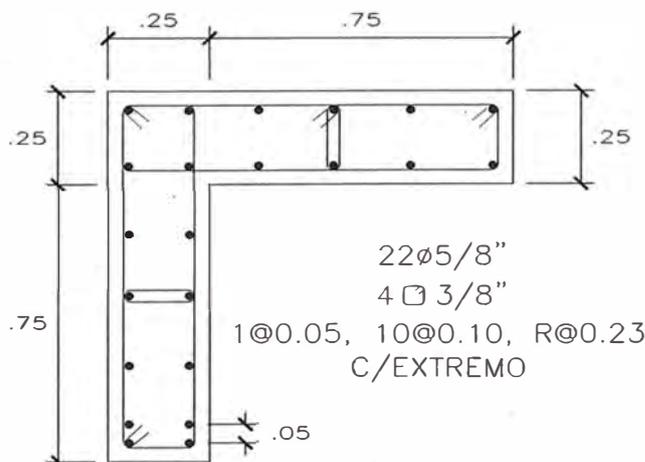


Figura N°4.12.- Sección transversal de columna C-1

#### 4.4.5 Diseño por deslizamiento

$$\phi V_n = \phi \times \mu \times (N_u + A_v \times f_y) = \frac{0.85 \times 0.60 \times (0.9 \times 15.46 + 22 \times 1.98 \times 4200)}{1000}$$

$$\phi V_n = 93.31t > V_{ux} = 40.42t$$

De la relación cumplida, donde  $N_u = 0.9 \times PD$ , se concluye que no habrá problemas por deslizamiento de la columna.

#### 4.5 DISEÑO DE MUROS DE CORTE

Se diseña el muro de corte P-2 en la base del primer piso de la edificación.

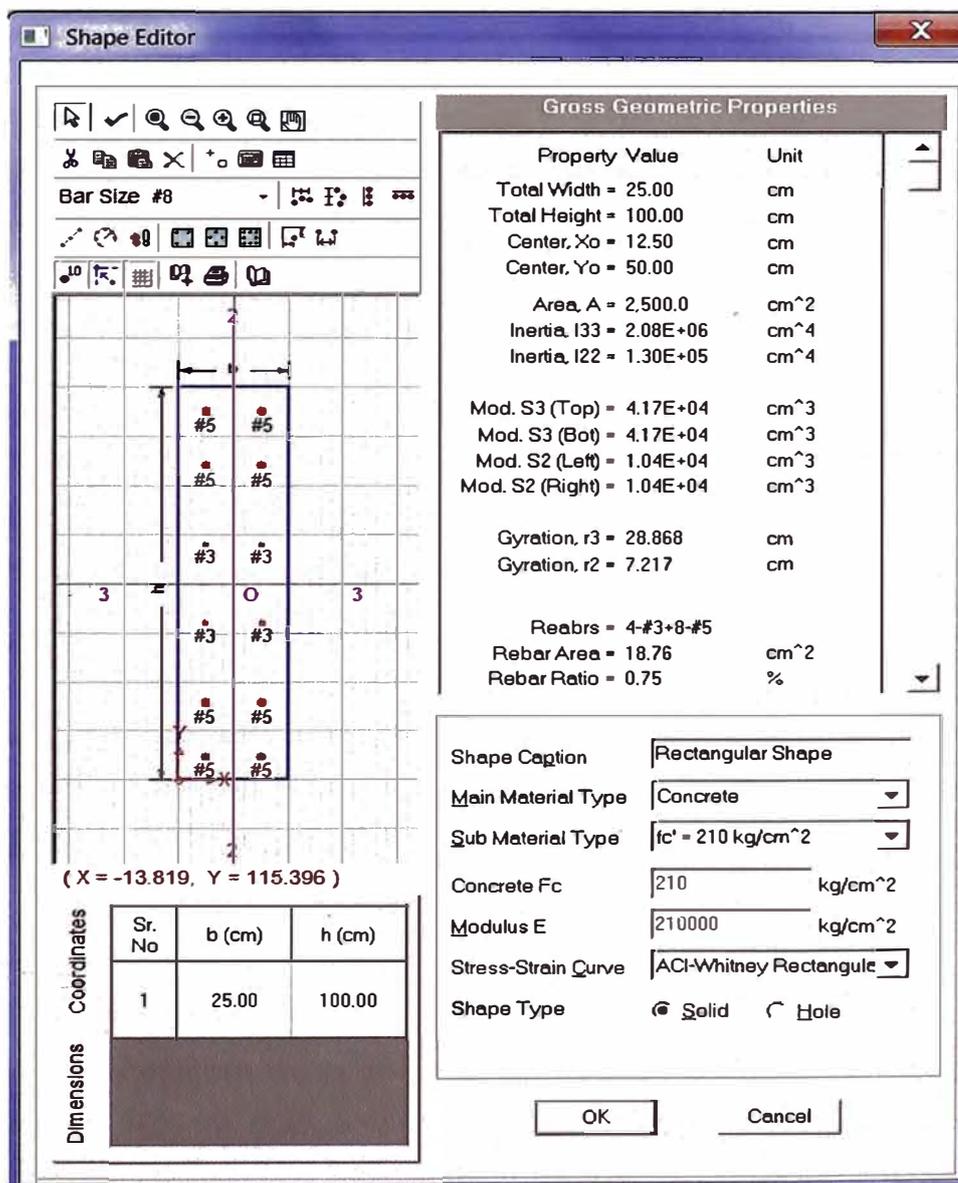


Figura N°4.13.- Características del muro de corte P-2

Del análisis con el programa SAP2000, se presenta los siguientes valores de las combinaciones de carga y con el programa CSI Column, se halla la capacidad de sección del muro de corte P-2:

**TABLA N°4.9.- Combinaciones de carga para el muro de corte P-2**

Combinación de Carga	Vax (t)	Vay (t)	Pu (t)	Mux (t-m)	Muy (t-m)	Capacidad de sección
1.4D+1.7L (max)	0.14	2.96	25.36	-1.30	0.38	0.09
1.4D+1.7L (min)	-0.11	1.97	21.24	-2.29	-0.39	0.08
1.25(D+L)±Sa (max)	1.60	<b>9.12</b>	<b>35.95</b>	<b>13.84</b>	1.82	0.50
1.25(D+L)±Sa (min)	-1.58	-4.89	4.41	<b>-16.89</b>	-1.84	<b>0.56</b>
0.9D±Sa (max)	1.50	7.87	26.68	14.16	1.54	0.52
0.9D±Sa (min)	-1.49	-5.42	-1.84	-15.83	-1.55	0.56

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.1 Refuerzo en los núcleos extremos

Será necesario tener los elementos de los bordes confinados siempre que el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema correspondiente a las fuerzas amplificadas incluyendo los efectos sísmicos, cumpla la siguiente relación:

$$\sigma_c \geq 0.2 f'_c$$

El esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema del muro de corte es:

$$\sigma_c = \frac{Pu}{A_c} + \frac{Mu \times \lambda m / 2}{I_c} = \frac{35.95 \times 10^3}{2500} + \frac{(13.84 \times 10^5) \times (100 / 2)}{2.08 \times 10^6} = 47.65 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma_c = 47.65 \frac{kg}{cm^2} > 0.2 f'_c = 42 \frac{kg}{cm^2}$$

Debido a que los muros son elementos sometidos a bajos esfuerzos de compresión entonces al aproximar el acero en los núcleos extremos, asumimos que la placa trabaja solo por flexión.

$$As = \frac{Mux}{\phi \times f_y \times \lambda m} = \frac{16.89 \times 100000}{0.9 \times 4200 \times 100} = 4.47 cm^2$$

Por lo tanto, se tomará para cada núcleo  $As = 4\phi 5/8''$

El refuerzo de estribos en la zona de los núcleos será de diámetro de  $3/8''$ , distribuido en  $1@5cm$ , resto a  $15cm$ , la separación máxima de los estribos fue tomada del mínimo de  $(10db=10 \times 1.59cm=15.9cm$ , menor dimensión del núcleo:  $15cm, 25cm$ ).

El segundo paso será el de realizar los diagramas de interacción del muro de corte con los núcleos para verificar que los esfuerzos actuantes no sean mayores a los resistentes. A modo de ejemplo, se verificará la combinación de carga mostrada en la tercera fila de la tabla N°4.9.

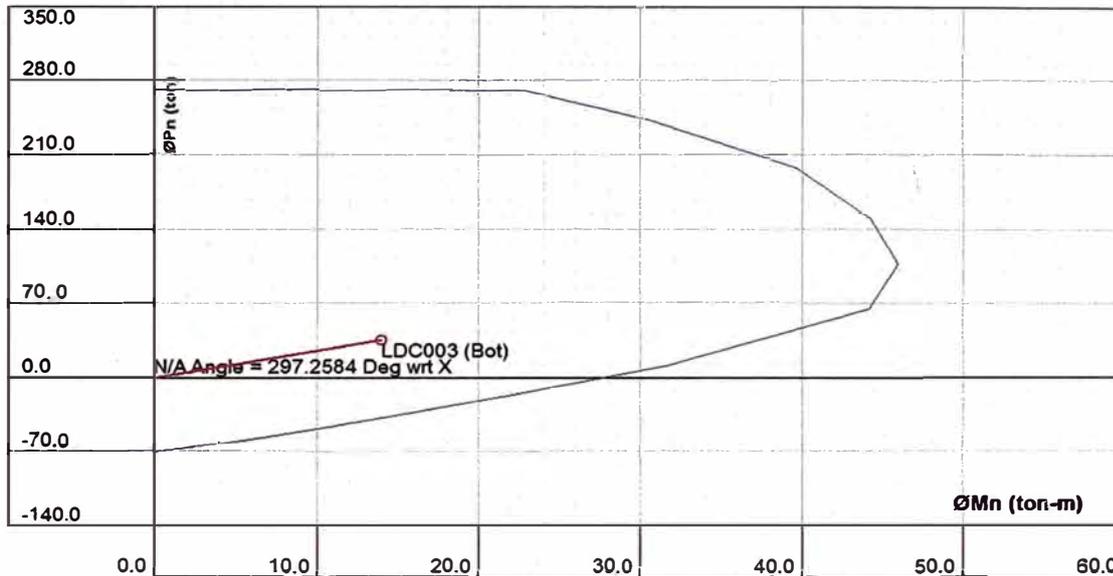


Figura N°4.14.- Diagrama de interacción øMn-øPn del muro de corte P-2

De la Figura N°4.14, se observa que el diseño del muro de corte P-2, es adecuado ya que la combinación de carga entra dentro del diagrama de interacción. También de esta gráfica y conociendo que  $\phi=0.9$  (porque  $P_u=35.95t < 0.1x'f'cxA_g=0.1x210x2500/1000=52.5t$ ) se puede hallar  $M_n=M_{nx}$ .

#### 4.5.2 Diseño por cortante

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

La fuerza cortante obtenida del análisis estructural debe corregirse por el cociente  $M_{nx}/M_{ux}$  con la finalidad de evitar que se produzca la falla frágil por corte antes que la flexión. El cortante último se calcula de la siguiente manera:

$$V_{uy} = V_{ay} \left( \frac{M_{nx}}{M_{ux}} \right) = 9.12 \left( \frac{42.50}{13.84} \right) = 28.01t$$

También se debe verificar que:  $V_{uy} \leq V_{ay} \times R = 9.12 \times 4.5 = 41.04t$ , por lo tanto, cumple.

Considerando el aporte del concreto por cortante:

$$\phi V_c = \phi \times \alpha_c \times \sqrt{f'_c} \times Acw$$

Si:  $\frac{Hm}{\lambda m} = \frac{402.5cm}{100cm} = 4.025 \geq 2$ , entonces,  $\alpha_c = 0.53$  y por lo tanto:

$$\phi V_c = \frac{0.85 \times 0.53 \times \sqrt{210} \times 2500}{1000} = 16.32t$$

$$V_c = 19.20t$$

Considerando el aporte del refuerzo por cortante:

$$V_s \geq \frac{(V_{uy} - \phi V_c)}{\phi} = \frac{(28.01 - 16.32)}{.85} = 13.75t$$

#### 4.5.3 Refuerzo horizontal distribuido en el muro de corte

La cuantía del refuerzo horizontal del muro de corte está limitada por lo siguiente:

$$\text{Si: } V_{uy} = 28.01t > \frac{V_c}{2} = \frac{19.20}{2} = 9.60t, \text{ entonces } \rho_H \geq 0.0025$$

Por lo tanto, en la placa se colocará un refuerzo horizontal

$As = 0.0025 \times 100 \times 25 = 6.25cm^2$ , que equivale a 2 varillas  $3/8" @ 20cm$

La cuantía horizontal colocada en el muro es de:

$$\rho_H = \frac{As}{s \times b} = \frac{2 \times 0.71}{20 \times 25} = 0.00284 > 0.0025$$

$$V_s = Acw \times \rho_H \times f_y = \frac{2500 \times .00284 \times 4200}{1000} = 29.82t$$

$V_n$  está limitado por la siguiente expresión:

$$V_n = V_c + V_s = 19.20t + 29.82t = 49.02t$$

$$V_n \leq 2.6 \times \sqrt{f'_c} \times Acw = \frac{2.6 \times \sqrt{210} \times 2500}{1000} = 94.19t$$

#### 4.5.4 Refuerzo vertical distribuido en el muro de corte

$$\rho_v = 0.0025 + 0.5 \times \left(2.5 - \frac{Hm}{\lambda m}\right) \times (\rho_H - 0.0025) \geq 0.0025$$

$$\rho_v = 0.0025 + 0.5 \times \left(2.5 - \frac{398}{100}\right) \times (0.00284 - 0.0025) = 0.00225$$

$$\rho_v \geq 0.0025$$

Por lo tanto, en la placa se colocará un refuerzo vertical distribuido en 2 varillas 3/8"@20cm

$$\rho_v = \frac{A_s}{s \times b} = \frac{2 \times 0.71}{20 \times 25} = 0.00284 > 0.0025$$

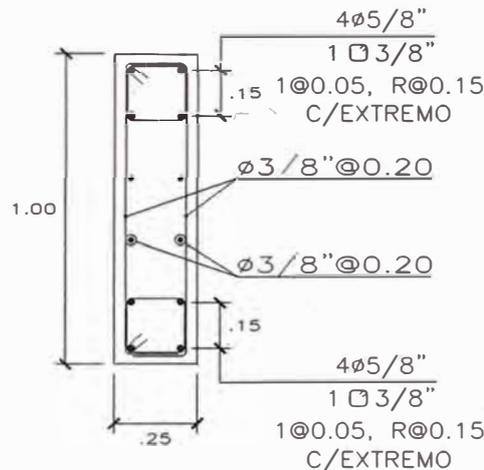


Figura N°4.15.- Sección transversal del muro de corte P-2

#### 4.5.5 Diseño por deslizamiento

$$\phi V_n = \phi \times \mu \times (N_u + A_v \times f_y) = \frac{0.85 \times 0.60 \times (0.9 \times 13.80 + 18.76 \times 4200)}{1000}$$

$$\phi V_n = 40.19t > V_{uy} = 27.98t$$

De la relación cumplida, donde  $N_u = 0.9 \times PD$ , se concluye que no habrá problemas por deslizamiento del muro de corte.

#### 4.6 DISEÑO DE MURO DE SÓTANO

Del estudio de mecánica de suelos obtenemos los siguientes valores:  $\gamma = 1.90t/m^3$  y  $\phi = 28^\circ$ . La altura del muro del sótano en el modelo será de  $H = 3.90m$  y se tomará un ancho  $b = 1.00m$  para el diseño del mismo, por lo tanto, se entiende que las unidades de los momentos flectores, de las fuerzas cortantes y de las áreas de acero de refuerzo están divididas por metro, sobre la coronación del muro existe una sobrecarga  $S/C = 0.50 t/m^2$ , por estar

rodeado de una zona para uso de tienda. El factor de amplificación de la carga última en empujes de suelo es de 1.7.

$$K_A = \frac{1 - \operatorname{sen}\varphi}{1 + \operatorname{sen}\varphi} = \frac{1 - \operatorname{sen}28^\circ}{1 + \operatorname{sen}28^\circ} = 0.361$$

Las cargas amplificadas son:

$$Wu1 = 1.7 \times K_A \times S/C = 1.7 \times 0.361 \times 0.50 = 0.307t/m$$

$$Wu2 = 1.7 \times K_A \times \gamma \times H = 1.7 \times 0.361 \times 1.90 \times 3.90 = 4.548t/m$$

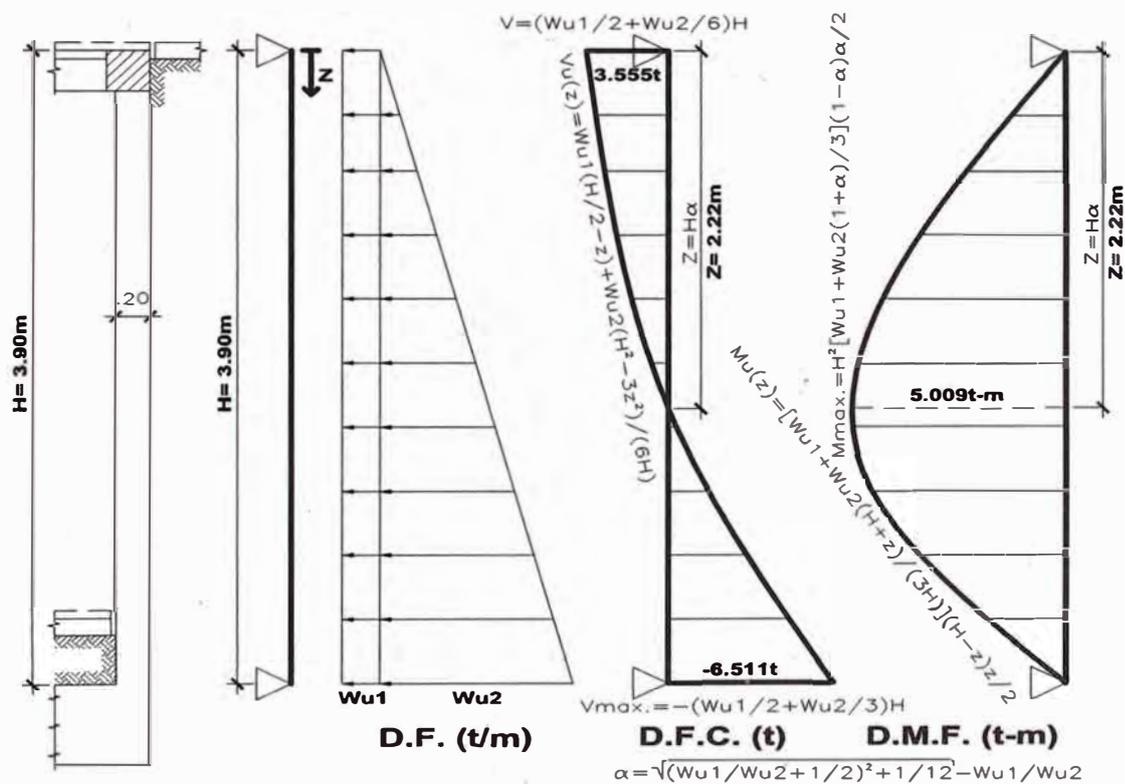


Figura N°4.16.- Diagrama de distribución de fuerzas en el muro de sótano

#### 4.6.1 Diseño por flexión

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}}$$

$$As = \frac{0.85 \times f'_c \times b}{f_y} \left( d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}} \right)$$

La cuantía del refuerzo vertical del muro del sótano está limitada por la cuantía:  $\rho_v \geq 0.0015$ .

$$A_{s_{\min}} = 0.0015 \times b \times h = 0.0015 \times 100 \times 20 = 3.0 \text{ cm}^2$$

Refuerzo máximo vertical:

$$A_{s_{\max}} = 0.75 \times A_{s_b} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times f'_c \times b \times d)$$

$$A_{s_{\max}} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times 210 \times 100 \times (20 - 4.7)) = 24.37 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{0.85 \times 210 \times 100}{4200} \left( (20 - 4.7) - \sqrt{(20 - 4.7)^2 - \frac{2 \times 5.009 \times 10^5}{0.90 \times 0.85 \times 210 \times 100}} \right)$$

$A_s = 9.333 \text{ cm}^2$ , que equivale a colocar un refuerzo de  $\phi 1/2'' @ 13.5 \text{ cm}$ .

