

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(CREADO POR LEY N° 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCAVELICA

TESIS

"DETERMINACIÓN DE LA RESPUESTA EN EL DOMINIO DE
FRECUENCIAS EN UNA ESTRUCTURA SOMETIDA A
SISMOS UTILIZANDO LA TRANSFORMADA DE FOURIER"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
ANTISÍSMICA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
Bach. HUAYLLANI MATAMOROS, MILTON

ASESOR:
Ing. LÓPEZ BARRANTES, MARCO ANTONIO

HUANCAVELICA - PERÚ
2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

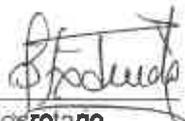
En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 13 días del mes de octubre del año 2016, a horas 3:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: Ing. Omar CABALLERO SÁNCHEZ (PRESIDENTE), Ing. Hugo Rúben LUJAN JERI (SECRETARIO), Ing. Iván Arturo AYALA BIZARRO (VOCAL), designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 414-2015-FCI-UNH, de fecha 14 de octubre del 2015 y ratificados con Resolución de Decano N° 113-2016-FCI-UNH de fecha 05 de octubre del 2016, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "DETERMINACIÓN DE LA RESPUESTA EN EL DOMINIO DE FRECUENCIAS EN UNA ESTRUCTURA SOMETIDA A SISMOS UTILIZANDO LA TRANSFORMADA DE FOURIER", presentado por el Bachiller Milton HUAYLLANI MATAMOROS, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; en presencia del Ing. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES, Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...5:00 p.m.; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO POR... UNANIMIDAD

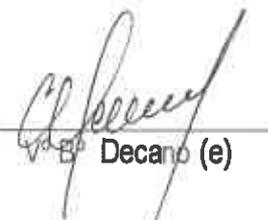
DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:


Presidente


Secretario


Vocal


Decano (e)

DEDICATORIA: A Fidel Huayllani Dueñas y Natalia Matamoros Condori, que con su perdurable amor, cariño y comprensión sincero, hacen que afronte el mañana, y cumpla con mi razón de existencia.

AGRADECIMIENTO

Presente proyecto de investigación, es el resultado de la iniciativa por parte del investigador y de mi Co asesor, por ende, expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. Gómez Tunque, Kennedy Richard, por los conocimientos transferidos y el tiempo dado para la culminación de este trabajo de investigación.

También, expreso mi agradecimiento a los Ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica que me transmitieron sus conocimientos en aula y a todas las personas que hicieron posible la realización del presente trabajo de Investigación, contribuyendo de alguna manera con su colaboración y aportes para el enriquecimiento del presente proyecto.

El autor.

ÍNDICE

	Pág.
PORTADA	i
CARATULA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
FIGURAS	xvii
TABLAS	xxii
SÍMBOLOS	xxv
RESUMEN	xxvii
ABSTRAC	xxviii
INTRODUCCIÓN	xxix
CAPÍTULO I: ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN: GENERAL Y ESPECÍFICOS	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. SEÑALES	6
2.2.1.1. CLASIFICACIÓN DE SEÑALES	6

2.2.1.1.1.	SEÑALES EN TIEMPO CONTINUO Y EN TIEMPO DISCRETO	6
2.2.1.1.2.	SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES	7
2.2.1.1.3.	SEÑALES DETERMINISTAS Y ALEATORIAS	8
2.2.1.1.4.	SEÑALES PERIÓDICAS Y APERIÓDICAS	9
2.2.1.1.5.	SEÑALES REALES Y COMPLEJAS	9
2.2.1.1.6.	SEÑALES DE TIEMPO CONTINUO	10
2.2.1.1.7.	SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO	14
2.2.1.1.8.	SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO PERIÓDICAS	15
2.2.1.1.9.	SEÑALES DIGITALES	17
2.2.2.	MUESTREO	18
2.2.3.	SERIES DE FOURIER	19
2.2.3.1	REPRESENTACIÓN DE SEÑALES EN TÉRMINOS DE SUS COMPONENTES DE FRECUENCIA	19
2.2.3.2	SERIE TRIGONOMÉTRICA DE FOURIER	19
2.2.3.3	SERIE EXPONENCIAL COMPLEJA	22
2.2.4.	TRANSFORMADA DE FOURIER	22
2.2.4.1	REPRESENTACIÓN DE SEÑALES Y SISTEMAS MEDIANTE TRANSFORMADAS	22
2.2.4.2	TRANSFORMADA DE FOURIER	22
2.2.4.3	CONTENIDO ESPECTRAL DE SEÑALES COMUNES	24
2.2.5.	ANÁLISIS DE FOURIER DE LAS SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO	24
2.2.5.1.	TRANSFORMADA DE FOURIER DE TIEMPO DISCRETO	24
2.2.5.2.	TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER	25

2.2.5.3. ALGORITMO FFT	27
2.2.6. PROCESAMIENTO DE SEÑALES	27
2.2.6.1. ANÁLISIS DEL DOMINIO DE FRECUENCIAS	27
2.2.7. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	36
2.3. HIPÓTESIS	39
2.4. VARIABLES DE ESTUDIO	40
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	42
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	42
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	42
3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	42
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	43
3.6. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO	44
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	45
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	47
4.1. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO – DINÁMICO	47
<u>PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DINÁMICO</u>	
4.1.1. ESTRUCTURACIÓN Y PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	47
4.1.1.1. CONSIDERACIONES INICIALES	47
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	48
PROPIEDADES DEL CONCRETO	48
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN	50
CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS	50

CARGA MUERTA	50
CARGA VIVA	51
CARGA VIVA DE TECHO	51
4.1.1.2. ESTRUCTURACIÓN	51
4.1.1.3. SISTEMA ESTRUCTURAL	55
4.1.1.4. PRE DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS	
ESTRUCTURALES	56
LOSA ALIGERADA	56
VIGAS	57
COLUMNAS	58
4.1.2. METRADO DE CARGAS PARA HALLAR EL PESO EN CADA	
NIVEL Y PESO TOTAL DE LA ESTRUCTURA POR SISMO	58
4.1.3. EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL	60
<u>PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO</u>	
4.1.4. CALCULO DE LA FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LA	
EDIFICACIÓN EN LAS DIRECCIONES X, Y	61
PARA LA DIRECCIÓN "X"	61
PARA LA DIRECCIÓN "Y"	68
4.1.5. DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA EN ALTURA	76
PARA LA DIRECCIÓN "X"	76
PARA LA DIRECCIÓN "Y"	77
<u>PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO MODAL ESPECTRAL</u>	
4.1.6. ACELERACIÓN ESPECTRAL	79
PARA LA DIRECCIÓN "X"	79
PARA LA DIRECCIÓN "Y"	86
4.1.7. DISEÑO DEL ESPECTRO DE ACELERACIONES PARA LAS	
DIRECCIONES X, Y	93
PARA LA DIRECCIÓN "X"	94

	PARA LA DIRECCIÓN "Y"	96
4.1.8.	CONFIGURACIÓN DE LA EDIFICACIÓN CON EL PROGRAMA ETABS PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO - DINÁMICO	98
4.1.8.1.	CONSIDERACIONES PRELIMINARES	98
4.1.9.	PROCEDIMIENTOS Y VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA	101
4.1.9.1.	CALCULO DEL PESO SÍSMICO EFECTIVO DEL EDIFICIO	101
4.1.9.2.	DETERMINANDO EL CORTANTE EN LA BASE DEL EDIFICIO PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO	103
A.	DETERMINANDO EL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA EN LA DIRECCIÓN X, Y	103
B.	CALCULANDO EL COEFICIENTE "BASE SHEAR COEFFICIENT C" PARA LA DIRECCIÓN X	104
C.	CALCULANDO EL COEFICIENTE "BASE SHEAR COEFFICIENT C" PARA LA DIRECCIÓN Y	106
D.	DEFINIENDO SISTEMAS DE CARGA SÍSMICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CORTANTE EN LA BASE	108
	SISTEMA DE CARGA SÍSMICA "SISMO X+"	108
	SISTEMA DE CARGA SÍSMICA "SISMO Y+"	109
4.1.9.3.	CALCULO DEL CORTANTE DINÁMICO SEGÚN LA INTRODUCCIÓN DE UN ESPECTRO DE DISEÑO	112
A.	GENERANDO EL ESPECTRO DE ACELERACIONES EN ETABS PARA LA DIRECCIÓN "X"	113
	PARA LA DIRECCIÓN "Y"	115
B.	CREANDO UN CASO DE CARGA DINÁMICO EQ X+	116

C.	CREANDO UN CASO DE CARGA DINÁMICO EQ Y+	118
D.	DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO	120
4.1.9.4.	VERIFICANDO LA FUERZA CORTANTE MÍNIMA REQUERIDA PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	121
A.	PARA LA DIRECCIÓN "X"	121
B.	PARA LA DIRECCIÓN "Y"	122
4.1.9.5.	VERIFICANDO EL COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS "R _o " ASUMIDA INICIALMENTE PARA LA ESTRUCTURA EN LA DIRECCIÓN "X", SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	124
A.	DETERMINANDO LOS CORTANTES DINÁMICOS EN LA ESTRUCTURA PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO EQ X+ (DIRECCIÓN "X") PARA COLUMNAS Y MUROS	124
B.	GENERANDO UNA SECCIÓN DE CORTE EN LAS COLUMNAS Y MUROS DEL SEMI SÓTANO	125
C.	DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN COLUMNAS Y MUROS	126
D.	DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN LAS COLUMNAS	127
E.	DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN LOS MUROS	128
F.	INTERPRETANDO ESTOS RESULTADOS (CORTANTE DINÁMICA EN COLUMNAS Y MUROS) EN PORCENTAJES RESPECTO A SU	

SUMATORIA Y EVALUANDO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	128
4.1.9.6. VERIFICANDO EL COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS "R _o " ASUMIDA INICIALMENTE PARA LA ESTRUCTURA EN LA DIRECCIÓN "Y", SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	129
A. DETERMINANDO LOS CORTANTES DINÁMICOS EN LA ESTRUCTURA PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO EQ Y+ (DIRECCIÓN "Y") PARA COLUMNAS Y MUROS	129
B. GENERANDO UNA SECCIÓN DE CORTE EN LAS COLUMNAS Y MUROS DEL SEMI SÓTANO	131
C. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN COLUMNAS Y MUROS	132
D. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN LAS COLUMNAS	133
E. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN LOS MUROS	133
F. INTERPRETANDO ESTOS RESULTADOS (CORTANTE DINÁMICA EN COLUMNAS Y MUROS) EN PORCENTAJES RESPECTO A SU SUMATORIA Y EVALUANDO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	133
4.1.9.7. CONTROL DE DERIVA PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	134
A. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ X+	134

B.	DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS INELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ X+	136
C.	DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ Y+	138
D.	DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS INELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ Y+	140
4.1.9.8.	DETERMINANDO EL PERIODO Y LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	142
A.	DETERMINANDO EL PERIODO "T" Y LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN "T" DE LA EDIFICACIÓN MEDIANTE EL ETABS	143
B.	DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA EN ALTURA	144
C.	DETERMINANDO LOS PESOS DE ENTREPISO CON EL ETABS	144
D.	DETERMINANDO LA CORTANTE EN LA BASE DEL EDIFICIO CON EL ETABS	145
E.	DETERMINANDO LOS DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	146
F.	FINALMENTE DETERMINANDO EL PERIODO Y LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	147
4.2.	DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA UN ANÁLISIS ESPECTRAL EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS	151
4.2.1.	SISMO Y REGISTRO SÍSMICO	151

4.2.1.1.	IMPORTANCIA DEL SISMO DEL 03 DE OCTUBRE DEL AÑO 1974	151
4.2.1.2.	DATOS DE LA ESTACIÓN Y REGISTRO SÍSMICO	151
	A. DATOS DE LA ESTACIÓN SÍSMICA	151
	B. DATOS DEL SISMO	152
	C. DATOS DEL REGISTRO SÍSMICO	152
4.2.2.	TEOREMA DE NYQUIST	152
4.2.3.	MUESTREO DEL REGISTRO DE LAS ACELERACIONES SÍSMICAS	153
	A. MUESTREO DE LA SEÑAL (ACELERACIÓN) DE TIEMPO DISCRETO	153
	B. PROGRAMA EN MATLAB: GRÁFICA DE LA SEÑAL SÍSMICA ACELERACIÓN COMO UNA SEÑAL DE TIEMPO CONTINUO	157
	C. PROGRAMA EN MATLAB: GRÁFICA DE LA SEÑAL SÍSMICA ACELERACIÓN COMO UNA SEÑAL DE TIEMPO DISCRETO	159
4.2.4.	TRANSFORMADA DE FOURIER DE LA SEÑAL MUESTREADA	161
	A. ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE UNA SEÑAL	161
	B. ANÁLISIS DE LA SEÑAL	161
	ANÁLISIS DE FOURIER DE LAS SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO	161
	TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT)	161
	C. DETERMINACIÓN DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER DE LA SEÑAL MUESTREADA MEDIANTE LA TEORÍA MATEMÁTICA	163
	<u>Dirección Este – Oeste (EW)</u>	163

• USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - EW	163
• USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 10 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - EW	166
• USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4899 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS -EW	170
<u>Dirección Norte – Sur (NS)</u>	173
• USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - NS	173
• USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 10 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - NS	176
• USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4899 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS -NS	180

D.	DETERMINACIÓN DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER DE LA SEÑAL MUESTREADA MEDIANTE EL USO DEL ALGORITMO FFT IMPLEMENTADO EN EL PROGRAMA MATLAB	183
1.	ALGORITMO DE LA TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER (FFT)	183
2.	DETERMINANDO EN ESPECTRO DE FOURIER (MAGNITUD EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA)	186
3.	DETERMINANDO LA FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL	188
4.3.	DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO TIEMPO – HISTORIA	194
4.3.1.	CONFIGURACIÓN DE LA EDIFICACIÓN CON EL PROGRAMA ETABS PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO TIEMPO - HISTORIA	194
4.3.1.1.	CONSIDERACIONES PRELIMINARES	194
4.3.1.2.	DEFINIENDO LA FUNCIÓN PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO TIEMPO HISTORIA	194
4.3.1.3.	ADICIONANDO UN NUEVO CASO DE CARGA DINÁMICO DE NOMBRE THLIMA1974-X Y THLIMA1974-Y	198
A.	PARA EL CASO THLIMA1974-X	198
B.	PARA EL CASO THLIMA1974-Y	200
4.3.1.4.	CONTROL DE DERIVAS PARA LOS CASOS DINÁMICOS TIEMPO - HISTORIA	202
A.	DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO THLIMA1974-X	202

B. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS INELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO THLIMA1974-X	203
C. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO THLIMA1974-Y	205
D. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS INELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO THLIMA1974-Y	207
4.4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	210
4.5. DISCUSIÓN	228
CONCLUSIONES	229
RECOMENDACIONES	231
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	232
ANEXOS	
ANEXO 1. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN (FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA) CON EL PROGRAMA ETABS	
ANEXO 2. PRUEBA 1 Y 2 PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESPECTRO DE FOURIER	
ANEXO 3. INFORME TÉCNICO: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN	
ANEXO 4. PANEL FOTOGRÁFICO	
ANEXO 5. PLANOS	
ANEXO 6. NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR Y TESISTA	
ANEXO 7. ESQUEMAS METODOLÓGICOS	
ANEXO 8. MATRIZ DE CONSISTENCIA	

FIGURAS

Figura 001. Ejemplo de señales en tiempo continuo y en tiempo discreto.	7
Figura 002. Ejemplo de señales digitales en tiempo continuo y de tiempo discreto.	8
Figura 003. Segmento de diálogo.	11
Figura 004. Gráfica en MATLAB para la señal $x(t) = e^{-0.1t} \text{sen} 2t/3$.	13
Figura 005. Gráfica de tallo de una señal de tiempo discreto.	15
Figura 006. Sinusoide de tiempo discreto con $\Omega = \pi/3$ y $\theta = 0$.	16
Figura 007. Sinusoide de tiempo discreto con $\Omega = 1$ y $\theta = 0$.	17
Figura 008. Señal de tiempo continuo muestreada.	19
Figura 009. Señal periódica con periodo fundamental $T = 2$.	20
Figura 010. Señales analógicas y digitales.	29
Figura 011. Señal digital sinusoidal, x_k .	33
Figura 012. Magnitud de X_k .	34
Figura 013. Magnitud de X_k en Hz.	35
Figura 014. Fuerza cortante en la base de la edificación en la dirección X.	75
Figura 015. Fuerza cortante en la base de la edificación en la dirección Y.	75
Figura 016. Espectro de aceleraciones para la dirección X.	96
Figura 017. Espectro de aceleraciones para la dirección Y.	98
Figura 018. Elevación frontal (Facultad de Ciencias Empresariales – UNH).	99
Figura 019. Configuración del peso sísmico efectivo del edificio 100% de la carga permanente, 50% de la carga viva y un 25% de la carga viva del techo.	102
Figura 020. Resultados del peso sísmico efectivo por niveles y el acumulado del edificio.	103
Figura 021. Periodo fundamental de la estructura en la dirección X, Y.	103
Figura 022. Introducción del coeficiente "BASE SHEAR COEFFICIENT C" calculado previamente, para el cálculo de cortante en la base de la edificación en la dirección X esto para un análisis sísmico estático.	109

Figura 023.	Introducción del coeficiente "BASE SHEAR COEFFICIENT C" calculado previamente, para el cálculo de cortante en la base de la edificación en la dirección Y esto para un análisis sísmico estático.	110
Figura 024.	Resultado, fuerza cortante en la base de la edificación para un análisis estático en las direcciones X e Y, tras haber introducido un coeficiente de cortante y considerado la excentricidad accidental del 5 % como lo requiere el RNE E. 030.	111
Figura 025.	Datos del espectro de diseño (espectro de aceleraciones) en la dirección X para su uso con el programa Etabs.	112
Figura 026.	Datos del espectro de diseño (espectro de aceleraciones) en la dirección Y para su uso con el programa Etabs.	112
Figura 027.	Espectro de diseño (espectro de aceleraciones) cargado en el programa Etabs para la dirección X.	114
Figura 028.	Espectro de diseño (espectro de aceleraciones) cargado en el programa Etabs para la dirección Y.	116
Figura 029.	Creando, configurando un caso de carga dinámico de nombre EQ X+ en la dirección X y añadiendo una excentricidad accidental de 0.05 (5%) como lo requiere el RNE E. 030.	118
Figura 030.	Creando, configurando un caso de carga dinámico de nombre EQ Y+ en la dirección Y y añadiendo una excentricidad accidental de 0.05 (5%) como lo requiere el RNE E. 030.	120
Figura 031.	Fuerza cortante dinámica en la base de la edificación para los casos de carga dinámicos EQ X+ y EQ Y+ en las direcciones X e Y.	121
Figura 032.	Selección del caso sísmico EQ X+ (caso de carga dinámico en la dirección X) para el cálculo de la fuerza cortante dinámico en los elementos del tipo Frames y Piers de la edificación.	125

Figura 033.	Generando una sección de corte para el cálculo de la fuerza cortante dinámico en la dirección X, en los elementos Frames y Piers de la estructura.	126
Figura 034.	Selección de los objetos columnas y muros para el cálculo del cortante dinámico total (sumatoria de cortantes en ambos elementos).	127
Figura 035.	Selección del caso sísmico EQ Y+ (caso de carga dinámico en la dirección Y) para el cálculo de la fuerza cortante dinámico en los elementos del tipo Frames y Piers de la edificación.	130
Figura 036.	Generando una sección de corte para el cálculo de la fuerza cortante dinámico en la dirección Y, en los elementos Frames y Piers de la estructura.	131
Figura 037.	Selección de los objetos columnas y muros para el cálculo del cortante dinámico total (sumatoria de cortantes en ambos elementos), en la dirección Y.	132
Figura 038.	Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico dinámico EQ X+ en la dirección X.	135
Figura 039.	Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030.	138
Figura 040.	Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico dinámico EQ Y+ en la dirección Y.	139
Figura 041.	Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030, para la dirección Y.	142
Figura 042.	Periodo fundamental de vibración de la edificación mediante el programa Etabs.	143
Figura 043.	Pesos de entrepiso de la edificación mediante el programa Etabs.	145
Figura 044.	Cortante basal de la edificación en las direcciones X e Y mediante el programa Etabs.	145
Figura 045.	Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico estático SISMO X+ en la dirección X.	146

- Figura 046.** Aceleraciones sísmicas en función del tiempo graficado mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - EW. Aquí se observa un "peak" de aceleración de 1924.90 mm/s^2 en un tiempo de 19.78 seg. 158
- Figura 047.** Aceleraciones sísmicas en función del tiempo graficado mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - NS. Aquí se observa un "peak" de aceleración de 1801.00 mm/s^2 en un tiempo de 18.42 seg. 159
- Figura 048.** Aceleraciones sísmicas muestreadas en 4899 muestras mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - EW. 160
- Figura 049.** Aceleraciones sísmicas muestreadas en 4899 muestras mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - NS. 160
- Figura 050.** Espectro de Fourier (magnitud $|X_k|$ de la Transformada Discreta de Fourier en el dominio de la frecuencia) para el sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección EW. Aquí se observa una frecuencia dominante de 3.307 Hertz. 189
- Figura 051.** Espectro de Fourier (magnitud $|X_k|$ de la Transformada Discreta de Fourier en el dominio de la frecuencia) para el sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección NS. Aquí se observa una frecuencia dominante de 3.266 Hertz. 190
- Figura 052.** Selección de la unidad y carpeta donde está guardado el archivo del tipo txt (PQR_19741003EW(mm-s2), que contiene el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974. 195
- Figura 053.** Aquí se muestra el nombre de la función editado anteriormente, el archivo del registro sísmico cargado, el intervalo de tiempo de 0.020 segundos (periodo de muestreo), el salto de una línea para la lectura de datos,

	número de puntos por línea y también se muestra la gráfica del registro sísmico.	197
Figura 054.	Creando un caso de carga dinámico de nombre THLIMA1974-X, configurando la dirección de análisis eje X (U1), cargando la función editada anteriormente de nombre LIMA1974EW, añadiendo un factor de escala de 1 porque los datos muestreados no son una fracción de la gravedad, configurando el número de 4899 puntos muestreados, el tiempo de muestreo de 0.020 segundos e incluyendo en el análisis un amortiguamiento de 0.05.	199
Figura 055.	Creando un caso de carga dinámico de nombre THLIMA1974-Y, configurando la dirección de análisis eje Y (U2), cargando la función editada anteriormente de nombre LIMA1974NS, añadiendo un factor de escala de 1 porque los datos muestreados no son una fracción de la gravedad, configurando el número de 4899 puntos muestreados, el tiempo de muestreo de 0.020 segundos e incluyendo en el análisis un amortiguamiento de 0.05.	201
Figura 056.	Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-X en la dirección X.	202
Figura 057.	Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030 para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-X.	205
Figura 058.	Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-Y en la dirección Y.	206
Figura 059.	Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030 para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-Y.	209

TABLAS

TABLA 001.	Resumen de las secciones de las vigas (según planos de estructuras de la edificación).	57
TABLA 002.	Resumen de las secciones de las columnas (según planos de estructuras).	58
TABLA 003.	Resumen de la fuerza cortante en la base de la edificación en las direcciones X, Y.	74
TABLA 004.	Resumen de parámetros considerados para el cálculo de la fuerza cortante V en la dirección X.	76
TABLA 005.	Distribución de la fuerza sísmica en los pisos de la edificación en la dirección X.	77
TABLA 006.	Distribución de la fuerza cortante en los pisos de la edificación en la dirección X.	77
TABLA 007.	Resumen de parámetros considerados para el cálculo de la fuerza cortante V en la dirección Y.	78
TABLA 008.	Distribución de la fuerza sísmica en los pisos de la edificación en la dirección Y.	78
TABLA 009.	Distribución de la fuerza cortante en los pisos de la edificación en la dirección Y.	79
TABLA 010.	Diseño del espectro de aceleraciones para la dirección X.	95
TABLA 011.	Diseño del espectro de aceleraciones para la dirección Y.	97
TABLA 012.	Comparación del cortante en la base de la edificación, calculado manualmente y con el uso del programa Etabs.	111
TABLA 013.	Fuerza cortante mínima requerida para un análisis sísmico dinámico según la Norma Técnica E.030 en la dirección X.	122
TABLA 014.	Fuerza cortante mínima requerida para un análisis sísmico dinámico según la Norma Técnica E.030 en la dirección Y.	123
TABLA 015.	Fuerza cortante mínima requerida para un análisis sísmico dinámico según la Norma Técnica E.030 en las direcciones X e Y.	124

TABLA 016.	Desplazamientos máximos y derivas elásticas para el caso sísmico EQ X+ en la dirección X.	136
TABLA 017.	Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico EQ X+ (para la dirección "X" R=7).	137
TABLA 018.	Desplazamientos máximos y derivas elásticas para el caso sísmico EQ Y+ en la dirección Y.	139
TABLA 019.	Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico EQ Y+ (para la dirección "Y" R=6).	141
TABLA 020.	Altura de entrepiso y peso en cada nivel de la edificación.	145
TABLA 021.	Cortante basal de la edificación en las direcciones X e Y en toneladas.	146
TABLA 022.	Altura de entrepiso y desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico estático SISMO X+ en la dirección X.	147
TABLA 023.	Periodo fundamental de vibración de la edificación de acuerdo al RNE E. 030 para el SISMO X+ en la dirección X.	148
TABLA 024.	Periodo y frecuencia fundamental de vibración de la edificación de acuerdo al RNE E. 030 para el SISMO X+ en la dirección X.	148
TABLA 025.	Periodo fundamental de vibración de la edificación de acuerdo al RNE E. 030 para el SISMO Y+ en la dirección Y.	149
TABLA 026.	Periodo y frecuencia fundamental de vibración de la edificación de acuerdo al RNE E. 030 para el SISMO Y+ en la dirección Y.	149
TABLA 027.	Resumen, periodo y frecuencia fundamental de vibración de la edificación en la dirección X e Y.	150
TABLA 028.	Datos muestreados con un periodo de muestro de $T = 0.020$ segundos y una frecuencia de muestreo de $F = 50$ Hz (Hertz) del registro de aceleraciones sísmicas (sismo del 03 de octubre del año 1974) - EW.	154

TABLA 029.	Datos muestreados con un periodo de muestro de $T = 0.020$ segundos y una frecuencia de muestreo de $F = 50$ Hz (Hertz) del registro de aceleraciones sísmicas (sismo del 03 de octubre del año 1974) - NS.	156
TABLA 030.	Frecuencia y periodo fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) en la dirección X e Y.	191
TABLA 031.	Frecuencia dominante en la señal sísmica (sismo del 03 de octubre del año 1974) en las direcciones Este – Oeste y Norte – Sur.	191
TABLA 032.	Comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación y la frecuencia dominante de la señal sísmica en las direcciones X e Y.	192
TABLA 033.	Desplazamientos máximos y derivas elásticas para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-X en la dirección X.	203
TABLA 034.	Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-X (para la dirección "X" $R=7$).	204
TABLA 035.	Desplazamientos máximos y derivas elásticas para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-Y en la dirección Y.	206
TABLA 036.	Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-Y (para la dirección "Y" $R=6$).	208

SÍMBOLOS

C	Factor de amplificación sísmica.
C_T	Coefficiente para estimar el periodo fundamental de un edificio.
DFT	Transformada Discreta de Fourier.
d_i	Desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i.
EQ X+	Nombre del caso sísmico dinámico en la dirección X.
EQ Y+	Nombre del caso sísmico dinámico en la dirección Y.
f_i	Fuerza lateral en el nivel i.
h_{ei}	Altura de entrepiso i.
h_i	Altura del nivel "i" con relación al nivel del terreno.
h_n	Altura total de la edificación en metros.
I_a	Factor de irregularidad en altura.
I_k	Parte imaginaria de X_k
$\Im\{x(t)\}$	Parte imaginaria de una señal compleja.
I_p	Factor de irregularidad en planta.
mb	Magnitud de onda de cuerpo.
Mw	Magnitud de momento.
N	Número de puntos muestreados.
P	Peso de la edificación.
P_i	Peso del nivel i.
$\Re\{x(t)\}$	Parte real de una señal compleja.
R	Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas.
R_k	Es la parte real de X_k .
R_o	Coefficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas.
S	Factor de amplificación del suelo.
S_a	Espectro de pseudo – aceleraciones.
SISMO X+	Nombre del caso sísmico estático en la dirección X.

SISMO Y+	Nombre del caso sísmico estático en la dirección Y.
t	Tiempo.
T	Periodo fundamental de vibración.
THLIMA1974-X	Nombre del caso sísmico dinámico para un análisis sísmico Tiempo – Historia en la dirección X.
THLIMA1974-Y	Nombre del caso sísmico dinámico para un análisis sísmico Tiempo – Historia en la dirección Y.
T_L	Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.
T_p	Periodo que define la plataforma del factor C.
V	Fuerza cortante en la base de la estructura.
$x[n]$	Señal en tiempo discreto.
$x(t)$	Señal en tiempo continuo.
X_k	Transformada Discreta de Fourier.
$X(\omega)$	Transformada de Fourier de una señal de tiempo continuo.
Z	Factor de zona.
Ω	Frecuencia de tiempo discreto (en radianes por unidad de tiempo).
ω_0	Frecuencia fundamental (en rad/s).
μ_c	Relación de Poisson.
δ_i	Desplazamiento máximo del nivel i.
$ X(\omega) $	Magnitud de la transformada de Fourier de una señal de tiempo continuo.
$\Delta_{elástico-i}$	Deriva elástica en el nivel i.

RESUMEN

El proyecto comprende el cálculo de periodo fundamental de vibración de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales de la UNH) para tal se usó la formula dada por el Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 (diseño sismorresistente), que para este fin se necesita primeramente calcular las fuerzas laterales estáticas en cada nivel, los desplazamientos máximos estáticos no amplificados en cada nivel y que para luego tomar el 85% del resultado final (periodo fundamental T) al usar la fórmula puesto que así lo señala el Reglamento Nacional de edificaciones E.030 (diseño sismorresistente) cuando no se considere la rigidez de los elementos no estructurales. También comprende la determinación de la Transformada Discreta de Fourier a la señal sísmica (registro de aceleraciones sísmicas), para lo cual se implementó un programa diseñado en Matlab que usa el algoritmo fft que de termina en forma rápida la Transformada Discreta de Fourier (DFT) y para verificar la confiabilidad del programa en Matlab se contrasto resultados con el uso de la fórmula matemática que determina la transformada discreta de Fourier DFT de una señal de tiempo discreto, para luego determinar la frecuencia dominante en el espectro de frecuencias. Finalmente se realizó una comparación de frecuencias y así determinar el estado de resonancia del sistema.

ABSTRAC

The project comprises calculating fundamental period of vibration of the structure (Faculty of Business UNH) for such a formula given by the National Building Regulations E.030 was used, which for this purpose is needed first calculate static lateral forces at each level, the maximum displacements static unamplified at each level and then take 85% of the final result (fundamental period T) by using the formula since so says the National building Regulations E. 030 when the stiffness of nonstructural elements is not considered. Also comprises determining the Discrete Fourier Transform to the seismic signal (record seismic accelerations), for which a program designed in Matlab using FFT algorithm that finishes quickly the Discrete Fourier Transform (DFT) was implemented and to verify the reliability of the results Matlab program was contrasted with the use of mathematical formula that determines the discrete Fourier transform DFT of discrete-time signal, then determine the dominant frequency in the frequency spectrum. Finally, a comparison was made of frequencies and determine the state of resonance of the system.

INTRODUCCIÓN

La Transformada de Fourier, denominada así por Joseph Fourier, es una transformación matemática usada para transformar señales entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia, que tiene muchas aplicaciones en la física y la ingeniería. Esta herramienta matemática es reversible, siendo capaz de transformaciones de cualquiera de los dominios al otro.

La Transformada de Fourier como herramienta matemática tiene uso en una gran cantidad de aplicaciones como en el procesamiento de señales. Transforma una señal representada en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia pero sin alterar su contenido de información.

La eficacia del análisis de Fourier radica en que nos permite descomponer una señal compleja en un conjunto de componentes de frecuencia única para luego realizar su correspondiente análisis.

En la actualidad existe la necesidad de analizar señales muy complejas la cual, analizándolo con procedimientos, métodos matemáticos de análisis generarían prolongados tiempos de análisis. Pero esto se soluciona con el diseño de programas mediante el empleo de lenguajes de programación de alto nivel como lo es el MatLab, donde el correcto uso del programa genera resultados confiables, de ahí la importancia del presente trabajo de investigación de servir de guía para la comunidad de investigadores.

CAPITULO I: ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aparición de estructuras cada vez más esbeltas en el panorama de la ingeniería civil, hace que los periodos propios de oscilación sean más largos. Este factor hace que cargas que en otra época podían considerarse estáticas, adquieran un carácter dinámico y por lo tanto cambien por completo la forma de analizar y calcular la estructura.

Diversas exigencias; creciente en nuestros días, como el confort, conocimiento de los coeficientes de seguridad, hacen del análisis dinámico una herramienta fundamental para abordar el problema [1].

La principal preocupación al analizar una estructura sometida a excitación sísmica radica en la posibilidad que exista resonancia, es decir, la condición en la cual el periodo de vibración del terremoto inducido por el movimiento terrestre es igual al periodo natural de vibración de la estructura en cuestión produciéndose intensas amplificaciones de la dinámica. Cuando ocurre la resonancia, el movimiento responsable del edificio es aumentado, incrementando la amplitud de la vibración rápidamente. Edificios altos, puente, y otras estructuras largas responden más a sismos que tienen un periodo de vibración mayor, y a la inversa, las estructuras pequeñas responden a sismos con periodos de vibración menor [2].

Considero que el análisis sísmico moderno es la unión de varios temas: sismología dinámica bidimensional y tridimensional, normatividad, etc. Uno de estos temas la dinámica estructural, generalmente se presenta en un plano, cuando en la realidad todas las estructuras son tridimensionales. Los software actuales ya son

compatibles con la tridimensionalidad de las estructuras. Los métodos para obtener los modos de vibrar y sus periodos para tres dimensiones ya se implantan en las computadoras, por lo que los métodos iterativos para el mismo fin de Newmark, Holzer y Stodolla – Vianello en un plano ya son obsoletos.

El modelo tridimensional y animado por las computadoras es didáctico y además, ilustrativo para determinar el movimiento tridimensional lateral y torsional de las estructuras.

Por otra parte, los códigos avanzan lentamente, conforme avanzan la ciencia y la tecnología. Poco a poco se usan más los métodos dinámicos [3].

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con el presente trabajo de investigación se pretende dar a conocer como es la determinación de la respuesta en el dominio de frecuencias en una estructura sometida a sismos utilizando la Transformada de Fourier, donde la formulación del problema de investigación es:

¿Cómo es la determinación de la respuesta en el dominio de frecuencias en una estructura sometida a sismos utilizando la Transformada de Fourier?

1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN: GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la presente tesis es la determinación de la frecuencia fundamental de vibración de la estructura y la frecuencia dominante del sismo en el dominio de la frecuencia en una estructura sometida a sismos mediante el uso de la Transformada de Fourier y el software Matlab, para luego realizar una comparación de frecuencias y determinar si el sistema se encuentra en un estado de resonancia.

1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Realizar la caracterización, determinación de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) a través de su frecuencia fundamental de vibración, mediante la utilización de la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente) y el programa Etabs.
- Determinar la frecuencia dominante de la señal sísmica en el dominio de la frecuencia, utilizando la Transformada de Fourier y el Software MatLab.
- Comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) y la frecuencia dominante de la señal sísmica, y determinar para las frecuencias calculadas si el sistema está en un estado de resonancia.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación abre las puertas para el conocimiento a través de la adición a la forma tradicional de realizar un análisis sísmico de una estructura. Esto a través de una comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación y la frecuencia dominante de la señal sísmica.

También en la actualidad existe la necesidad de analizar estructuras y señales muy complejas la cual, analizándolo como procedimientos, métodos matemáticos de análisis generarían prolongados tiempos de análisis. Pero esto se soluciona con el uso de programas de análisis de estructuras como lo es el Etabs y con el diseño de programas mediante el empleo de lenguajes de programación de alto nivel como lo es el MatLab, donde el correcto uso del programa generará resultados confiables, de ahí la importancia del presente trabajo de investigación de servir de guía para la comunidad de investigadores.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Martínez [4], realizó la tesis: *"Metodologías de descomposición espectral aplicadas al procesamiento de datos sísmicos"*, en la Universidad Industrial de Santander, Colombia. En este proyecto se aborda tres técnicas de descomposición espectral aplicadas en el procesamiento de datos e imágenes sísmicas. Dichas metodologías permiten analizar mejor las respuestas de impedancia acústica en las señales sísmicas de eventos geológicos desde la variación temporal de su espectro.

Echeverría [2], realizó la tesis: *"Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras en movimiento y registro sísmico utilizando la Transformada de Wavelet"*, en la Universidad Austral de Chile, Chile. En este proyecto se muestra un método Espectral-Frecuencial, basado en el uso de la Transformada de Fourier, Transformada Wavelet y el Software MatLab, para la determinación de frecuencias de vibración de señales en general y en especial del tipo sísmico. Las señales analizadas corresponden a registros de aceleraciones obtenidos desde estaciones sísmicas a nivel de suelo y a registros de aceleraciones ubicados en los grados de libertad de estructuras sometidas a aceleraciones basales verdicas simulados en SAP2000. Cabe señalar que ambos registros son de gran importancia para el análisis sísmico-estructural. Se presentan un análisis del comportamiento frecuencial, en el tiempo, de ambos tipos de registros y las posibilidades de resonancia en la estructura modelada.