En la cara opuesta a refuerzo vertical por flexión se colocará un refuerzo vertical de  $\phi 3/8'' @ 40 \text{ cm}$  (la separación del refuerzo viene del mínimo entre:  $3 \times 20 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$  y  $40 \text{ cm}$ ), este refuerzo sirve de construcción para que pueda sujetar el refuerzo horizontal.

La cuantía total del refuerzo vertical será:

$$\rho_v = \frac{1.27 \times (100/13.5) + 0.71 \times (100/40)}{100 \times 20} = 0.00559 < 0.01, \text{ por lo tanto, el}$$

refuerzo vertical no necesita estribos de confinamiento.

#### 4.6.2 Diseño por cortante.

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_c = \phi \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$\phi V_s = \frac{\phi \times A_v \times f_y \times d}{s}$$

Se considerará el refuerzo por cortante del muro del sótano sólo si:  $d \geq 15 \text{ cm}$ .

Considerando el aporte del concreto a la resistencia por cortante:

$$\phi V_c = \frac{0.85 \times 0.53 \times \sqrt{210} \times 100 \times (20 - 7.7)}{1000} = 8.029 \text{ t} > V_u = 6.511 \text{ t}$$

#### 4.6.3 Refuerzo horizontal.

La cuantía del refuerzo horizontal del muro del sótano está limitada por la cuantía:  $\rho_H \geq 0.0020$ .

$$As_{\min} = 0.0020 \times b \times h = 0.0020 \times 100 \times 20 = 4.0 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, en el muro del sótano, se colocará un refuerzo horizontal distribuido en 2 varillas de  $\phi 3/8'' @ 35 \text{ cm}$ , con esta cantidad obtenemos una cuantía horizontal de:

$$\rho_H = \frac{As}{s \times h} = \frac{2 \times 0.71}{35 \times 20} = 0.00203 > 0.0020$$

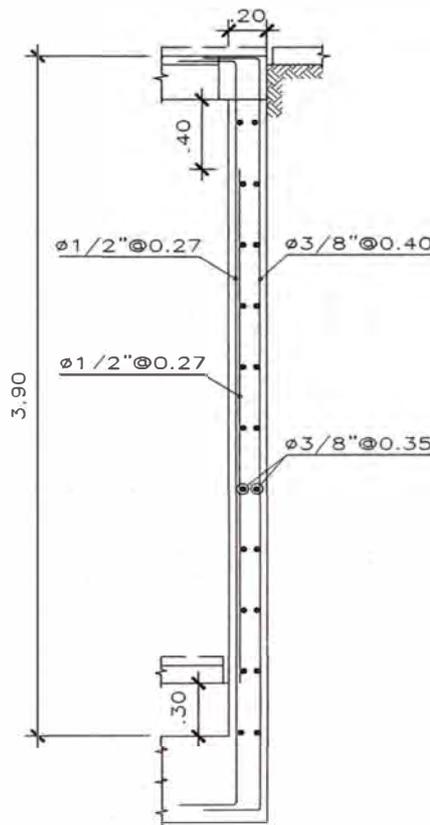


Figura N°4.17.- Detalle de muro de sótano

## 4.7 DISEÑO DE LA LOSA DE CIMENTACIÓN

La losa de cimentación tiene 50cm de espesor y se diseñará para franjas de ancho  $b=100 \text{ cm}$ , tanto en la dirección X y en la dirección Y.

### 4.7.1 Diseño por flexión

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}}$$

$$A_s = \frac{0.85 \times f'_c \times b}{f_y} \left( d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi \times 0.85 \times f'_c \times b}} \right)$$

El refuerzo mínimo en la cara de tracción por flexión de la losa de cimentación será:

$$A_{s_{\min}} = 0.0012 \times b \times d = 0.0012 \times 100 \times (50 - 7 - 0.8) = 5.064 \text{ cm}^2$$

Que equivale a un refuerzo de 1ø1/2" @.25 (As=5.08 cm<sup>2</sup>/m)

El máximo refuerzo por flexión de la losa de cimentación será:

$$A_{s_{\max}} = 0.75 \times A_{s_b} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times f'_c \times b \times d)$$

$$A_{s_{\max}} = 0.75 \times (1.19 \times 10^{-4} \times 0.85 \times 210 \times 100 \times (50 - 7 - 0.8)) = 67.23 \text{ cm}^2$$

Con los diagramas de Momentos flectores analizados y mostrados en las figuras del N°3.10 al N°3.13.

**TABLA N°4.10.- Resumen de diseño de losa de cimentación por flexión, dir. X**

	<b>f<sub>c</sub> =</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>b =</b> (cm)	<b>(d =</b> cm)		
	210	100	45.2		
<b>DIR X-X</b>	<b>Mu</b>	<b>As</b>	<b>As</b>	<b>Ascol</b>	<b>Verif.</b>
<b>Tramo A-B</b>	<b>(t-m)</b>	<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(colocado)</b>	<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	
Franja 1	-15.02	9.00	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 2	-13.70	8.19	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 3	-16.30	9.79	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 4	-15.48	9.28	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 5	-11.31	6.74	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 6	-4.41	2.60	1ø5/8" @.25	9.90	ok
<b>Eje B</b>				<b>(d= 42.4 cm)</b>	
Franja 1	8.60	5.45	2ø1/2" @.25	10.16	ok
Franja 2	5.67	3.58	2ø1/2" @.25	10.16	ok
Franja 3	14.12	9.04	2ø1/2" @.25	10.16	ok
Franja 4	14.86	9.53	2ø1/2" @.25	10.16	ok
Franja 5	14.14	9.06	2ø1/2" @.25	10.16	ok
Franja 6	5.33	3.36	2ø1/2" @.25	10.16	ok
<b>Tramo B-C</b>				<b>(d= 45.2 cm)</b>	
Franja 1	-15.75	9.45	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 2	-13.05	7.80	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 3	-16.28	9.78	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 4	-15.90	9.54	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 5	-12.90	7.70	1ø5/8" @.25	9.90	ok
Franja 6	-4.80	2.83	1ø5/8" @.25	9.90	ok

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N°4.11.- Resumen de diseño de losa de cimentación por flexión, dir. Y**

DIR Y-Y	Mu	As	As	Ascol	Verif.
Tramo A-B	(t-m)	(cm2)	(colocado)	(cm2)	
Franja 1	-10.22	6.31	1ø5/8"@.25	7.92	ok
Franja 2	-13.49	8.37	1ø5/8"@.25	7.92	No ok
Franja 3	-12.05	7.46	1ø5/8"@.25	7.92	ok
Franja 4	-7.26	4.46	1ø5/8"@.25	7.92	ok
Tramo B-C (d= 43.6 cm)					
Franja 1	-4.63	2.83	1ø5/8"@.25	7.92	ok
Franja 2	-9.15	5.64	1ø5/8"@.25	7.92	ok
Franja 3	-11.03	6.82	1ø5/8"@.25	7.92	ok
Franja 4	-8.47	5.21	1ø5/8"@.25	7.92	ok

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°4.11, se observa que el diseño por flexión de la Franja 2 del tramo A-B, no está pasando por considerar sólo el aporte del refuerzo en tracción por flexión; por lo tanto, en el diseño por flexión de esta franja también se considerará el aporte adicional del refuerzo en compresión, para verificar que la sección tenga la resistencia requerida, esto se hace en la Tabla N°4.12.

**TABLA N°4.12.- Diseño por flexión de la franja 2 del tramo A-B, dirección Y**

INPUT INFORMTION:	
$f_c =$	210 kg/cm <sup>2</sup>
$F_y =$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
$A_s =$	7.92 cm <sup>2</sup> (TENSION REINFORCEMENT)
$A's =$	5.08 cm <sup>2</sup> (COMPRESSION.N REINFORCEMENT)
$b =$	100 cm
$h =$	50 cm
$d' =$	6.235 cm
$d'' =$	9.4 cm
$M_u =$	1349000 kg-cm

OUTPUT INFORMATION	
$d = h - d' =$	43.765 cm
$\beta_1 =$	0.85
$\epsilon'_{sb} = .003 - d''/d (.003 + \epsilon_y) =$	0.00190
$f_{sb} = \text{MIN}(F_y; E_s \cdot \epsilon_{sb}) =$	3809.208
$\rho_{max} = 0.75 \cdot 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c / F_y \cdot 6000 / (6000 + F_y) + \rho' \cdot f_{sb} / f_y =$	0.0171
$\rho_{min} = \rho' + 0.85 \cdot \beta_1 \cdot .003 / (.003 - \epsilon_y) \cdot d'' / d \cdot f'_c / f_y =$	0.0271
$\rho = A_s / (b \cdot d) =$	0.0018 < MINIMUM REINFORCING ; THE COMPRESSION REINFORCING NOR YIELD
$\rho' = A's / (b \cdot d) =$	0.0013
$M_n = .85 f_c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2) + A's \cdot f_s \cdot (d - d'')$	
$a =$	3.77 cm
$M_n =$	1649087 kg-cm
$M_{UMAX} = 0.9 M_n =$	1484179 kg-cm > $M_u$ ; OK

Fuente: www.construaprende.com

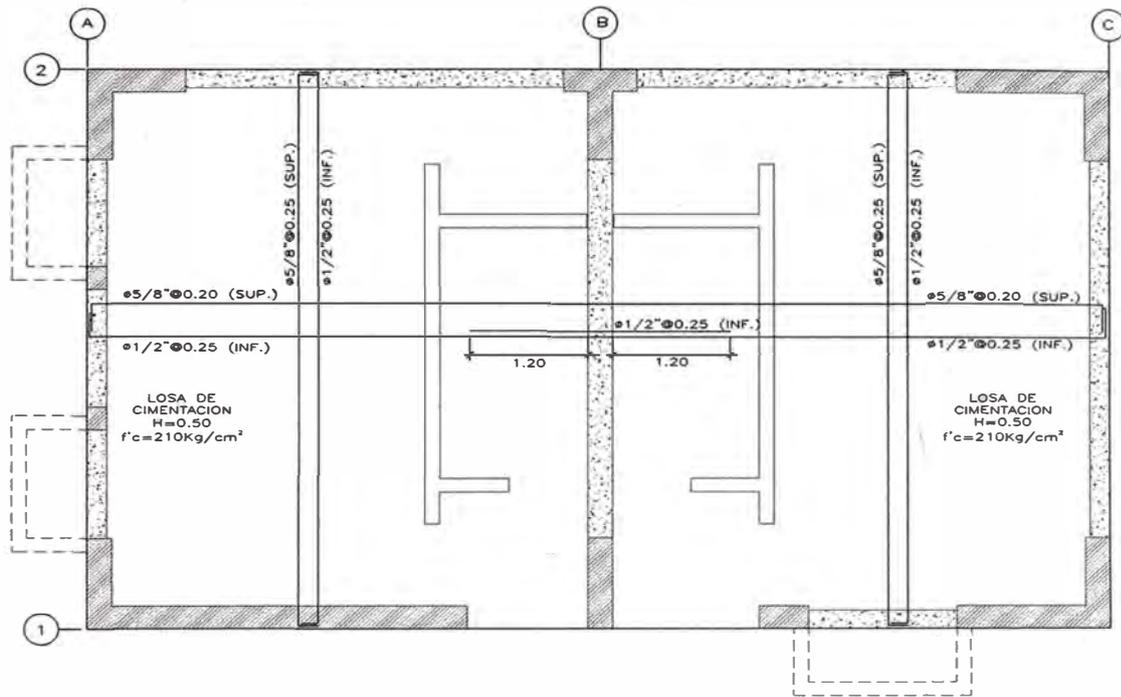


Figura N°4.18.- Refuerzos de la losa de cimentación

#### 4.7.2 Diseño por cortante.

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_c = \phi \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$\phi V_s = \frac{\phi \times A_s \times f_y \times d}{s}$$

La fuerza cortante  $V_u$  se obtiene a una distancia "d" de la cara del apoyo. Se considerará el refuerzo por cortante de la losa de cimentación sólo si:  $d \geq 15\text{cm}$ .

Con los diagramas de fuerzas cortantes mostrados en la figura N°3.12, se observa que el cortante último máximo es  $V_u = 22.233\text{t}$ . Considerando el aporte del concreto a la resistencia por cortante en una franja de ancho  $b = 100\text{cm}$  en la losa de cimentación:

$$\phi V_c = \frac{0.85 \times 0.53 \times \sqrt{210} \times 100 \times (50 - 7 - 0.8)}{1} = 27.549\text{t} > V_u = 22.233\text{t}$$

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 CONCLUSIONES.

5.1.1.- La mayor componente de la fuerza Inercial del compresor TWIN IMW se encuentra en la dirección global X, donde en cada uno de los dos mecanismos biela-manivela doble llega alcanzar el valor de  $P_{\chi_{máx}} = 3178.90kg$ .

5.1.2.- Las distorsiones de los puntos más alejados del centro de masas de la estructura son menores a las permisibles. Las distorsiones máximas en el techo del primer nivel de la estructura fueron de 0.03% en la dirección X y 0.08% en la dirección Y, siendo estos valores menores al límite permisible de 0.7%.

5.1.3.- Los límites de las amplitudes de la respuesta del techo del primer nivel de la edificación, en las direcciones globales X, Y, Z, y que son causadas por las vibraciones del compresor recíprocante de frecuencia de operación de 915 r.p.m., están dentro de lo tolerable, para verificar esto se ha utilizado la gráfica N°2.4, que es un nomograma de la normativa interna de la empresa estatal venezolana PDVSA (Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima).

5.1.4.- La dirección de la estructura con mayor tendencia estar cerca al fenómeno de resonancia es en la dirección Z, con el valor de  $\Omega/\omega = 0.85$ , siendo el margen de seguridad del 15% para estar alejado del límite de la resonancia. Mientras que en la dirección X se tiene el valor de  $\Omega/\omega = 1.20$  y en la dirección Y se tiene el valor de  $\Omega/\omega = 1.74$ .

5.1.5.- Los resultados que se obtuvieron del análisis espectral tuvieron que ser escalados para llegar al 90% (edificación irregular) de las fuerzas cortantes basales del análisis estático. Dichos factores fueron de 1.84 en la dirección X y 1.61 en la dirección Y.

5.1.6.- La losa de cimentación de la edificación está dimensionada con el valor de la presión admisible que causa el asentamiento admisible del suelo, siendo

2.823kg/cm<sup>2</sup> la presión máxima en el suelo, que es provocada por las cargas de servicio con sismo y no supera el 55% de la presión admisible de 5.19kg/cm<sup>2</sup>.

5.1.7.- La distribución de los estribos en las vigas y columnas está regido por el criterio de confinamiento solicitada para los sistemas simorresistentes, debido a que las fuerzas cortantes últimas de diseño dan como resultado espaciamientos más grandes de los estribos.

5.1.8.- Los elementos estructurales verticales de la edificación se comportan como vigas debido a que soportan cargas axiales últimas  $P_u$  menores a  $0.10 \cdot f'_c \cdot A_g$ .

5.1.9.- En el diseño por fuerza cortante de la placa P-2, el valor del cortante último se amplificó en el orden de  $M_{nx}/M_{ux} = 3$ , incrementándose su sobre resistencia en 200%, esto se debe a que el reglamento desea evitar la falla frágil por corte.

## 5.2 RECOMENDACIONES.

5.2.1.- El uso adecuado de los programas de cómputo como el SAP2000 y SAFE, nos permite desarrollar análisis refinados de los elementos estructurales que componen una edificación.

5.2.2.- Se recomienda usar el nomograma de PDVSA, para limitar la transmisión de las amplitudes de las vibraciones provocadas por las máquinas reciprocantes a su base de apoyo.

5.2.3.- Se recomienda solicitar al fabricante de la máquina generadora de cargas dinámicas, los datos necesarios que permitan modelar las fuerzas dinámicas (planos generales de la máquina con la ubicación de los centros de masas de sus componentes y con sus pesos respectivos, frecuencia de operación de la máquina, características y ubicación de los amortiguadores, entre otros). Se recomienda consultar la información del ACI 351.3R-04.

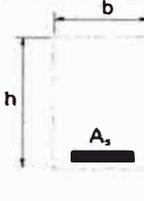
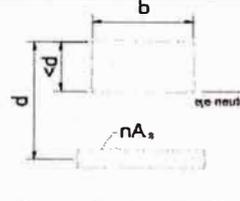
## BIBLIOGRAFÍA

- ACI Comité 351; “Foundation for Dynamic Equipment, ACI 351.3R-04”; American Institute Concrete; USA; 2004.
- ACI comité 318; “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario”; American Concrete Institute; U.S.A.; 2008.
- Angos Taco, Miguel Angel; “Manual de Diseño de Cimentaciones Tipo Bloque para Equipo Dinámico”; Ecuador; 2009.
- Braja M. Das; “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”; International Thomson Editores S.A.; México; 2001.
- Bran S. José, González C. Rafael y Ortiz L. Hugo; “Métodos de Ensayo para la Determinación de las Propiedades Dinámicas de los Suelos de El Salvador”; El Salvador; 2009.
- Carreño V., Rodrigo; “Dinámica Avanzada de Estructuras”; Manual guía de enseñanza; Chile; 2009.
- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI; “GAS NATURAL SECO. Estación de servicio para venta al público de gas natural vehicular (GNV)”; Perú; 2007.
- Computers and Structures, Inc.; “CSICOL for Analysis and Design of Reinforced and Composite Columns”; User’s Manual and Technical Reference; USA; 2003.
- Freire Tellado, Manuel J.; “Precisiones para el Empleo del Método del Módulo de Balasto en Edificación”; Dpto. de Tecnología de la Construcción Univ. de A Coruña, revista CSIC; España; 1999.

- Gilarranz, José y Santamaría, Eduardo; "Fundaciones de Compresores Reciprocantes"; Manual de Ingeniería de Diseño PDVSA; Venezuela; 1994.
- Hernández Eliud; "Manual de Aplicación de Programa SAFE v12"; INESA Ingenieros Estructurales Asociados; Venezuela; 2011.
- IMW Compressor Systems; "IMW50 Air-Cooling Compressor Manual"; IMW Industries Ltd; Canada; 2006.
- Ortiz Bosmans, Esteban; "Modelamiento y Análisis de estructuras en SAP2000 Versión 10"; Empresa Editora Macro E.I.R.L.; Perú; 2006.
- Ottazzi Pasino, Gianfranco; "Diseño en Concreto Armado"; Capitulo Peruano del ACI; Perú; 2006.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de la República del Perú; "Reglamento Nacional de Edificaciones"; Grupo Editorial Megabyte S.A.C.; Perú; 2012.
- Rodríguez Serquén, William; "Ingeniería Geotécnica"; Manual guía de enseñanza; Perú; 2013.
- Shigley, Joseph Edward y Uicker Jr., John Joseph; "Teoría de Máquinas y Mecanismos"; editorial Mc Graw Hill; México; 2001.
- Singiresu S. Rao; "Mechanical Vibrations"; Addison-Wesley Publishing Company; USA; 2000.
- Suresh Arya, Michael O'Neil y George Pincus; "Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines"; Gulf Publishing Company; USA; 1984.
- Wilson, Edward L.; "Análisis Estático y Dinámico de Estructuras, Un enfoque Físico con Énfasis en Ingeniería Sísmica"; Computers and Structures, Inc.; México; 2004.

ANEXOS

A.1 PROPIEDADES DE SECCIONES FISURADAS EN VIGAS.

Sección bruta	Sección fisurada transformada	Momento de inercia de la sección bruta y de la sección fisurada
	 <p>Sin armadura de compresión</p>	$n = \frac{E_s}{E_c}$ $B = \frac{b}{(nA_s)}$ $I_g = \frac{bh^3}{12}$ <p>Sin armadura de compresión:</p> $kd = \left( \sqrt{2dB + 1} - 1 \right) / B$ $I_{cr} = b(kd)^3 / 3 + nA_s (d - kd)^2$ <p>Con armadura de compresión:</p> $r = (n - 1) A'_s / (nA_s)$ $kd = \left[ \sqrt{2dB + (1 + rd'/d) + (1 + r)^2} - (1 + r) \right] / B$ $I_{cr} = b(kd)^3 / 3 + nA_s (d - kd)^2 + (n - 1) A'_s (kd - d')^2$
	 <p>Sin armadura de compresión:</p>	$n = \frac{E_s}{E_c}$ $C = b_w / (nA_s) \quad f = h_f (b - b_w) / (nA_s)$ $y_1 = h - 1/2 \left[ (b - b_w) h_f^2 + b_w h^2 \right] / \left[ (b - b_w) h_f + b_w h \right]$ $I_g = (b - b_w) h_f^3 / 12 + b_w h^3 / 12 + (b - b_w) h_f (h - h_f / 2 - y_1)^2 + b_w h (y_1 - h / 2)^2$ <p>Sin armadura de compresión:</p> $kd = \left[ \sqrt{C(2d + h_f f) + (1 + f)^2} - (1 + f) \right] / C$ $I_{cr} = (b - b_w) h_f^3 / 12 + b_w (kd)^3 / 3 + (b - b_w) h_f (kd - h_f / 2)^2 + nA_s (d - kd)^2$ <p>Con armadura de compresión:</p> $kd = \left[ \sqrt{C(2d + h_f f + 2rd') + (f + r + 1)^2} - (f + r + 1) \right] / C$ $I_{cr} = (b - b_w) h_f^3 / 12 + b_w (kd)^3 / 3 + (b - b_w) h_f (kd - h_f / 2)^2 + nA_s (d - kd)^2 + (n - 1) A'_s (kd - d')^2$

A.2 FRECUENCIA DE LOS MODOS NATURALES DE VIBRACION DEL MODELO DEL COMPRESOR TWIN IMW Y SU ANALISIS DE RESONANCIA CON LA ESTRUCTURA DE APOYO.