Torres [5], realizó la tesis: *"Análisis, descripción y comparación de los métodos de Fourier y Wavelet aplicados a la identificación de características dinámicas en estructuras"*, en la Universidad Industrial de Santander, Malaga. Esta tesis tiene como objetivo principal analizar, describir y comparar los métodos de Fourier y Wavelet aplicados a la caracterización dinámica de una viga simplemente apoyada (donde a esta viga se le discretizo en 5 nodos en los cuales se concentra la masa) y esto a partir del uso de vibraciones ambientales simuladas.

Taboada [6], realizó la tesis: *"Análisis y diseño de edificios asistido por computadoras"*, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Esta tesis se ha desarrollado con la finalidad de servir como material didáctico a todas aquellas personas que pretendan realizar el uso de un programa para el análisis y diseño de edificios, para lo cual usa el programa ETABS.

Suárez [7], realizó la tesis: *"Aplicación del programa matlab para optimizar el tiempo y determinar en forma segura el análisis dinámico de una estructura"*, en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. En esta tesis de acuerdo al problema que generara la acción de los sismos sobre las estructuras, por la magnitud de los daños que ocasionan, las grandes pérdidas económicas, y sobre todo, por el gran número de víctimas humanas. Y para tratar de minimizar los daños que estos accionan, se plantea la importancia de que las estructuras sean analizadas dinámicamente ya que de esa forma se estará tomando en cuenta el sismo al momento de diseñarlas.

Uno de los problemas que se presenta al realizar el análisis dinámico, es que requiere de mucho tiempo, ya que en él se debe realizar una gran cantidad de iteraciones para poder encontrar el equilibrio dinámico.

Este trabajo está realizado con el propósito de realizar el análisis dinámico y optimizar el tiempo que el análisis dinámico conlleva.

Monzón [8], realizó la tesis: *"Selección y adecuación de acelerogramas sísmicos para análisis de estructuras con ejemplos para el valle de Guatemala"*, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. El trabajo muestra la

metodología para poder seleccionar registros de acelerogramas sísmicos, para adecuarlos a la amenaza sísmica del lugar y poder usar el registro modificado para realizar el análisis de estructuras por el método de análisis dinámico paso a paso (*Response History*).

Los primeros capítulos se enfocan en describir los factores que afectan los acelerogramas, explicando de manera general los parámetros más importantes que sirven principalmente para evaluar los registros en el proceso de selección y adecuación. En esta parte se incluye una sección general acerca de atenuaciones sísmicas.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1. SEÑALES

Una señal es una representación matemática de la evolución de una magnitud física (o una medida) respecto de algún o algunos de los parámetros; generalmente tiempo o espacio.

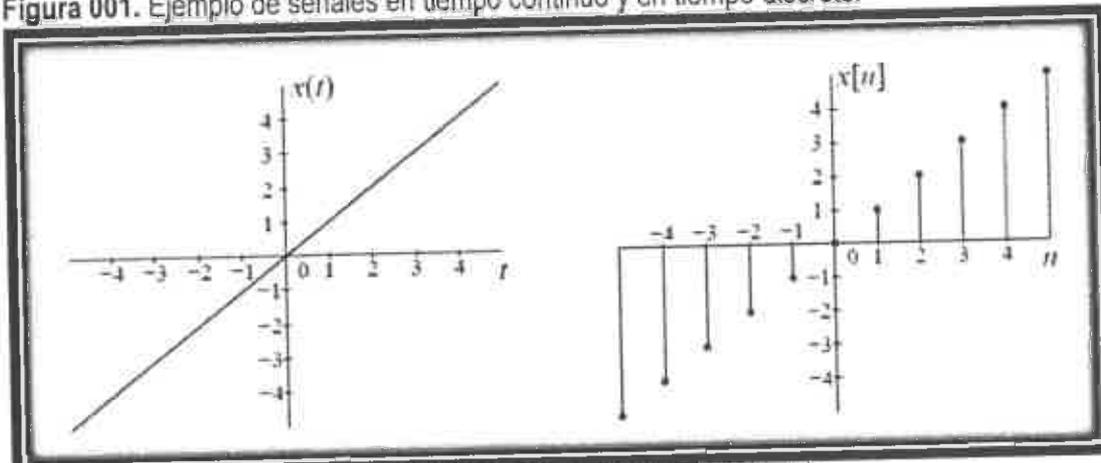
2.2.1.1. CLASIFICACIÓN DE SEÑALES

2.2.1.1.1. SEÑALES EN TIEMPO CONTINUO Y EN TIEMPO DISCRETO

Si la variable independiente puede tomar cualquier valor real decimos que la señal es en tiempo continuo y la denotamos como $x(t)$ ($t \in \mathbb{R}$, siendo \mathbb{R} el cuerpo de los números reales). Si la variable independiente toma solo valor en los números enteros decimos que la señal es en tiempo discreto (también denominada secuencia) y la denotamos como $x[n]$ ($n \in \mathbb{Z}$, siendo \mathbb{Z} el anillo de los números enteros).

- Un ejemplo de señal en tiempo continuo es $x(t) = t$.
- Un ejemplo de señal en tiempo discreto es $x[n] = n$.

Figura 001. Ejemplo de señales en tiempo continuo y en tiempo discreto.



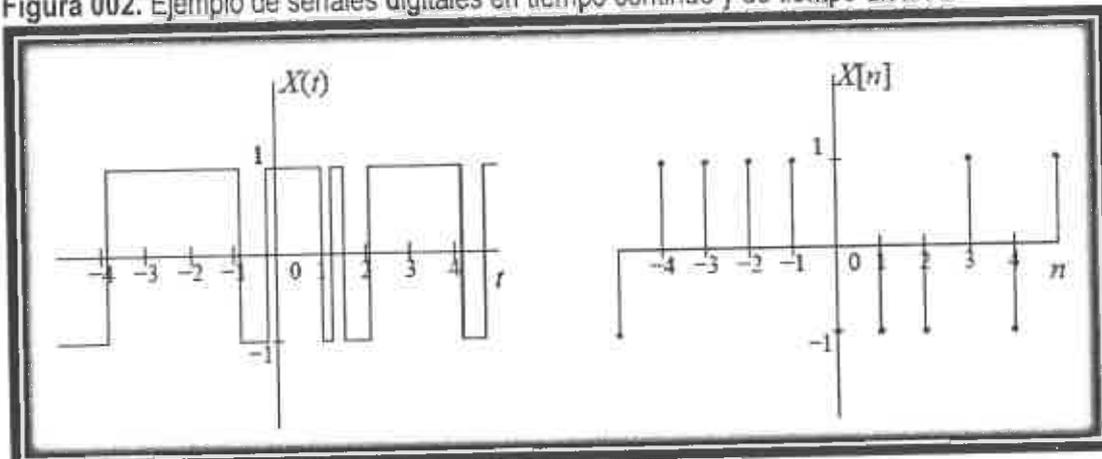
Fuente: Libro "COMUNICACIONES DIGITALES" por ARTÉS RODRÍGUEZ, Antonio y PÉREZ GONZALES, Fernando.

Nótese que la diferencia entre ambas señales no está en su descripción analítica (el valor de la señal es igual al valor de la variable independiente), sino en que $x(0,5)$ es igual a 0,5 y $x[0,5]$ no existe, no está definido.

2.2.1.1.2. SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Si la señal puede tomar uno entre un conjunto finito de valores decimos que la señal es digital y la denotamos con letras mayúsculas como $X(t)$ o $X[n]$ (según sea en tiempo continuo o en tiempo discreto). Si la señal puede tomar uno de entre un conjunto infinito de valores decimos que la señal es analógica y la denotamos con letras minúsculas como como $x(t)$ o $x[n]$.

Figura 002. Ejemplo de señales digitales en tiempo continuo y de tiempo discreto.



Fuente: Libro "COMUNICACIONES DIGITALES" por ARTÉS RODRÍGUEZ, Antonio y PÉREZ GONZÁLES, Fernando.

2.2.1.1.3. SEÑALES DETERMINISTAS Y ALEATORIAS

Este criterio de clasificación, comúnmente citado en numerosos textos, es un criterio falso porque no puede aplicarse a ninguna señal concreta, sino al modelo matemático que empleamos para representar las señales. Estrictamente hablando, no podemos hablar de señales deterministas y señales aleatorias, sino de un modelo determinista y un modelo aleatorio o estocástico para representar el conocimiento que poseemos sobre las señales.

Bajo un modelo determinista, si suponemos que conocemos $x(t)$ (o $x[n]$) estamos suponiendo que conocemos la amplitud de $x(t)$ para todos los valores de t ; por ejemplo, sabemos que $x(75,4)$ es igual a 2,1 y no cualquier otro, y así con todos los valores de t . Bajo un modelo estocástico, si suponemos que conocemos $x(t)$ (o $x[n]$) estamos suponiendo que conocemos las propiedades estadísticas de $x(t)$ para todos los valores de t , pero no el valor concreto de $x(t)$; por ejemplo, sabemos que el valor medio (esperanza matemática) de $x(75,4)$ es igual a -0,5, o que la varianza de $x(75,4)$ es igual a 1,1,

o que el valor $x(75,4)$ tiene una descripción probabilística gaussiana de media $-0,5$ y varianza $1,1$, pero no sabemos con certeza el valor de la señal en ese instante.

2.2.1.1.4. SEÑALES PERIÓDICAS Y APERIÓDICAS

Una señal es periódica si los valores que toma se repiten de forma cíclica. Matemáticamente podemos expresarlo de la siguiente forma: una señal $x(t)$ (o $x[n]$) es periódica con periodo T (o N) si existe un valor $T \in \mathbb{R}$ (o $N \in \mathbb{Z}$) para el que se cumple que

$$x(t) = x(t + T) \quad \forall t$$

$$(x[n] = x[n + N] \quad \forall n)$$

El menor valor de T (o N) para el que se cumple se denomina periodo fundamental y se denota como T_o (o N_o). Si una señal no es periódica se dice que es aperiódica.

2.2.1.1.5. SEÑALES REALES Y COMPLEJAS

Una señal compleja es aquella que toma valores en el cuerpo de los complejos, $x(t) \in \mathbb{C}$ ó $x[n] \in \mathbb{C}$. Una señal real es aquella que sólo toma valores en el cuerpo de los reales; $x(t) \in \mathbb{R}$ ó $x[n] \in \mathbb{R}$.

DEFINIMOS LAS PARTES REAL E IMAGINARIA DE UNA SEÑAL COMPLEJA COMO

$$\text{Re}\{x(t)\} = \frac{x(t) + x^*(t)}{2}$$

$$\text{Im}\{x(t)\} = \frac{x(t) - x^*(t)}{2j}$$

En donde:

$j = \sqrt{-1}$ y * indica complejo conjugado. Puede probarse que las partes real e imaginaria son señales reales. A partir de las partes real e imaginaria reconstruimos la señal como

$$x(t) = \text{Re}\{x(t)\} + j \text{Im}\{x(t)\} = \frac{x(t) + x^*(t)}{2} + j \frac{x(t) - x^*(t)}{2j}$$

y podemos interpretar una señal real como aquella cuya parte imaginaria es idénticamente nula.¹

2.2.1.1.6. SEÑALES DE TIEMPO CONTINUO

Una señal $x(t)$ es una *función con valor real o escalar* de la variable de tiempo t . El término *con valor real* significa que para cualquier valor fijo de la variable de tiempo t , el valor de la señal en el tiempo t es un número real. Cuando esta variable toma sus valores del conjunto de los números reales, se dice que t es una *variable de tiempo continuo*, y que la señal $x(t)$ es una *señal de tiempo continuo* o una *señal analógica*. Ejemplos comunes de señales de tiempo continuo son el voltaje u ondas de corriente de un circuito eléctrico, las señales de audio como voz u ondas musicales, las posiciones o velocidades de objetos en movimiento, las fuerzas o torcas en un sistema mecánico, las señales bioeléctricas como electrocardiogramas (ECG) o electroencefalogramas (EEG), las velocidades de flujo de líquidos o gases en un proceso químico, etcétera.

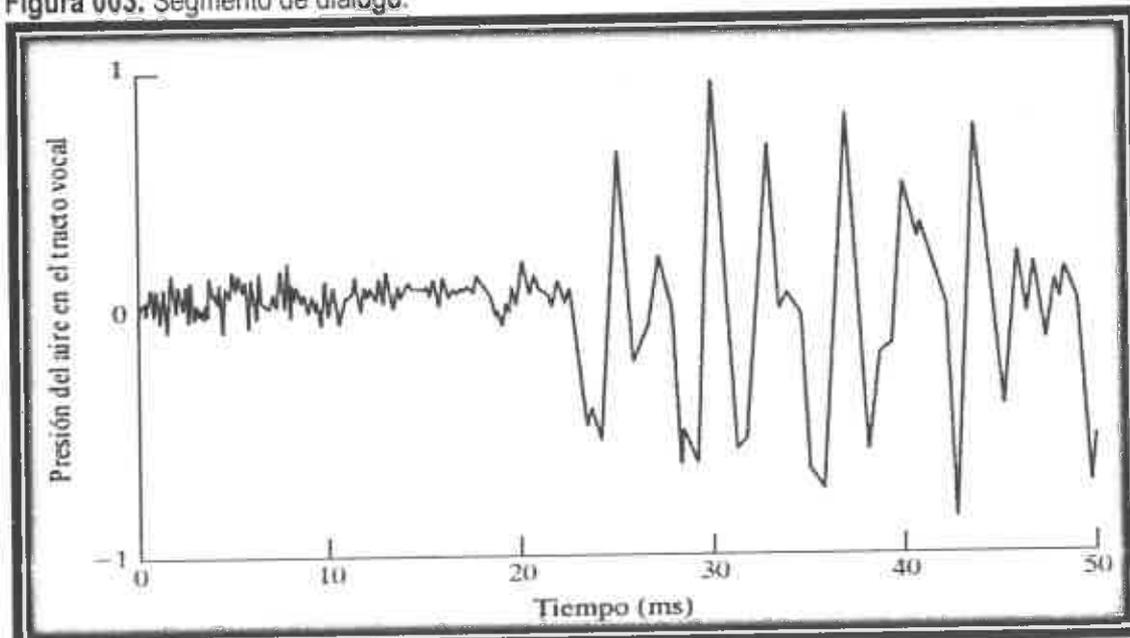
Dada una señal $x(t)$ muy complicada, no siempre es posible determinar una función matemática que sea

¹ ARTÉS RODRÍGUEZ, Antonio y PÉREZ GONZALES, Fernando: COMUNICACIONES DIGITALES. Edición Digital: 2012. Capítulo 2, SEÑALES Y SISTEMAS (Página 9-12).

exactamente igual a $x(t)$. Un ejemplo es una señal de voz, como el segmento de diálogo de 50 milisegundos (ms) que aparece en la figura; este segmento es la transición de la "sh" a "u" de la elocución de la palabra inglesa *should*. Debido a su complejidad, las señales como las ondas de voz por lo general no se especifican en forma matemática. En su lugar, pueden establecerse como un conjunto de muestras. Por ejemplo, si $x(t)$ denota la señal de voz de la figura, esta señal puede representarse mediante el conjunto de muestras

$$\{x(t_0), x(t_1), x(t_2), x(t_3), \dots, x(t_N)\}$$

Figura 003. Segmento de diálogo.



Fuente: Libro "FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB" por KAMEN, Edward y Heck, Borjia.

donde $x(t_i)$ es el valor de la señal en el tiempo t_i , $i = 0, 1, 2, \dots, N$, y $N + 1$ es el número de puntos muestreados. Este tipo de representación de señales puede generarse muestreando la señal de voz.

Además de la representación matemática de una señal, o mediante un conjunto de muestras, las señales también pueden caracterizarse en términos de su "contenido de frecuencias" o "espectro en frecuencia". La representación de señales en términos del espectro en frecuencia se logra utilizando la transformada de Fourier.²

CÓMO UTILIZAR MATLAB CON SEÑALES DE TIEMPO CONTINUO

Una señal de tiempo continuo $x(t)$, dada por una expresión matemática puede definirse y desplegarse mediante MATLAB.

Para mostrar su uso, considere la señal $x(t)$ dada por

$$x(t) = e^{-0.1t} \text{sen} \left(\frac{2}{3} t \right)$$

Una gráfica de $x(t)$ contra t , para un intervalo de valores de t , puede generarse mediante MATLAB. Por ejemplo, para un intervalo t entre 0 y 30 segundos, con incrementos de 0.1 segundos, los comandos de MATLAB para generar $x(t)$ son

```
t=0:0.1:30;  
x=exp(-0.1*t).*sin(2/3*t);  
plot(t,x)  
grid  
xlabel('Time (sec)')  
ylabel('x(t)')
```

En este programa, los valores de tiempo para los que x se gráfica, se almacenan como elementos en el vector t . Cada una de las expresiones $\exp(-0.1*t)$ y $\sin(2/3*t)$ crea

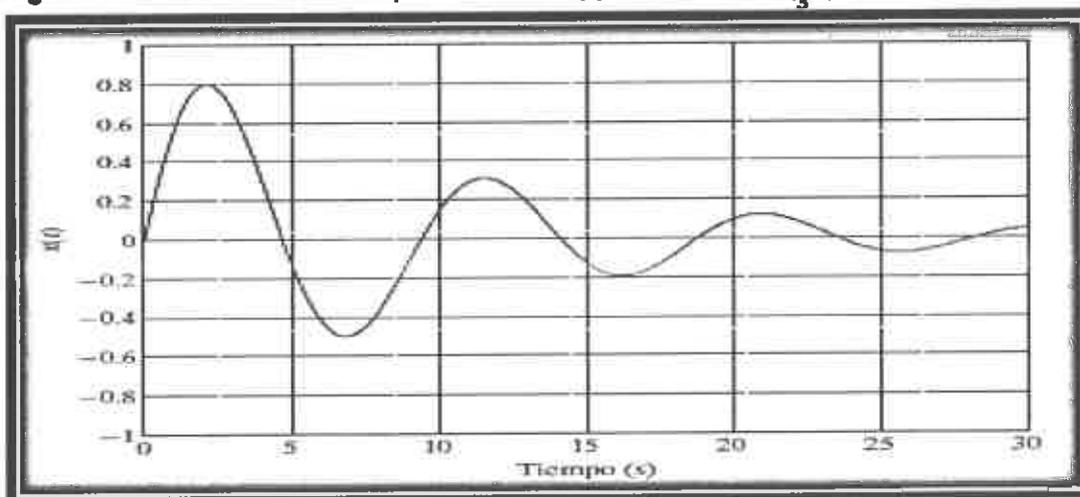
² KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 1, (Página 1-2).

un vector con elementos iguales a los de la expresión evaluada en los valores de tiempo correspondientes.

Los vectores resultantes deben multiplicarse, elemento por elemento, para definir el vector x . Como se ve en el comando $x = \exp(-0.1*t).*\sin(2/3*t)$, las operaciones elemento por elemento necesitan un punto antes del operador. Entonces, mediante el comando $\text{plot}(t,x)$, x se grafica contra t .

Es importante tomar en cuenta que, cuando generemos gráficas de señales de tiempo continuo con MATLAB, el incremento en el escalón de tiempo debe elegirse lo suficientemente pequeño para generar una gráfica suave. Si el incremento se elige demasiado grande (para una señal dada), entonces cuando los valores de la señal se conecten mediante líneas rectas (en la generación por computadora de la gráfica), el resultado será que la gráfica se verá dentada.

Figura 004. Grafica en MATLAB para la señal $x(t) = e^{-0.1t} \text{sen}\left(\frac{2}{3}t\right)$.



Fuente: Libro "FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB" por KAMEN, Edward y Heck, Bonnie.

2.2.1.1.7. SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO

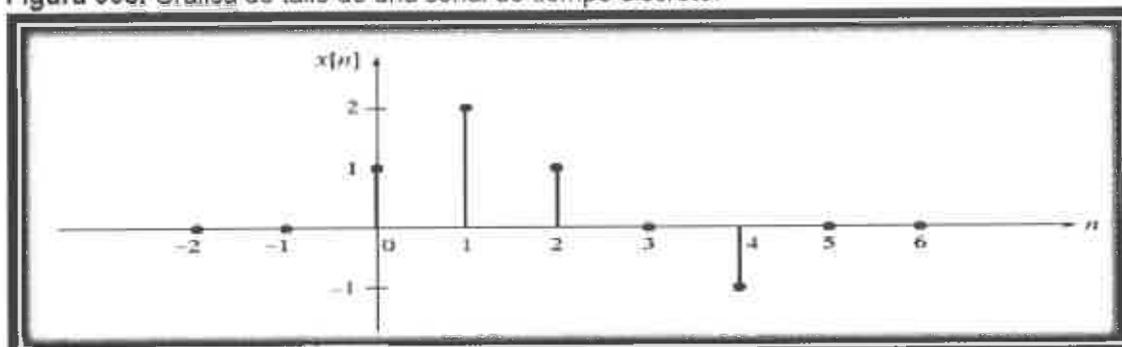
Se dice que la variable de tiempo t es una *variable de tiempo discreto*, si t sólo toma los *valores discretos* $t = t_n$ para algún intervalo de valores enteros de n . Por ejemplo, t podría tomar los valores enteros $t = 0, 1, 2, \dots$; es decir, $t = t_n = n$ para $n = 0, 1, 2, \dots$. Una señal de tiempo discreto es una señal que es una función de la variable de tiempo discreto t_n ; en otras palabras, una señal de tiempo discreto tiene valores (está definida) sólo en los puntos de tiempo discreto $t = t_n$, donde n toma sólo valores enteros. Las señales de tiempo discreto surgen en muchas áreas de la ingeniería, ciencia y economía.

Una señal de tiempo discreto, definida en los puntos de tiempo $t = t_n$, se denotará como $x[n]$. Observe que en la notación " $x[n]$ ", la variable entera n corresponde a los instantes t_n . También observe que los corchetes se utilizan para denotar una señal de tiempo discreto $x[n]$, en contraste con la señal de tiempo continuo $x(t)$, la cual se denota con paréntesis. La gráfica de una señal de tiempo discreto $x[n]$ siempre estará en términos de los valores de $x[n]$ contra la variable de tiempo entera n . Los valores de $x[n]$ con frecuencia se indican en la gráfica mediante círculos rellenos, con líneas verticales que conectan a dichos círculos con el eje de tiempo. Esto da como resultado una *gráfica de tallo*, la cual es una forma común de desplegar señales de tiempo discreto. Por ejemplo, suponga que la señal de tiempo discreto $x[n]$ está dada por

$$\begin{aligned}x[0] &= 1, & x[1] &= 2, & x[2] &= 1, & x[3] &= 0, \\x[4] &= -1\end{aligned}$$

con $x[n] = 0$ para cualquier otro n . Entonces, la gráfica de tallo de $x[n]$ es la que aparece en la figura.

Figura 005. Gráfica de tallo de una señal de tiempo discreto.³



Fuente: Libro "FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB" por KAMEN, Edward y Heck, Bonnie.

2.2.1.1.8. SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO PERIÓDICAS

Una señal de tiempo discreto $x[n]$ es periódica si existe un entero positivo r , tal que

$$x[n + r] = x[n]$$

Así, $x[n]$ es periódica si y sólo si existe un entero positivo r , tal que $x[n]$ se repita a sí misma a cada instante r , donde r se conoce como *periodo*. El periodo fundamental es el valor más pequeño de r , para el que la señal se repite. Por ejemplo, revisemos la periodicidad de una senoide de tiempo discreto, dada por

$$x[n] = A \cos(\Omega n + \theta)$$

donde Ω es la "frecuencia de tiempo discreto" en radianes por unidad de tiempo T , y θ es la fase en radianes. La señal es periódica con periodo r , si

$$A \cos[\Omega(n + r) + \theta] = A \cos(\Omega n + \theta)$$

Recuerde que la función coseno se repite cada 2π radianes, por lo que

$$A \cos(\Omega n + \theta) = A \cos(\Omega n + 2\pi q + \theta)$$

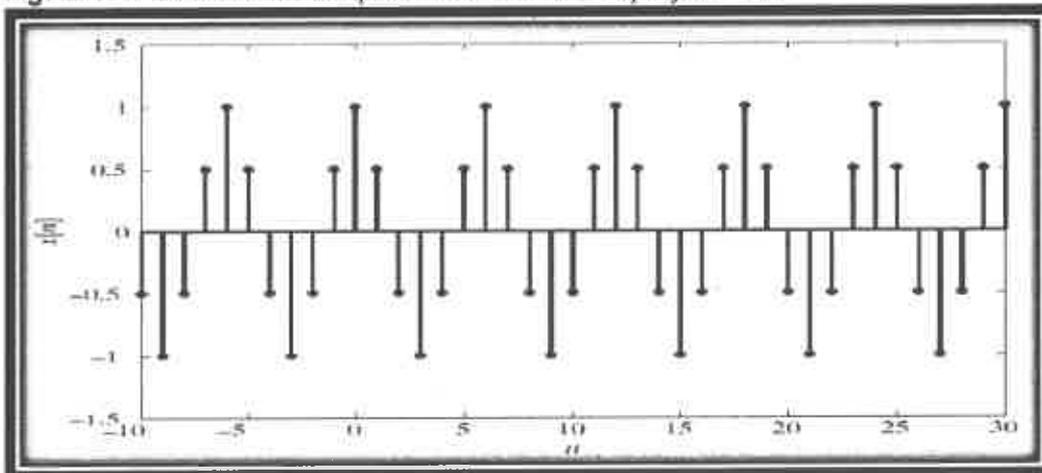
³KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 1, (Página 10-12).

para todos los enteros q . Por lo tanto, la señal $A\cos(\Omega n + \theta)$ es periódica si y sólo si existe un entero positivo r , tal que $\Omega r = 2\pi q$ para algún entero q ; o de manera equivalente, que la frecuencia de tiempo discreto Ω sea tal que $\Omega = 2\pi q/r$ para algunos enteros positivos q y r .

El periodo fundamental es el valor entero de r más pequeño tal que $\Omega = 2\pi q/r$.

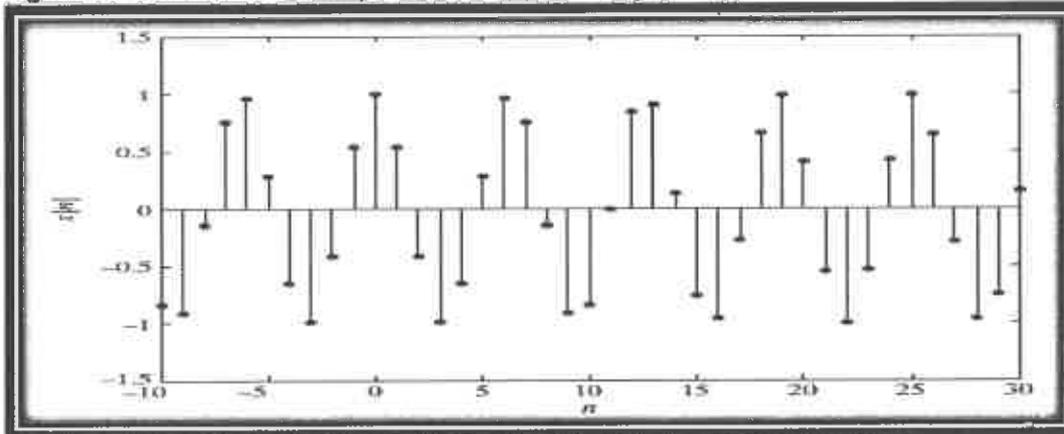
La senoide de tiempo discreto $x[n] = A\cos(\Omega n + \theta)$ se encuentra graficada en la figura, con $A = 1$ y con dos diferentes valores de Ω . Para el caso en que $\Omega = \pi/3$ y $\theta = 0$, el cual está graficado, la señal es periódica debido a que $\Omega = 2\pi q/r$ con $q = 1$

Figura 006. Senoide de tiempo discreto con $\Omega = \pi/3$ y $\theta = 0$.



Fuente: Libro "FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB" por KAMEN, Edward y Heck, Bonnie.

Figura 007. Sinusoide de tiempo discreto con $\Omega = 1$ y $\theta = 0$.



Fuente: Libro "FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB" por KAMEN, Edward y Heck, Bonnie.

y $r = 6$, y el periodo fundamental es igual a 6. El caso en que $\Omega = 1$ y $\theta = 0$, se encuentra graficado en la figura. Observe que en este caso la envolvente de la señal es periódica, pero la señal por sí misma no lo es, ya que $1 \neq 2\pi q/r$ para cualquier entero positivo q y r .

2.2.1.1.9. SEÑALES DIGITALES

Sea $\{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ un conjunto de N números reales. Una *señal digital* $x[n]$ es una señal de tiempo discreto cuyos valores pertenecen al conjunto finito $\{a_1, a_2, \dots, a_N\}$; es decir, en cada instante t_n , $x(t_n) = x[n] = a_i$ para algún i , donde $1 \leq i \leq N$. Por lo que una señal digital sólo puede tener un número finito de valores diferentes.

Una señal continúa muestreada no necesariamente es una señal digital. Por ejemplo, la función rampa unitaria muestreada $r[n]$, no es una señal digital, ya que $r[n]$ toma un intervalo infinito de valores, cuando $n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$

Una *señal binaria* es una señal digital cuyos valores son iguales a 1 o a 0; es decir, $x[n] = 0$ o 1 para $n =$

$\dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$ Las funciones escalón unitario y pulso unitario son ejemplos de señales binarias. ⁴

2.2.2. MUESTREO

Una de las formas más comunes en las que surgen señales de tiempo discreto es muestreando señales de tiempo continuo. Como muestra la figura, suponga que una señal de tiempo continuo $x(t)$ se aplica a un interruptor electrónico que se cierra brevemente cada T segundos. Si el lapso durante el cual el interruptor se cierra es mucho más pequeño que T , la salida del interruptor puede considerarse como una señal de tiempo discreto, que es una función de los puntos de tiempo discreto $t_n = nT$, donde $n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$. La señal de tiempo discreto resultante se conoce como *versión muestreada* de la señal continua original $x(t)$, y a T se le conoce como *periodo de muestreo*.

Para ser consistentes con la notación que presentamos anteriormente para las señales de tiempo discreto, la señal de tiempo discreto resultante de la operación de muestreo uniforme que mostramos en la figura será denotada por $x[n]$. Observe que en este caso, la variable entera n denota el instante nT . Por definición del proceso de muestreo, el valor de $x[n]$ para cualquier valor entero de n está dado por

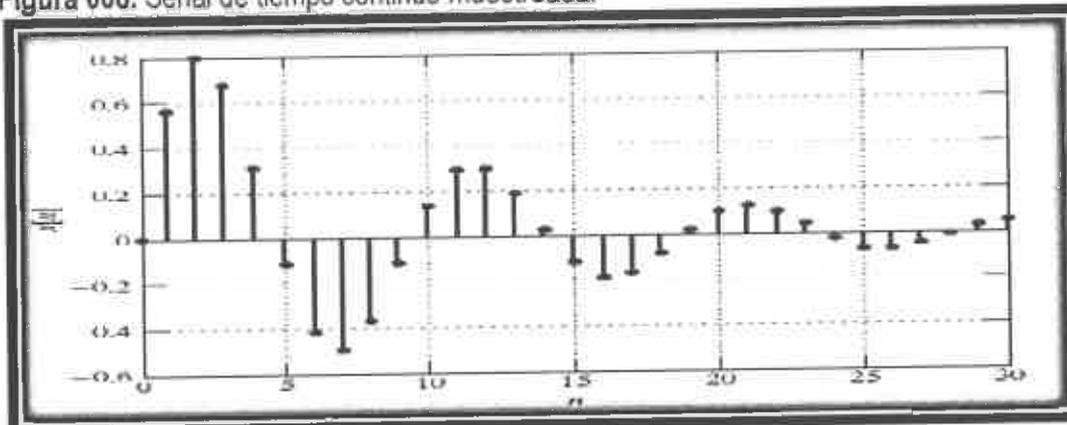
$$x[n] = x(t)|_{t=nT} = x(nT)$$

Una amplia gama de señales de tiempo discreto puede generarse mediante el muestreo de señales de tiempo continuo. ⁵

⁴KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 1, (Página 16-18).

⁵KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 1, (Página 12-13).

Figura 008. Señal de tiempo continuo muestreada.



Fuente: Libro "FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB" por KAMEN, Edward y Heck, Bonnie.

2.2.3. SERIES DE FOURIER

2.2.3.1. REPRESENTACIÓN DE SEÑALES EN TÉRMINOS DE SUS COMPONENTES DE FRECUENCIA

2.2.3.2. SERIE TRIGONOMÉTRICA DE FOURIER

Sea T un número real positivo fijo, se dice que una señal de tiempo continuo $x(t)$ es periódica con un periodo T si

$$x(t + T) = x(t), \quad -\infty < t < \infty$$

Recuerde que el periodo fundamental T es el número positivo más pequeño con el que se satisface.

Sea $x(t)$ una señal periódica con periodo fundamental T . Entonces, $x(t)$ puede expresarse como la suma de sinusoides (por lo general, infinita)

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega_0 t) + b_k \text{sen}(k\omega_0 t)], \quad -\infty < t < \infty$$

En la representación de a_0 , a_k y b_k son números reales, y ω_0 es la frecuencia fundamental (en rad/s) dada por $\omega_0 = 2\pi/T$, donde T es el periodo fundamental. Los coeficientes a_k y b_k se calculan mediante las fórmulas

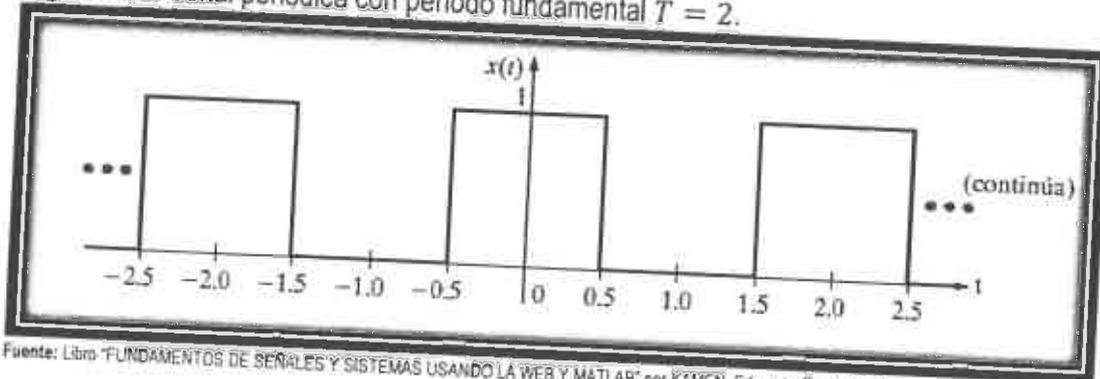
$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(k\omega_0 t) dt, \quad k = 1, 2, \dots$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \text{sen}(k\omega_0 t) dt, \quad k = 1, 2, \dots$$

El término a_0 es la constante o componente de cd de $x(t)$ dada por

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

Figura 009. Señal periódica con periodo fundamental $T = 2$.



Fuente: Libro "FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB" por KAMEN, Edward y Reck, Bonnie.

El primer armónico de $x(t)$ es el término $a_1 \cos(\omega_0 t) + b_1 \text{sen}(\omega_0 t)$, el segundo armónico es el término $a_2 \cos(2\omega_0 t) + b_2 \text{sen}(2\omega_0 t)$, y el k -ésimo armónico es el término $a_k \cos(k\omega_0 t) + b_k \text{sen}(k\omega_0 t)$. Observe que las frecuencias de los armónicos que conforman $x(t)$ son múltiplos enteros $k\omega_0$ de la frecuencia fundamental ω_0 . Ésta es una propiedad fundamental de las señales periódicas.

La serie trigonométrica de Fourier puede escribirse en la forma de *cosenos con fase*

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\omega_0 t + \theta_k), \quad -\infty < t < \infty$$

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad k = 1, 2, \dots$$

y

$$\theta_k = \begin{cases} \tan^{-1}\left(-\frac{b_k}{a_k}\right), & k = 1, 2, \dots, \text{ cuando } a_k \geq 0 \\ \pi + \tan^{-1}\left(-\frac{b_k}{a_k}\right), & k = 1, 2, \dots, \text{ cuando } a_k < 0 \end{cases}$$

Fourier creía que cualquier señal periódica podía expresarse como la suma de sinusoides. Sin embargo, esto resultó no ser el caso, aunque casi todas las señales periódicas que surgen en ingeniería tienen representación con las series de Fourier. En particular, una señal periódica $x(t)$ tiene una serie de Fourier si satisface las siguientes *condiciones de Dirichlet*:

1. $x(t)$ es totalmente integrable sobre cualquier periodo; es decir,

$$\int_a^{a+T} |x(t)| dt < \infty \quad \text{para cualquier } a$$

2. $x(t)$ sólo tiene un número finito de máximos y mínimos sobre cualquier periodo.
3. $x(t)$ sólo tiene un número finito de discontinuidades sobre cualquier periodo.⁶

⁶KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 1, (Página 101-102).

2.2.3.3. SERIE EXPONENCIAL COMPLEJA

FORMA COMPLEJA DE LA SERIE DE FOURIER

En resumen, la forma compleja de la expansión en serie de Fourier de una función periódica $f(t)$, de periodo T , es

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega t}$$

Donde

$$C_n = \frac{1}{T} \int_a^{a+T} f(t) e^{-jn\omega t} dt \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots^7$$

2.2.4. TRANSFORMADA DE FOURIER

2.2.4.1. REPRESENTACIÓN DE SEÑALES Y SISTEMAS MEDIANTE TRANSFORMADAS

En muchas ocasiones no es fácil (e incluso no es posible) describir el comportamiento de las señales en función de su variación temporal, o el comportamiento de un sistema lineal e invariante a partir de los valores que toma su respuesta al impulso. Una representación alternativa y complementaria de las señales y los sistemas que puede ayudarnos en esta labor es la proporcionada por lo que denominamos genéricamente como transformadas.⁸

2.2.4.2. TRANSFORMADA DE FOURIER

Una característica importante de la representación de la serie de Fourier de una señal periódica es la descripción de dicha señal en términos del contenido de frecuencia dado por las componentes sinusoidales. Es entonces cuando surge la pregunta de si las señales no periódicas, también conocidas como señales sin periodo, pueden

⁷GLYN. James: MATEMÁTICAS AVANZADAS PARA INGENIERÍA. Segunda edición: 1998. Editorial Prentice Hall, Capítulo 4, (Página 331).