Una de las razones principales por las que se calculan los períodos naturales y los modos de vibración de una estructura es la conveniencia de desacoplar el sistema de ecuaciones diferenciales asociado al problema dinámico, para la solución del mismo por integración directa y superposición modal. De esa forma, se convierte un problema dinámico de N grados de libertad en N

problemas dinámicos de un solo grado de libertad. El método de los vectores de Ritz constituye una alternativa al cálculo de los vectores Eigen para el desacoplamiento de las ecuaciones dinámicas, previo a su solución por integración directa.

**I. Cálculos iniciales:**

A. Descomponer la Matriz  $[K]$  como  $LDL^T$ , para simplificar cálculos futuros.

B. Obtención del 1º bloque de vectores, en base a la matriz con distribuciones de carga  $[F]$ .

$$[K] \cdot [u_s] = [F]$$

C. Ortogonalizar vectores de  $[u_s]$  respecto a  $[M]$  y  $[K]$ . La orthogonalización se realiza resolviendo el problema de valores propios con las matrices de rigidez y masa transformadas:

$$([\bar{K}] - \rho \cdot [\bar{M}]) \cdot [Z_0] = 0$$

Donde:

$$[\bar{K}] = [u_s]^T \cdot [K] \cdot [u_s]$$

$$[\bar{M}] = [u_s]^T \cdot [M] \cdot [u_s]$$

$$[\bar{V}_1] = [u_s] \cdot [Z_0]$$

D. Normalizar vectores en  $[\bar{V}_1]$  respecto a  $[M]$ :

$$[V_1] = [\bar{V}_1] \cdot ([\bar{V}_1]^T \cdot [M] \cdot [\bar{V}_1])^{-1/2}$$

**II. Cálculos iterativos (i=2,3,...)**

A. Obtener bloque de vectores  $[X_i]$  utilizando:

$$[K] \cdot [X_i] = [M] \cdot [V_{i-1}]$$

B. Ortogonalizar vectores en  $[X_i]$  respecto a  $[K]$  y  $[M]$ :

$$([\bar{K}] - \rho \cdot [\bar{M}]) \cdot [Z_i] = 0$$

Donde:

$$[\bar{K}] = [X_i]^T \cdot [K] \cdot [X_i]$$

$$[\bar{M}] = [X_i]^T \cdot [M] \cdot [X_i]$$

$$[\bar{V}_i] = [X_i] \cdot [Z_i]$$

C. Utilizar método de Gram-Schmidt modificado (2 veces) para hacer a  $[\bar{V}_i]$  ortogonal a todos los vectores previamente calculados y normalizarlos, de manera que  $[V_i]^T \cdot [M] \cdot [V_i] = [I]$

**III. Cálculos finales:**

A. Se calcula matriz  $[\bar{K}] = [V]^T \cdot [K] \cdot [V]$  y se resuelve problema de valores propios:

$$([\bar{K}] - \Omega^2 \cdot [I]) \cdot [Z] = 0$$

B. Se obtienen vectores Ritz, ortogonales a  $[M]$  y  $[K]$  de la estructura:

$$[\Phi] = [V] \cdot [Z]$$

**Figura N°A2.1.- Algoritmo para la generación de Vectores Ritz Dependientes de Carga,**

**Fuente: Rodrigo Carreño V.**

El uso de Vectores Dependientes de Carga Ritz (LDR) representa el enfoque más eficiente para determinar valores precisos de desplazamientos nodales y fuerzas en elementos de estructuras que están sujetas a cargas dinámicas. La ecuación recursiva, que se usa para generar los vectores LDR (Load-Dependent Ritz), es similar al algoritmo para el cálculo de valores y vectores Eigen, con la excepción de que la distribución espacial del vector de carga dinámico sirve como un vector de carga de inicio para comenzar el procedimiento. El primer vector Ritz es el vector estático de desplazamiento correspondiente al vector de carga inicial. Los vectores restantes se generan a partir de una relación recurrente en la cual la matriz de masa es multiplicada por el vector Ritz obtenido previamente y usado como el vector carga para la siguiente solución estática. A cada solución estática se le llama un ciclo de generación. Cada ciclo de generación crea tantos vectores Ritz como haya vectores de carga inicial. Si un vector Ritz generado es redundante o no excita ningún grado de libertad de masa, entonces es descartado y el vector de carga inicial es removido de todos los ciclos de generación subsecuentes.

Una de las desventajas principales en el uso de los vectores Eigen, radica en que no toman en cuenta la distribución de carga dentro de la estructura, por lo cual su uso suele generar múltiples formas modales ortogonales a las cargas aplicadas, que no participan en la respuesta dinámica de la estructura, generando trabajo computacional adicional sin ninguna utilidad. Se usan técnicas de Eigen-solución estándares para ortogonalizar el grupo de vectores Ritz generado, resultando en un grupo final de modos de vectores Ritz. Cada modo de vector Ritz consiste de una forma modal y frecuencia. El grupo total de modos de vectores Ritz puede usarse como una base para representar el desplazamiento dinámico de la estructura. Cuando un número suficiente de modos de vectores Ritz se haya encontrado, algunos de ellos pueden aproximarse mucho a las formas modales y frecuencias de vibración libre, sin embargo los modos de los vectores Ritz están basados en los vectores de carga inicial.

Es posible calcular un grupo de vectores Ritz ortogonales de rigidez y masa con un esfuerzo mínimo de computación, que converge a la solución exacta para cualquier distribución espacial de carga. También se puede notar que no existe iteración en la generación de los Vectores Dependientes de Carga Ritz

(LDR). Otra ventaja importante del uso de los vectores LDR es el hecho de que no es necesario preocuparse por errores introducidos por el truncado de modos superiores como si es el caso de un grupo de vectores Eigen exactos. También, el tiempo de computación que se requiere para calcular los vectores LDR es significativamente menor que el tiempo que se requiere para solucionar vectores Eigen.

Para hallar, en el programa de cómputo SAP2000, los periodos de los modos de vibración del compresor TWIN IMW considerando la influencia de las fuerzas inerciales de sus dos mecanismos de doble manivela, se puede hacer por medio del uso de vectores Ritz, introduciendo los datos en el siguiente cuadro:

**Load Case Data - Modal**

Load Case Name: MODAL [Set Def Name]      Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Modal [Design...]

Stiffness to Use:

- Zero Initial Conditions - Unstressed State
- Stiffness at End of Nonlinear Case [ ]

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes:

- Eigen Vectors
- Ritz Vectors

Number of Modes:

Maximum Number of Modes: 6

Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dynamic Participation Ratios (%)
Load Pattern	Mz	6	99.
Load Pattern	Fx	6	99.
Load Pattern	Fz	6	99.
Load Pattern	Mz	6	99.

[Add]    [Modify]    [Delete]      [OK]    [Cancel]

**Figura N°A2.2.- Los máximos valores de las fuerzas inerciales producidas por el mecanismo de doble manivela del compresor TWIN IMW son incorporadas al análisis modal**

Del paso anterior al operar con el programa de cómputo SAP2000, se obtienen los modos y los periodos naturales de vibración del modelo matemático del compresor TWIN IMW, estos valores se observan en la tabla N°A2.1.

**TABLA N°A2.1.- Resultados del análisis modal del compresor TWIN IMW**

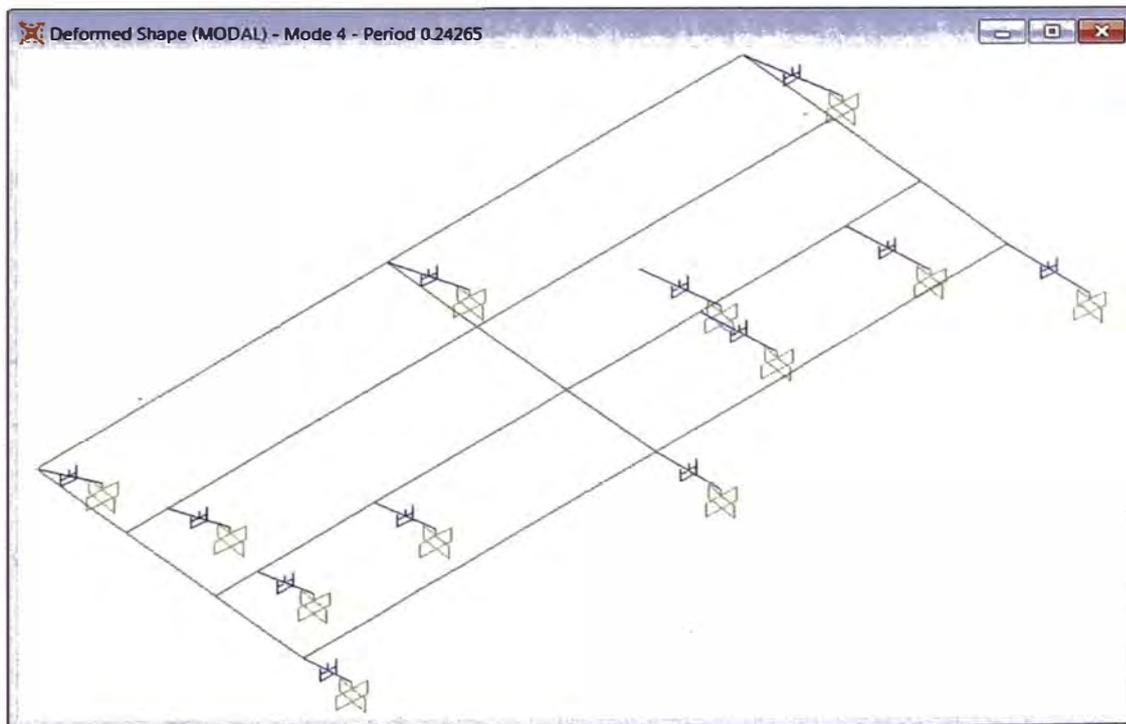
Modo	Periodo (s)	Masa Efectiva (%)			Masa Efectiva Acumulada (%)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.358401	0	0	0.435478	0	0	0.435478
2	0.331705	0	0	0.000028	0	0	0.435506
3	<b>0.246122</b>	0	0	<b>0.491461</b>	0	0	<b>0.926967</b>
4	<b>0.242652</b>	0.182649	<b>0.771192</b>	0	0.182649	<b>0.771192</b>	0.926967
5	<b>0.239792</b>	<b>0.808512</b>	0.191488	0	<b>0.991161</b>	0.96268	0.926967
6	0.196829	0.008839	0.03732	0	1	1	0.926967

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N°A2.2.-Principales periodos y frecuencias naturales del compresor TWIN IMW**

Modo	Período (s)	Frecuencia (Ciclos/s)	Frecuencia (r.p.m.)	Frecuencia (rad/s)
3 (Dirección Z)	0.246122	4.06	243.78	25.53
4 (Dirección Y)	0.242652	4.12	247.27	25.89
5 (Dirección X)	0.239792	4.17	250.22	26.2

Fuente: Elaboración Propia



**Figura N°A2.3.- Modo 4, T=0.242652s del modelo matemático del compresor TWIN IMW**

Consultando a los fabricantes del compresor TWIN IMW, se sabe que en caso de sismo la máquina no se apagará automáticamente, sino que continuará operando. Pero, a manera didáctica se ha tomado el caso particular en que el compresor TWIN IMW, se apagaría automáticamente de producirse un sismo,

para este caso entonces la frecuencia natural de vibración del compresor TWIN IMW, llegaría a ser la frecuencia de excitación  $\Omega$ , y actuaría sobre la estructura que le sirve de apoyo. En la tabla N°A2.1, se indican los 6 primeros modos naturales de vibración del compresor TWIN IMW, de las cuales se puede apreciar que los modos naturales de vibración 3, 4 y 5, son los que tienen mayor influencia en cada una de sus respectivas direcciones globales.

Del modelo matemático de interacción Estructura-Compresor, como se muestra en la Figura N°2.2, se han hallado sus modos y sus periodos naturales de vibración. La tabla N°2.3 muestra en su lista los modos naturales de vibración que más influyen en cada dirección global del modelo matemático.

De manera didáctica se desarrolla el análisis de resonancia en la dirección global Y, con las condiciones anteriormente descritas. Para esto, de la Tabla N° A2.2 se puede observar que la máquina TWIN IMW tiene en la dirección Y, un periodo de vibración  $T=0.242652$  s, esto equivale a una frecuencia de excitación  $\Omega=247.27$  r.p.m. sobre la estructura de apoyo, también de la Tabla N°2.3 se toman los periodos de los tres modos de vibración de la estructura que más influyen en la dirección global Y, los cuales se analizan en las tablas N°A2.3 y N°A2.4.

**TABLA N°A2.3.- Periodos y frecuencias de la estructura en la dirección Y**

Modo	Período (s)	Frecuencia (Ciclos/s)	Frecuencia (r.p.m.)	Fecuencia (rad/s)
<b>8</b> (1er modo)	0.17452	5.73	343.80	36
<b>11</b> (2do modo)	0.11437	8.74	524.63	54.94
<b>66</b> (3er modo)	0.02235	44.74	2684.68	281.14

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N°A2.4.- FADy**

$$FAD_y = 1 / \sqrt{\{[1 - (\Omega/\omega)]^2 + 4 \times 0.05^2 \times (\Omega/\omega)^2\}}$$

FAD	Frecuencia del sistema Compresor - amortiguador $\Omega$ (r.p.m.)	Frecuencia de la Estructura $\omega$ (r.p.m.)	Relación frecuencias $(\Omega/\omega)$	FADy
FAD (1er modo)	247.27	343.80	0.719	2.0490013
FAD (2do modo)	247.27	524.63	0.471	1.2832375
FAD (3er modo)	247.27	2684.68	0.092	1.0085122

Fuente: Elaboración Propia

Las relaciones de frecuencias en la dirección Y, son:

$$\Omega/\omega \text{ (1er modo)} = 0.719 \leq 0.80$$

$$\Omega/\omega \text{ (2do modo)} = 0.471 \leq 0.80$$

$$\Omega/\omega \text{ (3er modo)} = 0.092 \leq 0.80$$

La estructura vibra en alta frecuencia, en sus tres modos naturales más influyentes en la dirección global Y, y en todos los casos márgenes de seguridad son mayores al 20%.

Resonancia en la dirección Y de la estructura.

$$\omega \text{ (1er modo)} = 343.80 \neq 247.27 \text{ r.p.m.}$$

$$\omega \text{ (2do modo)} = 524.63 \neq 247.27 \text{ r.p.m.}$$

$$\omega \text{ (3er modo)} = 2684.68 \neq 247.27 \text{ r.p.m.}$$

De los resultados del análisis podemos concluir que no ocurre resonancia en la dirección Y de la estructura.

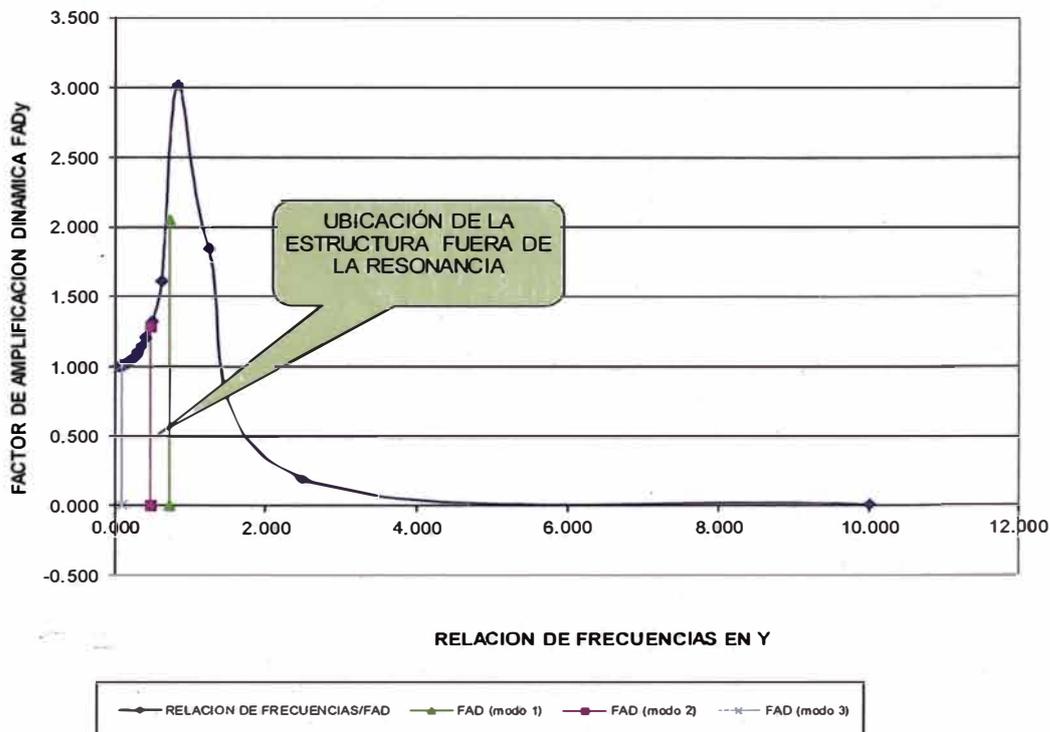
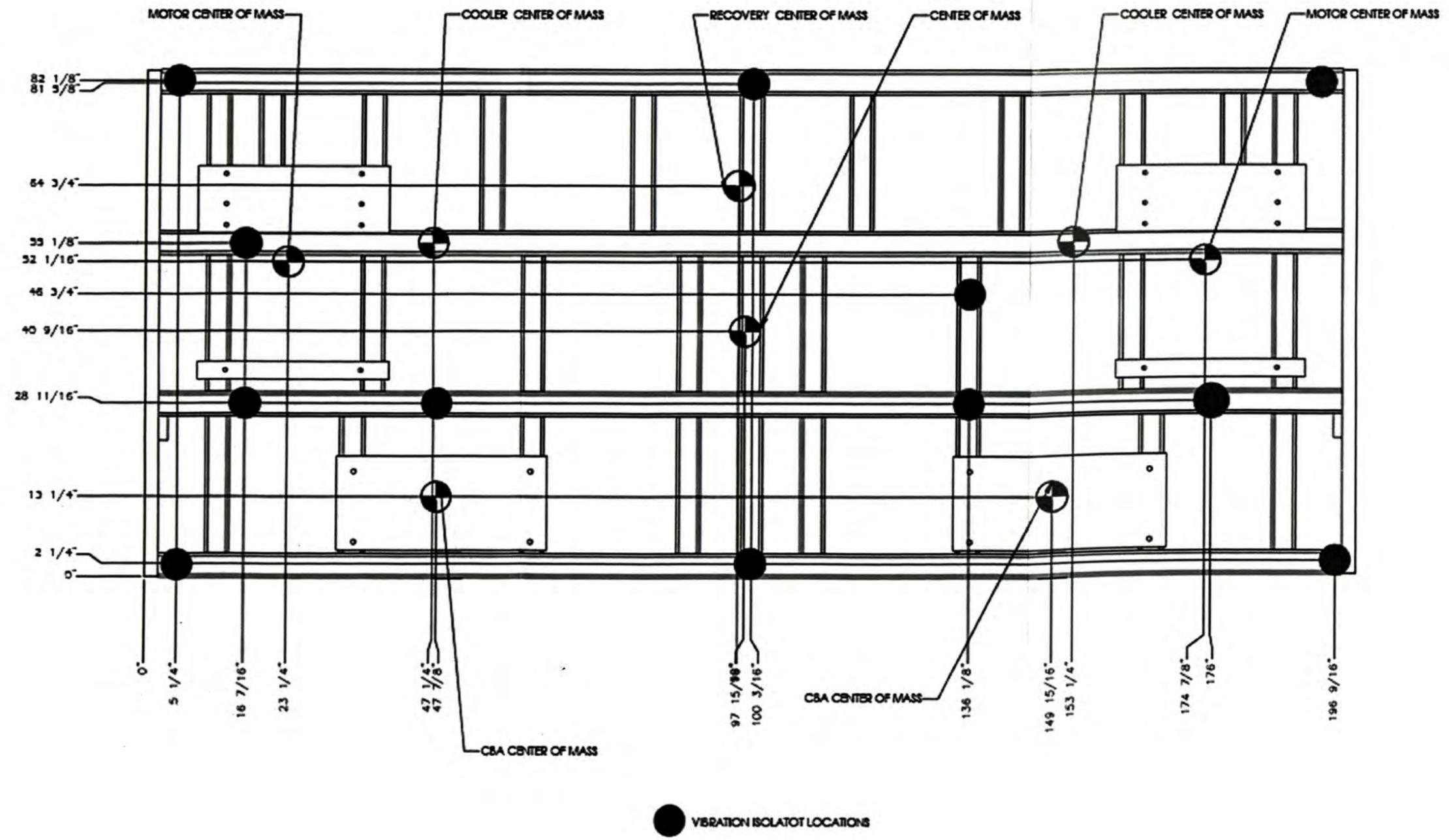


Figura N°A2.4.- Relación de frecuencias en Y vs FADy

### A.3 PLANOS

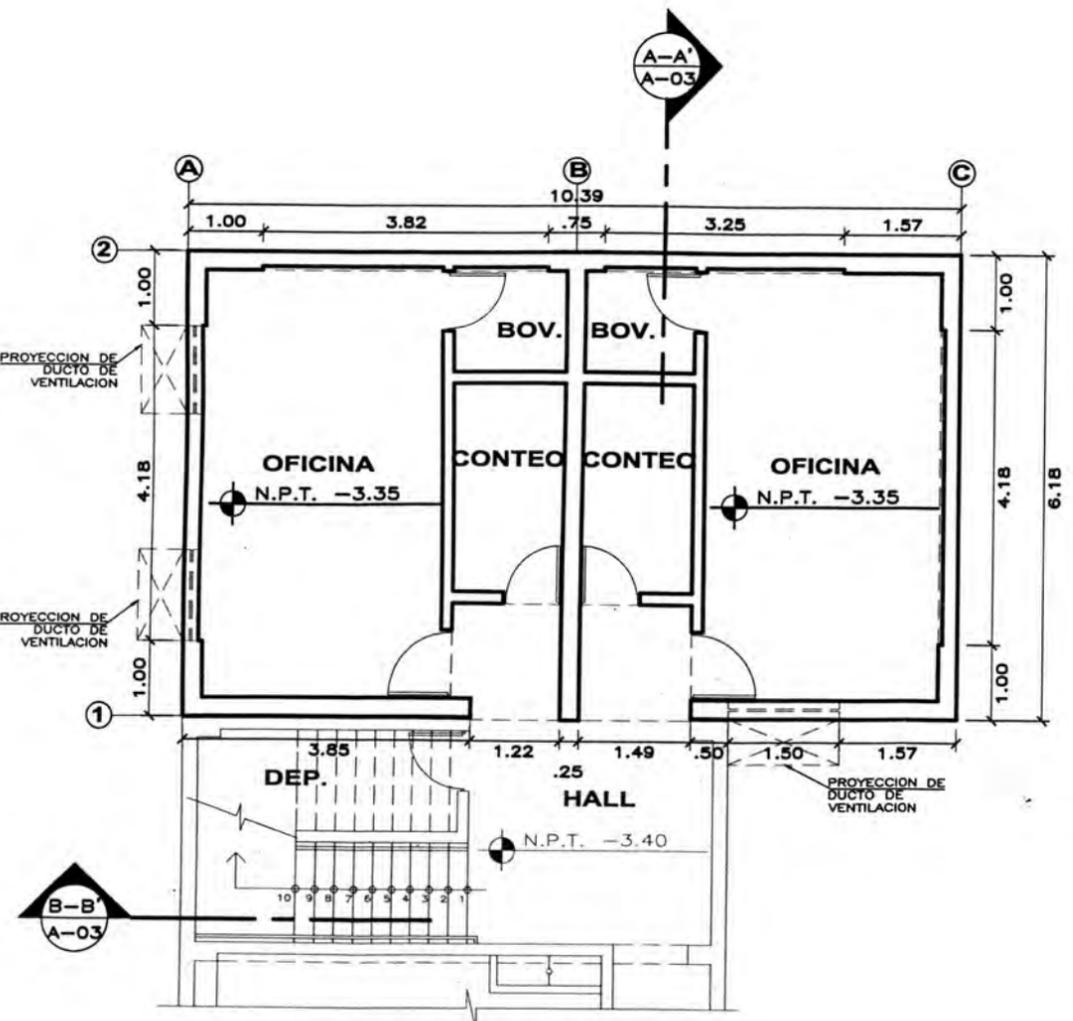


REVISION HISTORY					
REV.	DATE	BY	CHK.	DCR#	REFERENCE
-	-	-	-	-	See Sheet1

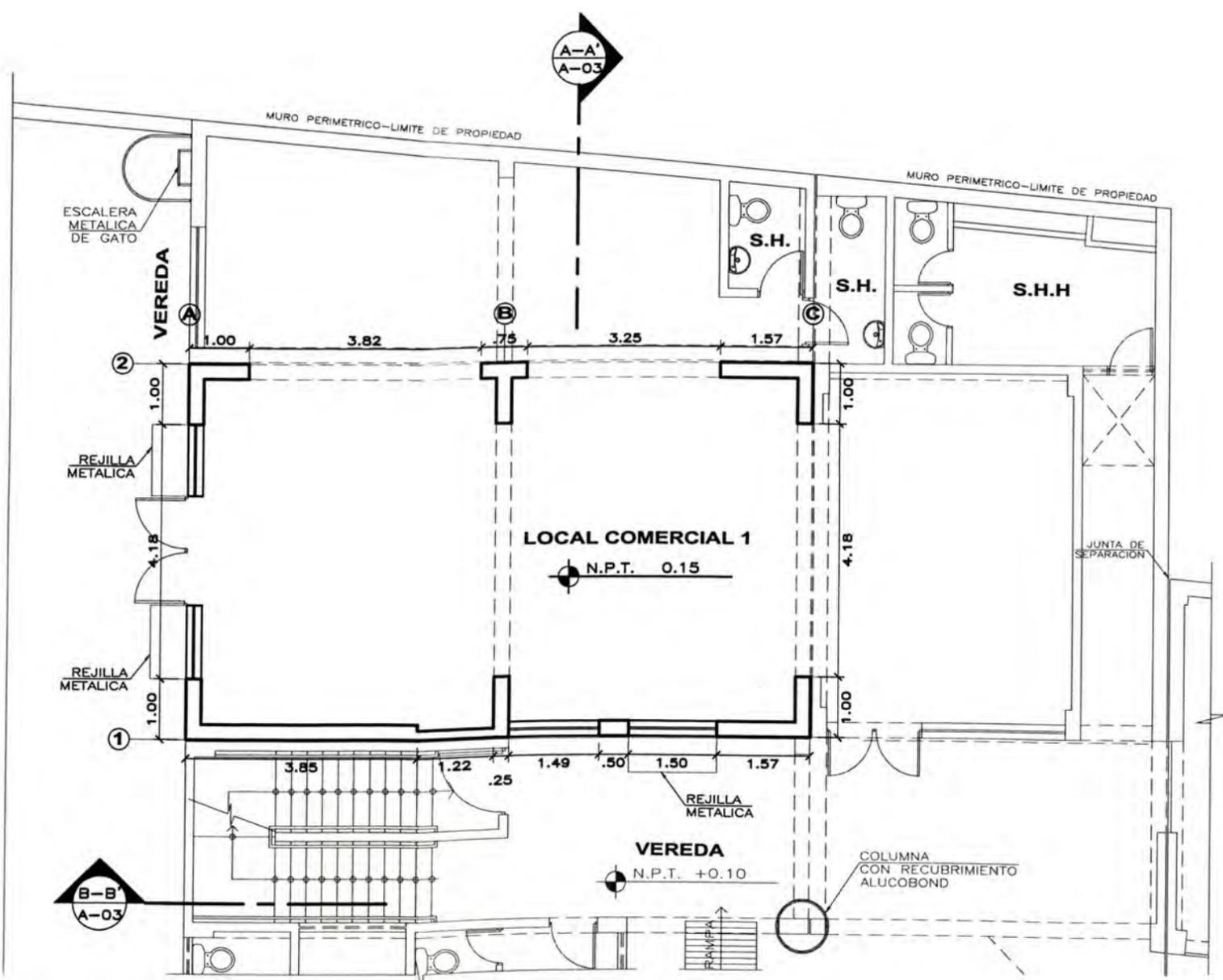


 		MW Industries Ltd Chilliwack, BC, Canada	
TITLE <b>TWIN IMW50-7250DA-250-3625-4AC</b>			
REF. STANDARD	SIZE	FILE. NO.	REV
CR. IJR	2012/04/11	D	240386
CL. IJR	2012/04/11	REV. NO.	001
AP. I	SCALE 1:30	WEIGHT 25731.7 LBS	SHEET 2 / 2
PLANO: BASE DEL COMPRESOR IMW		LAMINA: <b>M-02</b>	
EPECIALIDAD: MECANICA	ESCALA: 1/10	FECHA: ENE. 2014	

	TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTO 2012		
	PROYECTO: EDIFICACION DE DOS NIVELES Y SOTANO	BACHILLER: CLAUDIO EDUARDO BERRIOS SILVESTRE	ASESOR: ING. LEONARDO FLORES GONZALEZ

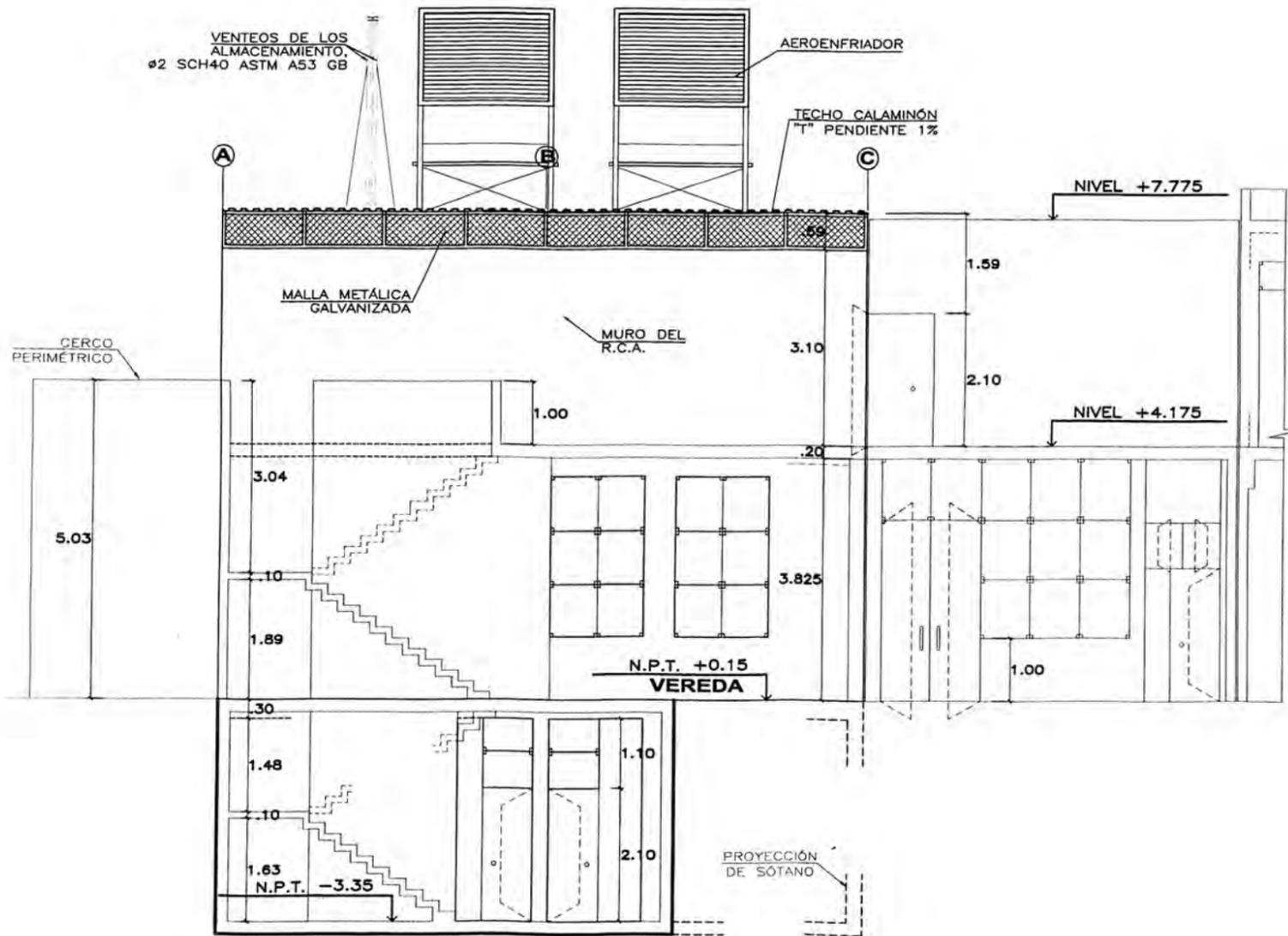


**PLANTA DEL SÓTANO**  
ESC. 1/100



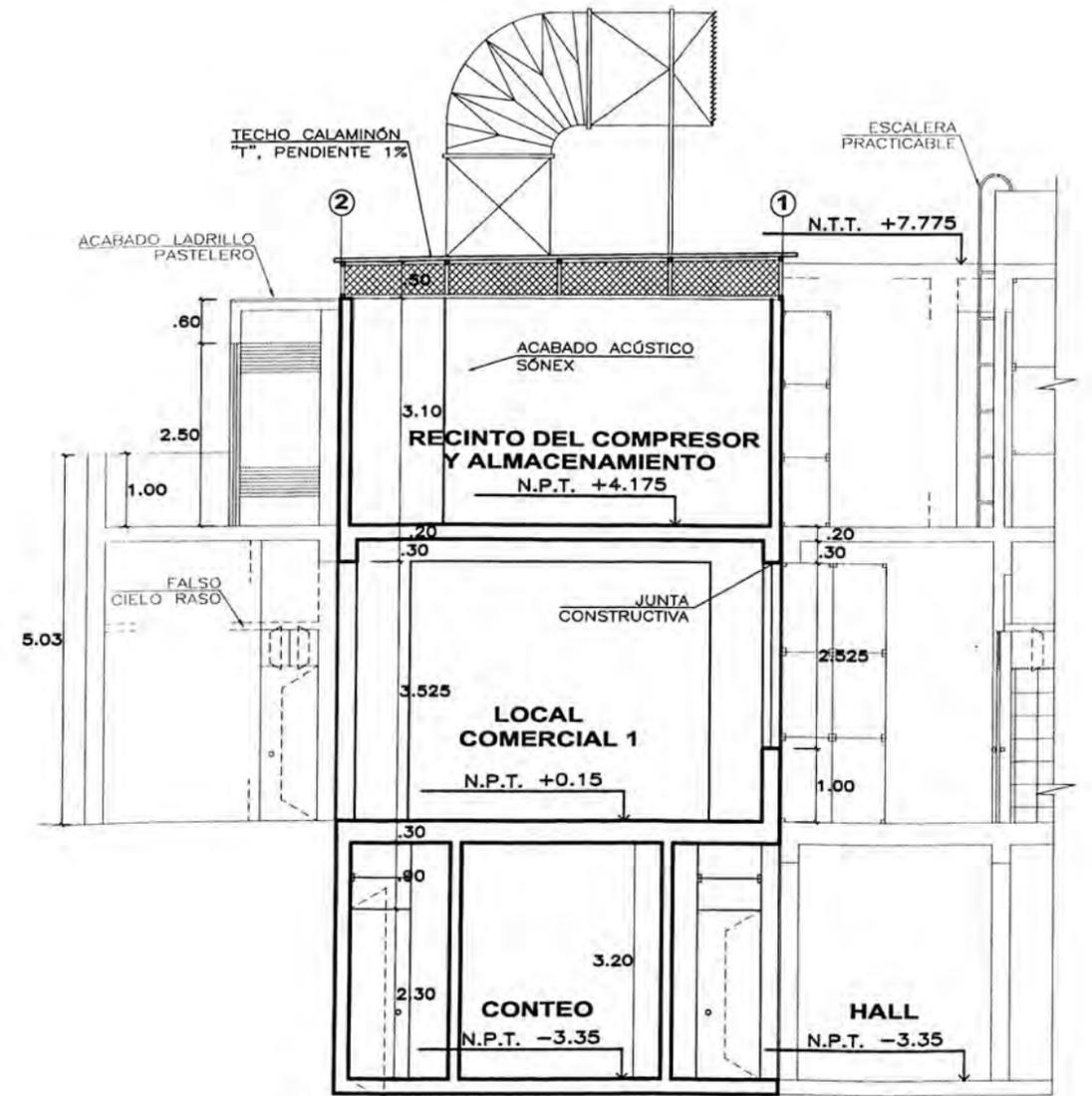
**PLANTA DEL PRIMER NIVEL**  
ESC. 1/100

	TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTO 2012			<b>PLANO:</b> PLANTA DE DISTRIBUCION		<b>LAMINA:</b>  A-01
	<b>PROYECTO:</b> EDIFICACION DE DOS NIVELES Y SOTANO	<b>BACHILLER:</b> CLAUDIO EDUARDO BERRIOS SILVESTRE	<b>ASESOR:</b> ING. LEONARDO FLORES GONZALEZ	<b>ESPECIALIDAD:</b> ARQUITECTURA	<b>ESCALA:</b> 1/100	