⁸ARTÉS RODRÍGUEZ, Antonio y PÉREZ GONZALES, Fernando: COMUNICACIONES DIGITALES. Edición Digital: 2012. Capítulo 2, SEÑALES Y SISTEMAS (Página 31).

describirse en términos de contenidos de frecuencia. La respuesta es sí, y la construcción analítica para hacerlo es la transformada de Fourier. Como veremos, las componentes de frecuencia de señales no periódicas están definidas para todos los valores reales de la variable de frecuencia ω , y no solo para los valores discretos de ω como en el caso de una señal periódica. En otras palabras, el espectro para una señal no periódica, no es el espectro de línea (a menos que la señal sea igual a la suma de sinusoides).

Dada una señal $x(t)$, la transformada de Fourier $X(\omega)$ de $x(t)$ está definida para que sea la función de frecuencia

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt, \quad -\infty < \omega < \infty$$

Donde ω es la variable continua de frecuencia.

Observe que, debido a la presencia de la exponencial compleja $\exp(-j\omega t)$ en el integrando de la integral, los valores de $X(\omega)$ pueden ser complejos. Por lo tanto, en general, la transformada de Fourier $X(\omega)$ es una función valuada en complejos de la variable de frecuencia ω , y para especificar $X(\omega)$, en general es necesario desplegar la función magnitud $|X(\omega)|$ y la función ángulo $\angle X(\omega)$. El espectro de amplitud de una señal $x(t)$ está definido para que sea la función magnitud $|X(\omega)|$ de la transformada de Fourier $X(\omega)$, y el espectro de fase de $x(t)$ está definido para que sea la función ángulo $\angle X(\omega)$. Los espectro de amplitud y fase de una señal $x(t)$ son generalizaciones del espectro de línea de señales periódicas.⁹

⁹KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 3, (Página 114).

2.2.4.3. CONTENIDO ESPECTRAL DE SEÑALES COMUNES

La transformada de Fourier puede utilizarse para determinar el contenido espectral de una señal. Sin embargo, calcular la transformada de Fourier con frecuencia resulta tedioso para todas las funciones, menos para las más sencillas. Existen comandos de MATLAB para calcular tanto la transformada como la transformada inversa de Fourier.¹⁰

2.2.5. ANÁLISIS DE FOURIER DE LAS SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO

2.2.5.1 TRANSFORMADA DE FOURIER DE TIEMPO DISCRETO

Dada una señal de tiempo discreto $x[n]$, la transformada de Fourier de tiempo discreto (DTFT) de $x[n]$ se define como

$$X[\Omega] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-j\Omega n}$$

La DTFT $X[\Omega]$ definida es, en general, una función valuada en complejos de la variable real Ω (la variable frecuencia). La omega mayúscula (Ω) se utiliza para que la variable frecuencia distinga entre los casos de tiempo continuo y tiempo discreto.

Dada la señal de tiempo discreto $x[n]$ con DTFT $X[\Omega]$, debido a que $X[\Omega]$ en general es valuada en complejos, $X[\Omega]$ puede expresarse en forma rectangular o polar. Si utilizamos la fórmula de Euler obtenemos la siguiente forma rectangular de $X[\Omega]$:

$$X[\Omega] = R(\Omega) + jI(\Omega)$$

¹⁰KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 3, (Página 120-122).

Aquí, $R(\Omega)$ y $jI(\Omega)$ son funciones de Ω evaluadas en reales, dadas por

$$R[\Omega] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cos(n\Omega)$$

$$I[\Omega] = - \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \sen(n\Omega)$$

La forma polar de $X[\Omega]$ es

$$X[\Omega] = |X[\Omega]| e^{j\angle X[\Omega]}$$

Donde: $|X[\Omega]|$ es la magnitud de $X[\Omega]$ y $\angle X[\Omega]$, es el ángulo de $X[\Omega]$. Observe que, debido a que $X[\Omega]$ es periódica con periodo 2π , tanto $|X[\Omega]|$ como $\angle X[\Omega]$ son periódicas con periodo 2π .

Si la DTFT está dada en la forma rectangular, es posible generar la forma polar mediante las relaciones.

$$|X[\Omega]| = \sqrt{R^2[\Omega] + I^2[\Omega]}$$

$$\angle X[\Omega] = \begin{cases} \tan^{-1}\left(\frac{I[\Omega]}{R[\Omega]}\right), & \text{cuando } R[\Omega] \geq 0 \\ \pi + \tan^{-1}\left(\frac{I[\Omega]}{R[\Omega]}\right), & \text{cuando } R[\Omega] < 0 \end{cases} \quad 11$$

2.2.5.2 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER

Sea $x[n]$ una señal de tiempo discreto, con DTFT $X[\Omega]$. Debido a que $X[\Omega]$ es una función de la variable continua Ω , no es posible almacenarla en la memoria de una computadora digital, a menos que $X[\Omega]$ pueda expresarse de forma cerrada. Para implementar técnicas de DTFT en una computadora digital, es necesario realizar una

¹¹KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 4, (Página 166-169).

discretización en frecuencia. Esto deriva en el concepto de la transformada discreta de Fourier, la cual definimos a continuación:

Dado un entero positivo N , la Transformada discreta de Fourier (DFT) de N puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1$, se define como

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

Vemos que la DFT X_k es una función de la variable discreta (entera) k . También observa que, en contraste con la DTFT, la DFT X_k es completamente específica por los N valores $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1}$. En general, estos valores son complejos y, por lo tanto, X_k puede expresarse ya sea en forma polar o rectangular. La forma polar es

$$X_k = |X_k| \exp[j\angle X_k], \quad k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

Donde $|X_k|$ es la magnitud de X_k , y $\angle X_k$ es el ángulo de X_k . La forma rectangular es

$$X_k = R_k + jI_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

Donde R_k es la parte real de X_k dada por

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{N}$$

Donde I_k es la parte imaginaria de X_k dada por

$$I_k = - \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{N}$$

Debido a que la sumatoria es finita, la DFT X_k siempre existe.¹²

2.2.5.3 ALGORITMO FFT

El software de MATLAB contiene comandos para calcular la FFT y la FFT inversa, denotadas por `fft` e `ifft`. Los comandos `fft` e `ifft` son intercambiables por los comandos `dft` e `idft`.

El algoritmo FFT es muy útil para una amplia variedad de aplicaciones que involucran el procesamiento de señales digitales.¹³

2.2.6. PROCESAMIENTO DE SEÑALES

La edición para estudiantes de Matlab contiene varias funciones seleccionadas de la Signal Processing Toolbox (caja de herramientas para procesamiento de señales) y la Control Systems Toolbox (caja de herramientas para sistemas de control), que son juegos de herramientas opcionales que se pueden adquirir con la versión profesional de Matlab. Estas funciones selectas se han combinado en una Signal and Systems Toolbox (caja de herramientas para señales y sistemas).

2.2.6.1 ANÁLISIS DEL DOMINIO DE FRECUENCIAS

Una **señal analógica** es una función continua (usualmente del tiempo, como en $f(t)$) que representa información, tal como una señal de voz, de presión arterial o sísmica. A fin de procesar esta información con la computadora, la señal analógica puede muestrearse cada T segundos, generándose así una **señal digital** que es una sucesión de valores tomados de la señal analógica original. Representamos una señal digital que ha sido muestreada de una señal continua $x(t)$ usando la siguiente notación:

$$x_k = x(kT)$$

La señal digital es la sucesión de muestra x_k .

¹²KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 4, (Página 179-180).

¹³KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 4, (Página 199).

Por lo regular, se toma como tiempo cero el instante en que se comienza a obtener la señal digital; así, la primera muestra de una señal digital usualmente se designa con x_0 . Por lo tanto, si una señal digital se muestrea a 10 Hz (10 ciclos por segundo o, lo que es equivalente, 10 veces por segundo), los primeros tres valores de la señal digital corresponden a los siguientes valores de la señal analógica:

$$x_0 = x(0T) = x(0.0)$$

$$x_1 = x(1T) = x(0.1)$$

$$x_2 = x(2T) = x(0.2)$$

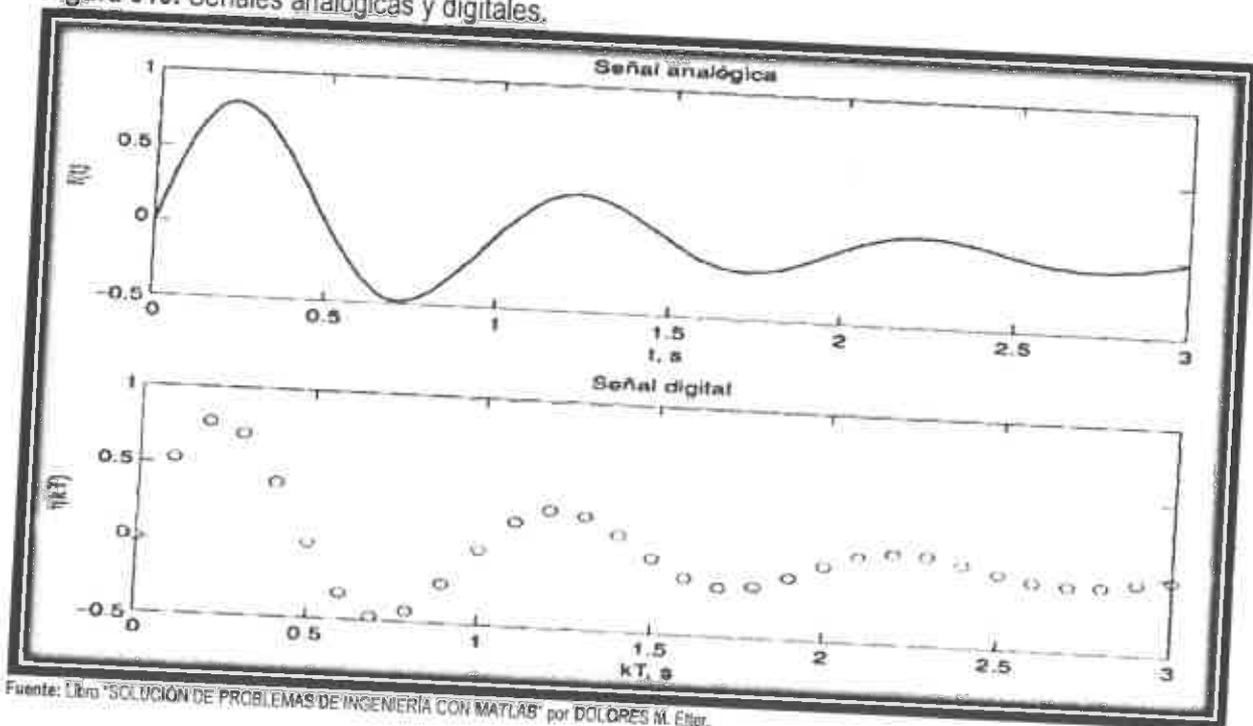
En la figura se compara una señal analógica con su señal digital correspondiente. En esta figura, mostramos la señal digital como una sucesión de puntos o muestras, pero en general las señales digitales se grafican con los puntos conectados mediante segmentos de línea. El eje y se rotula $x(k)$ o $x(kT)$ para indicar que se trata de una señal digital.

Recuerde que los subíndices de un vector Matlab siempre comienzan con 1, como en $x(1)$, $x(2)$, etc. Los subíndices de una señal por lo regular comienzan con 0, como en g_0 , g_1 , etc. No obstante, los subíndices de una señal podrían comenzar con cualquier valor, incluso uno negativo, como h_{-2} , h_{-1} , h_0 , etc. Dado que muchas de las ecuaciones relacionadas con el procesamiento de señales contienen diversos subíndices posibles, nos gustaría poder usar las ecuaciones sin reescribirlas para ajustarlas a los subíndices. En muchos casos esto puede lograrse asociando dos vectores a una señal. Un vector contiene los valores de la señal, y el otro, los subíndices asociados a esos valores. Así, si las señales g y h mencionadas al principio de este párrafo contiene 10 valores, los vectores g y h correspondientes también contienen 10 valores. Después podemos usar dos vectores adicionales, digamos kg y kh , para representar los subíndices que corresponden a los 10 valores de g y h . Así, el

vector kg contendrá valores del 0 al 9; el vector kh contendrá valores de -2 a 7. Aunque las ventajas de usar este vector extra para representar los subíndices se verán con mayor claridad cuando presentemos ejemplos del empleo de Matlab con señales, la ventaja principal será que podremos usar las ecuaciones de procesamiento de señales sin tener que ajustar los subíndices, lo cual podría introducir errores.

En el procesamiento de señales, es común analizar una señal en dos dominios, el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia. La señal en el **dominio del tiempo** se representa con los valores de datos x_k ; la señal en el **dominio de la frecuencia** se puede representar con un conjunto de valores complejos X_k , que se representan los senoides con los cuales se puede representar la señal.

Figura 010. Señales analógicas y digitales.



Fuente: Libro "SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INGENIERÍA CON MATLAB" por DOLORES M. Estor.

Un senoide es una función coseno con una amplitud A , una frecuencia ω y un desfase ϕ :

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$

$$x_k = A \cos(\omega kT + \phi)$$

Observe que una función seno o coseno es una función de un ángulo (en radianes), pero un senoide es una función del tiempo. El índice k del valor complejo X_k puede servir para determinar la frecuencia del senoide, la magnitud de X_k representa una versión a escala de la amplitud del senoide y la fase de X_k especifica el desfaseamiento del senoide. Puesto que la frecuencia angular ω tiene unidades de radianes por segundo, también podemos escribir el senoide usando una frecuencia angular f , que tiene unidades de ciclos por segundo, o Hertz (Hz), en esta forma:

$$x(t) = A \cos(2\pi ft + \phi)$$

$$x_k = A \cos(2\pi f k T + \phi)$$

Algunos tipos de información se pueden percibir más claramente de la representación de la señal en el dominio del tiempo. Por ejemplo, si examinamos una curva en el dominio del tiempo por lo regular podemos determinar si la señal es periódica o aleatoria. Además, a partir de los valores en el dominio del tiempo podemos calcular fácilmente valores adicionales como media, desviación estándar, varianza y potencia. Otros tipos de información, como el contenido de frecuencias de la señal, normalmente no son evidentes en el dominio del tiempo. Por ejemplo, podríamos necesitar calcular el contenido de frecuencias de la señal para determinar si está limitada a una banda o si contiene ciertas frecuencias. El contenido de frecuencias de una señal también se denomina **espectro de frecuencia**.

Se usa el algoritmo de transformada discreta de Fourier (DFT) para convertir una señal digital en el dominio del tiempo en un conjunto de puntos en el dominio de la frecuencia. La entrada del algoritmo DFT es un conjunto de N valores de tiempo x_k ; con ellos, el algoritmo calcula un conjunto de N valores complejos X_k que representan la información en el dominio de la frecuencia, o descomposición sinusoidal, de la señal de tiempo. El algoritmo DFT es, en general, intensivo en cómputo y puede requerir un tiempo de computadora

considerable si N es grande. No obstante, si el número de puntos es una potencia de dos ($N=2^M$), se puede utilizar un algoritmo especial llamado **transformada rápida de Fourier (FFT)** que reduce significativamente el número de cálculos necesarios para convertir la señal de tiempo al dominio de la frecuencia.

Puesto que la señal se muestrea cada T segundos, se obtiene $1/T$ muestras por segundo; así, la tasa de muestreo o **frecuencia de muestreo** es $1/T$ muestras/s, o $1/T$ Hz. Se debe de tener mucho cuidado al escoger la tasa de muestreo para generar una señal digital, a fin de evitar un tipo de interferencia llamado **aliasing** que se presenta cuando la tasa de muestreo es demasiado lenta. Puede demostrarse que se evita el aliasing si se muestrea una señal con una frecuencia mayor que dos veces la frecuencia de cualquier senoide de la señal. Así, pues si estamos muestreando una señal compuesta por la suma de dos senoides, una con frecuencia de 10 Hz y otra de 35 Hz, la frecuencia de muestreo de la señal debe ser mayor que 70 Hz para evitar el aliasing. La **frecuencia de Nyquist** es igual a la mitad de la frecuencia de muestreo y representa el límite superior de las frecuencias que pueden estar contenidas en la señal digital.

La función Matlab para calcular el contenido de frecuencias de una señal es la función `fft`:

<code>fft(x)</code>	Calcula el contenido de frecuencias de la señal x y devuelve los valores en un vector del mismo tamaño que x .
<code>fft(x,N)</code>	Calcula el contenido de frecuencias de la señal x y devuelve los valores en un vector con N valores.

Si el número de valores de x es una potencia de 2, o si N es una potencia de 2, esta función usa un algoritmo FFT para calcular los

valores de salida; en caso contrario, se usa un algoritmo DFT. Si se utilizan dos argumentos de entrada y el número de valores en x es menor que N , se anexarán ceros al final de la señal de tiempo antes de calcular los valores en el dominio de la frecuencia. Si el número de valores es mayor que N , se usarán los primeros N valores de la señal de tiempo para calcular los valores correspondientes en el dominio de la frecuencia.

Los Valores del dominio de la frecuencia calculados por la función `fft` corresponden a frecuencias separadas por $1/(NT)$ Hz. Así, la k -ésima salida del FFT corresponde a una frecuencia de $k/(NT)$ Hz. Para ilustrar esto con un caso específico, si tenemos 32 muestras de una señal de tiempo que se muestreó a 1000 Hz, los valores de frecuencia calculados por el algoritmo `fft` corresponden a 0 Hz, 1/0.032 Hz, 2/0.032 Hz, etc. Estos valores también son iguales a 0 Hz, 31.25 Hz, 62.5 Hz, etc. La frecuencia de Nyquist es igual a $1/(2T)$.

Considere el siguiente grupo de instrucciones Matlab que generan una señal de tiempo que contiene 64 muestras.

```
% Generar un senoide de 20 Hz muestreado a 128 Hz.
```

```
N=64;
```

```
T=1/128;
```

```
k=0:N-1;
```

```
x=sin(2*pi*20*k*T);
```

```
kT=k*T;
```

```
figure(1); subplot(1,1,1);
```

```
plot(kT,x);
```

```
grid;
```

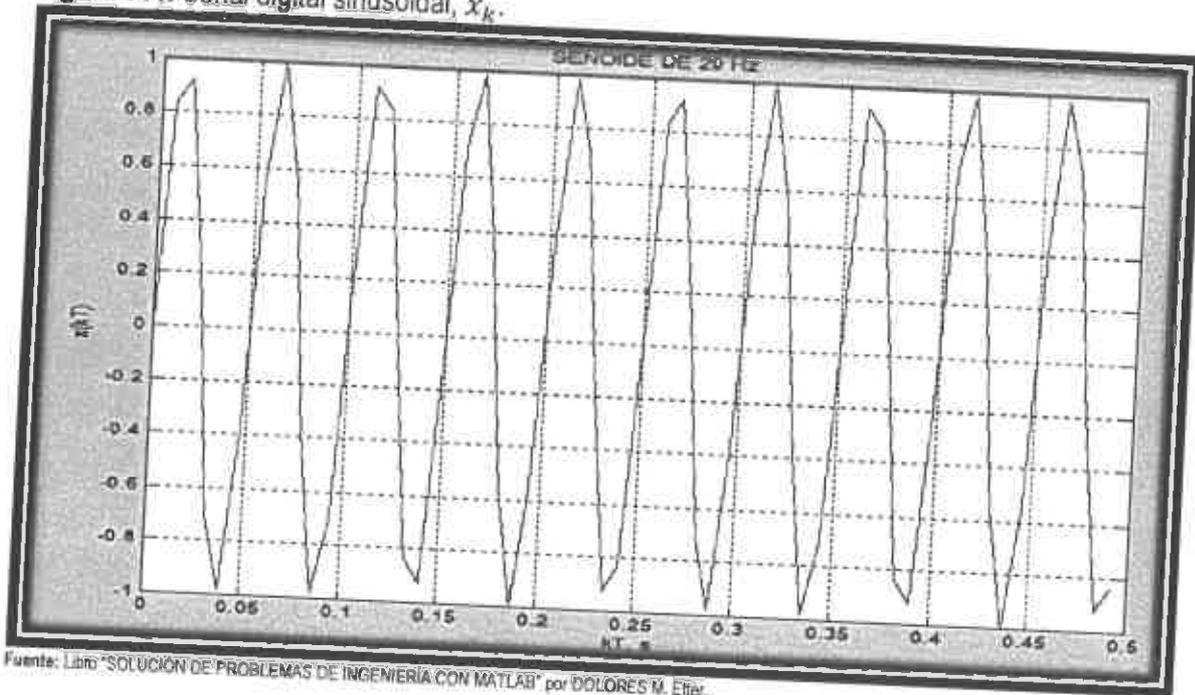
```
title('SENOIDE DE 20 Hz');
```

```
xlabel('kT, s'); ylabel('x(kT)');
```

La señal x representa valores de un senoide de 20 Hz muestreado cada 1/128 segundos, lo que equivale a una tasa de muestreo de 128 Hz (el senoide tiene una frecuencia de 20 Hz, así que debe

muestrearse con una frecuencia mayor que 40 Hz. La tasa de muestreo especificada es 128 Hz, así que tenemos la seguridad de que no ocurrirá aliasing). La figura muestra una gráfica de la señal digital x (observe que el vector k da los subíndices que corresponde a la señal x).

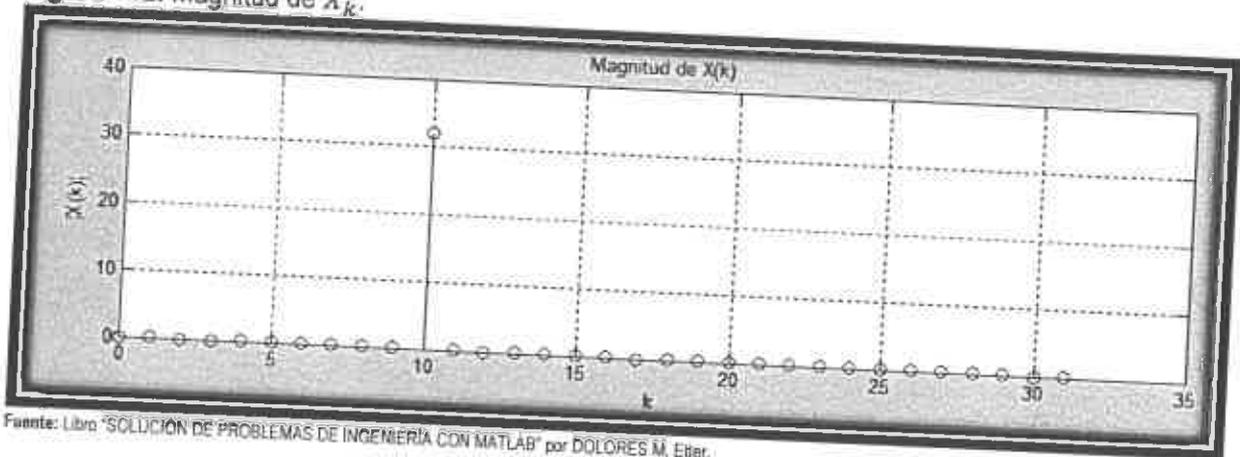
Figura 011. Señal digital sinusoidal, x_k .



Fuente: Libro "SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INGENIERÍA CON MATLAB" por DOLORES M. Estar.

Puesto que la señal x es un senoide único, esperamos que el contenido de frecuencias sea 0 en todos los puntos excepto en el punto del dominio de la frecuencia que corresponde a 20 Hz. Para determinar el X_k que corresponde a 20 Hz, necesitamos calcular el incremento en Hz entre puntos del dominio de la frecuencia, que es $1/NT = 2$ Hz. Por tanto, una componente de 20 Hz deberá aparecer como x_{10} , como puede verse en la figura, que se generó con estas instrucciones adicionales:

Figura 012. Magnitud de X_k .



Fuente: Libro "SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INGENIERÍA CON MATLAB" por DOLORES M. Elier.

`% Calcular y graficar el contenido de frecuencias.`

`X=fft(x);`

`magX=abs(X);`

`figure(2);`

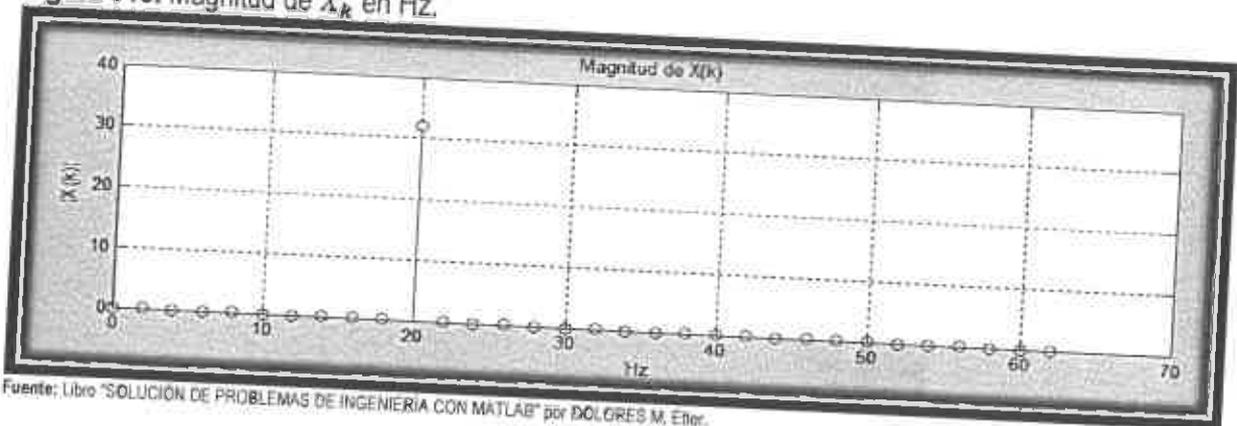
`subplot(2,1,1), stem(k(1:N/2),magX(1:N/2)),`

`title('Magnitud de X(k) '),`

`xlabel('k'), ylabel('|X(k)|'), grid`

Observe el empleo de una nueva función de graficación llamada **stem** que genera una gráfica de puntos con líneas, o tallos, que conectan los puntos con el eje x . En esta gráfica, puede verse que la componente de 20 Hz aparece como x_{10} , tal como se esperaba. En muchos casos es deseable graficar la magnitud de X_k usando una escala x en Hz en lugar del índice k . En tal caso, la gráfica de la magnitud de X_k , que se muestra en la figura, se calcula con las siguientes instrucciones:

Figura 013. Magnitud de X_k en Hz.



Fuente: Libro "SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INGENIERIA CON MATLAB" por DOLORES M. Etter.

```
% Graficar el contenido de frecuencias en función de Hz.  
hertz=k*(1/(N*T));  
figure(2);  
subplot(2,1,2), stem(hertz(1:N/2),magX(1:N/2)),  
title( 'Magnitud de X(k)' ),  
xlabel ( 'Hz' ), ylabel( '|X(k)|' ), grid 14
```

¹⁴DOLORES M. Etter: SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INGENIERIA CON MATLAB. Segunda edición: 1998. Editorial Prentice Hall, Capítulo 10, (Página 240-248).

2.2.7. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

ACELERACIÓN

Magnitud vectorial cuyo valor nos indica el cambio de velocidad que experimenta un móvil por unidad de tiempo; también nos indica la rapidez con que cambia la velocidad [9].

ACELERACIÓN ESPECTRAL (*Spectral Acceleration*)

Valor máximo de la aceleración absoluta producida por un temblor en un oscilador simple [10].

ACELEROGRAMA

Medio en que se almacena las aceleraciones sísmicas, sea físico o digital [2].

ACELERÓMETRO (*Accelerometer*)

Instrumento para medir la aceleración en función del tiempo [10].

AISLAMIENTO (*Isolation*)

Reducción en la severidad de la respuesta, que se logra comúnmente con el uso de soportes de material resiliente [10].

AMORTIGUACIÓN CRÍTICA (*Critical Damping*)

Valor mínimo de la amortiguación viscosa para la cual el sistema no vibra [10].

AMORTIGUACIÓN VISCOSA (*Viscous Damping*)

Mecanismo de disipación de energía en el cual el movimiento es resistido por una fuerza proporcional a la velocidad, pero de dirección opuesta [10].

AMPLITUD (*Amplitude*)

Valor máximo de una función que varía en el tiempo. Si la variación en el tiempo puede describirse por una función seno o coseno, se dice que la función varía armónicamente [10].

ANÁLISIS DE FOURIER (*Fourier Analysis*)

Método para determinar la respuesta por superposición de las respuestas a las componentes armónicas de la excitación [10].

ANÁLISIS ESPECTRAL (*Spectral Analysis*)

Descripción de la contribución de las componentes frecuenciales a la media cuadrática de una función aleatoria [10].

CONTENIDO DE FRECUENCIAS

El rango de frecuencias es conocido también como contenido de frecuencias y corresponde al conjunto de las frecuencias presentes en la señal [2].

DISTANCIA FOCAL

La distancia focal es la distancia al hipocentro desde un punto cualquiera de referencia [11].

ELONGACIÓN

Es la distancia mediada desde la posición de equilibrio hasta el lugar donde se encuentra el móvil en un instante cualquiera. Sirve para ubicar el móvil [9].

EPICENTRO

Es la proyección sobre la superficie de la Tierra del hipocentro [11].

FOCO O HIPOCENTRO

Se identifica un punto, generalmente subterráneo, que se denomina foco o hipocentro, donde se considera se inició el movimiento [12].

FRECUENCIA

Es el número de oscilaciones efectuadas en cada unidad de tiempo [9].

GRADOS DE LIBERTAD

El número de desplazamientos independientes requeridos para definir las posiciones desplazadas de todas las masas respecto a su posición de equilibrio se denomina grados de libertad [5].

OSCILACIÓN O VIBRACIÓN COMPETA

Es el movimiento de ida y vuelta que efectúa el móvil, recorriendo la trayectoria completa [9].

PEAK DE ACELERACIÓN

Corresponde al más alto valor absoluto de la aceleración alcanzado en el historial de tiempo [2].

PERIODO

Es el tiempo que transcurre durante la realización de una oscilación [9].

PREMONITORIOS Y REPLICAS

En algunos casos se presentan uno o varios sismos pequeños, antes de la ocurrencia del evento principal. Estos eventos se conocen con el nombre de

premonitorios. De igual manera, con posterioridad a un sismo importante, se presentan temblores de menor magnitud, a los que se les conoce con el nombre de *réplicas* [11].

PROFUNDIDAD FOCAL

La profundidad focal es la profundidad del hipocentro, medida desde el epicentro [11].

RESPUESTA ESPECTRAL

Gráfico de la respuesta máxima (desplazamiento, velocidad o aceleración) para un sistema con un grado de libertad definido por su frecuencia natural (o periodo) sometido a una excitación específica [10].

RIGIDEZ

Todo cuerpo elástico que sea sometido a fuerzas externas, ya sean estáticas o dinámicas, sufre una deformación. La rigidez se define como la relación entre estas fuerzas externas y las deformaciones que ellas producen en el cuerpo [11].

SISTEMAS LINEALES

Se entenderá por sistemas lineales aquellos en los que las propiedades del sistema, permanecen invariables en el desarrollo de la respuesta [1].

SISTEMAS NO LINEALES

Si las propiedades del sistema cambian en el transcurso de la respuesta, se dice que el sistema es no lineal. En los sistemas no lineales, es inadmisibles el principio de superposición para calcular la respuesta mediante la suma de las distintas respuestas parciales [1].

2.3 HIPÓTESIS

- H0** La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación conduce a la determinación de la frecuencia fundamental de vibración de la estructura y la frecuencia dominante del sismo en el dominio de la frecuencia en una estructura sometida a sismos mediante el uso de la Transformada de Fourier y el software Matlab, para luego realizar una comparación de frecuencias y determinar si el sistema se encuentra en un estado de resonancia.
- H1** La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación conduce a la caracterización, determinación de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) a través de su frecuencia fundamental de vibración, mediante la utilización de la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente) y el programa Etabs.
- H2** La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación conduce a la determinación la frecuencia dominante de la señal sísmica en el dominio de la frecuencia, utilizando la Transformada de Fourier y el Software MatLab.
- H3** La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación conduce a la comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) y la frecuencia dominante de la señal sísmica, y determinar para las frecuencias calculadas si el sistema está en un estado de resonancia.

Si H1, H2 y H3 son verdaderos entonces H0 es verdadero.

2.4 VARIABLES DE ESTUDIO

VARIABLE INDEPENDIENTE

- Parámetros de análisis sísmico para las direcciones X e Y.
- Señal muestreada del registro de aceleraciones sísmicas.
 - ✓ Registro sísmico muestreado del 03 de octubre de 1974 en la dirección Este - Oeste.
 - ✓ Registro sísmico muestreado del 03 de octubre de 1974 en la dirección Norte - Sur.

VARIABLE DEPENDIENTE

- Frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) en la dirección X e Y.
- Frecuencia dominante de la señal (registro de aceleraciones sísmicas).
 - ✓ Frecuencia dominante de la señal en la dirección X.
 - ✓ Frecuencia dominante de la señal en la dirección Y.

DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

De acuerdo a la ubicación, uso y sistema estructural de la edificación como también del tipo del suelo (según el estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación) se determinará los parámetros de análisis sísmico (variables independientes), para luego de acuerdo a la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente) determinar el periodo fundamental de vibración y por lo tanto, tomando el recíproco del periodo determinar la frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) en las direcciones respectivas X e Y (variables dependientes).

A la variable independiente (señal: registro de aceleraciones sísmicas) se le realizará un muestreo teniendo en cuenta el teorema de Nyquist, para luego mediante la aplicación de la Transformada Discreta de Fourier y el uso del programa implementado en Matlab determinar la variable dependiente frecuencia dominante del contenido de frecuencias de la señal, en las direcciones respectivas (Este – Oeste y Norte – Sur).

Y finalmente realizar una comparación de variables dependientes (frecuencia fundamental de vibración de la edificación y frecuencia dominante de la señal sísmica) en las direcciones respectivas X e Y, para luego determinar para las variables dependientes (frecuencias calculadas) y direcciones correspondientes si el sistema está en un estado de resonancia.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Departamento : Huancavelica

Provincia : Huancavelica

Distrito : Huancavelica

Lugar : Universidad Nacional de Huancavelica - Paturpampa

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Aplicada

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Descriptivo

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se usaron los siguientes métodos en el presente trabajo de investigación.

3.4.1. MÉTODO ANALÍTICO

En la realización del presente trabajo de investigación los datos, resultados que se obtuvieron como producto del análisis, fueron sometidos a evaluación con referencia al marco teórico.

3.4.2. MÉTODO DESCRIPTIVO

En el presente trabajo de investigación las actividades, procedimientos y desarrollos que se realizaron, siguieron una estructuración de forma

sistemática secuencial, donde todos los procedimientos tienen una estrecha relación de dependencia, las cuales se describieron de la manera más sencilla y comprensible.

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de tesis el diseño de la investigación se realizó siguiendo la siguiente descripción:

Donde:

- X_1 : Parámetros sísmicos.
- X_2 : Registro de aceleraciones sísmicas.
- Y_1 : Frecuencia fundamental de vibración de la edificación.
- Y_2 : Frecuencia dominante de la señal sísmica.
- N : Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente).
- M : Muestreo.
- DFT : Transformada Discreta de Fourier.

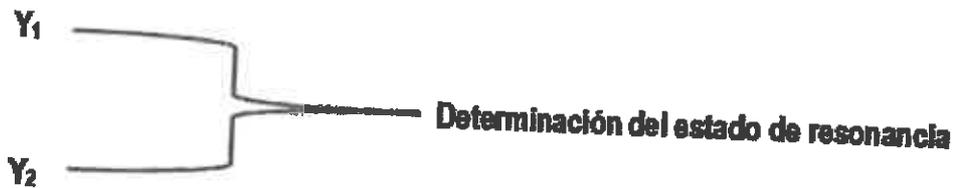
PRIMER EVENTO: Se determinará primeramente las variables independientes las cuales son los parámetros sísmicos (X_1), para luego de acuerdo a la Norma Técnica E.030 (N) se determinará la variable dependiente o la frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Y_1).



SEGUNDO EVENTO: A la variable independiente registro de aceleraciones sísmicas (X_2), se le realizará un muestreo (M), para luego mediante la aplicación de la Transformada Discreta de Fourier (DFT) determinar la variable dependiente (Y_2).



TERCER EVENTO: Finalmente se realizará una comparación entre las variables dependientes Y_1 e Y_2 , para luego realizar la determinación del estado de resonancia.



3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

- **Población:**
Ciudad Universitaria Paturpampa - Huancavelica.
- **Muestra:**
Estructura (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica).
- **Muestreo:**
Mediante el método Analítico-Descriptivo.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. TÉCNICAS

Las Técnicas que se utilizarón:

- Pruebas.

3.7.2. INSTRUMENTOS

- Computadora.
- Software de ingeniería
 - ETABS
 - MatLab.

3.8 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Este procedimiento se realizó en tres etapas.

3.8.1. REVISIÓN DE DOCUMENTOS

Se obtuvo datos mediante la revisión de información de proyectos de investigación relacionados con el presente trabajo de tesis y de libros que involucraron temas concernidos, en la cual se seleccionó los temas más relevantes que sirvieron de base para la estructuración del trabajo de investigación.