**ELEVACION CORTE B-B'**

ESC. 1/100



**ELEVACION CORTE A-A'**

ESC. 1/100



TITULACION POR ACTUALIZACION DE CÓNOCIMIENTO 2012

PROYECTO:  
EDIFICACION DE DOS NIVELES Y SOTANO

BACHILLER:  
CLAUDIO EDUARDO BERRIOS SILVESTRE

ASESOR:  
ING. LEONARDO FLORES GONZALEZ

PLANO:  
ELEVACION DE CORTES

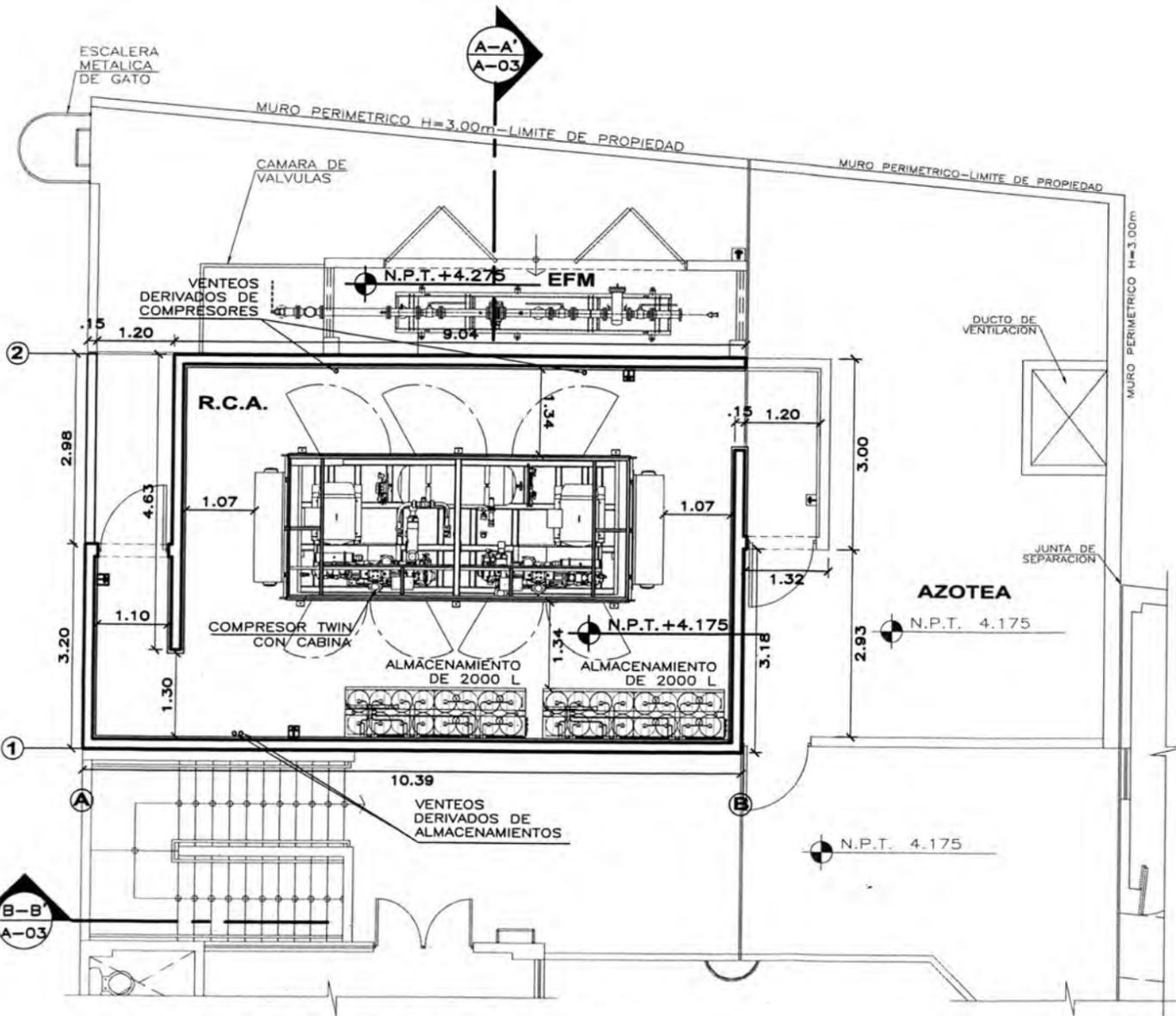
ESPECIALIDAD:  
ARQUITECTURA

ESCALA:  
1/100

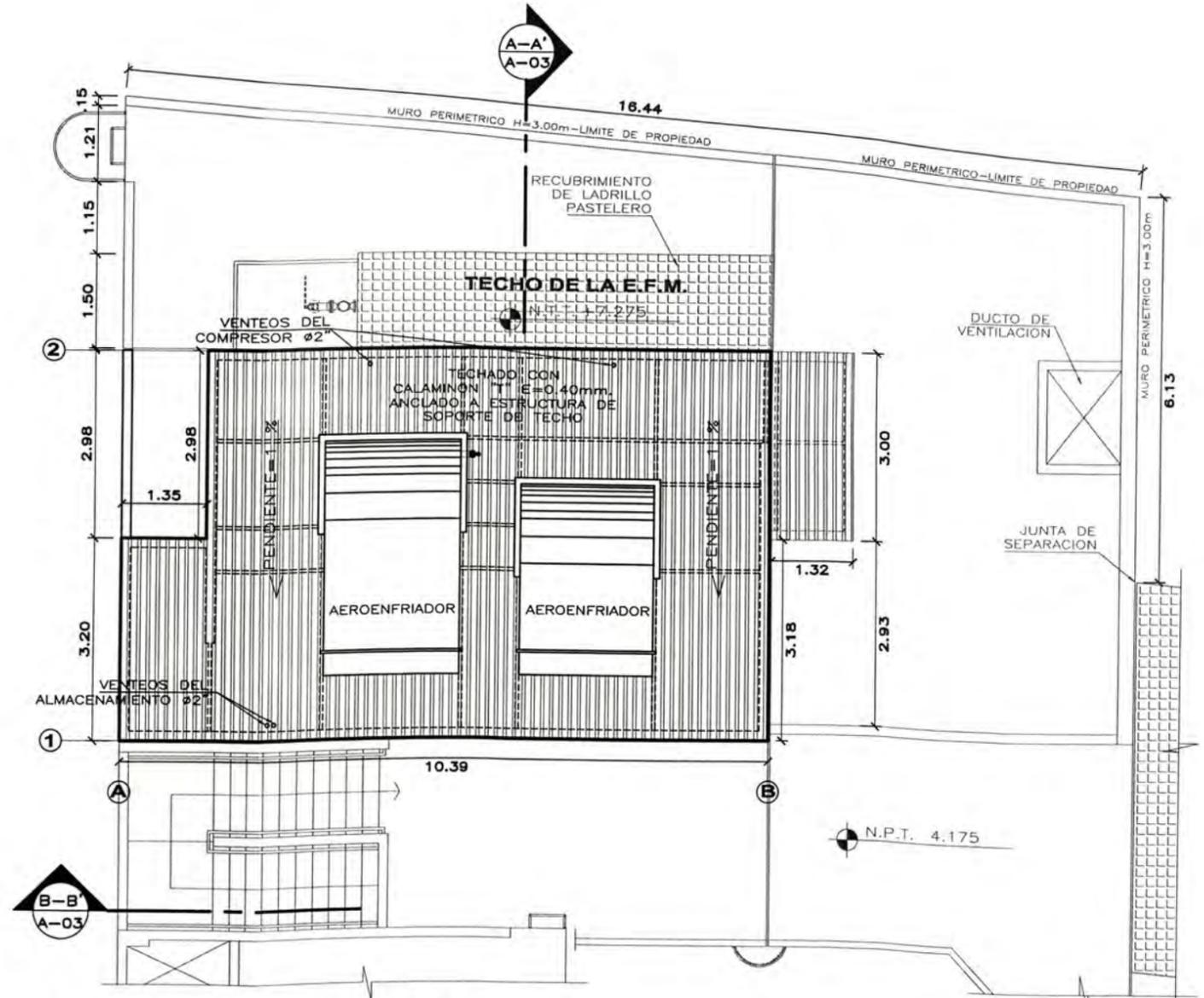
FECHA:  
OCT. 2013

LAMINA:

**A-03**

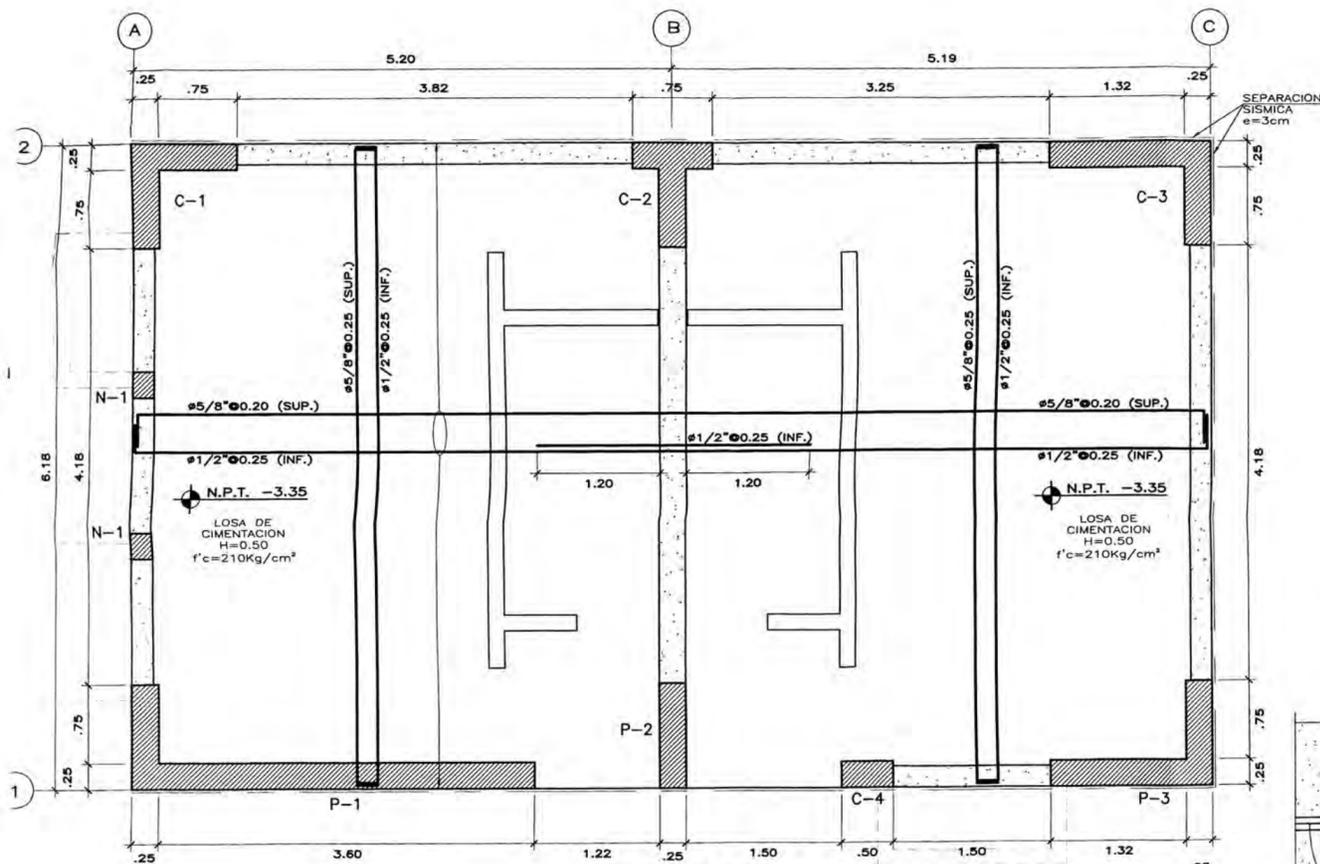


**PLANTA DEL SEGUNDO NIVEL**  
ESC. 1/100



**PLANTA TECHO AZOTEA**  
ESC. 1/100

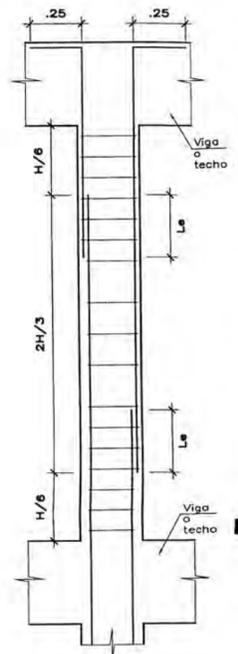
	TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTO 2012			<b>PLANO:</b> PLANTA DE DISTRIBUCION		<b>LAMINA:</b>  A-02
	<b>PROYECTO:</b> EDIFICACION DE DOS NIVELES Y SOTANO	<b>BACHILLER:</b> CLAUDIO EDUARDO BERRIOS SILVESTRE	<b>ASESOR:</b> ING. LEONARDO FLORES GONZALEZ	<b>ESPECIALIDAD:</b> ARQUITECTURA	<b>ESCALA:</b> 1/100	



**PLANTA CIMENTACION DE EDIFICACION**  
**LOSA DE CIMENTACION H=0.50m**  
 ESCALA: 1/50

**LEYENDA**

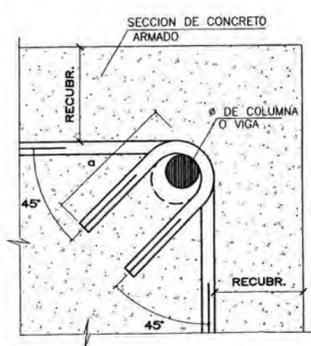
	MURO DE CONCRETO ARMADO
	MURO SIN APORTE ESTRUCTURAL



**NOTA:**  
 Empalmar en diferentes partes tratando de hacerlo fuera de la zona de confinamiento

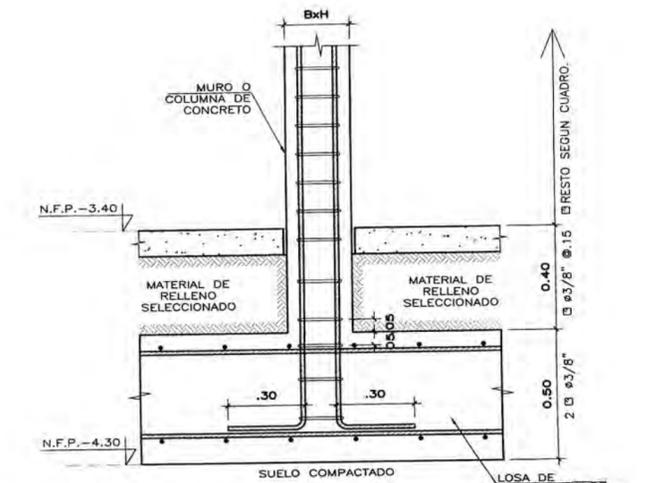
Ø	Le (cm)
3/8"	40
1/2"	45
5/8"	60
3/4"	80
1"	120

**EMPALMES TRASLAPADOS PARA COLUMNAS**



Ø	r	a
1/4"	2cms	8cms
3/8"	3cms	13cms

**DOBLADO DE ESTRIBO EN VIGAS Y COLUMNAS**  
 ESCALA: 5/E



**DETALLE DE ARRANQUE DE MUROS Y COLUMNAS EN LOSA DE CIMENTACION**  
 ESCALA: 1/20

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO:**

- LOSA Y VIGAS DE CIMENTACION  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- COLUMNAS, VIGAS Y MUROS ARMADOS  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- TECHO DE LOSA ALIGERADA  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- TECHO DE LOSA MACIZA, VIGAS DEL PRIMER NIVEL  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

**ACERO PARA CONCRETO:**

- ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO ESTRUCTURAL  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

**ALBAÑILERIA:**

- TABIQUERIAS DE SÓTANO Y 2DO NIVEL : LADRILLOS DE ARCILLA COCIDA (PANDERETA)  $f'm = 45 \text{ Kg/cm}^2$

**SOLDADURA:**

- ELECTRODOS CELULOSICOS AWS A.51 E60xx  $f_y = 4220 \text{ Kg/cm}^2$
- LAS SOLDADURAS DE FILETES ENTRE PERFILES Y/O PLANCHAS TENDRAN UN TAMAÑO (WS) DEL ESPESOR DEL ELEMENTO MAS DELGADO QUE SE ESTE UNIENDO.

**SOBRECARGA:**

- TECHO LOSA MACIZA VER MEMORIA DE CALCULO DE TESIS PARA UBICACION EN PLANTA DE SOBRECARGAS INDICADA
- TECHO LOSA ALIGERADA

**RECUBRIMIENTOS:**

- COLUMNAS 4.0 cm
- MUROS DE CONCRETO Y NUDOS 3.0 cm
- VIGAS 4.0 cm
- LOSA MACIZA, ESCALERA 2.5 cm
- ZAPATAS Y CIMENTOS ARMADOS 7.0 cm
- MURO DE SÓTANO, CARA EXPUESTA AL SUELO 7.0 cm
- MURO DE SÓTANO, CARA NO EXPUESTA AL SUELO 4.0 cm

**PARAMETROS DE FUERZA SISMICA:**

Z=0.4, U=1.5, S=1.4, T<sub>p</sub>=0.9 seg.

R<sub>x</sub>=6\*3/4 (MUROS DE CONCRETO ARMADO-ESTRUCTURA IRREGULAR: IRREGULARIDAD TORSIONAL)

R<sub>y</sub>=6\*3/4 (MUROS DE CONCRETO ARMADO-ESTRUCTURA IRREGULAR: IRREGULARIDAD TORSIONAL)

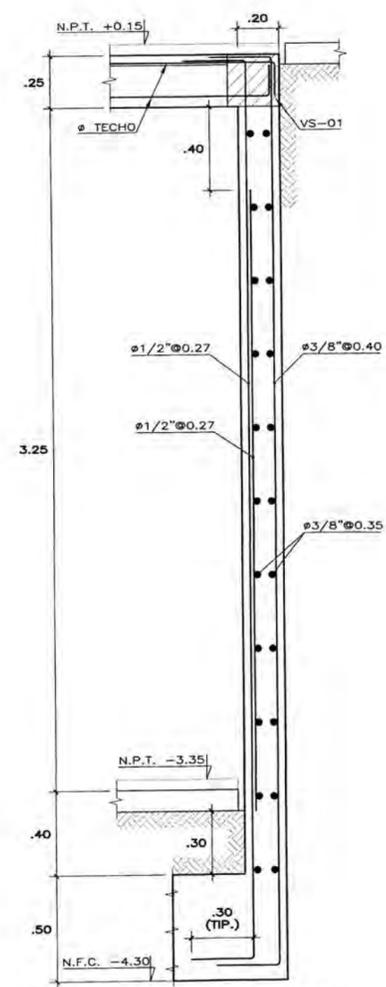
**DISTORSIONES:**

D<sub>i</sub>/h<sub>e</sub> < 0.007 (CONCRETO ARMADO)-----(NORMA E.030)

**REGLAMENTOS Y NORMAS:**

CONSTRUIR DE ACUERDO AL R.N.E EN LAS NORMAS PERUANAS:

- E.020 CARGAS
- E.030 DISEÑO SISMO RESISTENTE.
- E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES.
- E.060 CONCRETO ARMADO
- E.070 ALBAÑILERIA
- E.090 ESTRUCTURAS METALICAS
- NORMA TECNICA PERUANA 111.019-2007 (GNV)



**ELEVACION TIPICO DE MURO DE SÓTANO**  
 ESCALA: 1/25

**ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS**

DE ACUERDO A LA EXPLORACION EFECTUADA IN-SITU SE TIENE LAS SIGUIENTES CONDICIONES DE CIMENTACION:

1 TIPO DE CIMENTACION	Plataea de cimentación: 10.39mx6.18mx0.40m
2 PROFUNDIDAD MINIMA DE CIMENTACION	4.35 mt medida a partir de la superficie actual del terreno.
3 ESTRATO DE APOYO DE CIMENTACION	SUELO ARENA ARCILLOSA (SC)
4 PRESION ADMISIBLE DEL TERRENO	4.725 Kg/cm2
5 AGRESMIDAD DEL SUELO	Despreciable
6 CEMENTO DE CONCRETO EN CONTACTO CON EL SUBSUELO.	Pórtland Tipo I
7 PRESENCIA DE NIVEL DE AGUAS FREATICAS	No Detectada

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EQUIPO COMPRESOR**

DE ACUERDO AL MANUAL DEL FABRICANTE DEL COMPRESOR:

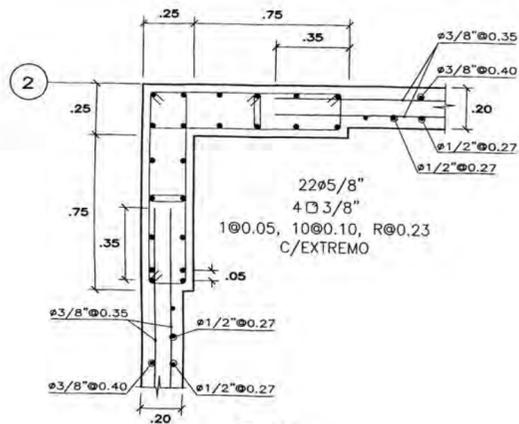
1 MARCA	IMW
2 MODELO	IMW50-5125DA-250-3625-4AC
3 CANTIDAD	1
4 ESTRUCTURA DE APOYO	EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO
5 SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO	AMORTIGUADORES ANTISISMICOS
6 PESO DEL COMPRESOR	11140.7 Kg
7 FRECUENCIA DE OPERACION	917 RPM

- CUADRO DE NOTAS:**
- NO DEBE CIMENTARSE SOBRE TURBA, SUELO ORGANICO, TIERRA VEGETAL, DESMONTES O RELLENO SANITARIO, ESTOS MATERIALES INADECUADOS DEBERAN SER REMOVIDOS EN SU TOTALIDAD PREVIO A LA CONSTRUCCION Y REEMPLAZARLOS POR MATERIALES ADECUADOS. NO CIMENTAR DIRECTAMENTE SOBRE SUELOS ARCILLOSOS O ARENOSOS, SINO A TRAVES DE SUB-CIMENTOS O AFIRMADO SEGUN EL CRITERIO CONSTRUCTIVO RESPECTIVO PARA EL ESTRATO DE APOYO ADECUADO.
  - TOMAR LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD CORRESPONDIENTES ANTES, DURANTE Y DESPUES DE LA EXCAVACION PARA LA CIMENTACION DE LA ESTRUCTURA A CONSTRUIR. SE DEBERA APUNTALAR LAS ZANJAS PARA EVITAR POSIBLES DERRUMBES Y NO AFECTAR A LAS EDIFICACIONES COLINDANTES NI PRODUCIR DAÑOS PERSONALES.
  - CONSTRUIR LOS MUROS DEL PRIMER NIVEL EN SU TOTALIDAD ANTES DE EFECTUAR LOS RELLENOS POSTERIORES.