3.8.2. ENTREVISTAS

Se realizó entrevistas a profesionales expertos en la Determinación de parámetros dinámicos en estructuras sometidas a eventos sísmicos utilizando la Transformada de Fourier y la aplicación del Software MatLab, para encaminar la correcta realización del presente trabajo de investigación.

3.8.3. RECOLECCIÓN DE RESULTADOS

Una vez que a la señal "registro de aceleraciones sísmicas" se le realizó un muestreo teniendo en cuenta el teorema de Nyquist, para luego mediante la aplicación de la Transformada Discreta de Fourier y el uso del programa diseñado por el investigador en el software MatLab determinar la frecuencia dominante del contenido de frecuencias de la señal. Los resultados fueron recolectados para su posterior análisis y evaluación.

3.9 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se procedió a la recolección de información de un evento sísmico relevante suscitado en el Perú (sismo del 03 de octubre del año 1974 en las direcciones Este – Oeste y Norte – Sur). Y mediante las técnicas de muestreo se obtuvo una señal de tiempo discreto esto para transformar la señal en su forma más analítica que es a través de su contenido de frecuencias por medio de la herramienta matemática Transformada Discreta de Fourier y el uso del software MatLab, para así determinar la frecuencia dominante de la señal sísmica.

Las técnicas para el procesamiento y análisis de los datos fueron:

- **Analítico:** Mediante el software de Ingeniería (ETABS).
- **Evaluativo:** Mediante la programación en el Software (MatLab) para el procesamiento y manejo de las señales.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO – DINÁMICO

PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DINÁMICO

4.1.1. ESTRUCTURACIÓN Y PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

4.1.1.1. CONSIDERACIONES INICIALES

Se consideró en el presente trabajo de investigación una estructura existente "Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica" la cual es una estructura regular y tiene un uso para centros de educación (aulas) ubicado en el Distrito Huancavelica (Ciudad Universitaria - Paturpampa), de la Provincia y Departamento de Huancavelica, constituido por un semi – sótano y 4 niveles, con un área total de 1345.00 m² y un área construida de 1115.00 m².

La estructura predominante principal resistente a las fuerzas laterales está constituida por pórticos y muros estructurales. La altura del semi – sótano y de los diferentes niveles según los planos de arquitectura es de 3.15 m.

El sistema estructural para la edificación es un sistema dual (conformado por pórticos y muros estructurales) en la dirección X y un sistema de muros estructurales en la dirección Y.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

✓ USO : Centros de Educación (Aulas)

✓ UBICACIÓN:

- Departamento : Huancavelica
- Provincia : Huancavelica
- Distrito : Huancavelica
- Lugar : Universidad Nacional de Huancavelica - Paturpampa

✓ PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES SE CONSIDERÓ UN MATERIAL HOMOGÉNEO E ISOTRÓPICO:

Un material homogéneo tiene las mismas propiedades físicas y mecánicas en todo su volumen y un material isotrópico tiene esas mismas propiedades en todas direcciones [13].

PROPIEDADES DEL CONCRETO

✓ RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN (f'_c)

$$1 \text{ kg/cm}^2 \equiv 10 \text{ t/m}^2$$

$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \equiv 2100 \text{ t/m}^2$ (Para vigas columnas, losas y muros).

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO (w)

El peso volumétrico del concreto: $w = 2.4 \text{ t/m}^3$ [14].

✓ MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c) PARA UN CONCRETO DE

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

El reglamento ACI ha propuesto la siguiente expresión para estimar el módulo de elasticidad [14].

$$E_c = w^{1.5} \cdot 4000 \sqrt{f'_c} \quad [14]$$

Donde E_c es el módulo de elasticidad en kg/cm^2 , w es el peso volumétrico del concreto en t/m^3 y f'_c resistencia del concreto en kg/cm^2 [14].

Si consideramos el peso volumétrico $w = 2.4 \text{ t/m}^3$ tenemos [14].

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad [14].$$

Considerando:

$$\diamond E_c = 15000\sqrt{f'_c}$$

$$\diamond f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$\diamond 1 \text{ kg/cm}^2 \equiv 10 \text{ t/m}^2$$

Entonces se tiene:

$$E_c = 15000\sqrt{210} = 217370.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 2173706 \text{ t/m}^2$$

✓ RELACIÓN DE POISSON (μ_c):

Quando una barra está sometida a una carga de tracción simple se produce en ella un aumento de su longitud en la dirección de la carga, así como una disminución de las dimensiones laterales perpendiculares a ésta. La relación entre la deformación en la dirección lateral y la de la dirección axial se define como relación de Poisson [15].

Experimentalmente se ha determinado que varía entre 0.12 y 0.20, con frecuencia se supone igual a 0.18 [14].

$$\mu_c = 0.18$$

✓ MODULO DE ELASTICIDAD POR CORTANTE (G)

Las tres constantes del material, E_c , μ_c y G están relacionadas por la ecuación [13]:

$$G = \frac{E_c}{2(1+\mu_c)} \quad [13].$$

Entonces:

$$\text{Para un } E_c = 2173706 \text{ t/m}^2 \quad \text{y} \quad \mu_c = 0.18$$

$$G = \frac{2173706}{2(1+0.18)} = 921061.8 \text{ t/m}^2$$

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

- ✓ TIPO DE SUELO (Suelo flexible): SUELO BLANDO S₃.¹⁵ (ver anexo: Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación).

CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS

- ✓ FACTOR DE ZONA (Z): 0.35 g (Distrito Huancavelica - ZONA 3).¹⁶
- ✓ FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S): 1.20.¹⁷
- ✓ PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_P): 1.0 seg.¹⁸
- ✓ PERIODO QUE DEFINE EL INICIO DE LA ZONA DEL FACTOR C CON DESPLAZAMIENTO CONSTANTE (T_L): 1.6 seg.¹⁹

CARGA MUERTA

Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud pequeña en el tiempo [16].

- ✓ Como según la Norma Técnica de Edificación Peruana E.020 (cargas) para losas aligeradas armadas en una sola

¹⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/2.3 Condiciones Geotécnicas/2.3.1 Perfiles de Suelo/Acápite d, (Página 576296).

¹⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.1 Zonificación /Tabla N°1, (Página 576295).

¹⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°3, (Página 576297).

¹⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

¹⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

dirección de Concreto Armado de un espesor $h = 30$ cm, el peso propio es:

P. Aligerados: 420 kg/m^2 [16].

✓ Peso propio para acabados es:

P. Acabados: 100 kg/m^2 [14].

CARGA VIVA

Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación [16].

Según la Norma Técnica de Edificación Peruana E.020 (cargas) y considerando la ocupación del pórtico que es para Centros Educativos (aulas), la carga mínima repartida que se debe de considerar en el análisis es:

Sobrecarga S/C: 250 kg/m^2 [16].

CARGA VIVA DE TECHO

Según la Norma Técnica de Edificación Peruana E.020 (cargas).

Para los techos con una inclinación hasta 3° con respecto a la horizontal se considera una Sobrecarga S/C: 100 kg/m^2 [16].

4.1.1.2. ESTRUCTURACIÓN

Mientras más compleja sea la estructura, más difícil resulta predecir su comportamiento sísmico. Por esta razón, es aconsejable que la estructuración sea lo más simple y limpia posible, de manera que la idealización necesaria para su análisis sísmico se acerque lo más posible a la estructura real. Debe además tratar de evitarse que los elementos no estructurales distorsionen la distribución de fuerzas considerada, pues se generan fuerzas en elementos que no fueron diseñadas para esas condiciones [17].

Los principales criterios que es necesario tomar en cuenta para lograr una estructura sismo-resistente, son [17]:

1) Simplicidad y simetría

La experiencia ha demostrado repetidamente que las estructuras simples se comportan mejor durante los sismos. Hay dos razones principales para que esto sea así. Primero, nuestra habilidad para predecir el comportamiento sísmico de una estructura es marcadamente mayor para las estructuras simples que para las complejas; y segundo, nuestra habilidad para idealizar los elementos estructurales es mayor para las estructuras simples que para las complicadas [17].

La falta de simetría produce efectos torsionales que son difíciles de evaluar y pueden ser muy destructivos [17].

Las fuerzas de sismo se podrán idealizar actuando en el centro de masas de cada piso, mientras que absorben los elementos estarán ubicadas en el centro de rigidez; si no existe coincidencia entre el centro de masas y el centro de rigidez el movimiento sísmico no solo ocasionara un movimiento de traslación, sino adicionalmente un giro en la planta estructural (torsión), la cual hace incrementar los esfuerzos debidos al sismo, pudiéndose sobrepasar los esfuerzos resistentes [17].

Los cálculos que se realizan en este aspecto son aproximaciones y mientras más excentricidad exista se tendrán mayores problemas [17].

2) Resistencia y ductilidad

Las estructuras deben tener resistencia sísmica adecuada en todas las direcciones. El sistema de resistencia sísmica debe existir por lo menos en dos direcciones ortogonales o aproximadamente ortogonales, de tal manera que se garantice la estabilidad tanto de la estructura como un todo, como de cada uno de sus elementos [17].

Las cargas deben transferir desde su punto de aplicación hasta su punto final de resistencia. Por lo tanto debe proveerse una

trayectoria o trayectorias continuas, con suficiente resistencia y rigidez para garantizar el adecuado transporte de las cargas [17].

La característica fundamental de la sollicitación sísmica es su eventualidad. Ello se traduce en que un determinado nivel de esfuerzos se produce en la estructura durante un corto tiempo [17].

Por esta razón, las fuerzas de sismo se establecen para valores intermedios de la sollicitación, confiriendo a la estructura una resistencia inferior a la máxima necesaria, debiendo complementarse el saldo otorgándole una adecuada ductilidad. Esto requiere preparar a la estructura para ingresar en una etapa plástica, sin que se llegue a la falla [17].

3) Uniformidad y continuidad de la estructura

La estructura debe ser continua tanto en planta como en elevación con elementos que no cambien bruscamente de rigidez, de manera de evitar concentraciones de esfuerzos [17].

4) Rigidez lateral

Para que una estructura pueda resistir fuerzas horizontales sin tener deformaciones importantes, será necesario proveerla de elementos estructurales que aporten rigidez lateral en sus direcciones principales [17].

5) Existencia de losas que permitan considerar a la estructura como una unidad (diafragma rígido)

En los análisis es usual considerar como hipótesis básica la existencia de una losa rígida en su plano, que permite la idealización de la estructura como una unidad, donde las fuerzas horizontales aplicadas pueden distribuirse en las columnas y muros (placas) de acuerdo a su rigidez lateral, manteniendo todas una misma deformación lateral para un determinado nivel [17].

CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE

Debe tomarse en cuenta la importancia de los siguientes aspectos.

- Simetría, tanto en la distribución de masas como de rigideces.
- Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- Resistencia adecuada frente a las cargas laterales.
- Continuidad estructural, tanto en planta como en elevación.
- Ductilidad, entendida como la capacidad de deformación de la estructura más allá del rango elástico.
- Deformación lateral limitada.
- Inclusión de líneas sucesivas de resistencia (redundancia estructural).
- Consideración de las condiciones locales.
- Buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.²⁰

En el Proyecto de Tesis la estructuración de la edificación se determinó inicialmente definiendo la ubicación y caracterización de los elementos estructurales (columnas, vigas, losas, muros) de acuerdo a los planos existentes, la estructura tiene una buena rigidez, continuidad en planta y elevación, simetría respecto al eje X e Y y de simplicidad, entonces con esto la idealización que se realizó para el cálculo se aproximará mejor a la realidad y se conseguirá que el centro de masas y el centro de rigidez coincidan de tal manera que los problemas de torsión en planta serán prácticamente nulos, con esto se garantizará que los efectos

²⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 1: Generalidades/Acápite 1.4 Concepción Estructural Sismorresistente, (Página 576295).

torsionales no sean tan destructivos a la edificación frente a un sismo.

4.1.1.3. SISTEMA ESTRUCTURAL

CATEGORIA Y SISTEMA ESTRUCTURAL

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse empleando el sistema estructural que se indica en la tabla N° 6 y respetando las restricciones a la irregularidad de la tabla N° 10.²¹

- Para una edificación de uso para Instituciones Educativas le corresponde una CATEGORIA DE EDIFICACIÓN "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y específicamente "A2" para Instituciones Educativas y como la zona donde se ubica el proyecto es la ZONA 3 (Distrito: Huancavelica), entonces según esto, y de acuerdo a la tabla N° 6²² (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente) se describe el empleo de un sistema estructural de concreto: **SISTEMA DUAL**.

Por lo tanto, en el presente proyecto de investigación la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) cumple con éste requerimiento de la Normatividad; porque en la dirección "X" la edificación tiene un SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL y para la dirección "Y" la edificación tiene un SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES.

- Para una edificación de uso para Instituciones Educativas le corresponde una CATEGORIA DE EDIFICACIÓN "A" de

²¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6 y Tabla N°10, (Páginas 576298 y 576300).

²²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

EDIFICACIONES ESENCIALES y específicamente "A2" para Instituciones Educativas y como la zona donde se ubica el proyecto es la ZONA 3 (Distrito: Huancavelica), entonces según esto y de acuerdo a la tabla N° 10 ²³ (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente) se desprende la siguiente restricción: **NO SE PERMITE IRREGULARIDADES.**

Por lo tanto, en el presente proyecto de investigación la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) cumple con éste requerimiento de la Normatividad; porque la edificación ES REGULAR tanto en planta como en elevación.

4.1.1.4. PRE DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

LOSA ALIGERADA. La losa considerada se armará en una dirección y se armará en la dirección que tenga la menor distancia entre apoyos.

El peralte (h) de las losas aligeradas podrá ser dimensionado considerando el siguiente criterio:

$h = 30 \text{ cm}$ luces comprendidas entre 6 y 7.5 m [17].

Entonces, para una luz de 7.40 m, el peralte de la losa considerada será de 30 cm.

También:

$$h = \frac{l}{25} \text{ ó } \frac{7.40}{25} = 0.296 = 0.30 \text{ m} \quad [18]$$

²³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"), edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/3.7 Restricciones a la Irregularidad/Acápite 3.7.1 Categoría de la Edificación e Irregularidad/Tabla N°10, (Página 576300).

VIGAS. Las vigas se dimensionan generalmente considerando un peralte del orden de 1/10 a 1/12 de la luz libre [17].

La Norma Peruana de concreto armado indica que las vigas deben de tener un ancho mínimo de 25 cm para el caso que éstas forman parte de pórticos o elementos sismo – resistentes de estructuras de concreto armado [17].

De acuerdo a los planos se tiene:

TABLA 01. Resumen de las secciones de las vigas (según planos de estructuras de la edificación).

PISO	SECCIÓN VIGAS
Semi-sótano	VP-30 X 60 VP-30 X 45 VS-30 X 40 VC-15 X 60 VA-30 X 40
1er PISO	VP-30 X 60 VP-30 X 45 VS-30 X 40 VC-15 X 60 VA-30 X 40
2do PISO	VP-30 X 60 VP-30 X 45 VS-30 X 40 VC-15 X 60 VA-30 X 40
3er PISO	VP-30 X 60 VP-30 X 45 VS-30 X 40 VC-15 X 60 VA-30 X 40
4to PISO AZOTEA	VP-30 X 60 VP-30 X 45 VS-30 X 40 VC-15 X 60 VA-30 X 40

Fuente: Expediente Técnico "Construcción, Facultad de Ciencias Empresariales".

COLUMNAS. Las columnas al ser sometidas a carga axial y momento flector, tienen que ser dimensionadas considerando los dos efectos simultáneamente, tratando de evaluar cuál de los dos es el que gobierna en forma más influyente el dimensionamiento [17].

De acuerdo a los plano y especificaciones técnicas del proyecto se tiene:

Para todos los pisos las columnas son concreto armado de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

TABLA 02. Resumen de las secciones de las columnas (según planos de estructuras de la edificación).

TIPO	SECCIÓN
COLUMNA C-2	0.30 X 0.60 m
COLUMNA C-3	0.30 X 0.60 m
COLUMNA C-4	0.30 X 0.50 m
COLUMNA C-5	0.30 X 0.50 m
COLUMNA C-6	0.30 X 0.30 m

Fuente: Expediente Técnico "Construcción, Facultad de Ciencias Empresariales".

4.1.2. METRADO DE CARGAS PARA HALLAR EL PESO EN CADA NIVEL Y PESO TOTAL DE LA ESTRUCTURA POR SISMO

Para el metrado de cargas, para hallar el peso de la estructura por sismo se debe de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Alturas de pisos y luz libre de viga considerados.
 1. Para hacer análisis por sismo se considera la altura de columna desde la parte superior de la zapata [18].
 2. Consideramos viga a la luz libre entre columna [18].
 3. Consideramos columna desde la parte superior de la zapata hasta la parte superior del entrepiso [18].
 4. Para el metrado de altura de columna por sismo se considera media columna del piso anterior y media columna del piso posterior [18].

- Porcentaje de la carga viva o sobrecarga considerado según la Normatividad (Norma Técnica Peruana E.030 de Diseño Sismorresistente) [18].

ESTIMACION DEL PESO (P): El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la Edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- a. En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b. En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25% de la carga viva.
- c. En depósitos, el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.
- e. En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100% de la carga que puede contener. ²⁴

Como el uso de la estructura es para INSTITUCIONES EDUCATIVAS y de acuerdo al Capítulo 3, numeral 3.1 (Categoría de las edificaciones y factor de uso (U)) y Tabla N° 5 ²⁵ de la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, le corresponde una CATEGORÍA "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES, Entonces para el metrado, para determinar el peso de la estructura por sismo, el porcentaje de sobrecarga que se consideró fue de un 50 % (ítem a) ²⁶, entonces de acuerdo a lo establecido previamente debemos de usar el (ítem a).

- Porcentaje de la carga de techo considerado según la Normatividad. Según el (ítem d) ²⁷ de la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, para determinar el peso de la edificación se deberá

²⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/Acápite 4.3 Estimación de Peso, (Página 578301).

²⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso /Tabla N°5, (Página 578297).

²⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/Acápite 4.3 Estimación de Peso, (Página 578301).

²⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/Acápite 4.3 Estimación de Peso, (Página 578301).

adicionar a la carga permanente de la edificación un 25 % de la carga viva del techo.

Entonces el peso de la estructura para análisis por sismo será:

$$P = (\text{Peso Propio} + CM) + 0.50 \text{ Live} + 0.25(\text{Carga Viva del techo Live Up})$$

4.1.3. EXCENRICIDAD ACCIDENTAL

Para estructuras con diafragmas rígidos, se supondrá que la fuerza en cada nivel (F_i) actúa en el centro de masas del nivel respectivo y debe considerarse además el efecto de excentricidades accidentales como se indica a continuación:

En el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplicará un momento torsor accidental (M_{ti}) que se calcula como:

$$M_{ti} = \pm F_i * e_i$$

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), se considerará como 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis.²⁸

Como según el plano en planta las dimensiones de la estructura son:

EN LA DIRECCION X: 27.90 m

EN LA DIRECCION Y: 22.85 m

Entonces:

EN LA DIRECCION X: $e_x = 0.05 * L_y = 0.05(22.85 \text{ m}) = 1.14\text{m}$

EN LA DIRECCION Y: $e_y = 0.05 * L_x = 0.05(27.90 \text{ m}) = 1.39 \text{ m}$

²⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.5 Excentricidad Accidental, (Página 576302).

PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO

4.1.4. CALCULO DE LA FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LA EDIFICACIÓN EN LAS DIRECCIONES X, Y

PARA LA DIRECCIÓN "X"

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{(Z * U * C * S)}{R} P$$

El valor de C/R no deberá considerarse menor que.

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \quad ^{29}$$

Para obtener la fuerza cortante total en la base de la estructura se utilizó los siguientes parámetros.

- **FACTOR DE ZONA (Z)**

La Ubicación del proyecto de investigación se encuentra en el Departamento de Huancavelica, Provincia de Huancavelica y Distrito de Huancavelica y de acuerdo a la Zonificación sísmica a este Distrito le corresponde una ZONA 3, entonces:

$$\text{Zona 3} \rightarrow Z = 0.35 \quad g \quad ^{30}$$

- **PARAMETROS DE SITIO (S, T_p y T_L)**

Como según el Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación el suelo de fundación del proyecto es un SUELO FLEXIBLE y de acuerdo al RNE Norma Técnica Peruana E.030 (Diseño Sismorresistente) éste suelo es del tipo S₃ Suelos blandos.

Suelo Flexible → Perfil Tipo S₃: Suelos Blandos ³¹

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S):

²⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.2 Fuerza Cortante en la Base, (Página 576301).

³⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.1 Zonificación /Tabla N°1, (Página 576295).

³¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/2.3 Condiciones Geotécnicas/2.3.1 Perfiles de Suelo/Acápite d, (Página 576286).

De acuerdo a la zonificación sísmica al lugar del proyecto de investigación se le asigna la ZONA 3 y como el suelo de fundación es del TIPO S_3 (Suelos Blandos), entonces de acuerdo al RNE Norma Técnica Peruana E.030 (Diseño Sismorresistente) Tabla N° 3, el Factor de amplificación del suelo (S) es 1.20.

Zona 3 y Perfil Tipo S_3 : (Suelos Blandos) $\rightarrow S = 1.20$ ³²

PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_p)

Para un Perfil Tipo $S_3 \rightarrow T_p = 1.0 \text{ seg}$ ³³

PERIODO QUE DEFINE EL INICIO DE LA ZONA DEL FACTOR C CON DESPLAZAMIENTO CONSTANTE (T_L)

Para un Perfil Tipo $S_3 \rightarrow T_L = 1.6 \text{ seg}$ ³⁴

- FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C):

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$$

T es el periodo de acuerdo al numeral 4.5.4, concordado con el numeral 4.6.1. ³⁵

Como:

Período Fundamental de Vibración

El periodo fundamental de Vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

³²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápita 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°3, (Página 576297).

³³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápita 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

³⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápita 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

³⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápita 2.5 Factor de Amplificación Sísmica, (Página 576297).

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad 36$$

Como, la edificación considerada tiene una altura en todos los niveles de 3.15 m, entonces:

$$h_n = 3.15 + 4 * 3.15 = 15.75 \text{ m} : \text{Altura total de la edificación en metros.}$$

También la estructura considerada para el análisis constituye un SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL de concreto en la dirección "X", entonces:

$C_T = 60$: para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada. ³⁷

Consideraremos para

Dirección X: $C_T = 60$.

Entonces:

$$\checkmark T_x = \frac{h_n}{C_T} = \frac{15.75}{60} = 0.2625$$

DIRECCIÓN X: $T_x = 0.2625 \text{ seg}$

Luego:

PARA LA DIRECCIÓN X

$$T < T_p ; \quad 0.2625 \text{ seg} < 1.0 \text{ seg}$$

Entonces:

$$T < T_p \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \quad 38$$

DIRECCIÓN X: $C_x = 2.5$

³⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301).

³⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301).

³⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.5 Factor de Amplificación Sísmica, (Página 576297).

- **FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)**

El uso del edificio es para AULAS y según la N.T.P. E. 030 (Diseño Sismorresistente) Tabla N° 5, para edificaciones destinadas para Instituciones Educativas le corresponde una CATEGORÍA "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y un Factor de uso e importancia $U = 1.5$.

39

Instituciones Educativas (Edificaciones Esenciales:
CATEGORIA "A") →

$$U = 1.5$$

- **SISTEMA ESTRUCTURAL**

ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

Todos los elementos de concreto armado que forman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el capítulo 21 "Disposiciones especiales para el diseño sísmico" de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

Muros estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base.⁴⁰

De acuerdo a verificaciones de esta Normatividad (porcentaje que toma columnas y muros del cortante total en la base de la

³⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápito 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso/Tabla N°5, (Página 576297).

⁴⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/3.2 Sistemas Estructurales/Acápito 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado, (Página 576298).

edificación), la edificación tiene los siguientes sistemas estructurales:

- ✓ EN LA DIRECCIÓN "X"
SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL (CONFORMADO POR PÓRTICOS Y MUROS ESTRUCTURALES)
- ✓ EN LA DIRECCIÓN "Y"
SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES

- CATEGORIA Y SISTEMA ESTRUCTURAL

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse empleando el sistema estructural que se indica en la tabla N° 6 y respetando las restricciones a la irregularidad de la tabla N° 10. ⁴¹

Para una edificación destinada a AULAS le corresponde una CATEGORIA DE EDIFICACIÓN "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y como la zona donde se ubica el proyecto es la ZONA 3 (Distrito: Huancavelica), entonces según esto y de acuerdo a la tabla N° 6 ⁴² (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente) se describe el empleo de un sistema estructural: SISTEMA DUAL.

- SISTEMA ESTRUCTURAL Y COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R_o)

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla N° 7. ⁴³

⁴¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

⁴²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

⁴³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas/Tabla N°7, (Página 576299).

La edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) de interés en el presente trabajo de investigación en la dirección "X" está formado por un **SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL**, donde las acciones sísmicas serán resistidas por los pórticos y muros estructurales que lo conforman, entonces según esto y de acuerdo a la Tabla N° 7 (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente), el Coeficiente Básico de Reducción R_o es igual a 7.

$$\text{Coeficiente Básico de Reducción, } R_o = 7$$

- **REGULARIDAD ESTRUCTURAL**

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares para los fines siguientes:

- ✓ Cumplir las restricciones de la Tabla N° 10.
- ✓ Establecer los procedimientos de análisis.
- ✓ Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

ESTRUCTURAS REGULARES son las que en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

En estos casos, el factor I_a o I_p será igual a 1.0. ⁴⁴

La configuración estructural del pórtico para el análisis del presente trabajo de investigación, es una configuración regular, porque no tiene discontinuidades significativas tanto en planta como en elevación en su configuración estructural.

CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL: REGULAR

Por lo tanto:

$$I_a = 1.0$$

$$I_p = 1.0$$

⁴⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.5 Regularidad Estructural, (Página 576298).

- **COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R)**

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determina como el producto del coeficiente R_o determinado a partir de la Tabla N° 7 y de los factores I_a , I_p obtenidos de las Tablas N° 8 y N° 9.

$$R = R_o * I_a * I_p \quad 45$$

Por lo tanto:

$$R = 7 * 1.0 * 1.0$$

$$R = 7$$

Entonces para la DIRECCIÓN "X" será:

$$R_x = 7$$

FINALMENTE: La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

Considerando primeramente:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \quad 46$$

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{7} = 0.3571 \geq 0.125$$

Entonces:

$$V = \frac{(Z * U * C * S)}{R} P$$

$$V = \frac{(0.35 * 1.5 * 2.5 * 1.20)}{7} 1170.5332 \text{ ton}$$

$$V = \left(\frac{22.50}{100}\right) 1170.5332 \text{ ton} = 263.3699 \text{ ton}$$

⁴⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.8 Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, (Página 576300).

⁴⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.2 Fuerza Cortante en la Base, (Página 576301).

PARA LA DIRECCIÓN "Y"

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{(Z * U * C * S)}{R} P$$

El valor de C/R no deberá considerarse menor que.

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \quad 47$$

Para obtener la fuerza cortante total en la base de la estructura se utilizó los siguientes parámetros.

- **FACTOR DE ZONA (Z)**

La Ubicación del proyecto de investigación se encuentra en el Departamento de Huancavelica, Provincia de Huancavelica y Distrito de Huancavelica y de acuerdo a la Zonificación sísmica a este Distrito le corresponde una ZONA 3, entonces:

$$\text{Zona 3} \rightarrow Z = 0.35 \quad 48$$

- **PARAMETROS DE SITIO (S, T_p y T_L)**

Como según el Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación el suelo de fundación del proyecto es un SUELO FLEXIBLE y de acuerdo al RNE Norma Técnica Peruana E.030 (Diseño Sismorresistente) éste suelo es del tipo S₃ Suelos blandos.

Suelo Flexible → Perfil Tipo S₃: Suelos Blandos ⁴⁹

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S):

De acuerdo a la zonificación sísmica al lugar del proyecto de investigación se le asigna la ZONA 3 y como el suelo de fundación es del TIPO S₃ (Suelos Blandos), entonces de acuerdo al RNE Norma Técnica Peruana

⁴⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.2 Fuerza Cortante en la Base, (Página 576301).

⁴⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.1 Zonificación /Tabla N°1, (Página 576295).

⁴⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/2.3 Condiciones Geotécnicas/2.3.1 Perfiles de Suelo/Acápite d, (Página 576296).

E.030 (Diseño Sismorresistente) Tabla N° 3, el Factor de amplificación del suelo (S) es 1.20.

Zona 3 y Perfil Tipo S₃: (Suelos Blandos) → S = 1.20 ⁵⁰

PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_P)

Para un Perfil Tipo S₃ → T_P = 1.0 seg ⁵¹

PERIODO QUE DEFINE EL INICIO DE LA ZONA DEL FACTOR C CON DESPLAZAMIENTO CONSTANTE (T_L)

Para un Perfil Tipo S₃ → T_L = 1.6 seg ⁵²

- FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C):

$$T < T_P \quad C = 2.5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P * T_L}{T^2} \right)$$

T es el período de acuerdo al numeral 4.5.4, concordado con el numeral 4.6.1. ⁵³

Como:

Período Fundamental de Vibración

El periodo fundamental de Vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad 54$$

⁵⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°3, (Página 576297).

⁵¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

⁵²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

⁵³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.5 Factor de Amplificación Sísmica, (Página 576297).

⁵⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301).

Como, la edificación considerada tiene una altura en todos los niveles de 3.15 m, entonces:

$h_n = 3.15 + 4 * 3.15 = 15.75 \text{ m}$: Altura total de la edificación en metros.

También la estructura considerada para el análisis constituye un SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES de concreto en la dirección "Y", entonces:

$C_T = 60$: para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.⁵⁵

Consideraremos para

Dirección Y: $C_T = 60$.

Entonces:

$$\checkmark T_y = \frac{h_n}{C_T} = \frac{15.75}{60} = 0.2625$$

DIRECCIÓN Y: $T_y = 0.2625 \text{ seg}$

Luego:

PARA LA DIRECCIÓN Y

$T < T_p$; $0.2625 \text{ seg} < 1.0 \text{ seg}$

Entonces:

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5 \quad 56$$

DIRECCIÓN Y: $C_y = 2.5$

⁵⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301).

⁵⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.5 Factor de Amplificación Sísmica, (Página 576297).

- **FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)**

El uso del edificio es para AULAS y según la N.T.P. E. 030 (Diseño Sismorresistente) Tabla N° 5, para edificaciones destinadas para Instituciones Educativas le corresponde una CATEGORÍA "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y un Factor de uso e importancia $U = 1.5$.

57

Instituciones Educativas (Edificaciones Esenciales:
CATEGORIA "A") →

$$U = 1.5$$

- **SISTEMA ESTRUCTURAL**

ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

Todos los elementos de concreto armado que forman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el capítulo 21 "Disposiciones especiales para el diseño sísmico" de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

Muros estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base. ⁵⁸

De acuerdo a verificaciones de esta Normatividad (porcentaje que toma columnas y muros del cortante total en la base de la edificación), la edificación tiene los siguientes sistemas estructurales:

⁵⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápita 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso/Tabla N°5, (Página 576297).

⁵⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/3.2 Sistemas Estructurales/Acápita 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado, (Página 576298).

- ✓ EN LA DIRECCIÓN "X"
SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL (CONFORMADO POR PÓRTICOS Y MUROS ESTRUCTURALES)
- ✓ EN LA DIRECCIÓN "Y"
SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES

- CATEGORIA Y SISTEMA ESTRUCTURAL

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse empleando el sistema estructural que se indica en la tabla N° 6 y respetando las restricciones a la irregularidad de la tabla N° 10.⁵⁹

Para una edificación destinada a AULAS le corresponde una CATEGORIA DE EDIFICACIÓN "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y como la zona donde se ubica el proyecto es la ZONA 3 (Distrito: Huancavelica), entonces según esto y de acuerdo a la tabla N° 6⁶⁰ (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente) se describe el empleo de un sistema estructural: SISTEMA DUAL.

- SISTEMA ESTRUCTURAL Y COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R_o)

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla N° 7.⁶¹

La edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) de interés en el presente trabajo de investigación en la dirección "Y" está formado por un SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES, donde las

⁵⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

⁶⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

⁶¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas/Tabla N°7, (Página 576299).

acciones sísmicas serán resistidas por los muros estructurales que lo conforman, entonces según esto y de acuerdo a la Tabla N° 7 (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente), el Coeficiente Básico de Reducción R_o es igual a 6.

$$\text{Coeficiente Básico de Reducción, } R_o = 6$$

- **REGULARIDAD ESTRUCTURAL**

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares para los fines siguientes:

- ✓ Cumplir las restricciones de la Tabla N° 10.
- ✓ Establecer los procedimientos de análisis.
- ✓ Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

ESTRUCTURAS REGULARES son las que en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

En estos casos, el factor I_a o I_p será igual a 1.0.⁶²

La configuración estructural del pórtico para el análisis del presente trabajo de investigación, es una configuración regular, porque no tiene discontinuidades significativas tanto en planta como en elevación en su configuración estructural.

CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL: REGULAR

Por lo tanto:

$$I_a = 1.0$$

$$I_p = 1.0$$

- **COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R)**

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determina como el producto del coeficiente R_o determinado a partir de la Tabla N° 7 y de los factores I_a , I_p obtenidos de las Tablas N° 8 y N° 9.

⁶²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"), edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.5 Regularidad Estructural, (Página 576299).

$$R = R_o * I_a * I_p \quad 63$$

Por lo tanto:

$$R = 6 * 1.0 * 1.0$$

$$R = 6$$

Entonces para la DIRECCIÓN "Y" será:

$$R_y = 6$$

FINALMENTE: La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

Considerando primeramente:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \quad 64$$

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{6} = 0.4167 \geq 0.125$$

Entonces:

$$V = \frac{(Z * U * C * S)}{R} P$$

$$V = \frac{(0.35 * 1.5 * 2.5 * 1.20)}{6} 1170.5332 \text{ ton}$$

$$V = \left(\frac{26.25}{100}\right) 1170.5332 \text{ ton} = 307.2649 \text{ ton}$$

TABLA 003. Resumen de la fuerza cortante en la base de la edificación en las direcciones X, Y.

DIRECCIÓN	FUERZA CORTANTE EN LA BASE (V)		C/R
	% del peso Total	(V) en toneladas	
X	22.50	283.3699	0.3571 > 0.125
Y	26.25	307.2649	0.4167 > 0.125

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Teela".

⁶³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápites 3.8 Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, (Página 576300).

⁶⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápites 4.5.2 Fuerza Cortante en la Base, (Página 576301).

Figura 014. Fuerza cortante en la base de la edificación en la dirección X.

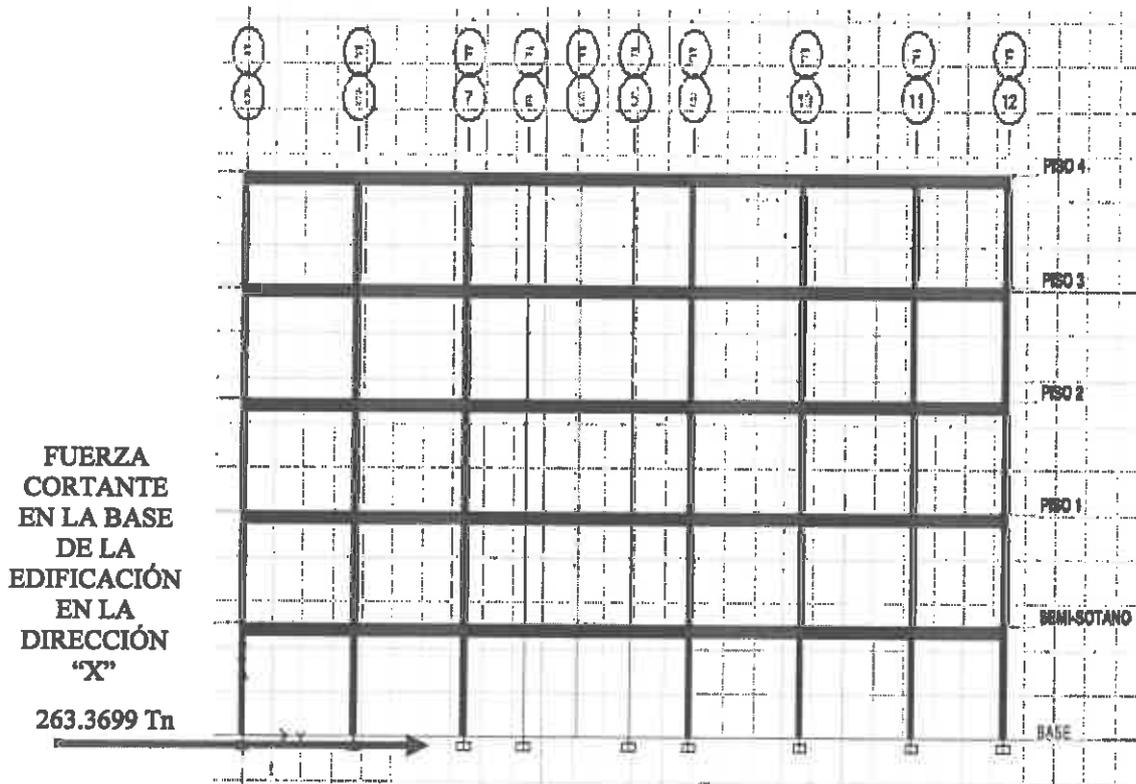
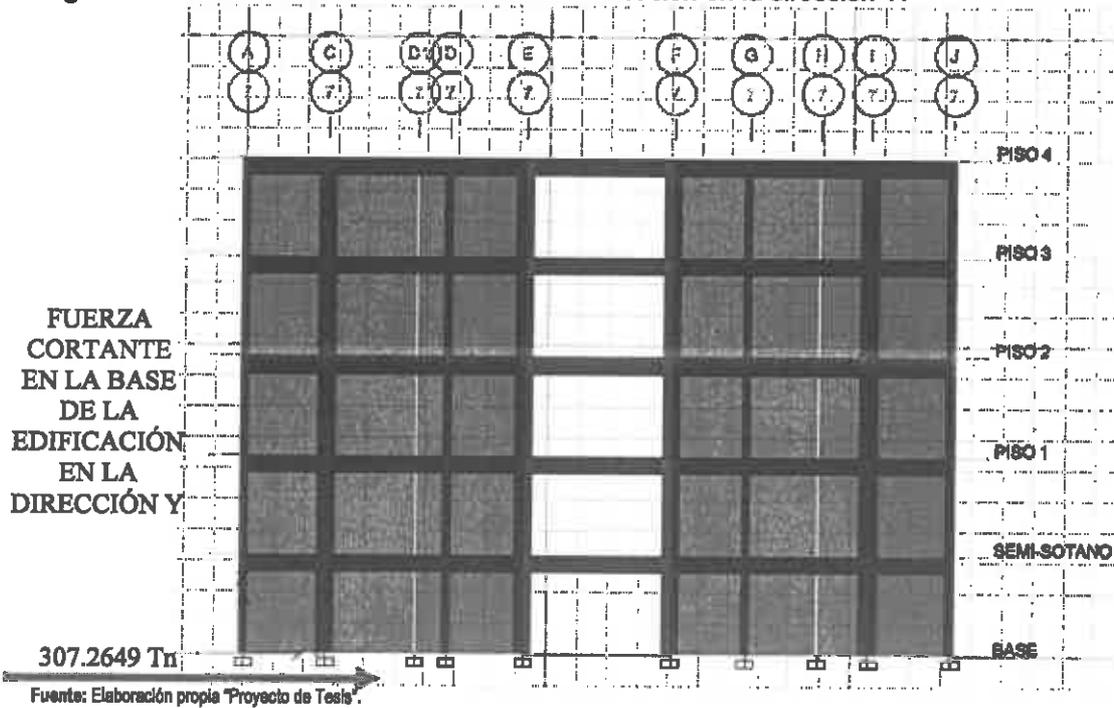


Figura 015. Fuerza cortante en la base de la edificación en la dirección Y.



4.1.5. DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA EN ALTURA PARA LA DIRECCIÓN "X"

Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

"Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calcularán mediante:

$$F_i = \alpha_i * V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde k es un exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

- Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k=1.0$
- Para T mayor que 0.5 segundos: $k=(0.75+0.5T) \leq 2.0$.⁶⁵

Como el periodo fundamental de la estructura para el análisis estático (T), para la dirección "X" es:

$$\text{DIRECCIÓN X: } T_x = 0.2625 \text{ seg}$$

Donde $T < 0.5$ segundos

Entonces:

$$k_x = 1.0$$

TABLA 004. Resumen de parámetros considerados para el cálculo de la fuerza cortante V en la dirección X.

PARAMETROS CONSIDERADOS	
FACTOR DE ZONA (Z)	0.35
FACTOR DE USO É IMPORTANCIA (U)	1.50
FACTOR DE AMPLIFICACION DEL SUELO (S)	1.20
COEFICIENTE DE REDUCCION SISMICA (R)	7.00
PESO TOTAL DE LA EDIFICACION (P) "kg"	1170533.17 kg
FACTOR DE AMPLIFICACION SISMICA (C)	2.5
FUERZA CORTANTE EN LA BASE (V)	263369.96 kg
k	1.00

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

⁶⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.3 Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, (Página 576301).

TABLA 005. Distribución de la fuerza sísmica en los pisos de la edificación en la dirección X.

DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA EN LOS PISOS PARA LA DIRECCIÓN "X"						
NIVEL	Pi (kg)	hi (m)	(hi)^k	Pi*(hi)^k	ai	Fi=ai*V
PISO 4 (AZOTEA)	70865.81 kg	15.75 m	15.75	1116136.51	0.11	30046.82 kg
PISO 3	276071.51 kg	12.60 m	12.6	3478501.03	0.36	93642.58 kg
PISO 2	274531.95 kg	9.45 m	9.45	2594326.93	0.27	69840.28 kg
PISO 1	274531.95 kg	6.30 m	6.3	1729551.29	0.18	46560.19 kg
SEMI SOTANO	274531.95 kg	3.15 m	3.15	864775.64	0.09	23280.09 kg
BASE Σ	1170533.17 kg	Σ		9783291.39	1.00	263369.96 kg

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

TABLA 006. Distribución de la fuerza cortante en los pisos de la edificación en la dirección X.

DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA CORTANTE EN LOS PISOS PARA LA DIRECCIÓN "X"							
NIVEL	Pi (kg)	hi (m)	(hi)^k	Pi*(hi)^k	ai	Fi=ai*V	FUERZA CORTANTE DE ENTREPISO
PISO 4 (AZOTEA)	70865.81	15.75	15.75	1116136.51	0.11	30046.82 kg	30046.82 kg
PISO 3	276071.51	12.60	12.60	3478501.03	0.36	93642.58 kg	123689.41 kg
PISO 2	274531.95	9.45	9.45	2594326.93	0.27	69840.28 kg	193529.69 kg
PISO 1	274531.95	6.30	6.30	1729551.29	0.18	46560.19 kg	240089.87 kg
SEMI SOTANO	274531.95	3.15	3.15	864775.64	0.09	23280.09 kg	263369.96 kg
BASE Σ	1170533.17 kg	Σ		9783291.39	1.00	263369.96 kg	

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

PARA LA DIRECCIÓN "Y"

Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

"Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel *i*, correspondientes a la dirección considerada, se calcularán mediante:

$$F_i = \alpha_i * V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde *k* es un exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura (*T*), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

a) Para *T* menor o igual a 0.5 segundos: *k*=1.0

b) Para T mayor que 0.5 segundos: $k=(0.75+0.5T) \leq 2.0$.⁶⁶

Como el periodo fundamental de la estructura para el análisis estático (T), para la dirección "Y" es:

$$\text{DIRECCIÓN Y: } T_y = 0.2625 \text{ seg}$$

Donde $T < 0.5$ segundos

Entonces:

$$k_y = 1.0$$

TABLA 007. Resumen de parámetros considerados para el cálculo de la fuerza cortante V en la dirección Y.

PARAMETROS CONSIDERADOS	
FACTOR DE ZONA (Z)	0.35
FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)	1.50
FACTOR DE AMPLIFICACION DEL SUELO (S)	1.20
COEFICIENTE DE REDUCCION SISMICA (R)	6.00
PESO TOTAL DE LA EDIFICACION (P) "kg"	1170533.17 kg
FACTOR DE AMPLIFICACION SISMICA (C)	2.5
FUERZA CORTANTE EN LA BASE (V)	307264.96 kg
k	1.00

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

TABLA 008. Distribución de la fuerza sísmica en los pisos de la edificación en la dirección Y.

DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA EN LOS PISOS PARA LA DIRECCIÓN "Y"						
NIVEL	Pi (kg)	hi (m)	(hi)^k	Pi*(hi)^k	ai	Fi=ai*V
PISO 4 (AZOTEA)	70865.81 kg	15.75 m	15.75	1116136.51	0.11	35054.63 kg
PISO 3	276071.51 kg	12.60 m	12.6	3478501.03	0.36	109249.68 kg
PISO 2	274531.96 kg	9.45 m	9.45	2594326.93	0.27	81480.32 kg
PISO 1	274531.95 kg	6.30 m	6.3	1729551.29	0.18	54320.22 kg
SEMI SOTANO	274531.95 kg	3.15 m	3.15	864775.84	0.09	27160.11 kg
BASE Σ	1170533.17 kg	Σ		9783291.38	1.00	307264.96 kg

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

⁶⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.3 Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, (Página 576301).

TABLA 009. Distribución de la fuerza cortante en los pisos de la edificación en la dirección Y.

DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA CORTANTE EN LOS PISOS PARA LA DIRECCIÓN "Y"							
NIVEL	Pi (kg)	hi (m)	(hi)²/k	∑(hi)²/k	ai	Fi=ai*V	FUERZA CORTANTE DE ENTREPISO
PISO 4 (AZOTEA)	70866.81	15.76	15.76	1116136.51	0.11	35054.63 kg	35054.63 kg
PISO 3	276071.51	12.60	12.60	3478501.03	0.36	109249.68 kg	144304.31 kg
PISO 2	274531.95	9.45	9.45	2594326.93	0.27	81480.32 kg	225784.63 kg
PISO 1	274531.95	6.30	6.30	1729551.29	0.18	54320.22 kg	280104.85 kg
SEMI SOTANO	274531.95	3.15	3.15	864775.64	0.09	27160.11 kg	307264.96 kg
BASE	1170533.17 kg	∑		9783291.39	1.00	307264.96 kg	

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Teles".

PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO MODAL ESPECTRAL

4.1.6. ACELERACIÓN ESPECTRAL

PARA LA DIRECCIÓN "X"

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por: ⁶⁷

$$S_a = \frac{(Z * U * C * S)}{R} g$$

Para obtener la aceleración espectral se utilizó los siguientes parámetros.

- **FACTOR DE ZONA (Z)**

La Ubicación del proyecto de investigación se encuentra en el Departamento de Huancavelica, Provincia de Huancavelica y Distrito de Huancavelica y de acuerdo a la Zonificación sísmica a este Distrito le corresponde una ZONA 3, entonces:

$$\text{Zona 3} \rightarrow Z = 0.35 g \quad ^{68}$$

⁶⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral /Acápite 4.6.2 Aceleración Espectral, (Página 576302).

⁶⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.1 Zonificación /Tabla N°1, (Página 576295).

- **PARAMETROS DE SITIO (S , T_p y T_L)**

Como según el Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación el suelo de fundación del proyecto es un SUELO FLEXIBLE y de acuerdo al RNE Norma Técnica Peruana E.030 (Diseño Sismorresistente) éste suelo es del tipo S_3 Suelos blandos.

Suelo Flexible → Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos ⁶⁹

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S):

De acuerdo a la zonificación sísmica al lugar del proyecto de investigación se le asigna la ZONA 3 y como el suelo de fundación es del TIPO S_3 (Suelos Blandos), entonces de acuerdo al RNE Norma Técnica Peruana E.030 (Diseño Sismorresistente) Tabla N° 3, el Factor de amplificación del suelo (S) es 1.20.

Zona 3 y Perfil Tipo S_3 : (Suelos Blandos) → $S = 1.20$ ⁷⁰

PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_p)

Para un Perfil Tipo S_3 → $T_p = 1.0$ seg ⁷¹

PERIODO QUE DEFINE EL INICIO DE LA ZONA DEL FACTOR C CON DESPLAZAMIENTO CONSTANTE (T_L)

Para un Perfil Tipo S_3 → $T_L = 1.6$ seg ⁷²

- **FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C):**

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

⁶⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/2.3 Condiciones Geotécnicas/2.3.1 Perfiles de Suelo/Acápita d, (Página 576296).

⁷⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápita 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°3, (Página 576297).

⁷¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápita 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

⁷²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápita 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

$$T > T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P * T_L}{T^2} \right)$$

T es el período de acuerdo al numeral 4.5.4, concordado con el numeral 4.6.1.⁷³

Como:

Período Fundamental de Vibración

El periodo fundamental de Vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad 74$$

Como, la edificación considerada tiene una altura en todos los niveles de 3.15 m, entonces:

$h_n = 3.15 + 4 * 3.15 = 15.75 \text{ m}$: Altura total de la edificación en metros.

También la estructura considerada para el análisis constituye un SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL de concreto en la dirección "X", entonces:

$C_T = 60$: para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.⁷⁵

Consideraremos para

Dirección X: $C_T = 60$.

Entonces:

$$\checkmark T_x = \frac{h_n}{C_T} = \frac{15.75}{60} = 0.2625$$

DIRECCIÓN X: $T_x = 0.2625 \text{ seg}$

⁷³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.5 Factor de Amplificación Sísmica, (Página 576297).

⁷⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301).

⁷⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301).

Luego:

PARA LA DIRECCIÓN X

$$T < T_p ; \quad 0.2625 \text{ seg} < 1.0 \text{ seg}$$

Entonces:

$$T < T_p \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \quad 76$$

$$\text{DIRECCIÓN X: } C_x = 2.5$$

- **FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)**

El uso del edificio es para AULAS y según la N.T.P. E. 030 (Diseño Sismorresistente) Tabla N° 5, para edificaciones destinadas para Instituciones Educativas le corresponde una CATEGORÍA "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y un Factor de uso e importancia $U = 1.5$.

77

Instituciones Educativas (Edificaciones Esenciales:

CATEGORIA "A") →

$$U = 1.5$$

- **SISTEMA ESTRUCTURAL**

ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

Todos los elementos de concreto armado que forman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el capítulo 21 "Disposiciones especiales para el diseño sísmico" de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

Muros estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

⁷⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.5 Factor de Amplificación Sísmica, (Página 576297).

⁷⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso/Tabla N°5, (Página 576297).

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base. ⁷⁸

De acuerdo a verificaciones de esta Normatividad (porcentaje que toma columnas y muros del cortante total en la base de la edificación), la edificación tiene los siguientes sistemas estructurales:

- ✓ **EN LA DIRECCIÓN "X"**
SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL (CONFORMADO POR PÓRTICOS Y MUROS ESTRUCTURALES)
- ✓ **EN LA DIRECCIÓN "Y"**
SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES

- **CATEGORIA Y SISTEMA ESTRUCTURAL**

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse empleando el sistema estructural que se indica en la tabla N° 6 y respetando las restricciones a la irregularidad de la tabla N° 10. ⁷⁹

Para una edificación destinada a AULAS le corresponde una CATEGORIA DE EDIFICACIÓN "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y como la zona donde se ubica el proyecto es la ZONA 3 (Distrito: Huancavelica), entonces según esto y de acuerdo a la tabla N° 6 ⁸⁰ (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño

⁷⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/3.2 Sistemas Estructurales/Acápite 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado, (Página 576298).

⁷⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

⁸⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

Sismorresistente) se describe el empleo de un sistema estructural:
SISTEMA DUAL.

- **SISTEMA ESTRUCTURAL Y COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R_o)**

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla N° 7.⁸¹

La edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) de interés en el presente trabajo de investigación en la dirección "X" está formado por un **SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL**, donde las acciones sísmicas serán resistidas por los pórticos y muros estructurales que lo conforman, entonces según esto y de acuerdo a la Tabla N° 7 (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente), el Coeficiente Básico de Reducción R_o es igual a 7.

$$\text{Coeficiente Básico de Reducción, } R_o = 7$$

- **REGULARIDAD ESTRUCTURAL**

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares para los fines siguientes:

- ✓ Cumplir las restricciones de la Tabla N° 10.
- ✓ Establecer los procedimientos de análisis.
- ✓ Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

ESTRUCTURAS REGULARES son las que en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

En estos casos, el factor I_a o I_p será igual a 1.0.⁸²

La configuración estructural del pórtico para el análisis del presente trabajo de investigación, es una configuración regular, porque no tiene

⁸¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas/Tabla N°7, (Página 576299).
⁸²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.5 Regularidad Estructural, (Página 576299).

discontinuidades significativas tanto en planta como en elevación en su configuración estructural.

CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL: REGULAR

Por lo tanto:

$$I_a = 1.0$$

$$I_p = 1.0$$

- **COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R)**

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determina como el producto del coeficiente R_o determinado a partir de la Tabla N° 7 y de los factores I_a , I_p obtenidos de las Tablas N° 8 y N° 9.

$$R = R_o * I_a * I_p \quad 83$$

Por lo tanto:

$$R = 7 * 1.0 * 1.0$$

$$R = 7$$

Entonces para la DIRECCIÓN "X" será:

$$R_x = 7$$

FINALMENTE: La aceleración espectral para la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{(Z * U * C * S)}{R} g$$

Entonces:

$$S_a = \frac{(Z * U * C * S)}{R} g = \frac{(0.35 * 1.5 * 2.5 * 1.20)}{7} 9.81 \text{ m/s}^2$$

⁸³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.8 Coeficiente de Reducción de la Fuerzas Sísmicas, (Página 576300).

$$S_a = \left(\frac{22.5}{100}\right) 9.81 \text{ m/s}^2 = 2.2072 \text{ m/s}^2$$

$$S_a = 2.2072 \text{ m/s}^2$$

También:

$$S_a = 0.225 \text{ g}$$

PARA LA DIRECCIÓN "Y"

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por: ⁸⁴

$$S_a = \frac{(Z * U * C * S)}{R} \text{ g}$$

Para obtener la aceleración espectral se utilizó los siguientes parámetros.

- **FACTOR DE ZONA (Z)**

La Ubicación del proyecto de investigación se encuentra en el Departamento de Huancavelica, Provincia de Huancavelica y Distrito de Huancavelica y de acuerdo a la Zonificación sísmica a este Distrito le corresponde una ZONA 3, entonces:

$$\text{Zona 3} \rightarrow Z = 0.35 \text{ g} \text{ }^{85}$$

- **PARAMETROS DE SITIO (S, T_p y T_L)**

Como según el Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación el suelo de fundación del proyecto es un SUELO FLEXIBLE y de acuerdo al RNE Norma Técnica Peruana E.030 (Diseño Sismorresistente) éste suelo es del tipo S₃ Suelos blandos.

$$\text{Suelo Flexible} \rightarrow \text{Perfil Tipo S}_3: \text{ Suelos Blandos} \text{ }^{86}$$

⁸⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral /Acápite 4.6.2 Aceleración Espectral, (Página 576302).

⁸⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.1 Zonificación /Tabla N°1, (Página 576295).

⁸⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/2.3 Condiciones Geotécnicas/2.3.1 Perfiles de Suelo/Acápite d, (Página 576296).

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S):

De acuerdo a la zonificación sísmica al lugar del proyecto de investigación se le asigna la ZONA 3 y como el suelo de fundación es del TIPO S_3 (Suelos Blandos), entonces de acuerdo al RNE Norma Técnica Peruana E.030 (Diseño Sismorresistente) Tabla N° 3, el Factor de amplificación del suelo (S) es 1.20.

Zona 3 y Perfil Tipo S_3 : (Suelos Blandos) $\rightarrow S = 1.20$ ⁸⁷

PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_p)

Para un Perfil Tipo $S_3 \rightarrow T_p = 1.0 \text{ seg}$ ⁸⁸

PERIODO QUE DEFINE EL INICIO DE LA ZONA DEL FACTOR C CON DESPLAZAMIENTO CONSTANTE (T_L)

Para un Perfil Tipo $S_3 \rightarrow T_L = 1.6 \text{ seg}$ ⁸⁹

- FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C):

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$$

T es el periodo de acuerdo al numeral 4.5.4, concordado con el numeral 4.6.1. ⁹⁰

⁸⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápito 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°3, (Página 576297).

⁸⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápito 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

⁸⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápito 2.4 Parámetros de Sitio/Tabla N°4, (Página 576297).

⁹⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápito 2.5 Factor de Amplificación Sísmica, (Página 576297).

Como:

Período Fundamental de Vibración

El periodo fundamental de Vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad 91$$

Como, la edificación considerada tiene una altura en todos los niveles de 3.15 m, entonces:

$$h_n = 3.15 + 4 * 3.15 = 15.75 \text{ m} : \text{Altura total de la edificación en metros.}$$

También la estructura considerada para el análisis constituye un SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES de concreto en la dirección "Y", entonces:

$C_T = 60$: para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.⁹²

Consideraremos para

Dirección Y: $C_T = 60$.

Entonces:

$$\checkmark T_y = \frac{h_n}{C_T} = \frac{15.75}{60} = 0.2625$$

$$\text{DIRECCIÓN Y: } T_y = 0.2625 \text{ seg}$$

Luego:

PARA LA DIRECCIÓN Y

$$T < T_p ; \quad 0.2625 \text{ seg} < 1.0 \text{ seg}$$

⁹¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301).

⁹²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301).

Entonces:

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5 \quad 93$$

$$\text{DIRECCIÓN Y: } C_y = 2.5$$

- FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)

El uso del edificio es para AULAS y según la N.T.P. E. 030 (Diseño Sismorresistente) Tabla N° 5, para edificaciones destinadas para Instituciones Educativas le corresponde una CATEGORÍA "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y un Factor de uso e importancia $U = 1.5$.

94

Instituciones Educativas (Edificaciones Esenciales:
CATEGORIA "A") →

$$U = 1.5$$

- SISTEMA ESTRUCTURAL

ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

Todos los elementos de concreto armado que forman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el capítulo 21 "Disposiciones especiales para el diseño sísmico" de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

Muros estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos

⁹³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 2: Peligro Sísmico/Acápite 2.5 Factor de Amplificación Sísmica, (Página 576297).

⁹⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso/Tabla N°5, (Página 576297).

deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base. ⁹⁵

De acuerdo a verificaciones de esta Normatividad (porcentaje que toma columnas y muros del cortante total en la base de la edificación), la edificación tiene los siguientes sistemas estructurales:

- ✓ **EN LA DIRECCIÓN "X"**
SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL (CONFORMADO POR PÓRTICOS Y MUROS ESTRUCTURALES)
- ✓ **EN LA DIRECCIÓN "Y"**
SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES

- **CATEGORIA Y SISTEMA ESTRUCTURAL**

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse empleando el sistema estructural que se indica en la tabla N° 6 y respetando las restricciones a la irregularidad de la tabla N° 10. ⁹⁶

Para una edificación destinada a AULAS le corresponde una CATEGORIA DE EDIFICACIÓN "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES y como la zona donde se ubica el proyecto es la ZONA 3 (Distrito: Huancavelica), entonces según esto y de acuerdo a la tabla N° 6 ⁹⁷ (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente) se describe el empleo de un sistema estructural: SISTEMA DUAL.

⁹⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/3.2 Sistemas Estructurales/Acápite 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado, (Página 576298).

⁹⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

⁹⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales/Tabla N°6, (Página 576298).

- **SISTEMA ESTRUCTURAL Y COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R_o)**

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla N° 7. ⁹⁸

La edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) de interés en el presente trabajo de investigación en la dirección "Y" está formado por un **SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES**, donde las acciones sísmicas serán resistidas por los muros estructurales que lo conforman, entonces según esto y de acuerdo a la Tabla N° 7 (Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente), el Coeficiente Básico de Reducción R_o es igual a 6.

$$\text{Coeficiente Básico de Reducción, } R_o = 6$$

- **REGULARIDAD ESTRUCTURAL**

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares para los fines siguientes:

- ✓ Cumplir las restricciones de la Tabla N° 10.
- ✓ Establecer los procedimientos de análisis.
- ✓ Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

ESTRUCTURAS REGULARES son las que en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

En estos casos, el factor I_a o I_p será igual a 1.0. ⁹⁹

La configuración estructural del pórtico para el análisis del presente trabajo de investigación, es una configuración regular, porque no tiene discontinuidades significativas tanto en planta como en elevación en su configuración estructural.

⁹⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas/Tabla N°7, (Página 576299).

⁹⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.5 Regularidad Estructural, (Página 576299).

CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL: REGULAR

Por lo tanto:

$$I_a = 1.0$$

$$I_p = 1.0$$

- **COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R)**

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determina como el producto del coeficiente R_o determinado a partir de la Tabla N° 7 y de los factores I_a , I_p obtenidos de las Tablas N° 8 y N° 9.

$$R = R_o * I_a * I_p^{100}$$

Por lo tanto:

$$R = 6 * 1.0 * 1.0$$

$$R = 6$$

Entonces para la DIRECCIÓN "Y" será:

$$R_y = 6$$

FINALMENTE: La aceleración espectral para la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{(Z * U * C * S)}{R} g$$

Entonces:

$$S_a = \frac{(Z * U * C * S)}{R} g = \frac{(0.35 * 1.5 * 2.5 * 1.20)}{6} 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$S_a = \left(\frac{26.25}{100}\right) 9.81 \text{ m/s}^2 = 2.5751 \text{ m/s}^2$$

$$S_a = 2.5751 \text{ m/s}^2$$

También:

$$S_a = 0.2625 g$$

¹⁰⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"), edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápito 3.8 Coeficiente de Reducción de la Fuerzas Sísmicas, (Página 576300).

4.1.7. DISEÑO DEL ESPECTRO DE ACELERACIONES PARA LAS DIRECCIONES X, Y

Como el valor de R en las direcciones X e Y es.

$$R_x = 7$$

$$R_y = 6$$

Entonces se tendrá espectro de aceleraciones distintas para las direcciones X e Y respectivamente dada por la siguiente formula agrupada convenientemente:

$$S_a = \left(\frac{Z * U * S}{R} \right) * C$$

Para obtener el espectro de aceleraciones se utilizó los siguientes parámetros calculados anteriormente.

- FACTOR DE ZONA (Z)

$$\text{Zona 3} \rightarrow Z = 0.35 \text{ g}$$

- PARAMETROS DE SITIO (S, T_p y T_L)

Suelo Flexible → Perfil Tipo S₃: Suelos Blandos

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S):

Zona 3 y Perfil Tipo S₃: (Suelos Blandos) → S = 1.20

- FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)

Instituciones Educativas (Edificaciones Esenciales:

CATEGORIA "A") →

$$U = 1.5$$

- COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R)

$$R_x = 7$$

$$R_y = 6$$

FINALMENTE: el espectro de aceleraciones, se determinará por la siguiente expresión:

PARA LA DIRECCIÓN "X"

$$S_a = \left(\frac{Z * U * S}{R} \right) * C$$

$$S_a = \left(\frac{0.35 * 1.5 * 1.20}{7} \right) * C$$

$$S_a = (0.09) * C$$

Donde C se calculará considerando lo siguiente:

$$T < T_p = 1.0 \text{ seg} \rightarrow C = 2.5$$

$$T_p = 1.0 \text{ seg} < T < T_L = 1.6 \text{ seg} \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

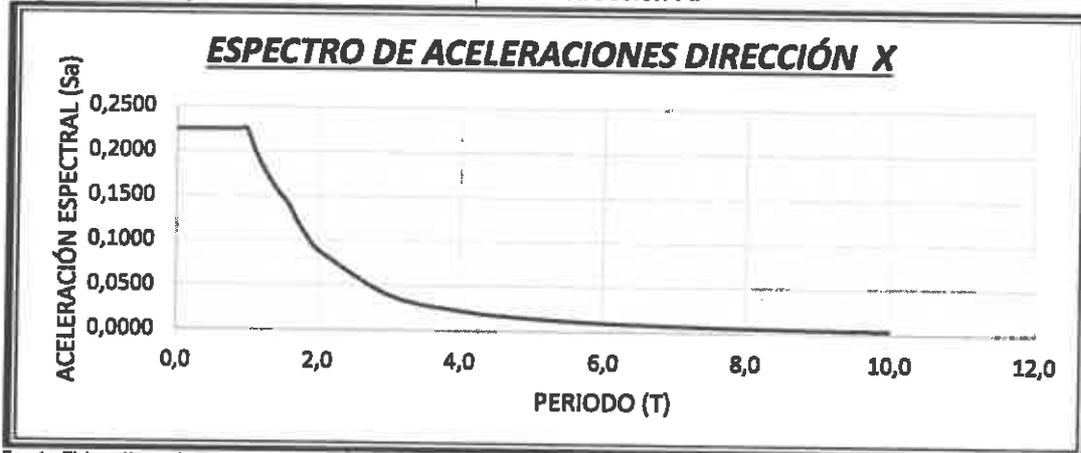
$$T > T_L = 1.6 \text{ seg} \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$$

TABLA 010. Diseño del espectro de aceleraciones para la dirección X.

	T	C	Sa
$T \leq 1.0 \text{ seg}$ $\rightarrow C = 2.5$	0.0	2.500	0.2250
	0.1	2.500	0.2250
	0.2	2.500	0.2250
	0.2525	2.500	0.2250
	0.3	2.500	0.2250
	0.4	2.500	0.2250
	0.5	2.500	0.2250
	0.6	2.500	0.2250
	0.7	2.500	0.2250
	0.8	2.500	0.2250
	0.9	2.500	0.2250
	1.0	2.500	0.2250
$1.0 \text{ seg} < T \leq 1.6 \text{ seg}$ $\rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right)$	1.1	2.273	0.2045
	1.2	2.083	0.1875
	1.3	1.923	0.1731
	1.4	1.786	0.1607
	1.5	1.667	0.1500
	1.6	1.563	0.1406
$T > 1.6 \text{ seg}$ $\rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P * T_L}{T^2} \right)$	1.7	1.384	0.1246
	1.8	1.235	0.1111
	1.9	1.108	0.0997
	2.0	1.000	0.0900
	3.0	0.444	0.0400
	4.0	0.250	0.0225
	5.0	0.160	0.0144
	6.0	0.111	0.0100
	7.0	0.082	0.0073
	8.0	0.063	0.0056
	9.0	0.049	0.0044
	10.0	0.040	0.0036

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

Figura 016. Espectro de aceleraciones para la dirección X.



Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

PARA LA DIRECCIÓN "Y"

$$S_a = \left(\frac{Z * U * S}{R} \right) * C$$

$$S_a = \left(\frac{0.35 * 1.5 * 1.20}{6} \right) * C$$

$$S_a = (0.105) * C$$

Donde C se calculará considerando lo siguiente:

$$T < T_p = 1.0 \text{ seg} \rightarrow C = 2.5$$

$$T_p = 1.0 \text{ seg} < T < T_L = 1.6 \text{ seg} \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L = 1.6 \text{ seg} \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$$

TABLA 011. Diseño del espectro de aceleraciones para la dirección Y.

	T	C	Sa
$T \leq 1.0 \text{ seg}$ $\rightarrow C = 2.5$	0.0	2.500	0.2625
	0.1	2.500	0.2625
	0.2	2.500	0.2625
	0.2625	2.500	0.2625
	0.3	2.500	0.2625
	0.4	2.500	0.2625
	0.5	2.500	0.2625
	0.6	2.500	0.2625
	0.7	2.500	0.2625
	0.8	2.500	0.2625
	0.9	2.500	0.2625
$1.0 \text{ seg} < T \leq 1.6 \text{ seg}$ $\rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right)$	1.0	2.500	0.2625
	1.1	2.273	0.2386
	1.2	2.083	0.2188
	1.3	1.923	0.2019
	1.4	1.786	0.1875
	1.5	1.667	0.1750
	1.6	1.563	0.1641
$T > 1.6 \text{ seg}$ $\rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P * T_L}{T^2} \right)$	1.7	1.384	0.1453
	1.8	1.235	0.1296
	1.9	1.108	0.1163
	2.0	1.000	0.1050
	3.0	0.444	0.0467
	4.0	0.250	0.0263
	5.0	0.160	0.0168
	6.0	0.111	0.0117
	7.0	0.082	0.0086
	8.0	0.063	0.0066
	9.0	0.049	0.0052
	10.0	0.040	0.0042

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

Figura 017. Espectro de aceleraciones para la dirección Y.



4.1.8. CONFIGURACIÓN DE LA EDIFICACIÓN CON EL PROGRAMA ETABS PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO - DINÁMICO

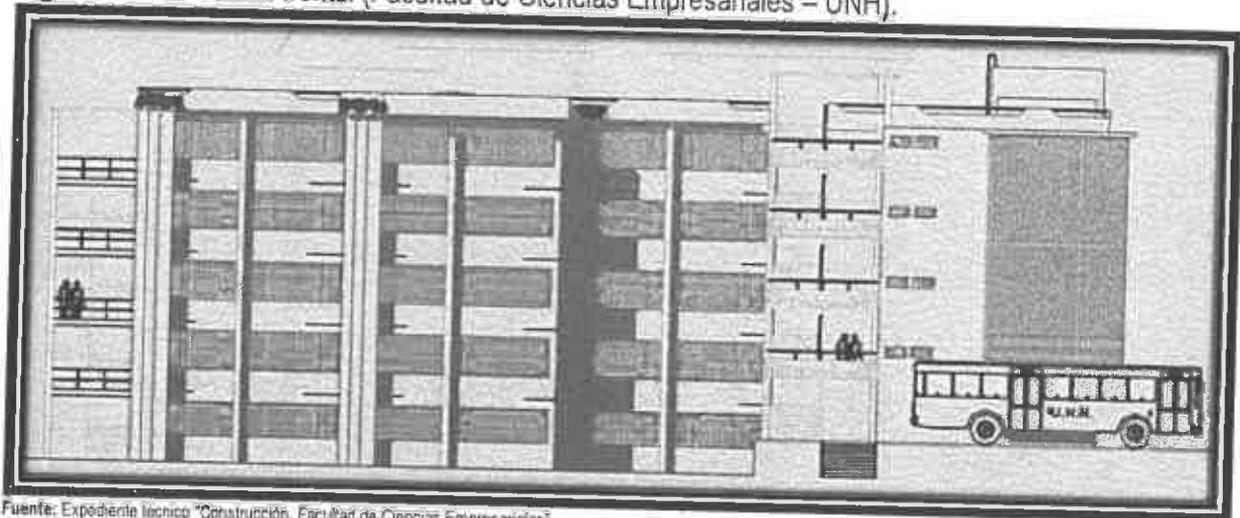
4.1.8.1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Se consideró en el presente trabajo de investigación una estructura existente "Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica" la cual es una estructura regular y tiene un uso para centros de educación (aulas) ubicado en el Distrito Huancavelica (Ciudad Universitaria - Paturpampa), de la Provincia y Departamento de Huancavelica, constituido por un semi - sótano y 4 niveles, con un área total de 1345.00 m² y un área construida de 1115.00 m².

La estructura predominante principal resistente a las fuerzas laterales está constituida por pórticos y muros estructurales. La altura del semi - sótano y de los diferentes niveles según los planos de arquitectura es de 3.15 m.

El sistema estructural para la edificación es un sistema dual (conformado por pórticos y muros estructurales) en la dirección X y un sistema de muros estructurales en la dirección Y.

Figura 018. Elevación frontal (Facultad de Ciencias Empresariales – UNH).



Fuente: Expediente técnico "Construcción, Facultad de Ciencias Empresariales".

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA A PORTICADA DE 4 NIVELES CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS

- ✓ USO : AULAS
- ✓ UBICACIÓN : CIUDAD UNIVERSITARIA – PATURPAMPA
- ✓ PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES SE CONSIDERÓ UN MATERIAL HOMOGÉNEO E ISOTRÓPICO.

PROPIEDADES DEL CONCRETO

- ✓ RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN (f'_c)
 $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \cong 2100 \text{ t/m}^2$
- ✓ PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO (w)
El peso volumétrico del concreto: $w = 2.4 \text{ t/m}^3$
 $w = 2400 \text{ kg/m}^3$
- ✓ MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c) PARA UN CONCRETO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $E_c = 15000\sqrt{210} = 217370.6 \text{ kg/cm}^2$
 $E_c = 2173706 \text{ t/m}^2$
 $1 \text{ kg/cm}^2 \cong 0.01 \text{ kg/mm}^2$
 $E_c = 2173.706 \text{ kg/mm}^2$

- ✓ RELACIÓN DE POISSON (μ_c):
 $\mu_c = 0.18$.
- ✓ COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA (α)
Considere por defecto el valor del programa ETABS.
- ✓ MODULO DE ELASTICIDAD POR CORTANTE (G)
El programa lo calculará automáticamente mediante los valores ingresados de E_c , μ_c .

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

- ✓ TIPO DE SUELO (Suelo flexible) : SUELO BLANDO S₃

CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS

- ✓ FACTOR DE ZONA (Z): 0.35 g (Distrito Huancavelica - ZONA 3)
- ✓ FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S): 1.20.
- ✓ PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_p): 1.0 seg.
- ✓ PERIODO QUE DEFINE EL INICIO DE LA ZONA DEL FACTOR C CON DESPLAZAMIENTO CONSTANTE (T_L): 1.6 seg.

CARGA MUERTA

- ✓ P. Aligerados: 420 kg/m².
- ✓ Acabados: 100 kg/m².

CARGA VIVA

- ✓ Sobrecarga S/C: 250 kg/m².

CARGA VIVA DE TECHO

- ✓ Sobrecarga S/C: 100 kg/m².

(VER ANEXO)

4.1.9. PROCEDIMIENTOS Y VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA

4.1.9.1. CÁLCULO DEL PESO SÍSMICO EFECTIVO DEL EDIFICIO

Para que el programa ETABS calcule el peso sísmico efectivo se deberá adicionar a la carga permanente de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobre carga, así como lo estipula el RNE E.030 (Diseño Sismorresistente), y esto de acuerdo al uso de la edificación.

Como el uso de la estructura es para INSTITUCIONES EDUCATIVAS y de acuerdo al Capítulo 3, numeral 3.1 (Categoría de las edificaciones y factor de uso (U)) y Tabla N° 5 ¹⁰¹ de la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, le corresponde una CATEGORÍA "A" de EDIFICACIONES ESENCIALES, Entonces para el metrado, para determinar el peso de la estructura por sismo, el porcentaje de sobrecarga que se consideró fue de un 50 % (ítem a). ¹⁰²

Porcentaje de la carga de techo considerado según la Normatividad. Según el (ítem d) ¹⁰³ de la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, para determinar el peso de la edificación se deberá adicionar a la carga permanente de la edificación un 25 % de la carga viva del techo.

Entonces para un uso de instituciones educativas el peso de la estructura para un análisis por sismo será:

$$P = (\text{Peso Propio} + CM) + 0.50 \text{ Live} + 0.25(\text{Carga Viva del techo Live Up})$$

Para que el programa considere estos requerimientos: un 100% de la carga permanente de la edificación más un 50% de la carga viva y

¹⁰¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones/Acápite 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso /Tabla N°5, (Página 576297).

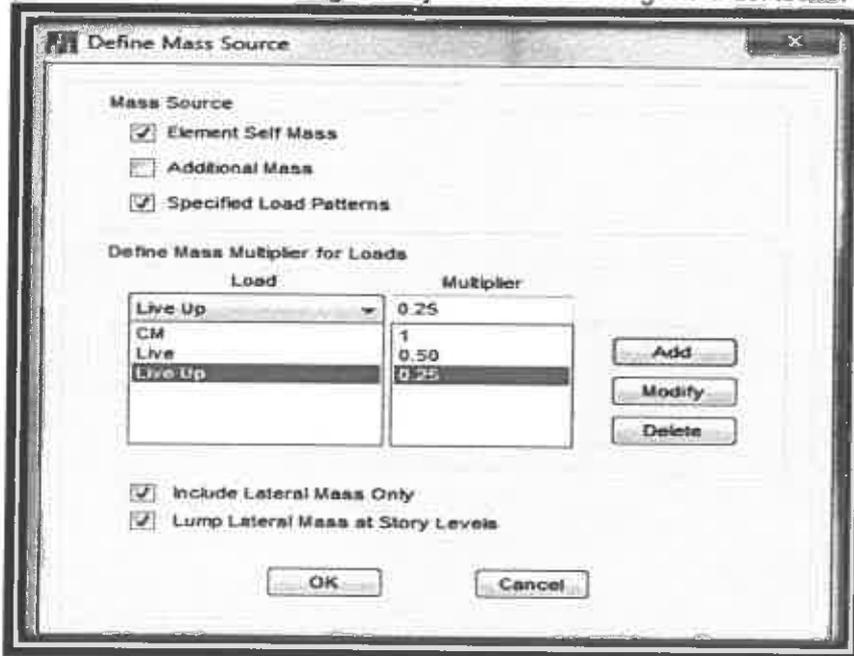
¹⁰²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/Acápite 4.3 Estimación de Peso, (Página 576301).

¹⁰³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/Acápite 4.3 Estimación de Peso, (Página 576301).

más un 25% de la carga viva del techo, de deberá realizar lo siguiente:

Hacemos un clic en el menú **Define**, luego seleccionamos la opción **Mass Source** y en el cuadro **Define Mass Source** realizamos la siguiente configuración:

Figura 019. Configuración del peso sísmico efectivo del edificio 100% de la carga permanente, 50% de la carga viva y un 25% de la carga viva del techo.



Una vez hecho que el programa corra con al análisis mediante el comando **Run Analysis** y para obtener los resultados nos dirigiremos hacia el cuadro **Model Explorer**, luego realizamos un clic en la pestaña **Tables**, hacemos un clic en **Analysis**, hacemos un clic en **Results**, luego un clic en **Structure Results** Y finalmente un clic en **Centers of Mass and Rigidity**.

Figura 020. Resultados del peso sísmico efectivo por niveles y el acumulado del edificio.

Story	Diaphragm	Mass X kg	Mass Y kg	XCM m	YCM m	Cumulative X kg	Cumulative Y kg
PISO 4	D1	70865.81	70865.81	15.1958	11.5671	70865.81	70865.81
PISO 3	D1	276071.51	276071.51	15.0434	11.5773	346937.32	346937.32
PISO 2	D1	274531.95	274531.95	14.9908	11.5808	621469.27	621469.27
PISO 1	D1	274531.95	274531.95	14.9908	11.5808	896001.22	896001.22
SEMI-SOTANO	D1	274531.95	274531.95	14.9908	11.5808	1170533.18	1170533.18

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

4.1.9.2. DETERMINANDO EL CORTANTE EN LA BASE DEL EDIFICIO PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO

A. DETERMINANDO EL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA EN LA DIRECCIÓN X, Y

Una vez hecho que el programa corra con el análisis mediante el comando **Run Analysis** y para obtener el periodo fundamental nos dirigiremos hacia el cuadro **Model Explorer**, luego realizamos un clic en la pestaña **Tables**, desplegamos **Analysis**, desplegamos **Results**, desplegamos **Modal Results** y finalmente hacemos un clic en **Modal Participating Mass Ratios**.

Figura 021. Periodo fundamental de la estructura en la dirección X, Y.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ
Modal	1	0.456	0.8246	0	0
Modal	2	0.138	0.1092	1.111E-06	0
Modal	3	0.084	7.858E-06	0.0867	0
Modal	4	0.075	0.0426	0.0001	0
Modal	5	0.07	1.353E-06	0.6712	0

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmicos con el Programa Etabs".

Entonces:

$$T_x = 0.456 \text{ seg.}$$

$$T_y = 0.138 \text{ seg.}$$

B. CALCULANDO EL COEFICIENTE "BASE SHEAR COEFFICIENT C" PARA LA DIRECCIÓN X

Utilizamos el valor del periodo fundamental "T" calculado previamente para calcular el factor de amplificación sísmica "C".

Datos:

- ✓ PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_p)

Para un Perfil Tipo $S_3 \rightarrow T_p = 1.0 \text{ seg}$

- ✓ PERIODO QUE DEFINE EL INICIO DE LA ZONA DEL FACTOR C CON DESPLAZAMIENTO CONSTANTE (T_L)

Para un Perfil Tipo $S_3 \rightarrow T_L = 1.6 \text{ seg}$

- ✓ PERIODO FUNDAMENTAL

$T_x = 0.456 \text{ seg}$

- ✓ FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C):

$T < T_p \quad C = 2.5$

$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$

$T > T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$

Entonces:

$T_x = 0.456 < T_p = 1.0 \rightarrow C_x = 2.5$

DIRECCIÓN X: $C_x = 2.5$

- ✓ FACTOR DE ZONA (Z)

Zona 3 $\rightarrow Z = 0.35 \text{ g}$

- ✓ FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S):

Zona 3 y Perfil Tipo S_3 : (Suelos Blandos) \rightarrow

$S = 1.20$

- ✓ FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)

Uso : Aulas

Instituciones Educativas

(Edificaciones Esenciales:) CATEGORIA "A"

$$U = 1.5$$

- ✓ COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R_o)

$$\text{Coeficiente Básico de Reducción, } R_o = 7$$

- ✓ COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R)

$$R = R_o * I_a * I_p$$

Como:

$$I_a = 1.0$$

$$I_p = 1.0$$

Por lo tanto:

$$R = 7 * 1.0 * 1.0$$

$$R = 7$$

Entonces para la dirección X será:

$$R_x = 7$$

FINALMENTE:

Se requiere que:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

Entonces:

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{7} = 0.357 \geq 0.125 \quad \text{OK}$$

Entonces:

$$C = \frac{(Z * U * C * S)}{R}$$

$$C = \frac{(0.35 * 1.5 * 2.5 * 1.20)}{7} = 0.225$$

EL COEFICIENTE "BASE SHEAR COEFFICIENT C"
PARA LA DIRECCIÓN X ES:

$$C_x = 0.225$$

C. CALCULANDO EL COEFICIENTE "BASE SHEAR COEFFICIENT C" PARA LA DIRECCIÓN Y

Utilizamos el valor del periodo fundamental "T" calculado previamente para calcular el factor de amplificación sísmica "C".

Datos:

- ✓ PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_p)

Para un Perfil Tipo $S_3 \rightarrow T_p = 1.0$ seg

- ✓ PERIODO QUE DEFINE EL INICIO DE LA ZONA DEL FACTOR C CON DESPLAZAMIENTO CONSTANTE (T_L)

Para un Perfil Tipo $S_3 \rightarrow T_L = 1.6$ seg

- ✓ PERIODO FUNDAMENTAL

$T_y = 0.138$ seg

- ✓ FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C):

$T < T_p \quad C = 2.5$

$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$

$T > T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$

Entonces:

$T_y = 0.138 < T_p = 1.0 \rightarrow C_y = 2.5$

DIRECCIÓN Y: $C_y = 2.5$

- ✓ FACTOR DE ZONA (Z)

Zona 3 $\rightarrow Z = 0.35$ g

- ✓ FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S):

Zona 3 y Perfil Tipo S_3 : (Suelos Blandos) \rightarrow

$S = 1.20$

- ✓ FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)

Uso : Aulas

Instituciones Educativas

(Edificaciones Esenciales:) CATEGORIA "A"

$$U = 1.5$$

- ✓ COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R_o)

$$\text{Coeficiente Básico de Reducción, } R_o = 6$$

- ✓ COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R)

$$R = R_o * I_a * I_p$$

Como:

$$I_a = 1.0$$

$$I_p = 1.0$$

Por lo tanto:

$$R = 6 * 1.0 * 1.0$$

$$R = 6$$

Entonces para la dirección Y será:

$$R_y = 6$$

FINALMENTE:

Se requiere que:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

Entonces:

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{6} = 0.417 \geq 0.125 \quad \text{OK}$$

Entonces:

$$C = \frac{(Z * U * C * S)}{R}$$

$$C = \frac{(0.35 * 1.5 * 2.5 * 1.20)}{6} = 0.2625$$

**EL COEFICIENTE "BASE SHEAR COEFFICIENT C"
PARA LA DIRECCIÓN Y ES:**

$$C_y = 0.2625$$

D. DEFINIENDO SISTEMAS DE CARGA SÍSMICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CORTANTE EN LA BASE

SISTEMA DE CARGA SÍSMICA "SISMO X+"

Para determinar el cortante en la base de la edificación, primero se definirá un sistema de carga sísmica (del tipo estático) para ello realizamos lo siguiente:

Hacemos un clic en el menú **Define** (definir), luego seleccionamos la opción **Load Patterns** (modelo de cargas).

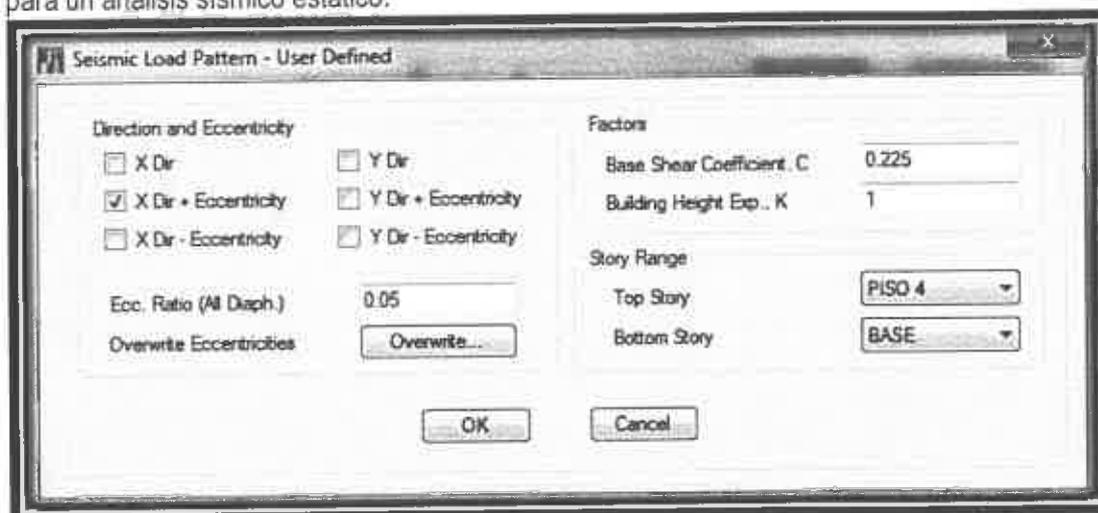
Una vez que se abra el cuadro **Define Load Patterns** realizamos lo siguiente:

Escribimos **SISMO X+** en **Load** (carga), en **Type** seleccione del botón desplegable **Seismic**, en **Self Weight Multiplier** digitar **0** esto para que no incluya el peso propio de los elementos y en **Auto Lateral Load** del botón desplegable seleccionar **User Coefficient**, para usar un coeficiente establecido previamente "**BASE SHEAR COEFFICIENT C**". Luego haga un clic en el botón **Add New Load** (adicionar nueva carga) y un clic en el botón **Modify Lateral Load** (esto para adicionar, modificar e introducir el coeficiente establecido previamente).

Finalmente se abrirá el cuadro **Seismic Load Pattern** y ahí realizamos la siguiente configuración e introducción del coeficiente para esto realizamos lo siguiente:

En **Factors** y en **Base Shear Coefficient, C** digitamos el valor del coeficiente calculado previamente "**BASE SHEAR COEFFICIENT C**" que es igual a: **0.2250**, lo demás lo configuramos como se muestra en el cuadro y luego hacemos un clic en el botón **OK**.

Figura 022. Introducción del coeficiente "BASE SHEAR COEFFICIENT C" calculado previamente, para el cálculo de cortante en la base de la edificación en la dirección X esto para un análisis sísmico estático.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

SISTEMA DE CARGA SÍSMICA "SISMO Y+"

Para determinar el cortante en la base de la edificación, primero se definirá un sistema de carga sísmica (del tipo estático) para ello realizamos lo siguiente:

Hacemos un clic en el menú **Define (definir)**, luego seleccionamos la opción **Load Patterns (modelo de cargas)**.

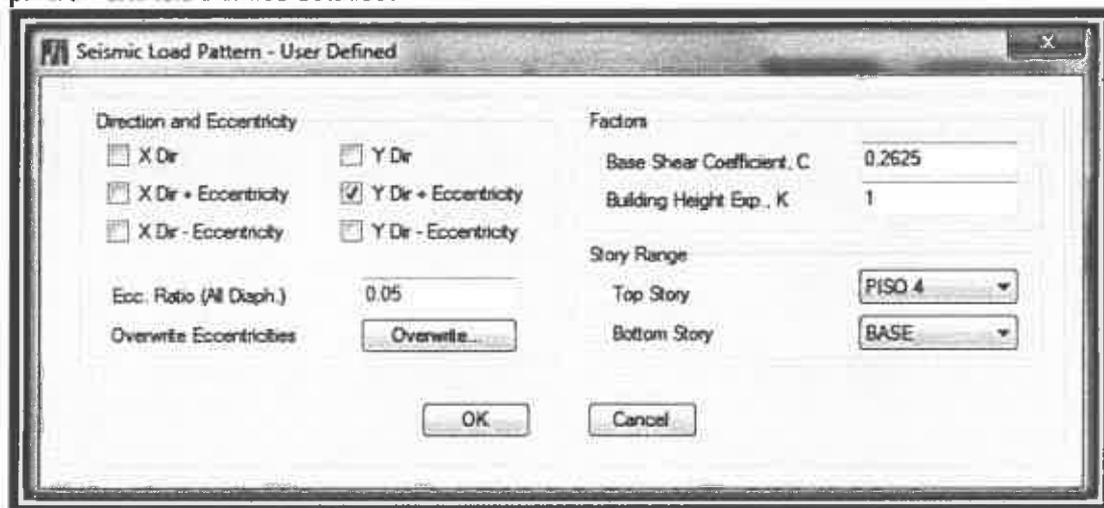
Una vez que se abra el cuadro **Define Load Patterns** realizamos lo siguiente:

Escribimos **SISMO Y+** en **Load (carga)**, en **Type** seleccione del botón desplegable **Seismic**, en **Self Weight Multiplier** digitar 0 esto para que no incluya el peso propio de los elementos y en **Auto Lateral Load** del botón desplegable seleccionar **User Coefficient**, para usar un coeficiente establecido previamente "**BASE SHEAR COEFFICIENT C**". Luego haga un clic en el botón **Add New Load (adicionar nueva carga)** y un clic en el botón **Modify Lateral Load** (esto para adicionar, modificar e introducir el coeficiente establecido previamente).

Finalmente se abrirá el cuadro **Seismic Load Pattern** y ahí realizamos la siguiente configuración e introducción del coeficiente para esto realizamos lo siguiente:

En **Factors** y en **Base Shear Coefficient, C** digitamos el valor del coeficiente calculado previamente "**BASE SHEAR COEFFICIENT C**" que es igual a: 0.2625, lo demás lo configuramos como se muestra en el cuadro y luego hacemos un clic en el botón **OK**.

Figura 023. Introducción del coeficiente "BASE SHEAR COEFFICIENT C" calculado previamente, para el cálculo de cortante en la base de la edificación en la dirección Y esto para un análisis sísmico estático.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Una vez hecho que el programa corra el análisis con el comando **Run Analysis**, para ver el resultado del cortante estático en la base de la edificación calculado por el programa realizamos lo siguiente:

En el cuadro **Model Explorer** hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego desplegamos **Model**, desplegamos **Loads** y hacemos un clic en **Auto Seismic – User Coefficients**.

Figura 024. Resultado, fuerza cortante en la base de la edificación para un análisis estático en las direcciones X e Y, tras haber introducido un coeficiente de cortante y considerado la excentricidad accidental del 5 % como lo requiere el RNE E. 030.

Load Pattern	Type	Direction	Eccentricity	Ecc. Override	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used	Base Shear
SEISM X	Seismic	X + Ecc Y	5		PSD 4	BASE	0.225	1	1178.532	263.37
SEISM Y	Seismic	Y + Ecc X	5		PSD 4	BASE	0.225	1	1178.532	307.265

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Entonces el cortante estático en la base para la dirección "X" será:

$$V_x = 263.37 \text{ ton}$$

Entonces el cortante estático en la base para la dirección "Y" será:

$$V_y = 307.265 \text{ ton}$$

TABLA 012. Comparación del cortante en la base de la edificación, calculado manualmente y con el uso del programa Etabs.

CONTRASTANDO RESULTADOS DEL CORTANTE ESTÁTICO CALCULADO	
MANUALMENTE	CON EL PROGRAMA ETABS
$V_x = 263.3699 \text{ ton}$ $V_y = 307.2649 \text{ ton}$	$V_x = 263.370 \text{ ton}$ $V_y = 307.265 \text{ ton}$

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Teale".

Como se puede observar si al resultado del cortante estático calculado manualmente según el Reglamento Nacional de edificaciones E.030 (diseño sismorresistente) se le redondea con una aproximación de milésimas los resultados son iguales al calculado mediante el uso del programa Etabs y esto se cumple para ambas direcciones.

4.1.9.3. CALCULO DEL CORTANTE DINAMICO SEGÚN LA INTRODUCCIÓN DE UN ESPECTRO DE DISEÑO

A. GENERANDO EL ESPECTRO DE ACELERACIONES EN ETABS

Primero, los datos del espectro de aceleraciones se deberán guardar en un BLOC DE NOTAS donde estos deberán tener el siguiente formato:

Figura 025. Datos del espectro de diseño (espectro de aceleraciones) en la dirección X para su uso con el programa Etabs.

Periodo (s)	Aceleración (g)
0.0	0.2250
0.1	0.2250
0.2	0.2250
0.3	0.2250
0.4	0.2250
0.5	0.2250
0.6	0.2250
0.7	0.2250
0.8	0.2250
0.9	0.2250
1.0	0.2250
1.1	0.2045
1.2	0.1875
1.3	0.1731
1.4	0.1607
1.5	0.1500
1.6	0.1408
1.7	0.1328
1.8	0.1111
1.9	0.0997
2.0	0.0900
2.5	0.0400
3.0	0.0225
4.0	0.0144
5.0	0.0100
6.0	0.0072
7.0	0.0056
8.0	0.0044
9.0	0.0036

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Figura 026. Datos del espectro de diseño (espectro de aceleraciones) en la dirección Y para su uso con el programa Etabs.

Periodo (s)	Aceleración (g)
0.0	0.6667
0.1	0.6667
0.2	0.6667
0.3	0.6667
0.4	0.6667
0.5	0.6667
0.6	0.6667
0.7	0.6667
0.8	0.6667
0.9	0.6667
1.0	0.6667
1.1	0.6667
1.2	0.6667
1.3	0.6667
1.4	0.6667
1.5	0.6667
1.6	0.6667
1.7	0.6667
1.8	0.6667
1.9	0.6667
2.0	0.6667
2.5	0.6667
3.0	0.6667
4.0	0.6667
5.0	0.6667
6.0	0.6667
7.0	0.6667
8.0	0.6667
9.0	0.6667

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

PARA LA DIRECCIÓN X

Para cargar en el programa Etabs el espectro de diseño (espectro de aceleraciones) definido anteriormente realizamos lo siguiente:

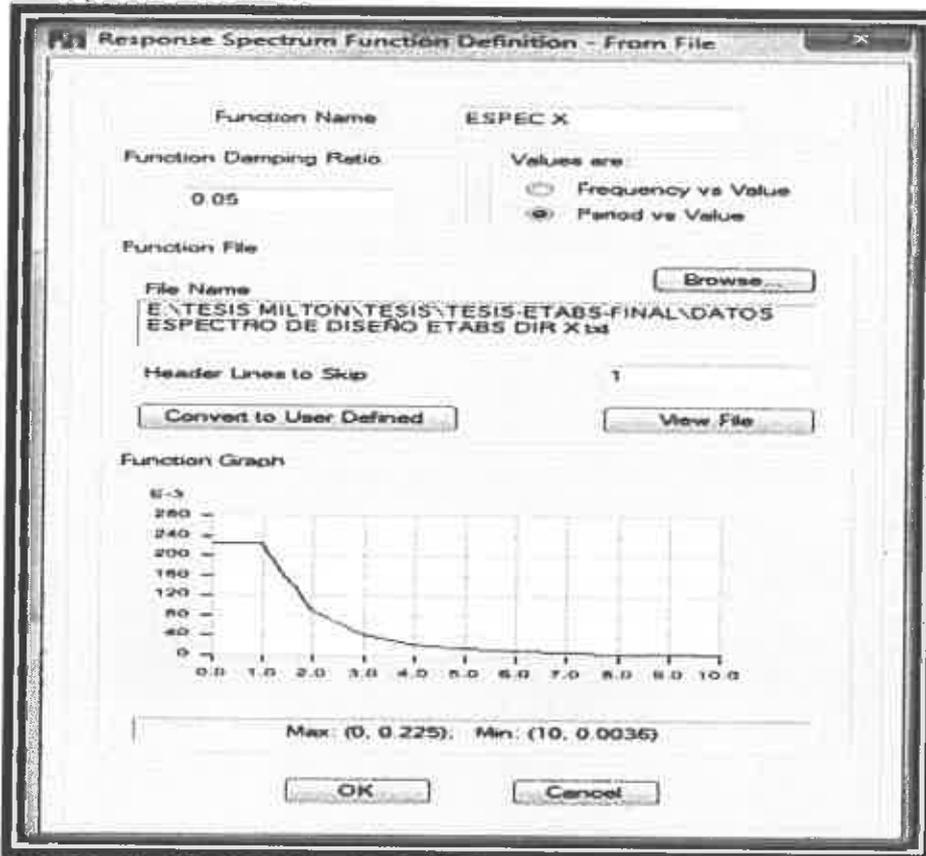
Haga un clic en el menú **Define (definir)**, seleccione la opción **Functions** y luego seleccione **Response Spectrum**. En el cuadro **Define Response Spectrum Functions** y en **Choose Function Type to Add** hacer un clic en el botón desplegable y seleccionar **From File**, luego haga un clic en el botón **Add New Function**.

Esto nos permitirá abrir el cuadro **Response Spectrum Function Definition** y aquí en **Function Name** escribimos el nombre del espectro de aceleraciones por ejemplo **ESPEC X**, en **Values are:** active el botón **Period vs Value**, para que el programa lea a partir de la segunda fila del archivo de texto txt (**DATOS ESPECTRO DE DISEÑO ETBS**), en **Header Lines to Skip** digitamos **1** y en **Function File** hacemos un clic en el botón **Browse** (esto para buscar el archivo que contiene los datos del espectro guardado previamente).

Para poder visualizar los archivos del tipo texto hacemos un clic en el botón **Data Files** y seleccionamos la opción **Text Files (*.txt)**, seleccionamos el nombre del archivo guardado previamente **"DATOS ESPECTRO DE DISEÑO ETABS DIR X"** (del tipo txt), luego hacemos un clic en el botón **Abrir**.

Y para que no exista problemas de lectura de datos al realizar el transporte del archivo generado por el programa de una computadora en otra, realizamos la conversión de estos datos en datos definidos haciendo un clic en **Convert to User Defined**, luego haga un clic en el botón **OK**.

Figura 027. Espectro de diseño (espectro de aceleraciones) cargado en el programa Etabs para la dirección X.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

PARA LA DIRECCIÓN Y

Para cargar en el programa Etabs el espectro de diseño (espectro de aceleraciones) definido anteriormente realizamos lo siguiente:

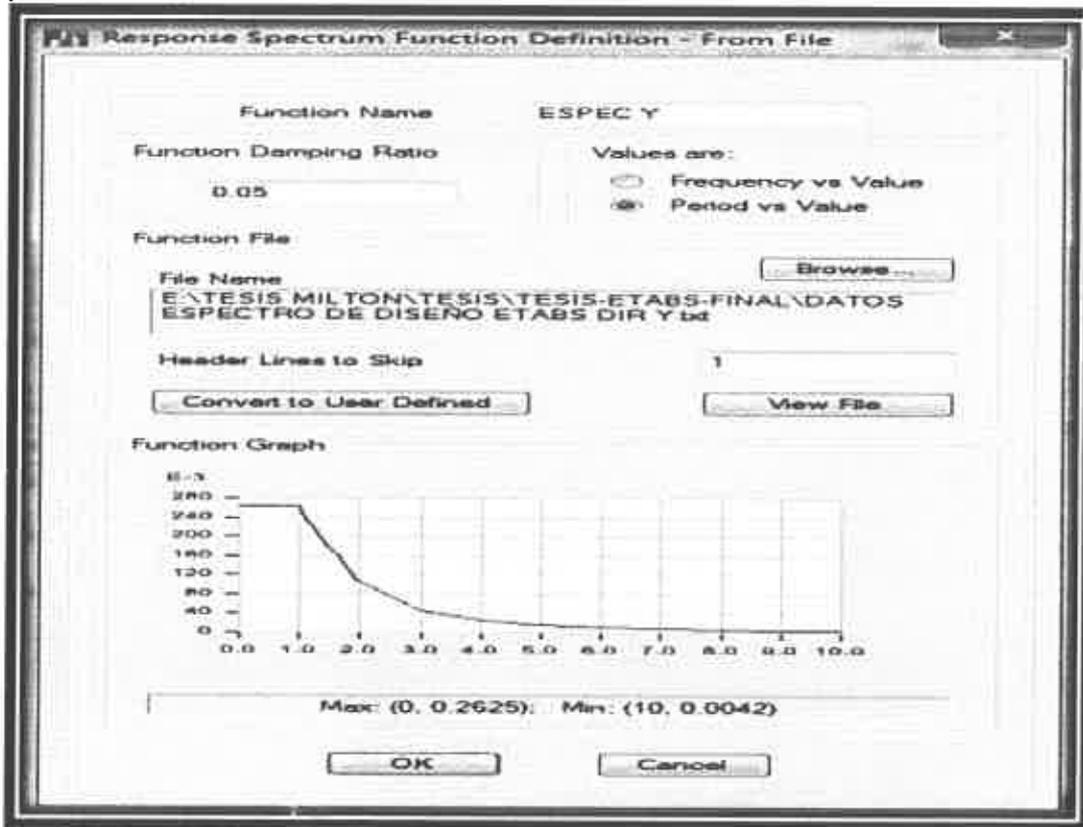
Haga un clic en el menú **Define (definir)**, seleccione la opción **Functions** y luego seleccione **Response Spectrum**. En el cuadro **Define Response Spectrum Functions** y en **Choose Function Type to Add** hacer un clic en el botón desplegable y seleccionar **From File**, luego haga un clic en el botón **Add New Function**.

Esto nos permitirá abrir el cuadro **Response Spectrum Function Definition** y aquí en **Function Name** escribimos el nombre del espectro de aceleraciones por ejemplo **ESPEC Y**, en **Values are:** active el botón **Period vs Value**, para que el programa lea a partir de la segunda fila del archivo de texto txt (**DATOS ESPECTRO DE DISEÑO ETBS**), en **Header Lines to Sklp** digitamos 1 y en **Function File** hacemos un clic en el botón **Browse** (esto para buscar el archivo que contiene los datos del espectro guardado previamente).

Para poder visualizar los archivos del tipo texto hacemos un clic en el botón **Data Files** y seleccionamos la opción **Text Files (*.txt)**, seleccionamos el nombre del archivo guardado previamente **"DATOS ESPECTRO DE DISEÑO ETABS DIR Y"** (del tipo txt), luego hacemos un clic en el botón **Abrir**.

Y para que no exista problemas de lectura de datos al realizar el transporte del archivo generado por el programa de una computadora en otra, realizamos la conversión de estos datos en datos definidos haciendo un clic en **Convert to User Defined**, luego haga un clic en el botón **OK**.

Figura 028. Espectro de diseño (espectro de aceleraciones) cargado en el programa Etabs para la dirección Y.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

B. CREANDO UN CASO DE CARGA DINÁMICO EQ X+

Para crear un caso de carga dinámico EQ X+ en la dirección X realizamos lo siguiente:

En la barra de menú hacemos un clic en el menú **Define** (definir), luego hacemos un clic en la opción **Load Cases...** (casos de carga).

En el cuadro **Load Cases** y en **Click to** hacemos un clic en el botón **Add New Case...**

En el cuadro **Load Case Data** (Datos de caso de carga), y en **Load Case Name** (Nombre del caso de carga) digite EQ X+, en **Load Case Type** (Tipo del caso de carga) hacer un clic en el botón desplegable y seleccionar **Response Spectrum**,

hacemos un clic en el botón **Add**. En **Loads Applied**, realizar lo siguiente:

- ✓ En **Load Type (Tipo de carga)**, verifique la condición **Acceleration**.
- ✓ En **Load Name (Nombre de la carga)**, del botón desplegable seleccione **U1**, por que para este caso la componente del sismo actúa en la dirección local **U1** del eje global **X** (horizontal).
- ✓ En **Function (Función)**, del botón desplegable seleccione la función **ESPEC X** (espectro de aceleraciones en la dirección **X** – cargada anteriormente).
- ✓ En **Scale Factor (Factor de escala)**, dejar el valor que asigna el programa que es **9806.65** que es el valor de la aceleración en **mm/s²**.

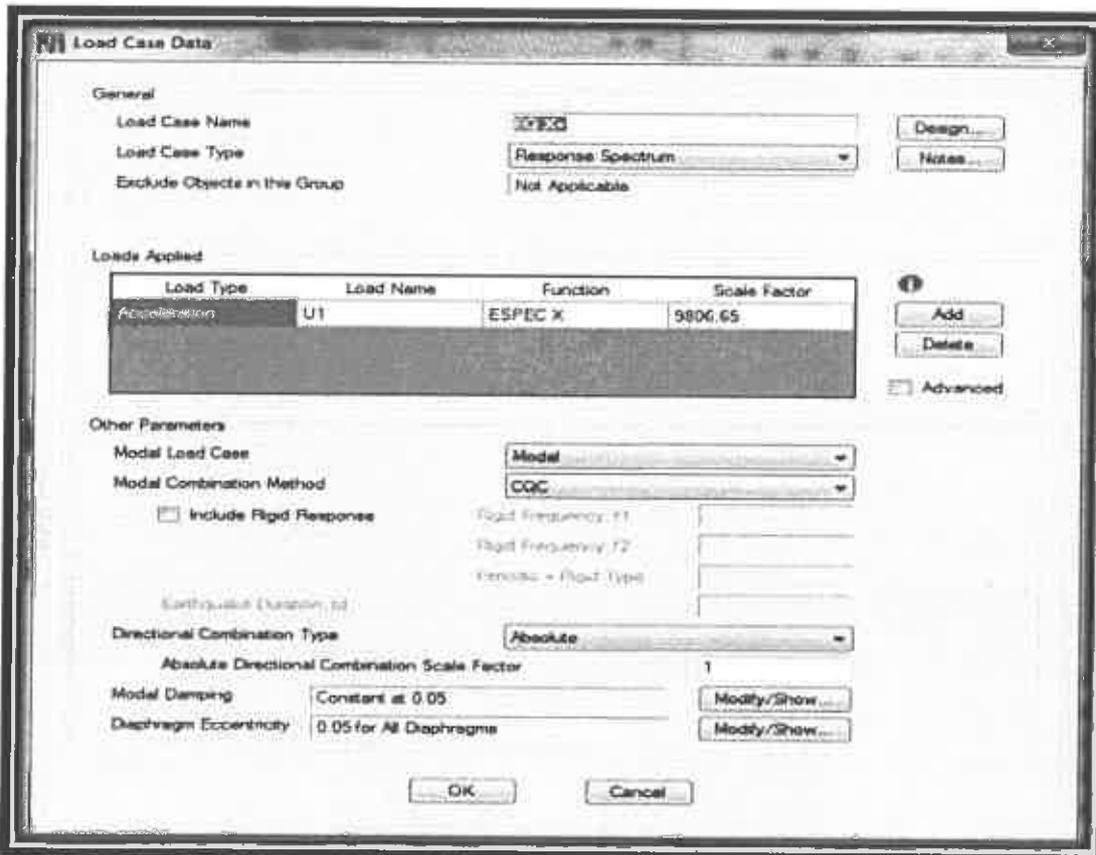
Nota: este valor lo dejamos porque, si revisamos el espectro de diseño realizado previamente, los valores de la aceleración no están multiplicados por el valor de la aceleración (como debe de ser correcto según la formula), por lo tanto, para realizar un correcto análisis este valor se debe de añadir en el programa.

LO DEMÁS TAL COMO ESTÁ CONFIGURADO EN LA FIGURA.

Para que el programa considere una excentricidad accidental de **0.05 (5%)** como lo requiere la Norma Técnica E.030, hacemos un clic en el botón **Modify/Show...**

Y el cuadro **Eccentricities** digitar **0.05**, luego haga un clic en el botón **OK** y finalmente luego haga un clic en el botón **OK**.

Figura 029. Creando, configurando un caso de carga dinámico de nombre EQ X+ en la dirección X y añadiendo una excentricidad accidental de 0.05 (5%) como lo requiere el RNE E. 030.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

C. CREANDO UN CASO DE CARGA DINÁMICO EQ Y+

Para crear un caso de carga dinámico EQ Y+ en la dirección Y realizamos lo siguiente:

En la barra de menú hacemos un clic en el menú **Define** (definir), luego hacemos un clic en la opción **Load Cases...** (casos de carga).

En el cuadro **Load Cases** y en **Click to** hacemos un clic en el botón **Add New Case...**

En el cuadro **Load Case Data** (Datos de caso de carga), y en **Load Case Name** (Nombre del caso de carga) digite EQ Y+, en **Load Case Type** (Tipo del caso de carga) hacer un clic en el botón desplegable y seleccionar **Response Spectrum**,

hacemos un clic en el botón **Add**. En **Loads Applied**, realizar lo siguiente:

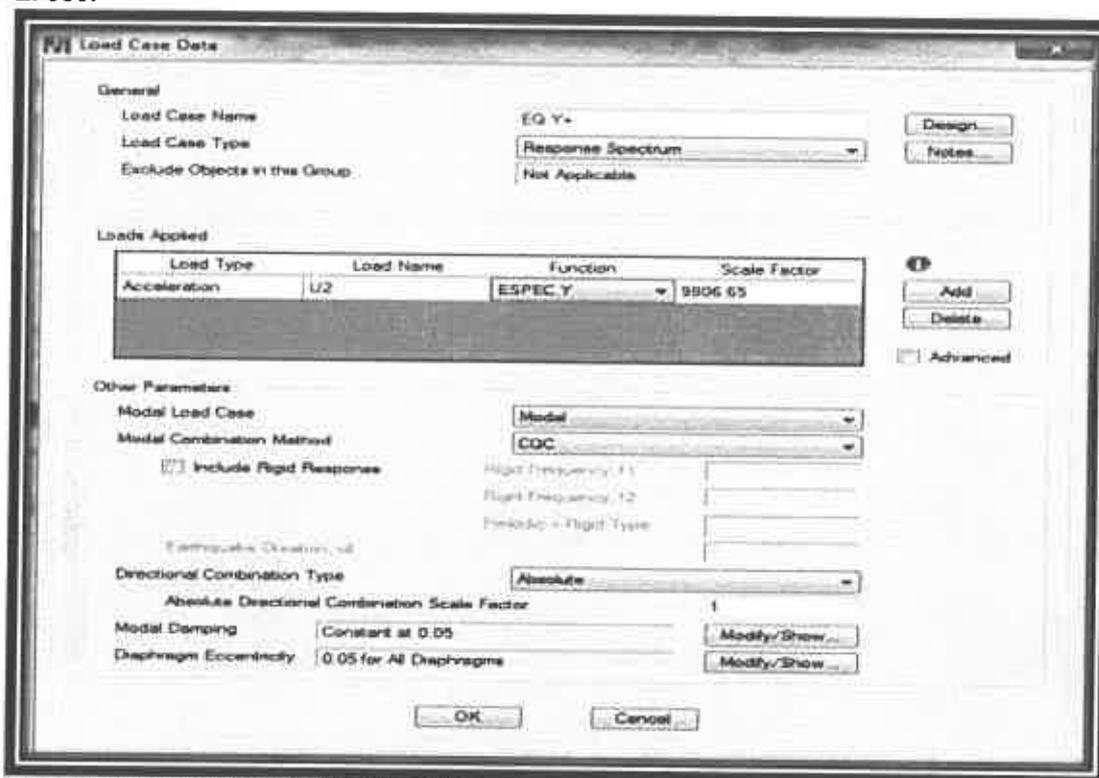
- ✓ En **Load Type (Tipo de carga)**, verifique la condición **Acceleration**.
- ✓ En **Load Name (Nombre de la carga)**, del botón desplegable seleccione **U2**, por que para este caso la componente del sismo actúa en la dirección local **U2** del eje global **Y** (horizontal).
- ✓ En **Function (Función)**, del botón desplegable seleccione la función **ESPEC Y** (espectro de aceleraciones en la dirección **Y** – cargada anteriormente).
- ✓ En **Scale Factor (Factor de escala)**, dejar el valor que asigna el programa que es **9806.65** que es el valor de la aceleración en **mm/s²**.

Nota: este valor lo dejamos porque, si revisamos el espectro de diseño realizado previamente, los valores de la aceleración no están multiplicados por el valor de la aceleración (como debe de ser correcto según la formula), por lo tanto, para realizar un correcto análisis este valor se debe de añadir en el programa.