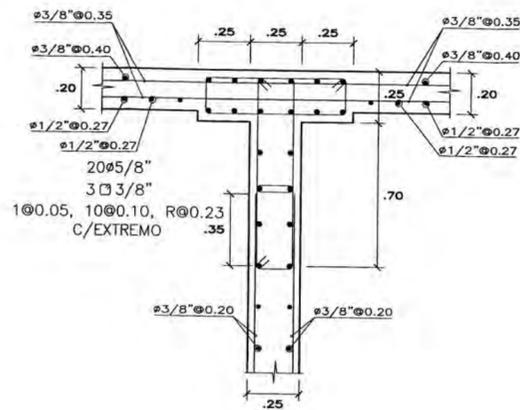
**CUADRO DE COLUMNAS**

NOMENCLATURA	MEDIDAS	ACERO	ESTRIBOS
N-1		4Ø1/2"	1Ø0.05, 7Ø0.10, RØ0.20 C/EXTREMO
C-4		4Ø5/8"+ 4Ø1/2"	2Ø3/8" 1Ø0.05, 6Ø0.10, RØ0.22 C/EXTREMO

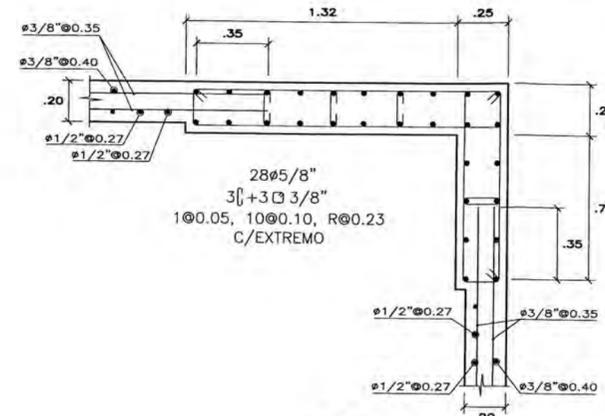




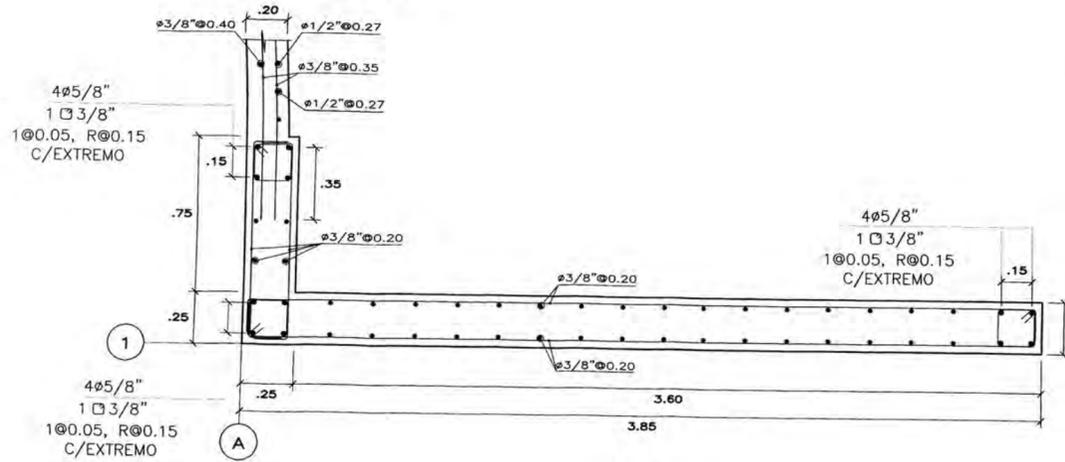
**C-1 (sótano)**  
ESCALA: 1/25



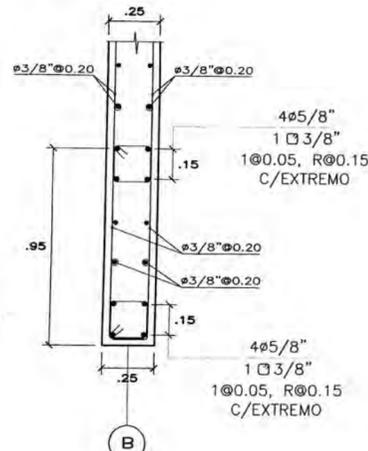
**C-2 (SÓTANO)**  
ESCALA: 1/25



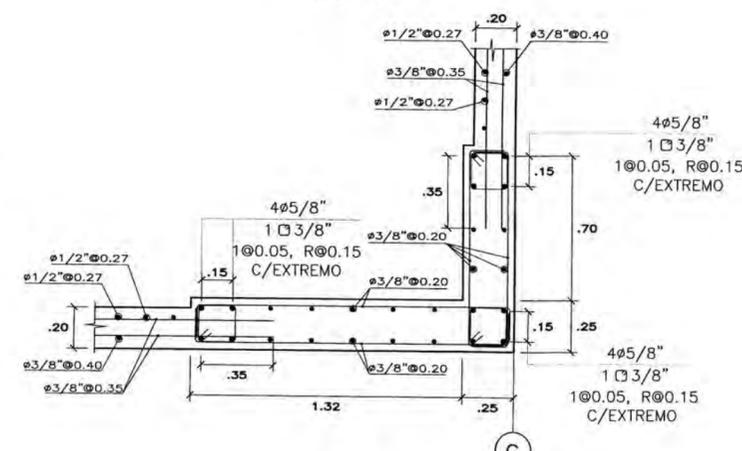
**C-3 (sótano)**  
ESCALA: 1/25



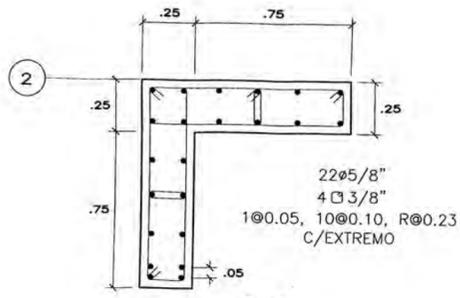
**P-1 (sótano)**  
ESCALA: 1/25



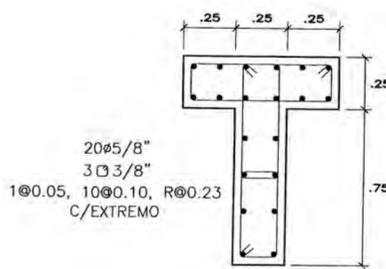
**P-2 (sótano)**  
ESCALA: 1/25



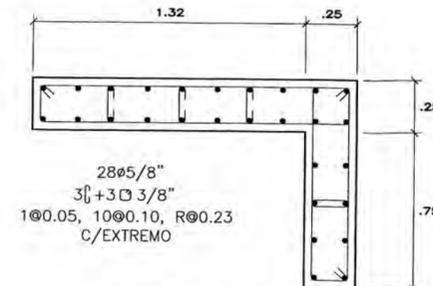
**P-3 (sótano)**  
ESCALA: 1/25



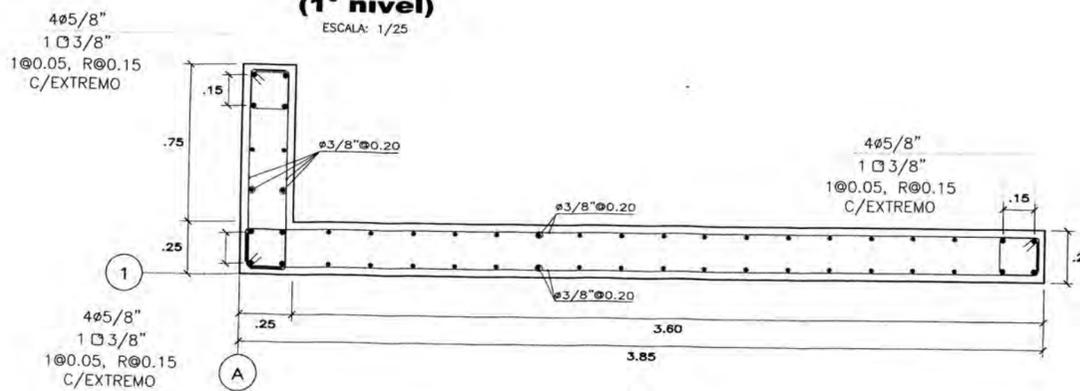
**C-1 (1° nivel)**  
ESCALA: 1/25



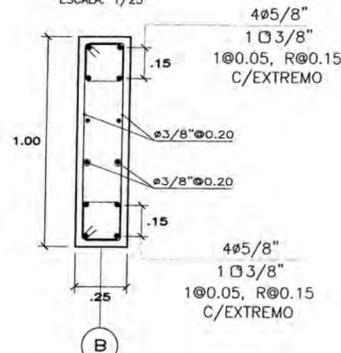
**C-2 (1° nivel)**  
ESCALA: 1/25



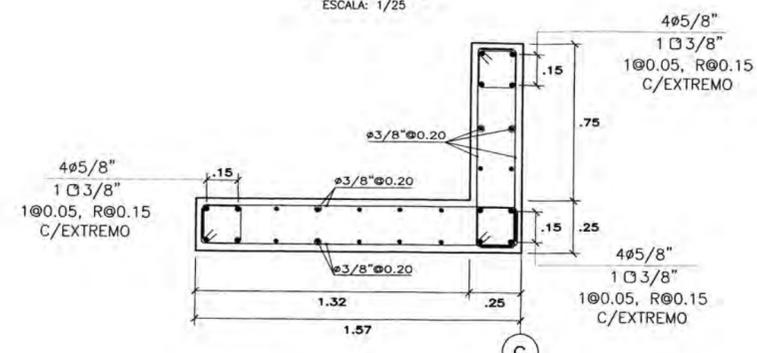
**C-3 (1° nivel)**  
ESCALA: 1/25



**P-1 (1° nivel)**  
ESCALA: 1/25



**P-2 (1° nivel)**  
ESCALA: 1/25



**P-3 (1° piso)**  
ESCALA: 1/25

**CUADRO DE GANCHOS STANDARD EN VARILLAS DE FIERRO CORRUGADAS**

φ	G(cm)
1/4"	15
3/8"	20
1/2"	25
5/8"	35

**CUADRO DE TRASLAPES**

φ	L(cm)
1/4"	30
3/8"	40
1/2"	50
5/8"	70

**NOTA:**

EL ACERO DE REFUERZO UTILIZADO EN FORMA LONGITUDINAL EN CIMENTACION, COLUMNAS, VIGAS Y LOSAS, DEBERAN TERMINAR EN GANCHOS STANDARD, LOS CUALES SE ALOJARAN EN EL CONCRETO. LAS DIMENSIONES DE ESTOS GANCHOS ESTAN ESPECIFICADAS EN EL CUADRO ANTERIOR.



TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTO 2012

PROYECTO: EDIFICACION DE DOS NIVELES Y SOTANO

BACHILLER: CLAUDIO EDUARDO BERRIOS SILVESTRE

ASESOR: ING. LEONARDO FLORES GONZALEZ

PLANO: MUROS DE CONCRETO ARMADO

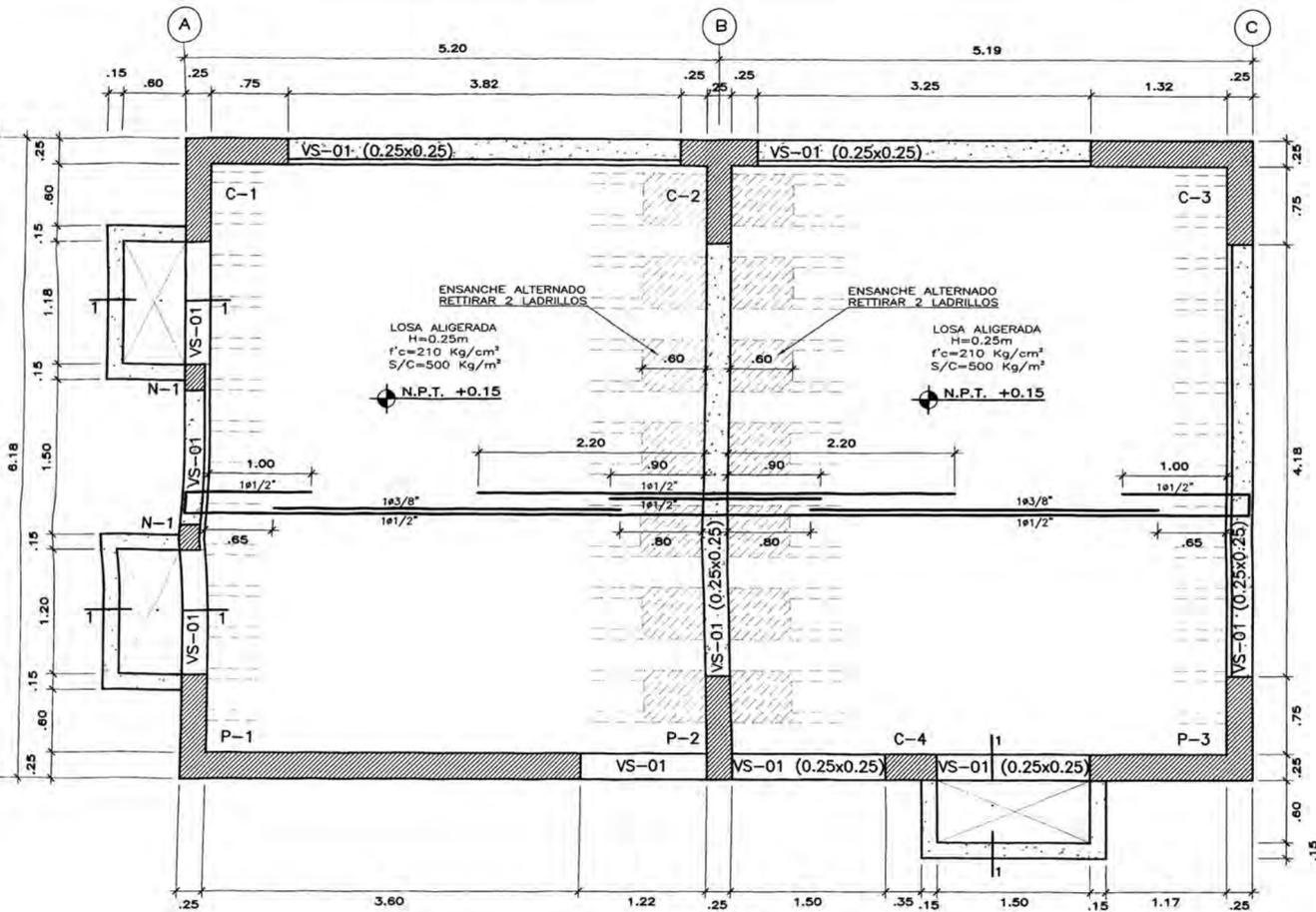
ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS

ESCALA: INDICADA

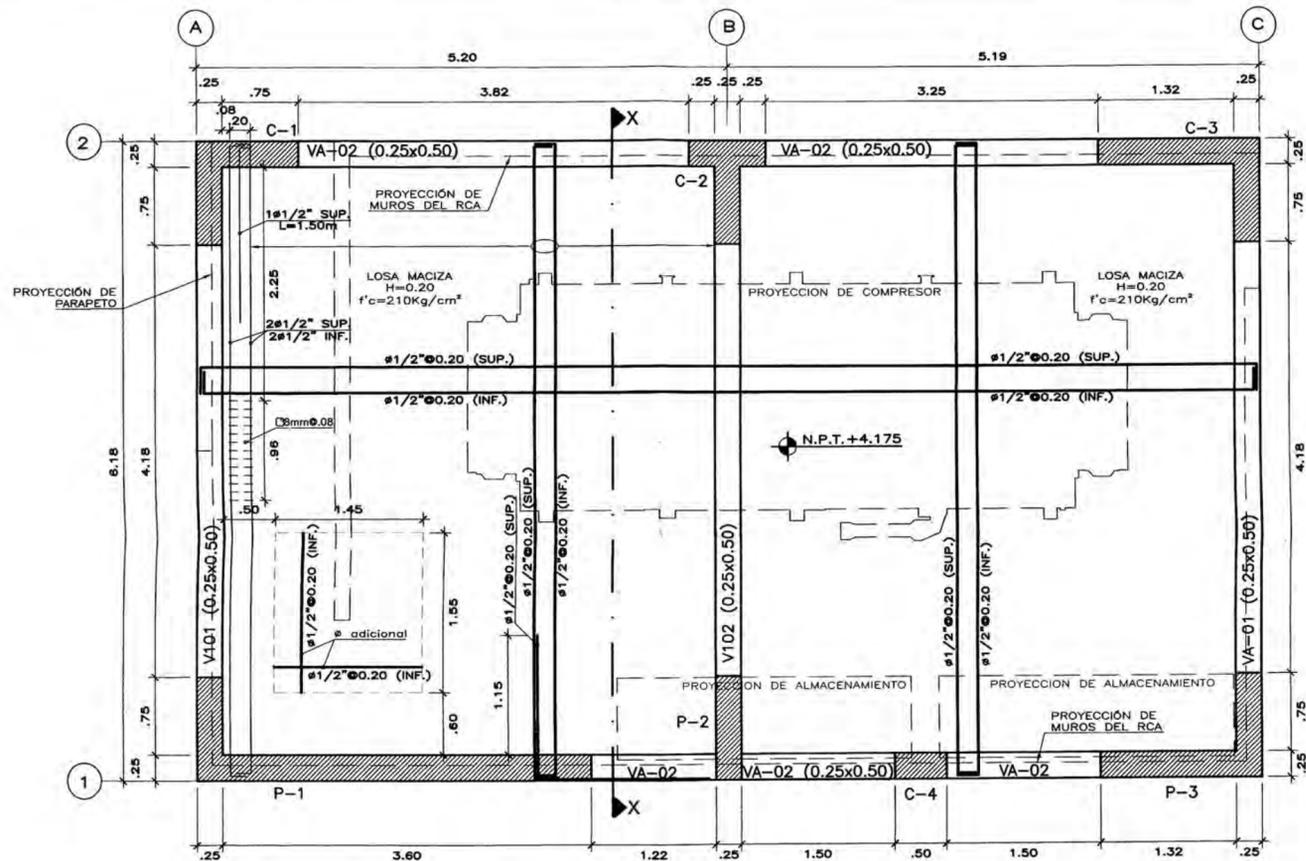
FECHA: ENE. 2014

LAMINA:

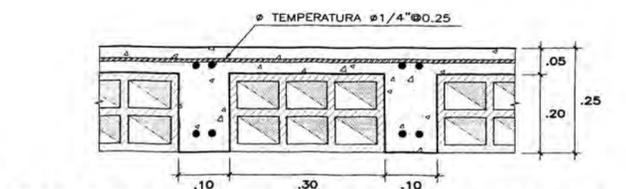
E-02



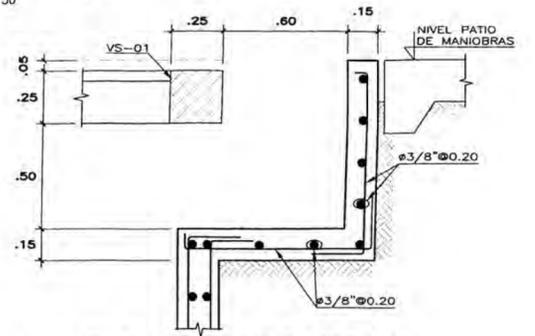
**PLANTA  
TECHO DE SÓTANO DE EDIFICACIÓN  
LOSA ALIGERADA H=0.25m  
(S/C=500kg/m²)**  
ESCALA: 1/50



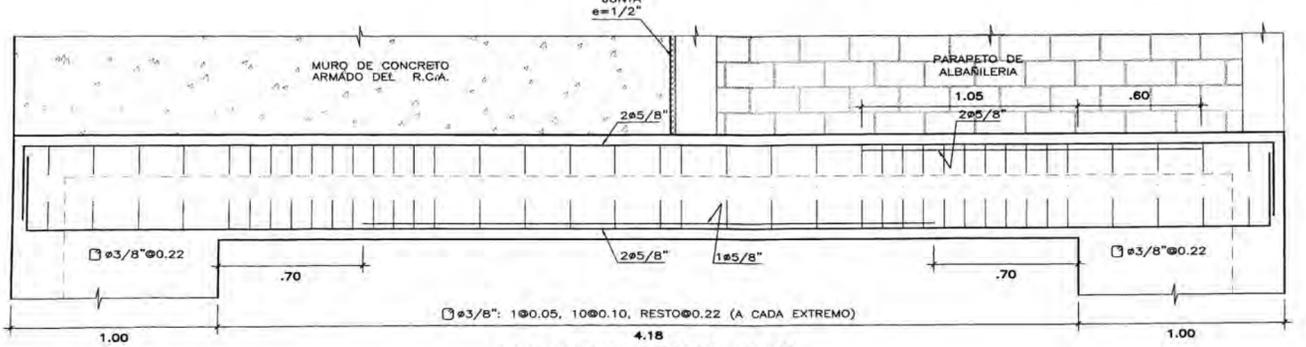
**PLANTA  
TECHO DE PRIMER NIVEL DE EDIFICACION  
LOSA MACIZA H=0.20m  
(VER EN LA TESIS LA DISTRIBUCION EN PLANTA DE LA S/C)**  
ESCALA: 1/50



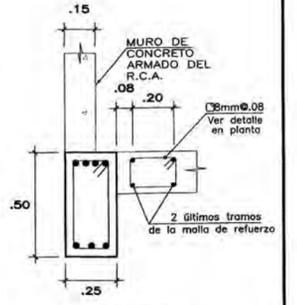
**CORTE TÍPICO DEL ALIGERADO H=0.25  
(BLOQUES DE ARCILLA DE  
0.20x0.30x0.30)**  
ESCALA: S/E



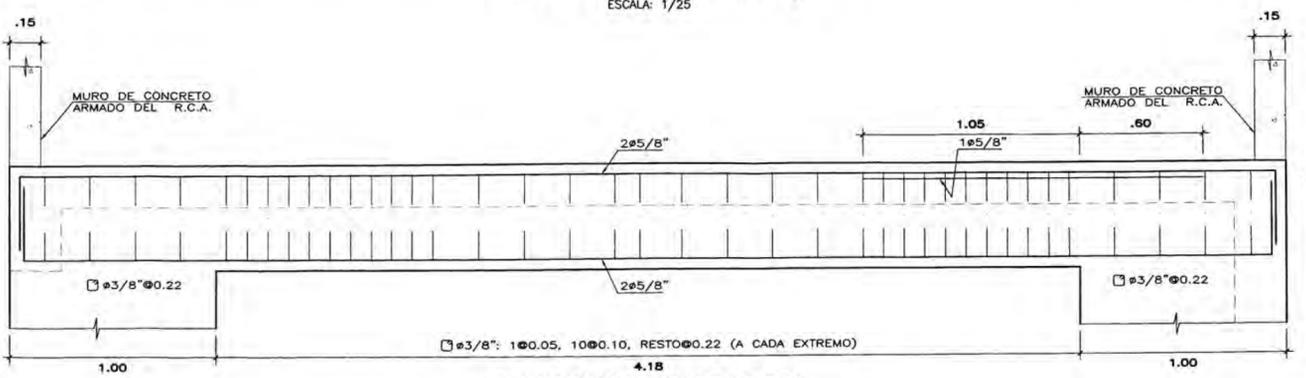
**ELEVACION CORTE 1-1**  
ESCALA: 1/25



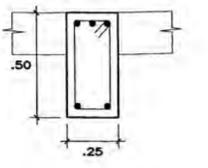
**VIGA V-101 (0.25x0.50)**  
ESCALA: 1/25



**VIGA V-101  
(0.25x0.50)**  
ESCALA: 1/25

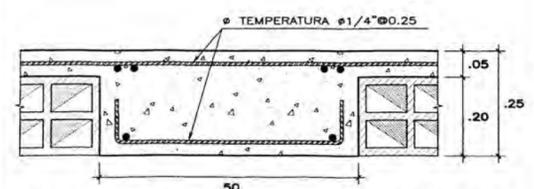


**VIGA V-102 (0.25x0.50)**  
ESCALA: 1/25

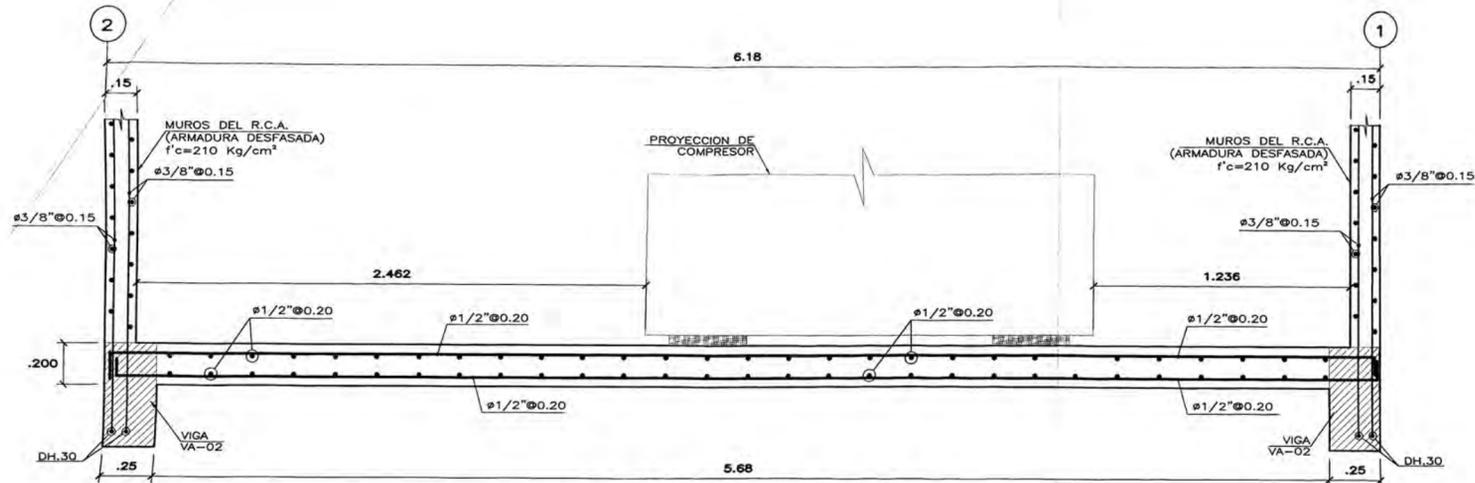


**VIGA V-102  
(0.25x0.50)**  
ESCALA: 1/25

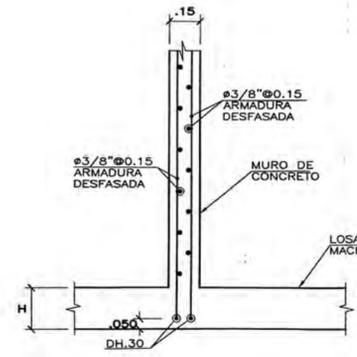
CUADRO DE VIGAS		
MEDIDAS	ACERO	ESTRIBOS
	4ø1/2"	□ 3/8" 1@0.05, 5@0.10, R@0.20 C/EXTREMO
	4ø5/8"	□ 3/8" 1@0.05, 10@0.10, R@0.22 C/EXTREMO



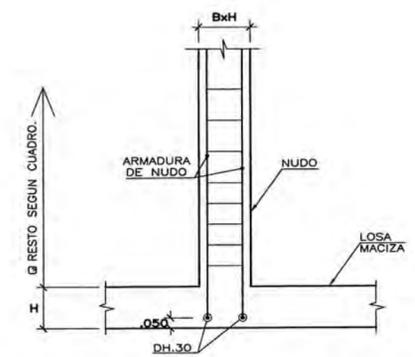
**CORTE TÍPICO DEL ALIGERADO  
H=0.25, EN ZONA DE ENSANCHE  
ALTERNADO DE VIGUETAS**  
ESCALA: S/E



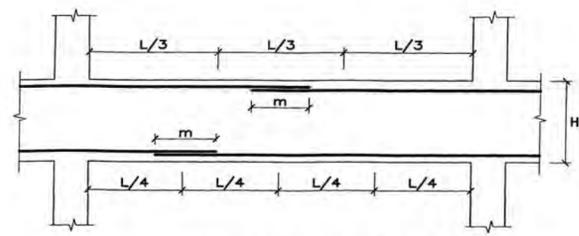
**ELEVACION CORTE X-X  
DETALLE DE LOSA MACIZA DE TECHO**  
ESCALA: 1/25



**ELEVACION  
DETALLE DE ANCLAJE DE MUROS  
EN LOSA MACIZA Y VIGAS**  
ESC. 1/25

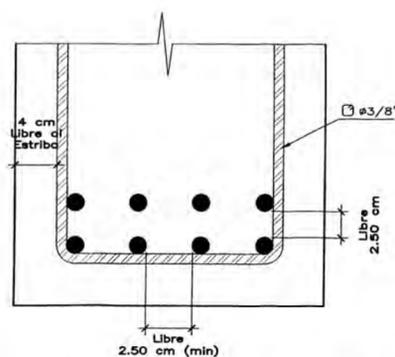


**ELEVACION  
DETALLE DE ANCLAJE DE NUDOS  
DE EN LOSA MACIZA Y VIGAS**  
ESC. 1/25



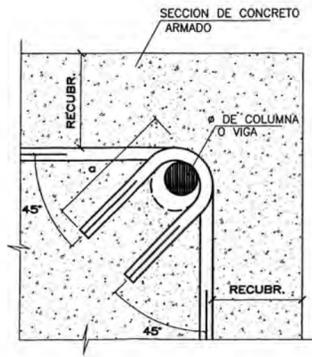
**EMPALMES TRASLAPADOS  
PARA VIGAS Y LOSAS**

**Nota:**  
a) No empalmar mas de 50% del area total en una misma sección.  
b) En caso de no empalmar en las zonas indicados o con los porcentajes especificados aumentar la longitud de empalme en un 70% o consultar al proyectista.  
c) Para aligerados y vigas chatas, el acero interior se empalmara sobre los apoyos, siendo la longitud de empalme igual a 25 cm. y 35 cm. para 1/2" o 3/4".

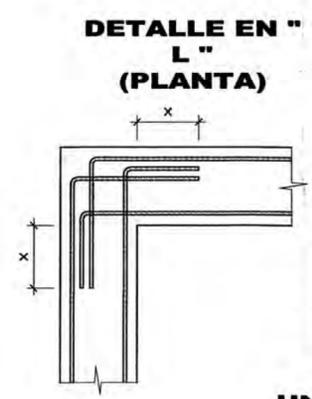


**ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS**  
ESCALA: 1/5

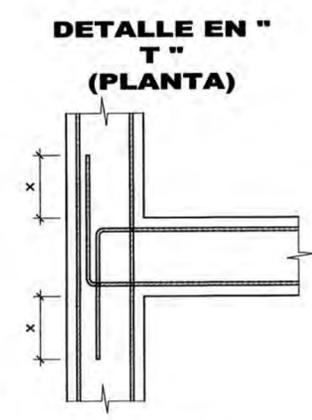
Ø	r	g
1/4"	2cms	8cms
3/8"	3cms	13cms



**DOBLADO DE ESTRIBO EN VIGAS Y COLUMNAS**  
ESCALA: 5/8



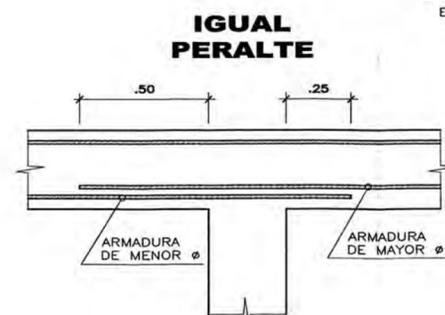
**DETALLE EN "L"  
(PLANTA)**



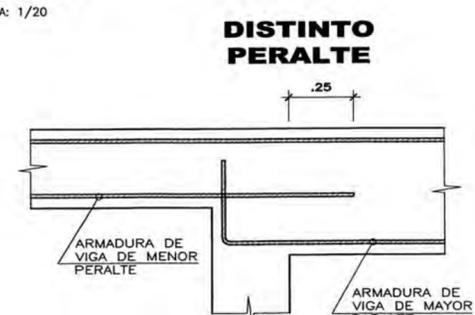
**DETALLE EN "T"  
(PLANTA)**

Ø	X
3/8"	0.20mt.
1/2"	0.25mt.
5/8"	0.30mt.
3/4"	0.40mt.

**UNION DE VIGAS TÍPICAS**  
ESCALA: 1/20



**IGUAL PERALTE**



**DISTINTO PERALTE**

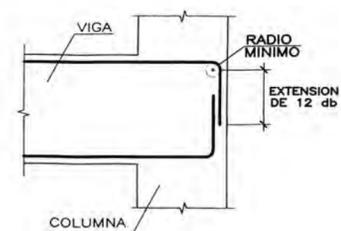
**UNION LONGITUDINAL DE VIGAS TÍPICAS**  
ESCALA: 1/20

Ø	VALORES m		
	REFUERZO INFERIOR H CUALQUIERA	REFUERZO SUPERIOR H<0.30	REFUERZO SUPERIOR H>0.30
3/8"	0.40	0.40	0.45
1/2"	0.40	0.40	0.50
5/8"	0.50	0.45	0.60
3/4"	0.60	0.55	0.75

CUADRO DE GANCHOS STANDARD EN VARILLAS DE FIERRO CORRUGADAS	
Ø	G(cm)
1/4"	15
3/8"	20
1/2"	25
5/8"	35

CUADRO DE TRASLAPES	
Ø	L(cm)
1/4"	30
3/8"	40
1/2"	50
5/8"	70

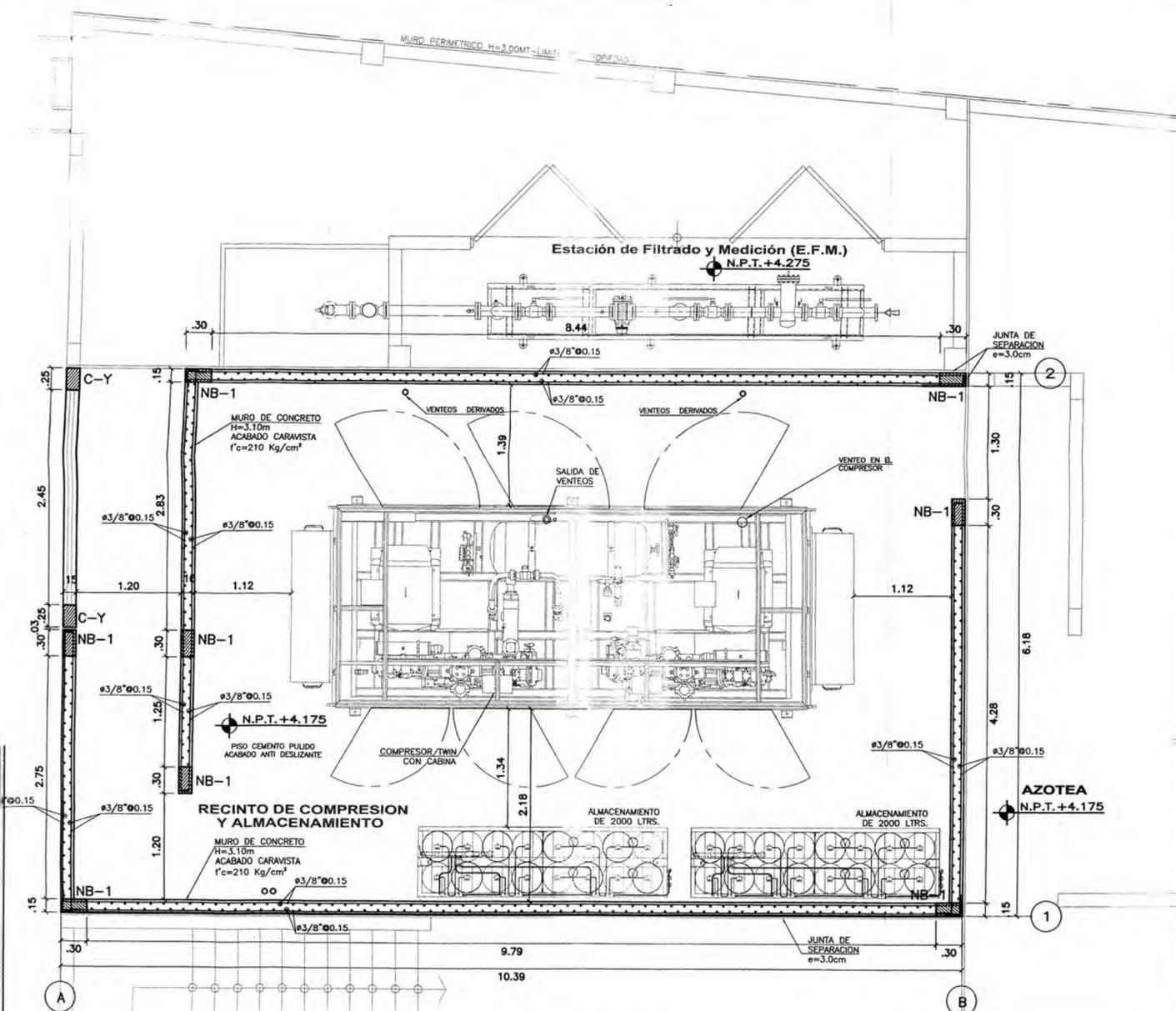
RADIO MINIMO DE DOBLEZ	
3/8"	3 cm.
1/2"	4 cm.
5/8"	5 cm.



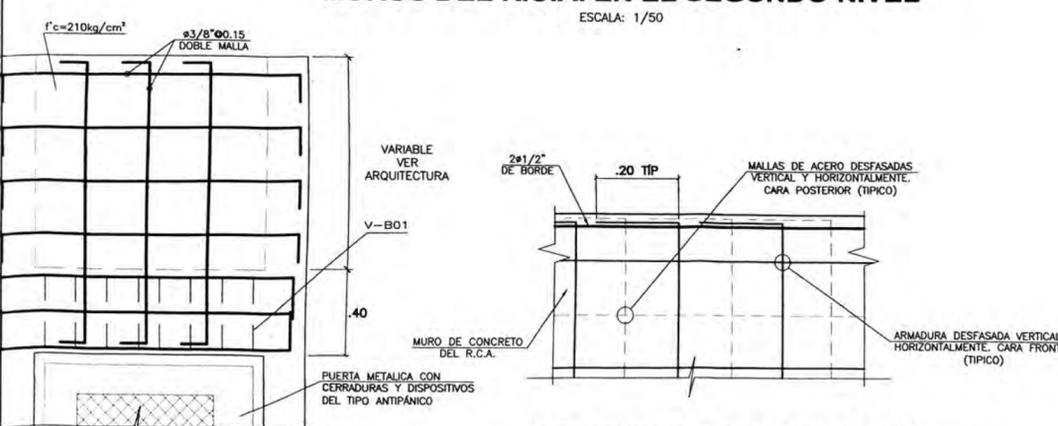
**DETALLE DE RADIO DE GANCHO TÍPICO**  
ESCALA: 5/8

**NOTA:**  
EL ACERO DE REFUERZO UTILIZADO EN FORMA LONGITUDINAL EN CIMENTACION, COLUMNAS, VIGAS Y LOSAS, DEBERAN TERMINAR EN GANCHOS STANDARD, LOS CUALES SE ALOJARAN EN EL CONCRETO. LAS DIMENSIONES DE ESTOS GANCHOS ESTAN ESPECIFICADAS EN EL CUADRO ANTERIOR.