LO DEMÁS TAL COMO ESTÁ CONFIGURADO EN LA FIGURA. Para que el programa considere una excentricidad accidentas de **0.05 (5%)** como lo requiere la Norma Técnica E.030, hacemos un clic en el botón **Modify/Show...**

Y el cuadro **Eccentricities** digitar **0.05**, luego haga un clic en el botón **OK** y finamente luego haga un clic en el botón **OK**.

Figura 030. Creando, configurando un caso de carga dinámico de nombre EQ Y+ en la dirección Y y añadiendo una excentricidad accidental de 0.05 (5%) como lo requiere el RNE E. 030.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

D. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO

Una vez hecho que el programa corra el análisis, para determinar el cortante dinámico se deberá realizar lo siguiente:

En el cuadro **Model Explorer** hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego hacemos un clic en **Analysis**, luego hacemos un clic en **Results**, luego hacemos un clic en **Structure Results** y seleccionamos **Story Forces**.

En la tabla **Story Forces** hacemos un clic derecho sobre el botón **Story** y seleccionamos **SEMI-SOTANO**, luego hacemos un clic derecho sobre el botón **Load Case/Combo** y seleccionamos **EQ X+ Max** y **EQ Y+ Max**, finalmente hacemos un clic derecho sobre el botón **Location** y seleccionamos **Bottom** (para que nos muestre la cortante en la base de la edificación).

Figura 031. Fuerza cortante dinámica en la base de la edificación para los casos de carga dinámicos EQ X+ y EQ Y+ en las direcciones X e Y.

Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf	T tonf-m	MX tonf-m	MY tonf-m
SEMI-SOTANO	EQ X+ Max	Bottom	0	219.6494	0.3141	2832.0245	3.3326	2198.4081
SEMI-SOTANO	EQ Y+ Max	Bottom	0	0.3654	221.7148	3382.9449	2266.0232	2.0633

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Entonces el cortante dinámico en la base de la edificación en las direcciones X e Y es:

$$V_x = 219.6494 \text{ ton}$$

$$V_y = 221.7148 \text{ ton}$$

4.1.9.4. VERIFICANDO LA FUERZA CORTANTE MÍNIMA REQUERIDA PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

A. PARA LA DIRECCIÓN "X"

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" /Capítulo 4: Análisis Estructural /4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral /Acápíte 4.6.4 Fuerza Cortante Mínima).

Fuerza Cortante Mínima

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares. ¹⁰⁴

¹⁰⁴DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral /Acápíte 4.6.4 Fuerza Cortante Mínima, (Página 576302).

Como la edificación en análisis (Facultad de Ciencias Empresariales) es una estructura regular, por lo tanto, la fuerza cortante en la base de la edificación calculada según el análisis sísmico dinámico, deberá ser mayor o igual que el 80 % de la fuerza cortante en la base calculada según el análisis sísmico estático.

Entonces como se puede observar en la tabla la fuerza cortante en la base de la edificación calculada según el análisis sísmico dinámico es un 83.399 % de la fuerza cortante en la base calculada según un análisis sísmico estático, por lo tanto, la edificación si cumple con este requisito estipulado por la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente).

TABLA 013. Fuerza cortante mínima requerida para un análisis sísmico dinámico según la Norma Técnica E.030 en la dirección X.

FUERZA CORTANTE	PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO	PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO	PORCENTAJE DE LA FUERZA CORTANTE DINÁMICA RESPECTO A LA FUERZA CORTANTE ESTÁTICA (%)	PORCENTAJE DE LA FUERZA CORTANTE DINÁMICA RESPECTO A LA FUERZA CORTANTE ESTÁTICA SEGÚN LA N. T. E.030
FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LA EDIFICACIÓN DIRECCIÓN X (Ton)	263.37	219.6494	83.399 %	MAYOR AL 80 % OK

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

B. PARA LA DIRECCIÓN "Y"

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" /Capítulo 4: Análisis Estructural /4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral /Acápito 4.6.4 Fuerza Cortante Mínima).

Fuerza Cortante Mínima

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el numeral 4.5 para

estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.¹⁰⁵

Como la edificación en análisis (Facultad de Ciencias Empresariales) es una estructura regular, por lo tanto, la fuerza cortante en la base de la edificación calculada según el análisis sísmico dinámico, deberá ser mayor o igual que el 80 % de la fuerza cortante en la base calculada según el análisis sísmico estático.

Entonces como se puede observar en la tabla la fuerza cortante en la base de la edificación calculada según el análisis sísmico dinámico es un 72.158 % de la fuerza cortante calculada según un análisis sísmico estático, por lo tanto, la edificación no cumple con este requisito estipulado por la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente).

TABLA 014. Fuerza cortante mínima requerida para un análisis sísmico dinámico según la Norma Técnica E.030 en la dirección Y.

FUERZA CORTANTE	PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO	PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO	PORCENTAJE DE LA FUERZA CORTANTE DINÁMICA RESPECTO A LA FUERZA CORTANTE ESTÁTICA (%)	PORCENTAJE DE LA FUERZA CORTANTE DINÁMICA RESPECTO A LA FUERZA CORTANTE ESTÁTICA SEGÚN LA N. T. E.030
FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LA EDIFICACIÓN DIRECCIÓN Y (Ton)	307.2650	221.7148	72.158 %	MAYOR AL 80 % NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

¹⁰⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral /Acápite 4.6.4 Fuerza Cortante Mínima, (Página 576302).

TABLA 015. Fuerza cortante mínima requerida para un análisis sísmico dinámico según la Norma Técnica E.030 en las direcciones X e Y.

FUERZA CORTANTE	PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO	PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO	PORCENTAJE DE LA FUERZA CORTANTE DINÁMICA RESPECTO A LA FUERZA CORTANTE ESTÁTICA (%)	PORCENTAJE DE LA FUERZA CORTANTE DINÁMICA RESPECTO A LA FUERZA CORTANTE ESTÁTICA SEGÚN LA N. T. E.030
FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LA EDIFICACIÓN DIRECCIÓN X (Ton)	263.3700	219.8494	83.399 %	¿MAYOR AL 80 %? OK
FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LA EDIFICACIÓN DIRECCIÓN Y (Ton)	307.2650	221.7148	72.158 %	¿MAYOR AL 80 %? NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

4.1.9.5. VERIFICANDO EL COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS "R_o" ASUMIDA INICIALMENTE PARA LA ESTRUCTURA EN LA DIRECCIÓN "X", SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

A. DETERMINANDO LOS CORTANTES DINÁMICOS EN LA ESTRUCTURA PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO EQ X+ (DIRECCIÓN "X") PARA COLUMNAS Y MUROS

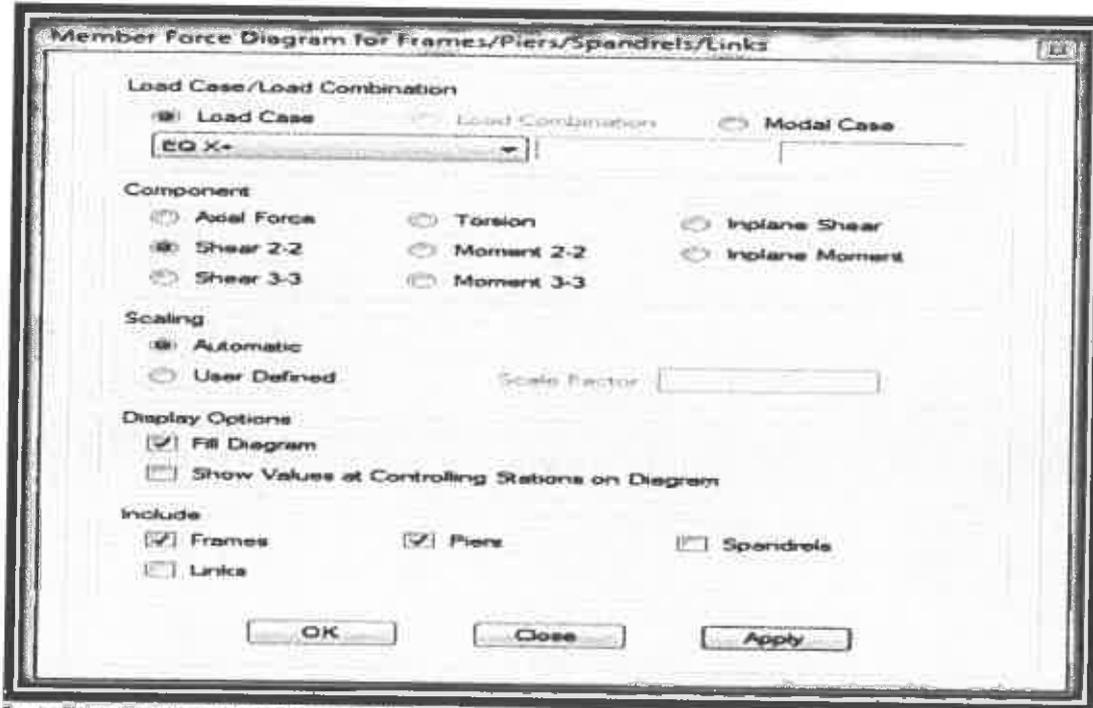
Para el cálculo de los cortantes dinámicos en la edificación para el caso de carga sísmico dinámico EQ X+ para columnas y muros realizamos lo siguiente:

Hacemos un clic en el menú **Display**, seleccionamos la opción **Force/Stress Diagrams**, luego seleccionamos la opción **Frame/Pier/Spandrel/Link Forces...**

En el cuadro **Member Force Diagram for Frames** hacemos un clic en el botón **Load Case** y del botón desplegable seleccionamos la opción EQ X+, en **Component** hacemos un clic en el botón **Shear 2-2**, en **Scaling** hacemos un clic en el

botón **Automatic**, en **Include** activamos las casillas **Frames** y **Piers**, hacemos un clic en el botón **Apply** y luego hacemos un clic en el botón **Close**.

Figura 032. Selección del caso sísmico EQ X+ (caso de carga dinámica en la dirección X) para el cálculo de la fuerza cortante dinámica en los elementos del tipo Frames y Piers de la edificación.



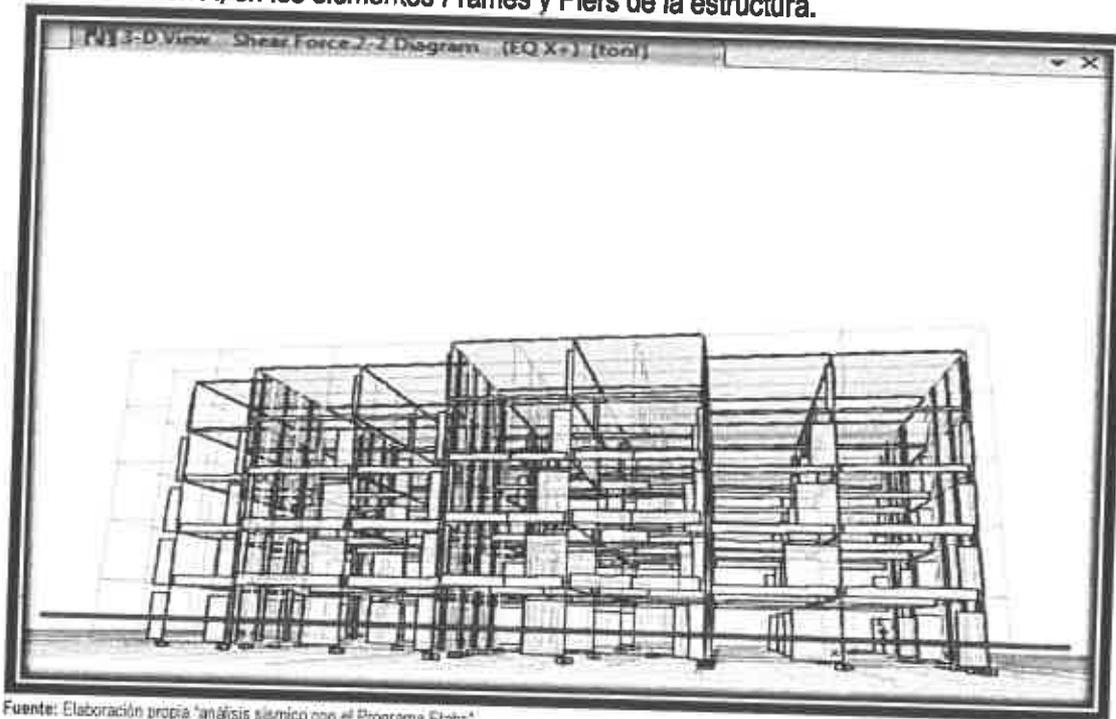
Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

B. GENERANDO UNA SECCIÓN DE CORTE EN LAS COLUMNAS Y MUROS DEL SEMI SOTANO

Para el cálculo de la fuerza cortante dinámica en los elementos Frame y Piers de la estructura se deberá generar primeramente una sección de corte en los elementos mencionados a analizar para esto realizamos lo siguiente:

Hacemos un clic en el menú **Draw**, seleccionamos la opción **Draw Section Cut...** y realizamos un corte en la base del modelo en 3D.

Figura 033. Generando una sección de corte para el cálculo de la fuerza cortante dinámico en la dirección X, en los elementos Frames y Piers de la estructura.



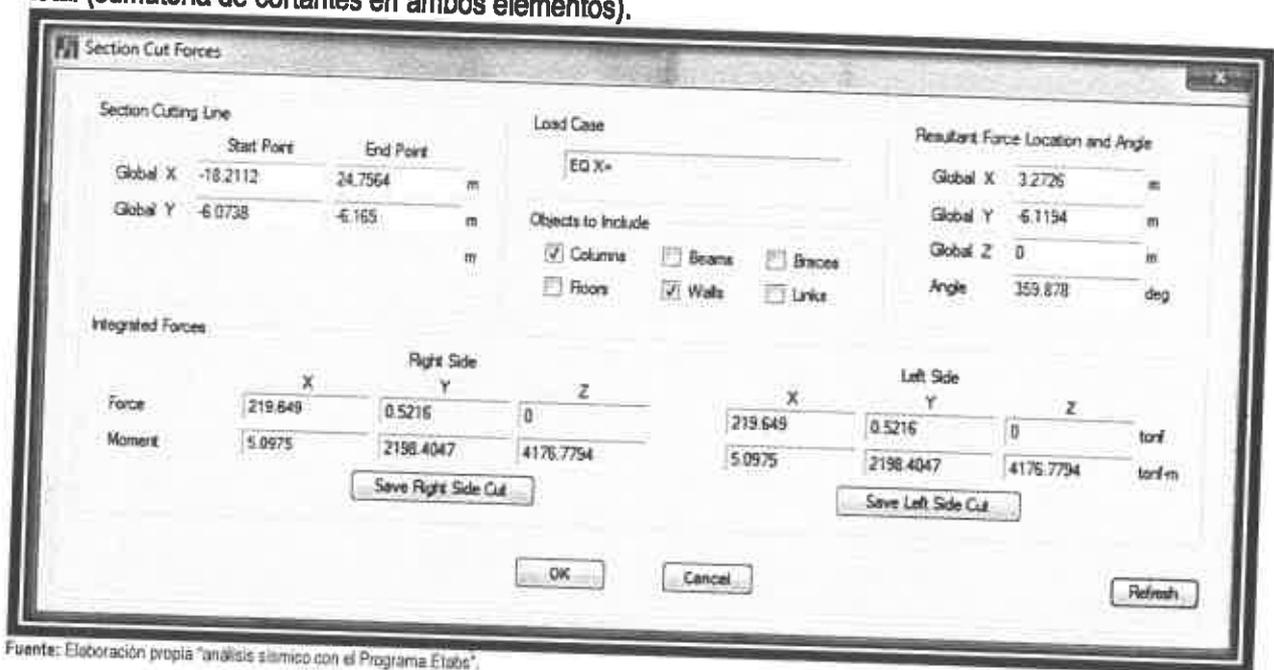
Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

C. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN COLUMNAS Y MUROS

Para determinar el cortante dinámico solamente en columnas y muros realizamos lo siguiente:

En **Objects to Include** solamente activamos las casillas de **Columns (columnas)** y **Walls (muros)** y luego hacemos un clic en el botón **Refresh**.

Figura 034. Selección de los objetos columnas y muros para el cálculo del cortante dinámico total (sumatoria de cortantes en ambos elementos).



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Nota: esta sumatoria tiene que ser igual a la cortante dinámica en la base.

Fuerza cortante en la base (columnas) + Fuerza cortante en la base (muros) = 219.649 ton.

D. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN LAS COLUMNAS

Para el cálculo de cortante dinámico en columnas en **Objects to Include** solamente activamos la casilla de **Columns (columnas)** y luego hacemos un clic en el botón **Refresh**.

Por lo tanto, la cortante dinámica en todas las columnas del SEMI SOTANO es:

$$V_x = 79.2139 \text{ ton}$$

E. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN LOS MUROS

Para el cálculo del cortante dinámico en muros en **Objects to Include** solamente activamos la casilla de **Walls (muros)** y luego hacemos un clic en el botón **Refresh**.

Por lo tanto, la cortante dinámica en todos los muros del SEMI SOTANO es:

$$V_x = 140.4621 \text{ ton}$$

F. INTERPRETANDO ESTOS RESULTADOS (CORTANTE DINÁMICA EN COLUMNAS Y MUROS) EN PORCENTAJES RESPECTO A SU SUMATORIA Y EVALUANDO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

✓ Cortante Dinámica en columnas

$$V_x = 79.2139 \text{ ton} \rightarrow 36.06 \%$$

✓ Cortante Dinámica en muros

$$V_x = 140.4621 \text{ ton} \rightarrow 63.94 \%$$

✓ Sumatoria

$$V = 219.676 \text{ ton} \rightarrow 100 \%$$

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" / 3.2 Sistemas Estructurales / 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado).

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros esta entre 20% y 70% del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos el 30 % de la fuerza cortante en la base. ¹⁰⁶

¹⁰⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones/3.2 Sistemas Estructurales/Acápito 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado, (Página 576298).

Por lo tanto, el **SISTEMA ESTRUCTURAL** del edificio es un **SISTEMA DUAL**.

ENTONCES:

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" /3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas R_o / Tabla N° 7).

107

PARA UN SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL LE CORRESPONDE UN COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN R_o EN LA DIRECCIÓN X IGUAL A:

PARA LA DIRECCIÓN "X" $R_o = 7$

Con esto se demuestra que el sistema estructural adoptado de un **SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL** en los numerales 4.1.4. y 4.1.6. es el correcto.

4.1.9.6. VERIFICANDO EL COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS " R_o " ASUMIDA INICIALMENTE PARA LA ESTRUCTURA EN LA DIRECCIÓN "Y", SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

A. DETERMINANDO LOS CORTANTES DINÁMICOS EN LA ESTRUCTURA PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO EQ Y+ (DIRECCIÓN "Y") PARA COLUMNAS Y MUROS

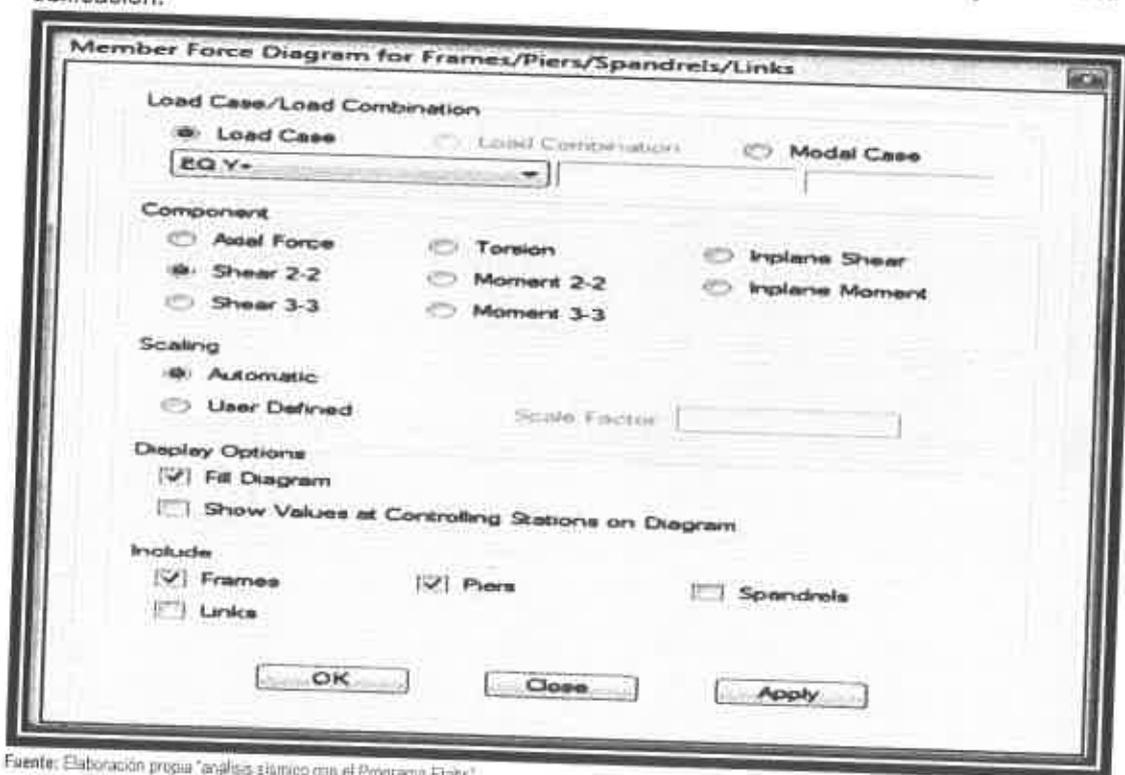
Para el cálculo de los cortantes dinámicos en la edificación para el caso de carga sísmico dinámico EQ Y+ para columnas y muros realizamos lo siguiente:

Hacemos un clic en el menú **Display**, seleccionamos la opción **Force/Stress Diagrams**, luego seleccionamos la opción **Fame/Pier/Spandrel/Link Forces...**

¹⁰⁷DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones/3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas R_o /Tabla N° 7, (Página 576299).

En el cuadro **Member Force Diagram for Frames** hacemos un clic en el botón **Load Case** y del botón desplegable seleccionamos la opción **EQ Y+** en **Component** hacemos un clic en el botón **Shear 2-2**, en **Scaling** hacemos un clic en el botón **Automatic**, en **Include** activamos las casillas **Frames** y **Piers**, hacemos un clic en el botón **Apply** y luego hacemos un clic en el botón **Close**.

Figura 035. Selección del caso sísmico EQ Y+ (caso de carga dinámico en la dirección Y) para el cálculo de la fuerza cortante dinámico en los elementos del tipo Frames y Piers de la edificación.



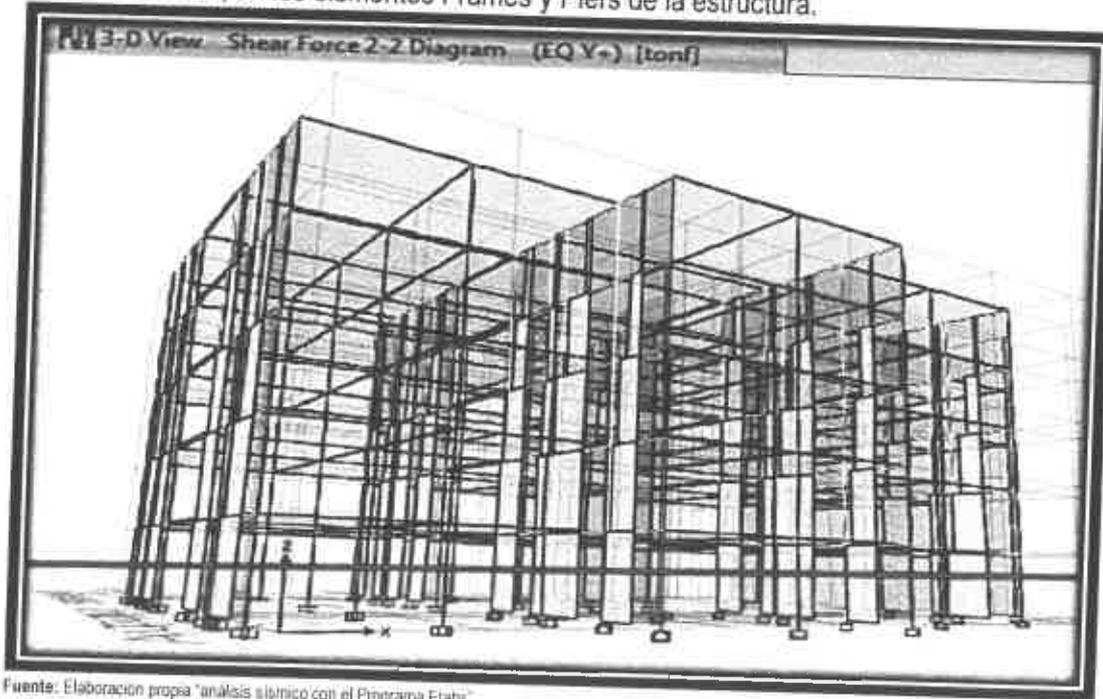
Fuente: Elaboración propia análisis sísmico con el Programa Etabs.

B. GENERANDO UNA SECCIÓN DE CORTE EN LAS COLUMNAS Y MUROS DEL SEMI SOTANO

Para el cálculo de la fuerza cortante dinámico en los elementos Frame y Piers de la estructura se deberá generar primeramente una sección de corte en los elementos mencionados a analizar para esto realizamos lo siguiente:

Hacemos un clic en el menú Draw, seleccionamos la opción Draw Section Cut... y realizamos un corte en la base del modelo en 3D.

Figura 036. Generando una sección de corte para el cálculo de la fuerza cortante dinámico en la dirección Y, en los elementos Frames y Piers de la estructura.



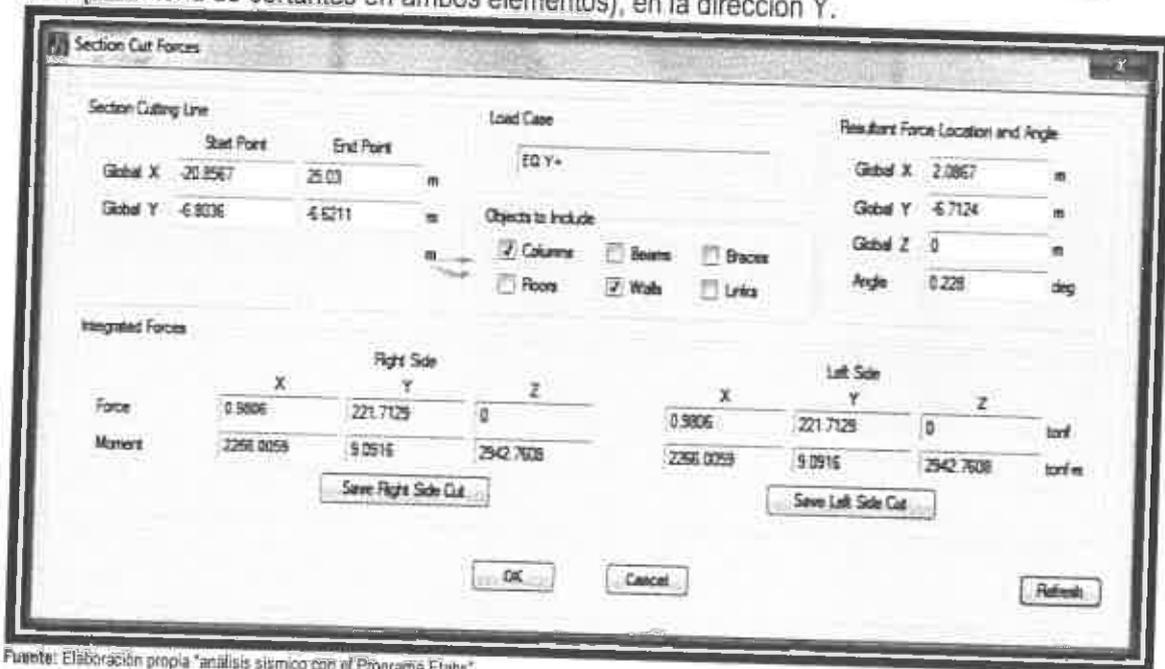
Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

C. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN COLUMNAS Y MUROS

Para determinar el cortante dinámico solamente en columnas y muros realizamos lo siguiente:

En **Objects to Include** solamente activamos las casillas de **Columns (columnas)** y **Walls (muros)** y luego hacemos un clic en el botón **Refresh**.

Figura 037. Selección de los objetos columnas y muros para el cálculo del cortante dinámico total (sumatoria de cortantes en ambos elementos), en la dirección Y.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Nota: esta sumatoria tiene que ser igual a la cortante dinámica en la base.

Fuerza cortante en la base (columnas) + Fuerza cortante en la base (muros) = 221.7129 ton

D. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN LAS COLUMNAS

Para el cálculo de cortante dinámico en columnas en **Objects to Include** solamente activamos la casilla de **Columns (columnas)** y luego hacemos un clic en el botón **Refresh**.

Por lo tanto, la cortante dinámica en todas las columnas del SEMI SOTANO es:

$$V_y = 4.5322 \text{ ton}$$

E. DETERMINANDO EL CORTANTE DINÁMICO EN LOS MUROS

Para el cálculo del cortante dinámico en muros en **Objects to Include** solamente activamos la casilla de **Walls (muros)** y luego hacemos un clic en el botón **Refresh**.

Por lo tanto, la cortante dinámica en todos los muros del SEMI SOTANO es:

$$V_y = 217.3342 \text{ ton}$$

F. INTERPRETANDO ESTOS RESULTADOS (CORTANTE DINÁMICA EN COLUMNAS Y MUROS) EN PORCENTAJES RESPECTO A SU SUMATORIA Y EVALUANDO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

✓ Cortante Dinámica en columnas

$$V_y = 4.5322 \text{ ton} \rightarrow 2.04 \%$$

✓ Cortante Dinámica en muros

$$V_y = 217.3342 \text{ ton} \rightarrow 97.96 \%$$

✓ Sumatoria

$$V = 221.8664 \text{ ton} \rightarrow 100 \%$$

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente"/3.2 Sistemas Estructurales /3.2.1 Estructuras de Concreto Armado).

Muros Estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

108

Por lo tanto, el **SISTEMA ESTRUCTURAL** del edificio en la **DIRECCIÓN "Y"** es un **SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES**.

ENTONCES:

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" /3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas R_o / Tabla N° 7).

109

PARA UN SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES LE CORRESPONDE UN COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN R_o EN LA DIRECCIÓN Y IGUAL A:

PARA LA DIRECCIÓN "Y" $R_o = 6$

Con esto se demuestra que el sistema estructural de **MUROS ESTRUCTURALES** adoptado en los numerales 4.1.4. y 4.1.6. es el correcto.

4.1.9.7. CONTROL DE DERIVA PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

A. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ X+

Para el cálculo de las derivas lo primero que se deberá calcular son los desplazamientos máximos de cada nivel, para esto realizamos lo siguiente:

¹⁰⁸DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones/3.2 Sistemas Estructurales/Acápite 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado, (Página 576298).

¹⁰⁹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 3: Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones/3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas R_o /Tabla N° 7, (Página 576299).

Una vez hecho que el programa corra el análisis de la estructura mediante el comando **Run Analysis** hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego seleccionamos la opción **Analysis**, seleccionamos la opción **Results**, seleccionamos la opción **Displacements** y luego la opción **Story Max / Avg Displacements**.

En el botón **Load Case/Combo** hacemos un clic derecho y seleccionamos el caso sísmico dinámico **EQ X+ Max** y en **Direction** hacemos un clic derecho y seleccionamos la dirección **X**.

Figura 038. Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico dinámico EQ X+ en la dirección X.

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum (mm)	Average (mm)	Ratio
PISO 4	EQ X+ Max	X	15.5943	15.5303	1.004155
PISO 3	EQ X+ Max	X	14.425	14.3753	1.003455
PISO 2	EQ X+ Max	X	11.8204	11.7869	1.002849
PISO 1	EQ X+ Max	X	7.7629	7.7445	1.002373
SEMI-SOTANO	EQ X+ Max	X	3.0189	3.0126	1.00211
BASE	EQ X+ Max	Y	0	0	0

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Elaba".

Luego realizamos el cálculo de las derivas usando el Excel mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$\Delta_{\text{elástico}-i} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_{ei}} \right)$$

Donde:

$\Delta_{\text{elástico}-i}$: Deriva elástica en el nivel i.

δ_i : Desplazamiento máximo del nivel i.

h_{ei} (altura de entrepiso i) = 3150 mm para todos los pisos, por tener la edificación la misma altura de entrepiso.

TABLA 016. Desplazamientos máximos y derivas elásticas para el caso sísmico EQ X+ en la dirección X.

DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ X+			
PISO	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTO δ_i (mm)	DERIVAS $\Delta_{elástico}$
PISO 4 (AZOTEA)	15.75	15.5948	0.000371
PISO 3	12.60	14.4250	0.000827
PISO 2	9.45	11.8204	0.001288
PISO 1	6.30	7.7629	0.001316
SEMI SOTANO	3.15	3.6189	0.001149
BASE	0	0	

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesla".

B. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS INELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ X+

DESPLAZAMIENTO LATERAL AMPLIFICADOS

La norma Técnica E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" señala: para reestructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.¹¹⁰

Esto señala que las fuerzas sísmicas distribuidas en cada piso deberán ser multiplicadas por el valor que resulte de 0.75 R, para así determinar luego los desplazamientos laterales que se produjeran para estos. O también directamente los desplazamientos obtenidos en el análisis lineal para los sismos en las direcciones respectivas deberán ser multiplicados por 0.75 R, para luego verificar si éstas están dentro del límite permitido. Entonces, aquí los valores de los desplazamientos máximos generados por el reporte con el programa ETABS para los diferentes nodos (centros de masa) serán multiplicados por el valor $0.75 R = 0.75 \times 7 = 5.25$ para así obtener los

¹¹⁰DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápite 5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales, (Página 576303).

desplazamientos laterales en concordancia con la Norma Técnica E.030 (Diseño sismorresistente).

De acuerdo a esto se obtiene la siguiente tabla:

Realizamos el cálculo de las derivas usando el Excel y mediante la utilización de la siguientes formulas:

- ✓ $\Delta_{\text{elástico}-i} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_{ei}} \right)$.
- ✓ $\Delta = \Delta_{\text{inelástico}-i} = 0.75 * R * \Delta_{\text{elástico}-i}$.
- ✓ Para la dirección "X" el $R = 7$.
- ✓ $h_{ei} = 3150 \text{ mm}$

Donde:

$\Delta_{\text{elástico}-i}$: Deriva elástica en el nivel i.

δ_i : Desplazamiento máximo del nivel i.

h_{ei} : Altura del entrepiso i.

TABLA 017. Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico EQ X+ (para la dirección "X" R=7).

DERIVAS INELÁSTICAS DE ACUERDO A LA NORMA TÉCNICA E.030 PARA EL CASO SÍSMICO EQ X+ (PARA LA DIRECCIÓN "X" R=7)							
PISO	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	DESP. ENTREPISO $\delta_i - \delta_{i-1}$ (mm)	h _{ei} (m)	DERIVA ELÁSTICA $\Delta_{\text{elástico}-i}$ (%)	DERIVA INELÁSTICA (SEGÚN N. T. E.030) $\Delta = \Delta_{\text{inelástico}-i} = 0.75 * R * \Delta_{\text{elástico}-i}$ (%)	DERIVA LÍMITE (SEGÚN N. T. E.030) (%)	MENOR A 7%? (SEGÚN N. T. E.030)
PISO 4 (AZOTEA)	15.5948	1.16980	3.15	0.371365	1.949667	7	SI
PISO 3	14.4250	2.60460	3.15	0.826857	4.341000	7	SI
PISO 2	11.8204	4.05750	3.15	1.288095	6.762500	7	SI
PISO 1	7.7629	4.14400	3.15	1.315558	6.906667	7	SI
SEMI SOTANO	3.6189	3.61890	3.15	1.148857	6.031500	7	SI
BASE							

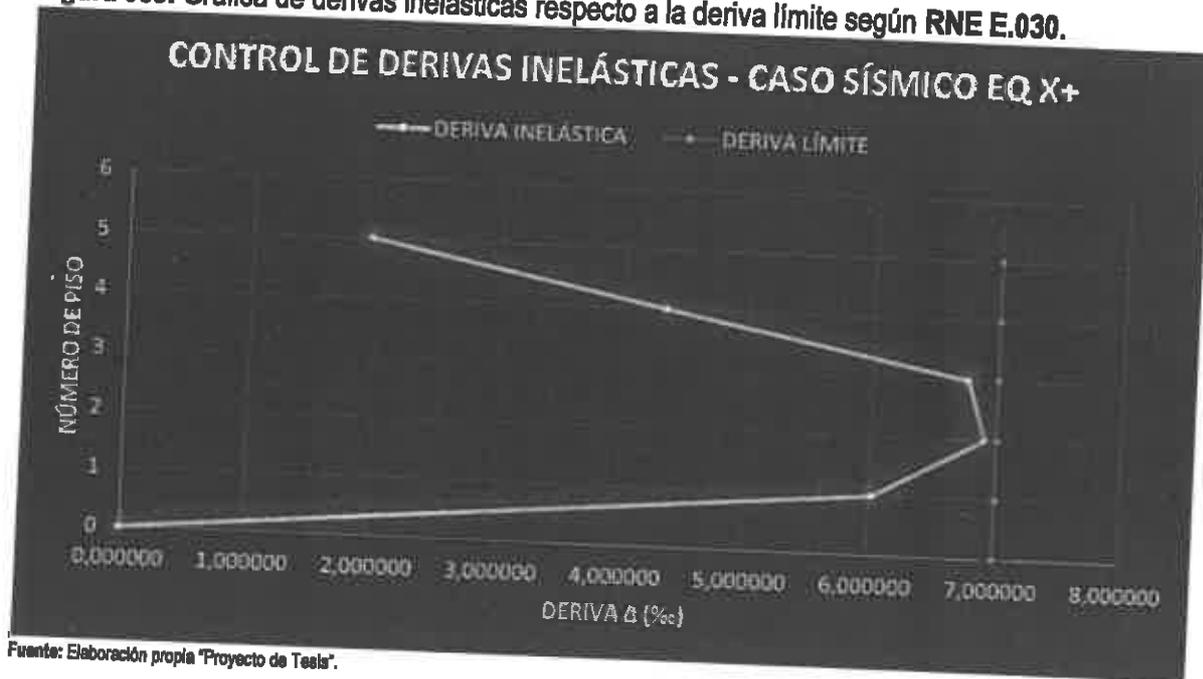
Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

* DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápites 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos admisibles/Tabla N° 11.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el cálculo de las derivas inelásticas mediante el uso de la formula y una hoja de cálculo (Excel) de cada piso por sismo, se observa que para todos los pisos la deriva inelástica está dentro del límite establecido por la norma (E.030 "Diseño Sismorresistente"),

también se observa que el desplazamiento máximo calculado en la azotea es de 1.559 cm en la dirección "X". Por lo tanto los valores de la deriva inelástica calculada como del desplazamiento máximo de la azotea indican que la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) tiene buena rigidez en la dirección X.

Figura 039. Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030.



C. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ Y+

Para el cálculo de las derivas lo primero que se deberá calcular son los desplazamientos máximos de cada nivel, para esto realizamos lo siguiente:

Una vez hecho que el programa corra el análisis de la estructura mediante el comando **Run Analysis** hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego seleccionamos la opción **Analysis**, seleccionamos la opción **Results**, seleccionamos la opción

Displacements y luego la opción Story Max / Avg Displacements.

En el botón Load Case/Combo hacemos un clic derecho y seleccionamos el caso sísmico dinámico EQ Y+ Max y en Direction hacemos un clic derecho y seleccionamos la dirección Y.

Figura 040. Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico dinámico EQ Y+ en la dirección Y.

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum mm	Average mm	Ratio
PISO 4	EQ Y+ Max	Y	0.8153	0.6481	1.257956
PISO 3	EQ Y+ Max	Y	0.6462	0.5148	1.255379
PISO 2	EQ Y+ Max	Y	0.4566	0.3645	1.252843
SEMI-SOTANO	EQ Y+ Max	Y	0.2656	0.2126	1.249626
BASE	EQ Y+ Max	Y	0	0	1.243484

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Luego realizamos el cálculo de las derivas usando el Excel mediante la utilización de la siguiente formula:

$$\Delta_{\text{elástico}-i} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_{ei}} \right)$$

Para todos los pisos, por tener la edificación la misma altura de entrepiso $h_{ei} = 3150$ mm.

TABLA 018. Desplazamientos máximos y derivas elásticas para el caso sísmico EQ Y+ en la dirección Y.

DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO sísmico EQ Y+			
PISO	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DERIVAS $\Delta_{\text{elástico}-i}$
PISO 4 (AZOTEA)	15.75	0.8153	0.000054
PISO 3	12.80	0.6462	0.000060
PISO 2	9.45	0.4566	0.000061
PISO 1	6.30	0.2656	0.000052
SEMI SOTANO	3.15	0.1010	0.000032
BASE	0	0	

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

D. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS INELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO EQ Y+

Normatividad: Norma Técnica E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" (Capítulo 5 Requisitos de rigidez, Resistencia y ductilidad / 5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales) señala:

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.¹¹¹

Realizamos el cálculo de las derivas usando el Excel y mediante la utilización de la siguientes formulas:

- ✓ $\Delta_{\text{elástico}-i} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_{ei}} \right)$.
- ✓ $\Delta = \Delta_{\text{inelástico}-i} = 0.75 * R * \Delta_{\text{elástico}-i}$.
- ✓ Para la dirección "Y" el R = 6.
- ✓ $h_{ei} = 3150 \text{ mm}$.

Donde:

- $\Delta_{\text{elástico}-i}$: Deriva elástica en el nivel i.
- δ_i : Desplazamiento máximo del nivel i.
- h_{ei} : Altura del entrepiso i.

¹¹¹DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápites 5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales, (Página 576303).

TABLA 019. Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico EQ Y+ (para la dirección "Y" R=6).

DERIVAS INELÁSTICAS DE ACUERDO A LA NORMA TÉCNICA E.030 PARA EL CASO SÍSMICO EQ Y+ (PARA LA DIRECCIÓN "Y" R=6)							
PISO	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	DESP. ENTREPISO $\delta_i - \delta_{i-1}$ (mm)	hel (m)	DERIVA ELÁSTICA $\Delta_{elástico-l}$ (%)	DERIVA INELÁSTICA (SEGÚN N. T. E.030) $\Delta = \Delta_{inelástico-l} = 0.75 * R * \Delta_{elástico-l}$ (%)	DERIVA LÍMITE (SEGÚN N. T. E.030) (%)	MENOR A 7%? (SEGÚN N. T. E.030)
PISO 4 (AZOTEA)	0.8153	0.16910	3.15	0.053683	0.241571	7	SI
PISO 3	0.6482	0.18960	3.15	0.060190	0.270857	7	SI
PISO 2	0.4566	0.19100	3.15	0.060635	0.272857	7	SI
PISO 1	0.2656	0.16460	3.15	0.052254	0.235143	7	SI
SEMI SOTANO	0.101	0.10100	3.15	0.032063	0.144286	7	SI
BASE							

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

* DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápito 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos admisibles/Tabla N° 11.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el cálculo de las derivas inelásticas mediante el uso de la fórmula y una hoja de cálculo (Excel) de cada piso por sismo, se observa que para todos los pisos la deriva inelástica está dentro del límite establecido por la norma (E.030 "Diseño Sismorresistente"), también se observa que el desplazamiento máximo calculado en la azotea es de 0.0815 cm en la dirección "Y". Por lo tanto los valores de la deriva inelástica calculada como del desplazamiento máximo de la azotea indican que la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) tiene buena rigidez en la dirección Y.

Figura 041. Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030, para la dirección Y.



4.1.9.8. DETERMINANDO EL PERIODO Y LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

Normatividad: (Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 "Diseño Sismorresistente").

Periodo Fundamental de Vibración

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i * d_i^2}{g * \sum_{i=1}^n f_i * d_i}}$$

Donde:

f_i es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.

d_i es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i .

Los desplazamientos se calcularán suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando las secciones sin fisurar".

Cuando el análisis no considere la rigidez de los elementos no estructurales, el periodo fundamental T deberá tomarse como 0.85 del valor obtenido con la formula precedente". ¹¹²

A. DETERMINANDO EL PERIODO "T" Y LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN "f" DE LA EDIFICACIÓN MEDIANTE EL ETABS

Se determinará el periodo fundamental de vibración mediante el uso del programa Etabs, esto para luego comprobarlo con el valor obtenido mediante el uso de la fórmula matemática descrita líneas arriba.

En **Model Explorer**, hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego seleccionamos la opción **Analysis**, seleccionamos la opción **Results**, seleccionamos **Modal Results** y luego la opción **Modal Periods and Frequencies**.

Figura 042. Periodo fundamental de vibración de la edificación mediante el programa Etabs.

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	Circular Frequency	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	0.456	2.194	13.7835	189.9851
Modal	2	0.138	7.237	45.4695	2067.4753
Modal	3	0.084	11.944	75.0459	5631.8843
Modal	4	0.075	13.409	84.252	7098.4073
Modal	5	0.07	14.187	89.1407	7946.0624
Modal	6	0.051	19.728	123.9544	15364.7037

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

ENTONCES EL PERIODO Y LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN LA DIRECCIÓN "X" ES:

$$T = 0.456 \text{ seg}$$

$$f = 2.194 \text{ Hz}$$

¹¹²DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápts 4.5.4 Período Fundamental de Vibración, (Página 576301-576302).

B. DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA EN ALTURA

Normatividad: (Reglamento Nacional de Edificaciones E.030

"Diseño Sismorresistente")

Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

"Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calcularán mediante:

$$F_i = \alpha_i * V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde k es un exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

- Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k=1.0$
- Para T mayor que 0.5 segundos: $k=(0.75+0.5T) \leq 2.0$.¹¹³

Como $T = 0.456$ seg es menor a 0.5 seg entonces $k = 1.0$

C. DETERMINANDO LOS PESOS DE ENTREPISO CON EL ETABS

Para el cálculo de los pesos de entrepiso de la edificación con el programa realizamos lo siguiente:

En el cuadro **Model Explorer**, hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego seleccionamos la opción **Model**, seleccionamos la opción **Structure Data**, seleccionamos **Mass Summary** y luego la opción **MassSummary by Story**.

¹¹³DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápite 4.5.3 Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, (Página 576301).

Figura 043. Pesos de entrepiso de la edificación mediante el programa Etabs.

Story	UX kg	UY kg	UZ kg
PISO 4	70865.81	70865.81	0
PISO 3	276071.51	276071.51	0
PISO 2	274531.95	274531.95	0
PISO 1	274531.95	274531.95	0
SEMI-SOTANO	274531.95	274531.95	0
BASE	274531.95	274531.95	0

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

TABLA 020. Altura entrepiso y peso en cada nivel de la edificación.

PISO N°	hel (m)	PESO PI (Kg)
PISO 4 (AZOTEA)	3.15	70865.81
PISO 3	3.15	276071.51
PISO 2	3.15	274531.95
PISO 1	3.15	274531.95
SEMI SOTANO	3.15	274531.95
BASE		

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesla".

D. DETERMINANDO LA CORTANTE EN LA BASE DEL EDIFICIO CON EL ETABS

Para el cálculo del cortante en la base de la edificación realizamos lo siguiente:

En el cuadro **Model Explorer**, hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego seleccionamos la opción **Model**, seleccionamos la opción **Loads**, seleccionamos **Auto Seismic** y luego la opción **Auto Seismic – User Coefficients**.

Figura 044. Cortante basal de la edificación en las direcciones X e Y mediante el programa Etabs.

Load Pattern	Type	Direction	Eccentricity %	Ecc. Override	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Load	Base Shear
MD X+	Seismic	X+ Ecc. Y	5	<input type="checkbox"/>	PISO 4	BASE	0.225	1	1170.5332	263.07
MD Y+	Seismic	Y+ Ecc. X	5	<input type="checkbox"/>	PISO 4	BASE	0.225	1	1170.5332	267.265

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

TABLA 021. Cortante basal de la edificación en las direcciones X e Y en toneladas.

CORTANTE BASAL DEL EDIFICIO	
CASO SISMICO	CORTANTE (TON)
SISMO X+	263.370
SISMO Y+	307.265

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

E. DETERMINANDO LOS DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

Para determinar los desplazamientos máximos en la dirección X realizamos lo siguiente:

En el cuadro **Model Explorer**, hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego seleccionamos la opción **Analysis**, seleccionamos la opción **Results**, seleccionamos **Displacements** y luego la opción **Story Max/Avg Displacements**.

En el botón **Load Case/Combo** hacemos un clic derecho y seleccionamos el caso sísmico estático **SISMO X+** y en **Direction** hacemos un clic derecho y seleccionamos la dirección **X**.

Figura 045. Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico estático SISMO X+ en la dirección X.

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum mm	Average mm	Ratio
PISO 4	SISMO X+	X	19.0025	18.8546	1.007845
PISO 3	SISMO X+	X	17.4979	17.3835	1.006578
PISO 2	SISMO X+	X	14.2627	14.1747	1.005502
PISO 1	SISMO X+	X	9.3105	9.2753	1.004654
SEMI-SOTANO	SISMO X+	X	3.6215	3.6064	1.004197

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

TABLA 022. Altura de entrepiso y desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico estático SISMO X+ en la dirección X.

PISO N°	ALTURA DE ENTRE PISO h _{ei} (m)	DÉSPLAZAMIENTO MÁXIMO d _i (mm)
PISO 4 (AZÓTEA)	3.15	19.0025
PISO 3	3.15	17.4979
PISO 2	3.15	14.2527
PISO 1	3.15	9.31850
SEMÍ SOTANO	3.15	3.62150
BASE		0

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

F. FINALMENTE DETERMINANDO EL PERIODO Y LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

El periodo fundamental de Vibración para cada dirección se estimará con el uso de la siguiente expresión matemática según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 (Diseño Sismorresistente).

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i * d_i^2}{g * \sum_{i=1}^n f_i * d_i}}$$

Donde:

- f_i es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.
- d_i es el desplazamiento lateral del centro del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calcularán suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando las secciones sin fisurar. Cuando en el análisis no se considere la rigidez de los elementos no estructurales, el periodo fundamental T deberá tomarse

como 0.85 del valor obtenido con la formula precedente.

114

Entonces:

Para la dirección "X"

TABLA 023. Periodo fundamental de vibración de la edificación de acuerdo al RNE E. 030 para el SISMO X+ en la dirección X.

PERIODO FUNDAMENTAL DE ACUERDO A LA NORMA TÉCNICA E.030 PARA EL SISMO X+								
PISO N°	hei (m)	PESO PI (Kg)	PI*hei	ci=(PI*hei)/(ΣPI*hei)	Fi=ci*CORTANTE BASAL (ton)	di (mm)	PI*di ⁴	Fi*di
PISO 4 (AZOTEA)	3.15	70865.81	223227.302	0.06054148	13.95135412	19.0025	25589.2901	285.1108067
PISO 3	3.15	276071.51	869825.257	0.235851078	54.35020639	17.4879	84526.6099	951.0144763
PISO 2	3.15	274531.95	864775.643	0.234535814	54.04711316	14.2527	55768.27133	770.3172898
PISO 1	3.15	274531.95	864775.643	0.234535814	54.04711316	9.3185	23838.82876	503.638024
SEMI SOTANO	3.15	274531.95	864775.643	0.234535814	54.04711316	3.6215	3800.55852	195.7316203
BASE	Σ	1170533.170	3687179.486	1		0	193323.5586	2685.812017

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

TABLA 024. Periodo y frecuencia fundamental de vibración de la edificación de acuerdo al RNE E. 030 para el SISMO X+ en la dirección X.

CORTANTE BASAL " SISMO X+" (Ton)	263.37
aceleración de la gravedad en mm/s ² g=	9806.652
PERIODO FUNDAMENTAL "T"=	0.503526793
PERIODO FUNDAMENTAL "T" AFECTADO POR 0.85" (seg) =	0.427997774
ω (rad/seg)=	14.68041586
f (Hz)=	2.33646075

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

*Nota: se tomó el 85% del valor obtenido utilizando la fórmula para determinar el periodo, esto porque no se consideró la rigidez de los elementos no estructurales.

Por lo tanto, se observa que el periodo fundamental calculado manualmente según la NORMA TÉCNICA E. 030 se asemeja al periodo fundamental de la estructura calculado por el programa.

MANUALMENTE: $T = 0.428 \text{ seg}$

CON EL ETABS: $T = 0.456 \text{ seg}$

MANUALMENTE: $f = 2.336 \text{ Hz}$

CON EL ETABS: $f = 2.194 \text{ Hz}$

114 DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 4: Análisis Estructural/4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes/Acápito 4.5.4 Periodo Fundamental de Vibración, (Página 576301-576302).

Para la dirección "Y"

TABLA 025. Periodo fundamental de vibración de la edificación de acuerdo al RNE E. 030 para el SISMO Y+ en la dirección Y.

PERIODO FUNDAMENTAL DE ACUERDO A LA NORMA TÉCNICA E.030 PARA EL SISMO Y+								
PISO N°	hei (m)	PESO PI (Kg)	P ² hei	$\alpha_i = (P_i^2 h_i) / (\sum P_i^2 h_i)$	F _i = α_i * CORTANTE BASAL (ton)	d _i (mm)	P _i * d _i	F _i * d _i
PISO 4 (AZOTEA)	3.15	70865.81	223227.302	0.06054148	18.80227772	1.024	74.30818759	19.04873239
PISO 3	3.15	276071.51	869625.257	0.235851078	72.46878149	0.818	184.7260731	59.27946326
PISO 2	3.15	274531.95	864775.843	0.234535814	72.06464693	0.583	93.31038995	42.01368916
PISO 1	3.15	274531.95	864775.843	0.234535814	72.06464693	0.342	32.110355	24.64610925
SEMI SOTANO	3.15	274531.95	864775.843	0.234535814	72.06464693	0.131	4.711242794	9.440488748
BASE	Σ	1170533.170	3687179.486	1		0	389.1862484	154.4284628

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

TABLA 026. Periodo y frecuencia fundamental de vibración de la edificación de acuerdo al RNE E. 030 para el SISMO Y+ en la dirección Y.

CORTANTE BASAL * SISMO Y+ (Ton)	307.265
aceleración de la gravedad en mm/s ² g=	9806.652
PERIODO FUNDAMENTAL "T" =	0.100721781
PERIODO FUNDAMENTAL "T" AFECTADO POR 0.85 (seg) =	0.085613514
ω (rad/seg) =	73.39011136
f (Hz) =	11.680399

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

*Nota: se tomó el 85% del valor obtenido utilizando la fórmula para determinar el periodo, esto porque no se consideró la rigidez de los elementos no estructurales.

Concluyendo que: El periodo fundamental de vibración calculado manualmente según la NORMA TÉCNICA E.30 se asemeja al periodo fundamental de la estructura calculado por el programa. Existiendo 0.002 segundos de diferencia respecto al calculado manualmente.

MANUALMENTE: T = 0.086 seg

CON EL ETABS: T = 0.084 seg

MANUALMENTE: f = 11.680 Hz

CON EL ETABS: f = 11.944 Hz

TABLA 027. Resumen, Periodo y frecuencia fundamental de vibración de la edificación en la dirección X e Y.

DIRECCIÓN X		
MODO DE CALCULAR	PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (seg)	FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (Hz)
MANUALMENTE SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	0.428	2.336
ETABS	0.456	2.194
DIRECCIÓN Y		
MODO DE CALCULAR	PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (seg)	FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (Hz)
MANUALMENTE SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	0.086	11.680
ETABS	0.084	11.944

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

4.2 DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA UN ANÁLISIS ESPECTRAL EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA DEL REGISTRO DE ACCELERACIONES SÍSMICAS

4.2.1. SISMO Y REGISTRO SÍSMICO

Quando se habla de registros, se está refiriendo a señales digitales en tiempo discreto. Las señales en tiempo discreto están definidas solo para valores racionales de la variable independiente, consta de un periodo de muestreo T y su recíproco que corresponde a la frecuencia de muestreo f .¹¹⁵

La medición de todos los movimientos sísmicos se realiza a través de un sismógrafo, sean estos microsismos o terremotos, quedando registrados en un sismograma. Cuando el sismo pasa a ser relevante toma importancia utilizar un acelerómetro y registrar las aceleraciones del suelo. El medio en que se almacena este registro, sea físico o digital, se llama acelerograma.¹¹⁶

4.2.1.1. IMPORTANCIA DEL SISMO DEL 03 DE OCTUBRE DEL AÑO 1974

Es importante porque el sismo ocasionó 78 muertos, 2500 heridos y pérdidas materiales estimadas en 2,700 millones de soles, según datos del Comité Nacional de Defensa Civil del Perú.¹¹⁷

4.2.1.2. DATOS DE LA ESTACIÓN Y REGISTRO SÍSMICO

A. DATOS DE LA ESTACIÓN SÍSMICA

- **NOMBRE DE LA ESTACIÓN:** Parque de la Reserva
- **CÓDIGO DE LA ESTACIÓN:** PRQ
- **LOCALIZACIÓN:** Parque de la Reserva, cercado de Lima, Lima
- **ALTITUD:** 130 m
- **MODELO DEL ACCELERÓMETRO:** Acelerógrafo Analógico

¹¹⁵ Echeverría Pérez F. Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras de movimiento y registros sísmicos utilizando la Transformada Wavelet. [Tesis]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010. (Página 45).

¹¹⁶ Echeverría Pérez F. Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras de movimiento y registros sísmicos utilizando la Transformada Wavelet. [Tesis]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010. (Página 46).

¹¹⁷ Freddy Ccallo H. Estimación de M_w a partir de isosistas de intensidad máxima para sismos de subducción ocurridos en el Perú. Perú: Instituto Geofísico del Perú; 2001. (Página 20).

B. DATOS DEL SISMO

- FECHA: 03 de Octubre del año 1974
- TIEMPO (LOCAL): 09:21:00
- UBICACIÓN: Lima
- MAGNITUD DEL SISMO: 6.6 mb

C. DATOS DEL REGISTRO SÍSMICO

El registro sísmico utilizado en el presente trabajo de investigación, corresponde a un registro sísmico de aceleraciones donde:

- ACELERACIÓN MÁXIMA (EW): -194.21 cm/s²
- ACELERACIÓN MÁXIMA (NS): -180.09 cm/s²
- INTERVALO DE TIEMPO DEL REGISTRO: 0.020 s
- NÚMERO DE PUNTOS REGISTRADOS CONSIDERADOS: 4899
- PERIODO DE MUESTREO: T = 0.020 s
- FRECUENCIA DE MUESTREO: F_m = 50 Hz

4.2.2. TEOREMA DE NYQUIST

Para que durante el muestreo de señales digitales no se produzcan pérdidas de información Harry Nyquist estableció que la frecuencia de muestreo de la señal digital debe ser como mínimo igual al doble de las frecuencias contenidas en la señal. Esto es, si la frecuencia de la señal es $F_{m\acute{a}x}$ y la frecuencia de muestreo F_m , entonces se debe cumplir que:

$$F_m = 2 * F_{m\acute{a}x}$$

Nyquist mostró que, para que podamos distinguir sin ambigüedad las componentes frecuenciales de una señal, es necesario que muestreemos al menos al doble de la frecuencia máxima contenida en la misma, para evitar los efectos de "aliasing".¹¹⁸

¹¹⁸ Echeverría Pérez F. Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras de movimiento y registros sísmicos utilizando la Transformada Wavelet. [Teals]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010. (Página 20).

Generalmente, las señales sísmicas contienen componentes de frecuencias de 1 a 10 Hz, por lo que la frecuencia de muestreo debe ser de 20 Hz como mínimo.¹¹⁹

El registro de aceleraciones sísmicas (base de datos: SISMOLIMA1974IGP) utilizado en el presente trabajo de investigación tiene una frecuencia de muestreo $F_m = 50 \text{ Hz}$, la cual es mayor al mínimo establecido, por lo tanto con este valor de la frecuencia de muestreo podremos distinguir sin ambigüedad las componentes frecuenciales así como lo señala Nyquist.

4.2.3. MUESTREO DEL REGISTRO DE LAS ACELERACIONES SÍSMICAS

Una señal analógica muy complicada, no siempre es posible representarlo mediante una función matemática, debido a su complejidad y para su análisis esta señal debe establecerse como un conjunto de muestras.

Las señales que describen los acelerogramas son señales de tiempo continuo o señales analógicas, pero al ser descargadas en una base de datos, estas señales son discretas o señales de tiempo discreto. Y lo que importa de estas señales son las magnitudes de las aceleraciones para un tiempo determinado.

A. MUESTREO DE LA SEÑAL (ACELERACIÓN) DE TIEMPO DISCRETO

MUESTREO

Una señal $x(t)$ puede representarse mediante un conjunto de muestras

$$\{\dots, x(t_{-2}), x(t_{-1}), x(t_0), x(t_1), x(t_2), \dots\}$$

Donde:

$x(t_n)$, es el valor de la señal en el tiempo t_n , $n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$

También:

$$\{x(t_0), x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)\}$$

Donde:

$x(t_n)$, es el valor de la señal en el tiempo t_n , $n = 0, 1, 2, \dots, N$.

¹¹⁹ Jiménez Tintaya C. Procesamiento digital de señales sísmicas en entorno Matlab. Perú: Instituto Geofísico del Perú. (Página 2).

$N + 1$, es el número de puntos muestreados.

Nuestra señal sísmica estará definida solo para determinados instantes temporales.

Así:

$$x[n] = x(t)|_{t=nT} = x(t_n) = x(nT) ; n = 0, 1, 2, \dots, N$$

Donde:

✓ T , es el periodo de toma de muestras.

✓ $N + 1$, es el número de puntos muestreados.

TABLA 028. Datos muestreados con un periodo de muestro de $T = 0.020$ segundos y una frecuencia de muestreo de $F = 50$ Hz (Hertz) del registro de aceleraciones sísmicas (sismo del 03 de octubre del año 1974) - EW.

t	cm/s ²	mm/s ²
0.00	8.046	80.46
0.02	0.001	00.01
0.04	-3.426	-34.26
0.06	-5.899	-58.99
0.08	-2.617	-26.17
0.10	0.934	09.34
0.12	4.189	41.89
0.14	-2.334	-23.34
0.16	-5.997	-59.97
0.18	-2.933	-29.33
0.20	-0.128	-01.28
0.22	-2.275	-22.75
0.24	9.675	96.75
0.26	1.698	16.98
0.28	-19.900	-199.00
.	.	.
.	.	.
97.94	-3.810	-38.10
97.96	-1.684	-16.84

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

Como se puede observar el intervalo de tiempo de muestreo es de 0.02 seg, entonces el periodo de muestreo T es igual a 0.02 seg.

PERIODO DE MUESTREO: $T = 0.02$ s

FRECUENCIA DE MUESTREO: $F = 50$ Hz

$$x[n] = x(nT) = x(t)|_{t=nT} \quad , \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = 80.46 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 0.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = -34.26 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = -58.99 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = -26.17 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = 9.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 41.89 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = -23.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = -59.97 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = -29.33 \text{ mm/s}^2$$

.

.

.

$$x[4897] = x(4897T) = x(97.94) = -38.10 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4898] = x(4898T) = x(97.96) = -16.84 \text{ mm/s}^2$$

Entonces, el número de puntos muestreados en el registro sísmico será

igual a:

$$N + 1 = 4898 + 1 = 4899 \text{ puntos muestreados.}$$

TABLA 029. Datos muestreados con un periodo de muestro de $T = 0.020$ segundos y una frecuencia de muestreo de $F = 50$ Hz (Hertz) del registro de aceleraciones sísmicas (sismo del 03 de octubre del año 1974) - NS.

t	cm/s ²	mm/s ²
0.00	-6.001	-60.01
0.02	9.716	97.16
0.04	11.634	116.34
0.06	4.402	44.02
0.08	-5.050	-50.50
0.10	-4.626	-46.26
0.12	2.905	29.05
0.14	2.895	28.95
0.16	1.980	19.80
0.18	2.053	20.53
0.20	-5.916	-59.16
0.22	-3.697	-36.97
0.24	4.688	46.88
0.26	8.453	84.53
0.28	4.273	42.73
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
97.94	0.810	08.10
97.96	0.702	07.02

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

Como se puede observar el intervalo de tiempo de muestreo es de 0.02 seg, entonces el periodo de muestreo T es igual a 0.02 seg.

PERIODO DE MUESTREO: $T = 0.02$ s

FRECUENCIA DE MUESTREO: $F = 50$ Hz

$$x[n] = x(nT) = x(t)|_{t=nT}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = -60.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 97.16 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = 116.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = 44.02 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = -50.50 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = -46.26 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 29.05 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = 28.95 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = 19.80 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = 20.53 \text{ mm/s}^2$$

.

.

.

$$x[4897] = x(4897T) = x(97.94) = 8.10 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4898] = x(4898T) = x(97.96) = 7.02 \text{ mm/s}^2$$

Entonces, el número de puntos muestreados en el registro sísmico será igual a:

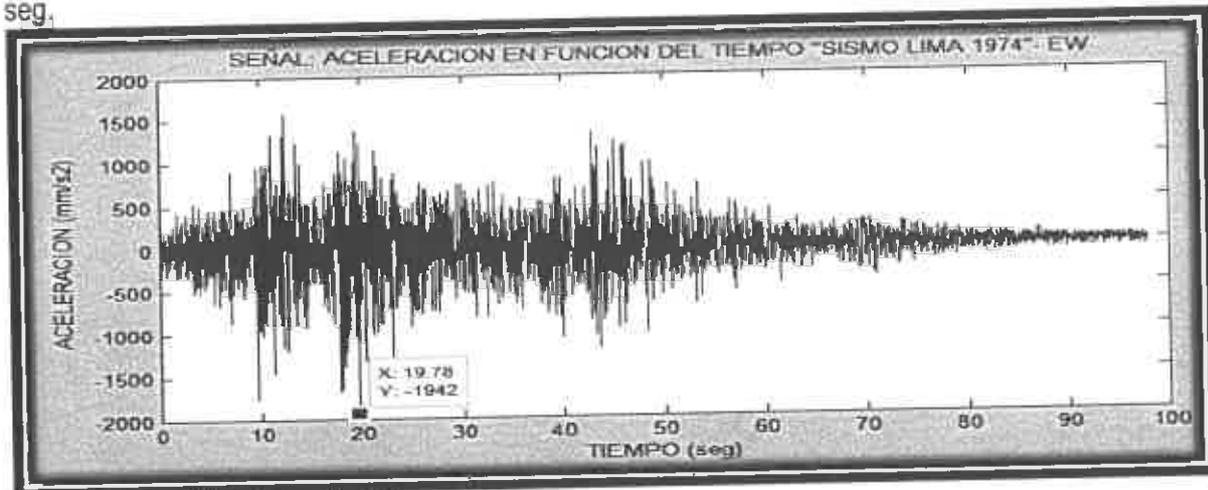
$$N + 1 = 4898 + 1 = 4899 \text{ puntos muestreados.}$$

B. PROGRAMA EN MATLAB: GRÁFICA DE LA SEÑAL SÍSMICA ACCELERACIÓN COMO UNA SEÑAL DE TIEMPO CONTINUO

El programa Matlab nos permite graficar la señal de tiempo discreta como una señal de tiempo continuo.

```
% GRAFICA SISMO
% GRAFICA ACELERACION EN FUNCION DEL TIEMPO SISMO
LIMA 1974 - EW
load SISMOLIMA1974IGPEW.txt
tiempo = SISMOLIMA1974IGPEW(:,1);
aceleracion = SISMOLIMA1974IGPEW(:,2);
figure(1);
subplot(2,1,1);
plot(tiempo,aceleracion)
grid off
title('SEÑAL: ACELERACION EN FUNCION DEL TIEMPO
"SISMO LIMA 1974"- EW');
xlabel('TIEMPO (seg)');
ylabel('ACELERACION (mm/s2)');
% GRAFICA ACELERACION EN FUNCION DEL TIEMPO SISMO
LIMA 1974 - NS
load SISMOLIMA1974IGPNS.txt
tiempo = SISMOLIMA1974IGPNS(:,1);
aceleracion = SISMOLIMA1974IGPNS(:,2);
figure(1);
subplot(2,1,2);
plot(tiempo,aceleracion)
grid off
title('SEÑAL: ACELERACION EN FUNCION DEL TIEMPO
"SISMO LIMA 1974"- NS');
xlabel('TIEMPO (seg)');
ylabel('ACELERACION (mm/s2)');
```

Figura 046. Aceleraciones sísmicas en función del tiempo graficado mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - EW. Aquí se observa un "peak" de aceleración de 1924.00 mm/s^2 en un tiempo de 19.78 seg.



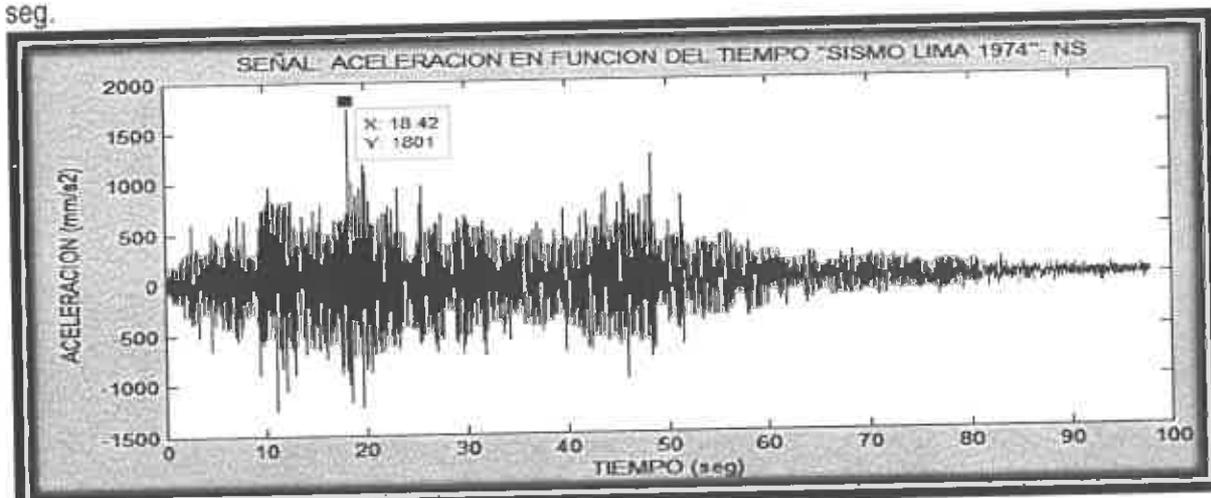
Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

El máximo valor absoluto de la aceleración de este registro de aceleraciones sísmicas tiene un valor de 1924.00 mm/s^2 y ocurre en el tiempo de 19.78 segundos después de comenzada la grabación. Comúnmente al máximo valor absoluto de la aceleración $a_{m\acute{a}x}$ se le conoce como "peak" de la aceleración.

Debido a que determinar los acontecimientos sísmicos, en el tiempo, es aún imposible, la terminación de las aceleraciones toma un papel fundamental para mitigar los daños estructurales que provocan los movimientos terrestres. Conocido el peak de aceleración se puede determinar las fuerzas actuantes sobre las estructuras y diseñarlas para que la soporten. ¹²⁰

¹²⁰ Echeverría Pérez F. Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras de movimiento y registros sísmicos utilizando la Transformada Wavelet. [Tesis]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010. (Página 52).

Figura 047. Aceleraciones sísmicas en función del tiempo graficado mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - NS. Aquí se observa un "peak" de aceleración de 1801.00 mm/s^2 en un tiempo de 18.42 seg.



Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

El máximo valor absoluto de la aceleración de este registro de aceleraciones sísmicas tiene un valor de 1801.0 mm/s^2 y ocurre en el tiempo de 18.42 segundos después de comenzada la grabación. Comúnmente al máximo valor absoluto de la aceleración $a_{m\acute{a}x}$ se le conoce como "peak" de la aceleración.

C. PROGRAMA EN MATLAB: GRÁFICA DE LA SEÑAL SÍSMICA ACCELERACIÓN COMO UNA SEÑAL DE TIEMPO DISCRETO

El programa Matlab nos permite graficar la señal de tiempo discreta como tal.

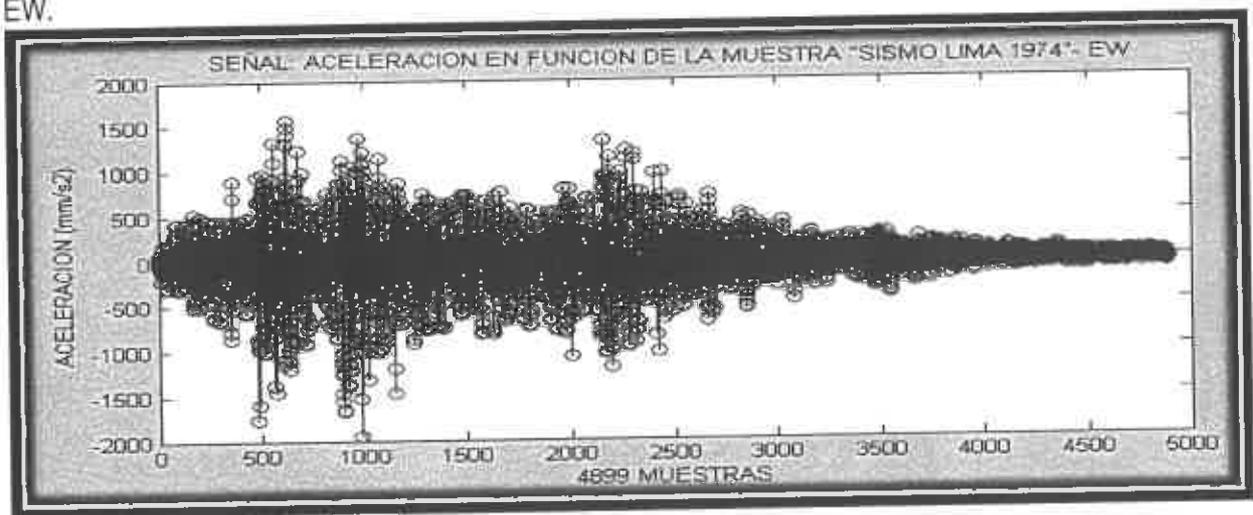
```
%GRAFICA SISMO
% GRAFICA MUESTREADA SISMO LIMA 1974-EW
load MUESTRAEW.txt;
N=length(MUESTRAEW)
g=0:N-1
M=MUESTRAEW;
figure(2);
subplot(2,1,1);
stem(g,M);
grid off;
title('SEÑAL: ACCELERACION EN FUNCION DE LA MUESTRA
"SISMO LIMA 1974"- EW');
xlabel('4899 MUESTRAS');
ylabel('ACCELERACION (mm/s2)');
% GRAFICA MUESTREADA SISMO LIMA 1974-NS
```

```

load MUESTRANS.txt;
N=length(MUESTRANS)
g=0:N-1
M=MUESTRANS;
figure(2);
subplot(2,1,2);
stem(g,M);
grid off;
title('SEÑAL: ACELERACION EN FUNCION DE LA MUESTRA
"SISMO LIMA 1974"- NS');
xlabel('4899 MUESTRAS');
ylabel('ACELERACION (mm/s2)');