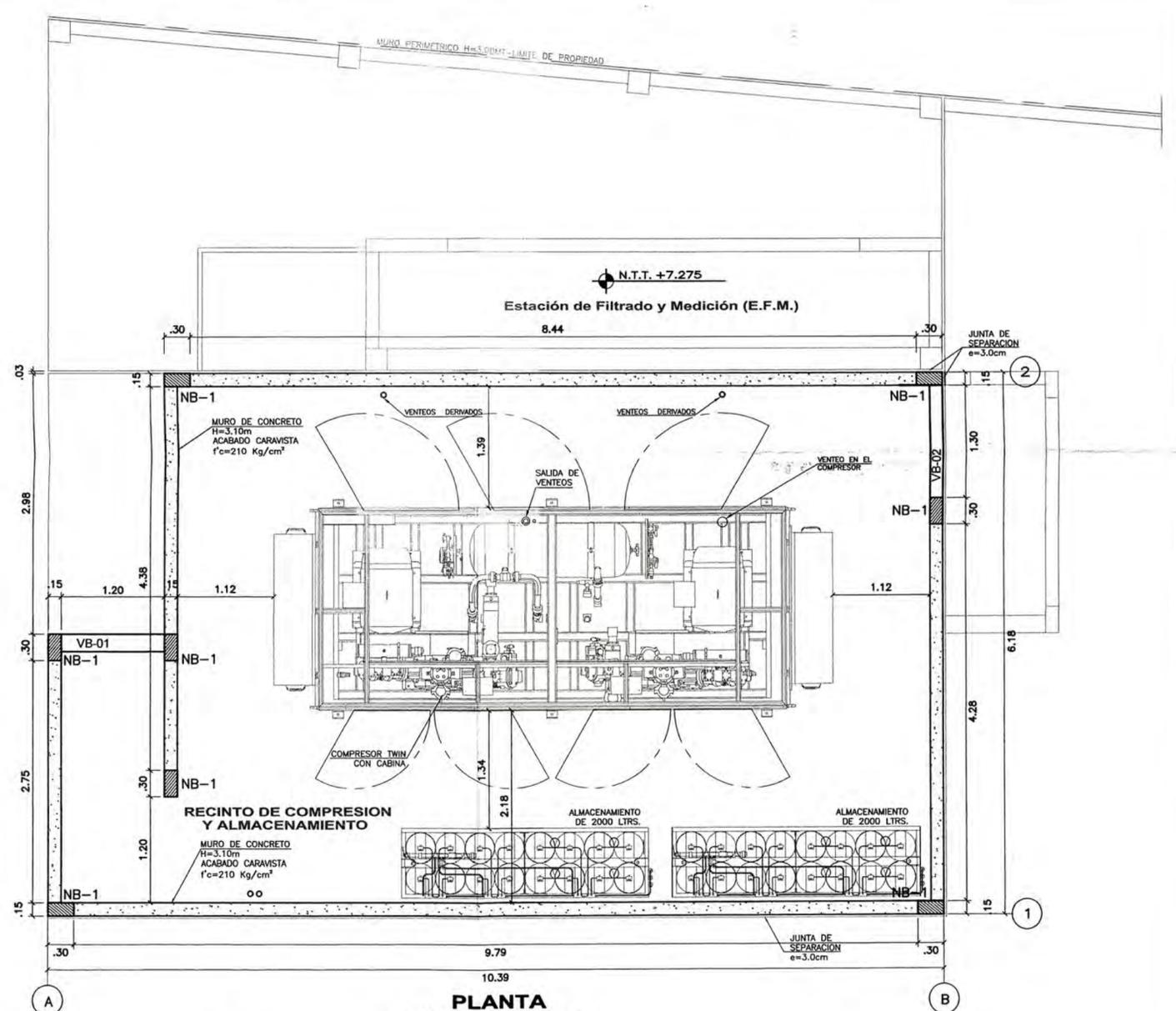




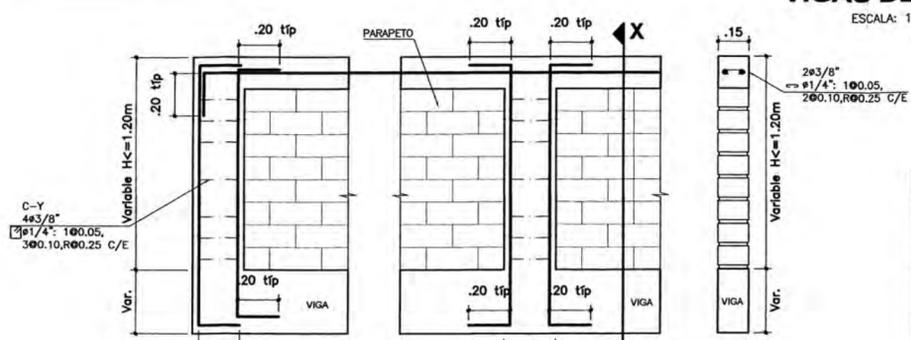
**PLANTA MUROS DEL R.C.A. EN EL SEGUNDO NIVEL**  
ESCALA: 1/50



**DETALLE DE REFUERZO EN CORONACION DE MURO DE CONCRETO (ELEVACION)**  
ESCALA: S/E



**PLANTA VIGAS DEL RCA**  
ESCALA: 1/50

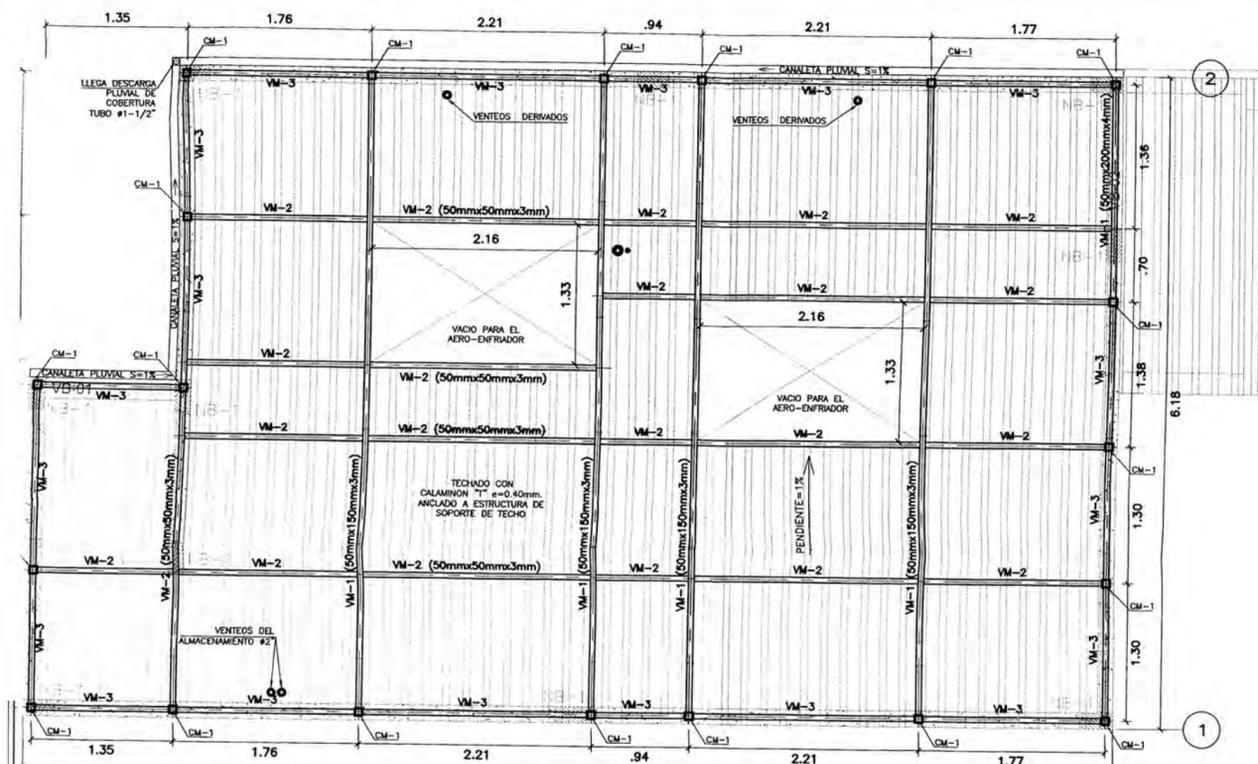


**DETALLE DE PARAPETO DE ALBAÑILERIA** ESCALA: 1/25  
**SECCION X-X** ESCALA: 1/25

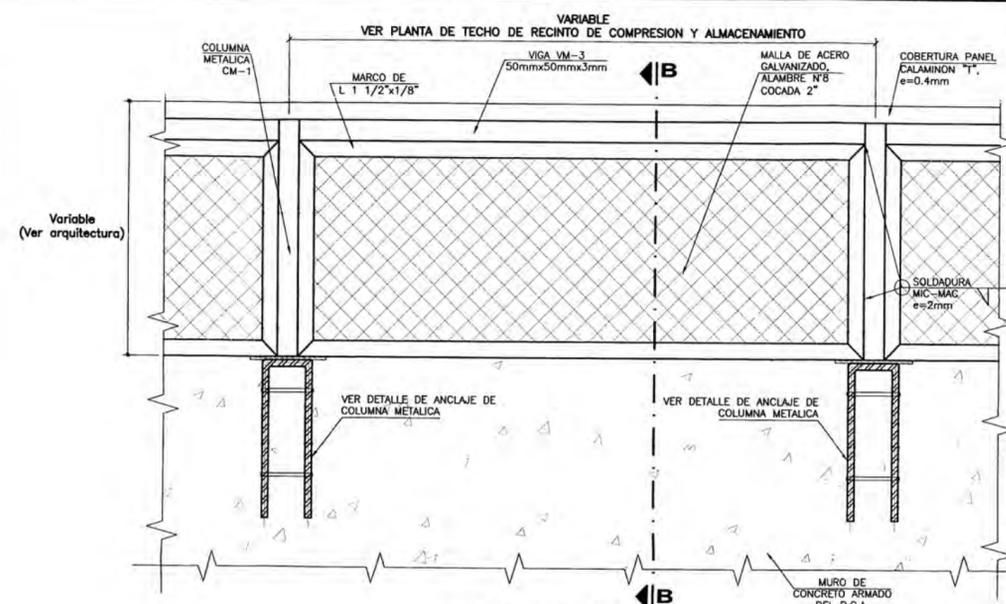
CUADRO DE NUDOS			
NOMENCLATURA	MEDIDAS	ACERO	ESTRIBOS
NB-1		6ø1/2"	1ø1/4" 1ø0.05, 7ø0.10, RESTO ø0.20 C/EXTREMO

CUADRO DE VIGAS			
NOMENCLAT.	MEDIDAS	ACERO	ESTRIBOS
VB-01		6ø1/2"	1ø1/4" 1ø0.05, RESTO ø0.10 C/EXTREMO
VB-02		4ø1/2"	1ø1/4" 1ø0.05, RESTO ø0.10 C/EXTREMO

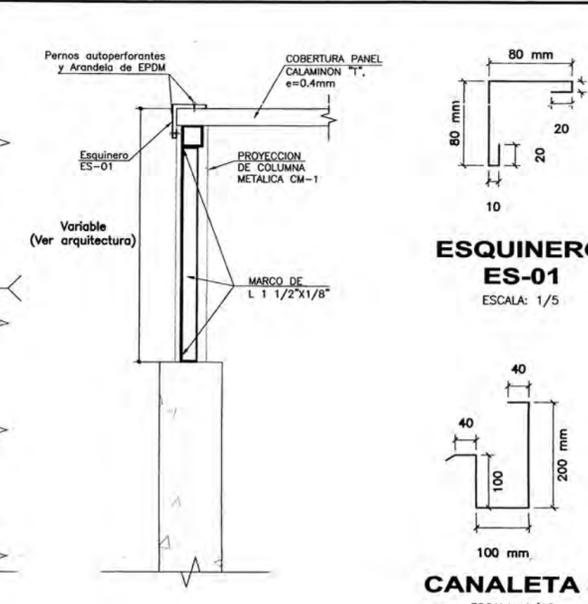
**TALLE DE DINTEL DE ZONA DE PUERTA DEL R.C.A.**  
ESCALA: 1/25



**PLANTA  
TECHO METALICO DEL R.C.A.  
COBERTURA CALAMINON "T" e=0.4mm  
(S/C=30 Kg/m<sup>2</sup>)**  
ESCALA: 1/50



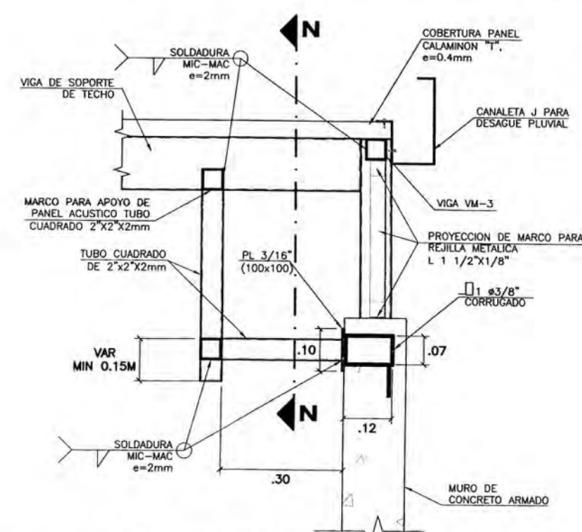
**ELEVACION  
DETALLE DE REJILLA METALICA SOBRE MURO DEL R.C.A.**  
ESCALA: 1/12.5



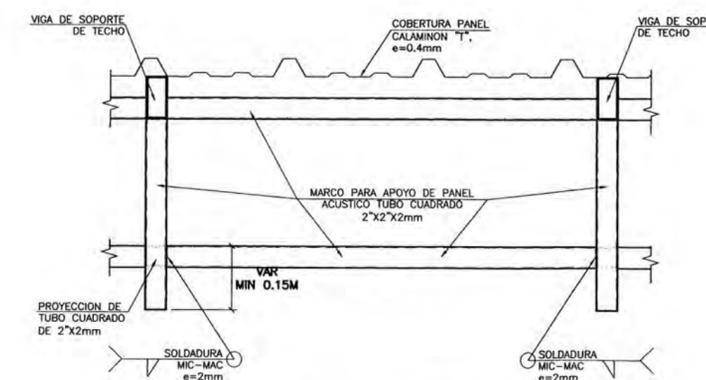
**CORTE B-B**  
ESCALA: 1/12.5

**ESQUINERO  
ES-01**  
ESCALA: 1/5

**CANALETA J**  
ESCALA: 1/10



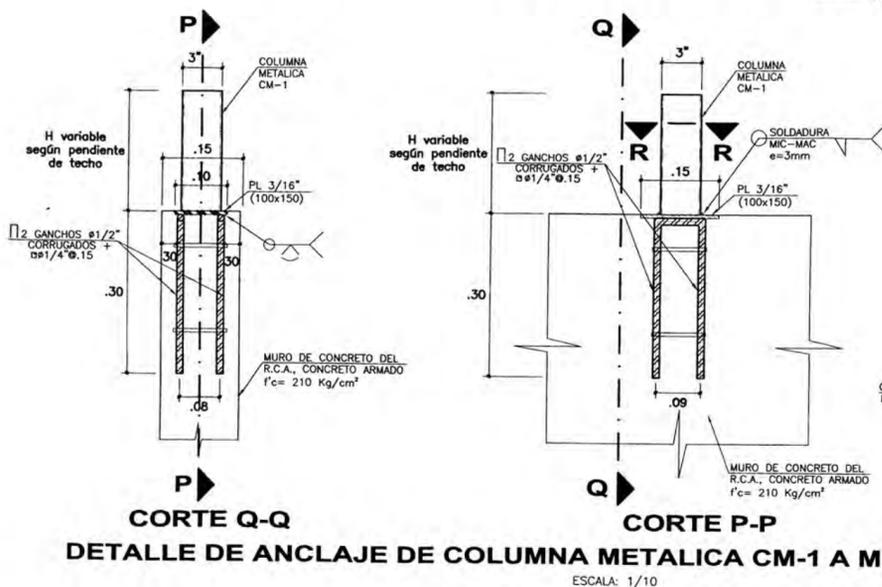
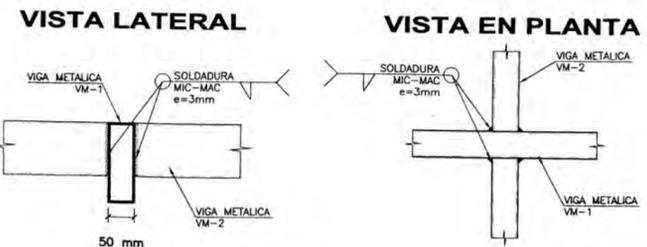
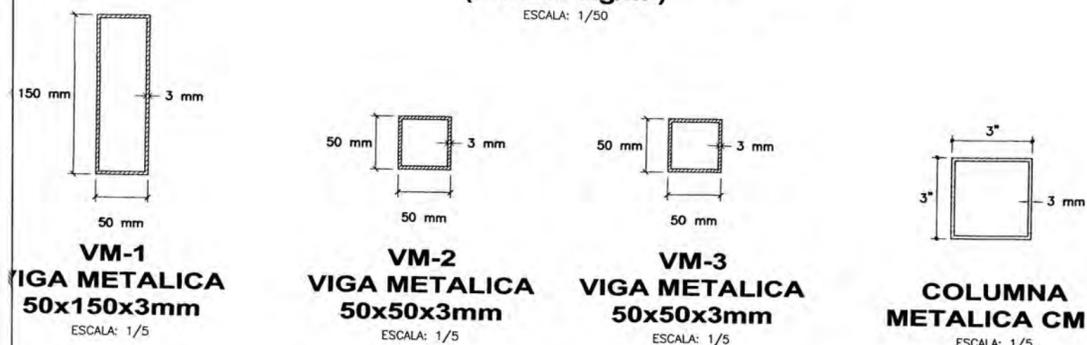
**DETALLE DE MARCO  
PARA SOPORTE DE PANEL ACUSTICO INTERIOR**  
ESCALA: 1/12.5



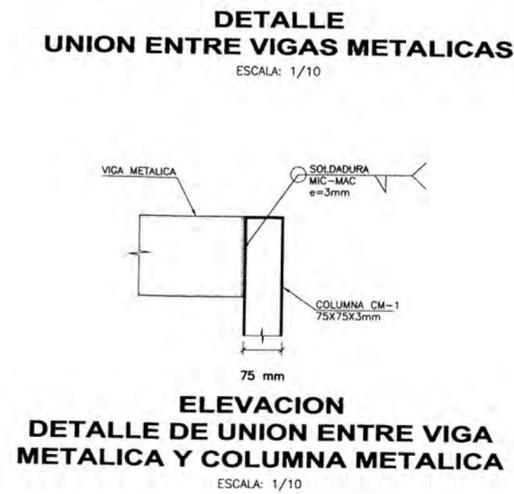
**CORTE N-N  
DETALLE DE MARCO  
PARA SOPORTE DE PANEL ACUSTICO INTERIOR**  
ESCALA: 1/12.5



**DETALLE 1: FIJACION DE COBERTURA  
CALAMINON "T" e=0.4mm**  
ESCALA: S/E



**CORTE P-P  
CORTE R-R  
DETALLE DE ANCLAJE DE COLUMNA METALICA CM-1 A MURO DE CONCRETO**  
ESCALA: 1/10



**ELEVACION  
DETALLE DE UNION ENTRE VIGA  
METALICA Y COLUMNA METALICA**  
ESCALA: 1/10

ESPECIFICACIONES TECNICAS - ESTRUCTURAS METALICAS	
<b>A. PLANCHAS</b>	<b>D. SOLDADURA</b>
PLANCHAS A-36 (fy = 2500 Kg/cm <sup>2</sup> )	SOLDADURA JUNTA PRECALIFICADA AWS
PERFILES ROLADOS Y VARILLAS ACERO A-36	SOLDADURA EN TALLER CALIDAD E-8013
<b>B. COBERTURA DEL TECHO</b>	SOLDADURA EN CAMPO CALIDAD E-6018
CALAMINON "T", e=0.4mm	SOLDADURA MIC-MAC ENTRE ESTRUCTURAS DE LAMINA DELGADA
S/C = 30 kg/m <sup>2</sup>	EL FILETE SERÁ DEL MISMO TAMAÑO DEL ESPESOR DE LOS ELEMENTOS QUE UNE (mínimo 3mm)
<b>C. PINTURAS</b>	PARA PROTEGER LAS SOLDADURAS DE CAMPO SE UTILIZARA GALVANIZADO EN FRIJO EN AEROSOL TIPO ZINC.
LA PINTURA SE APLICARA CONSIDERANDO LAS SIGUIENTES CAPAS:	EL FRISO METALICO SERA SOLDADO EN FRIJO
PRIMERA MANO (EN TALLER): ANTI-CORROSIVO EPOXY-POLIAMIDA 2 MILS	NOTA: VERIFICAR DIMENSIONES DE ELEMENTOS EN TALLER.
SEGUNDA MANO (EN TALLER): ESMALTE EPOXY-POLIAMIDA DE COLOR DIFERENTE A LA TERCERA MANO 3 MILS	
TERCERA MANO (EN OBRA O EN TALLER): ESMALTE EPOXY-POLIAMIDA COLOR FINAL 3 MILS	
ESPAESOR TOTAL DE LA PELICULA SECA 8 MILS	
LA PREPARACION Y APLICACION DE LA PINTURA SE HARÁ CONFORME A LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE	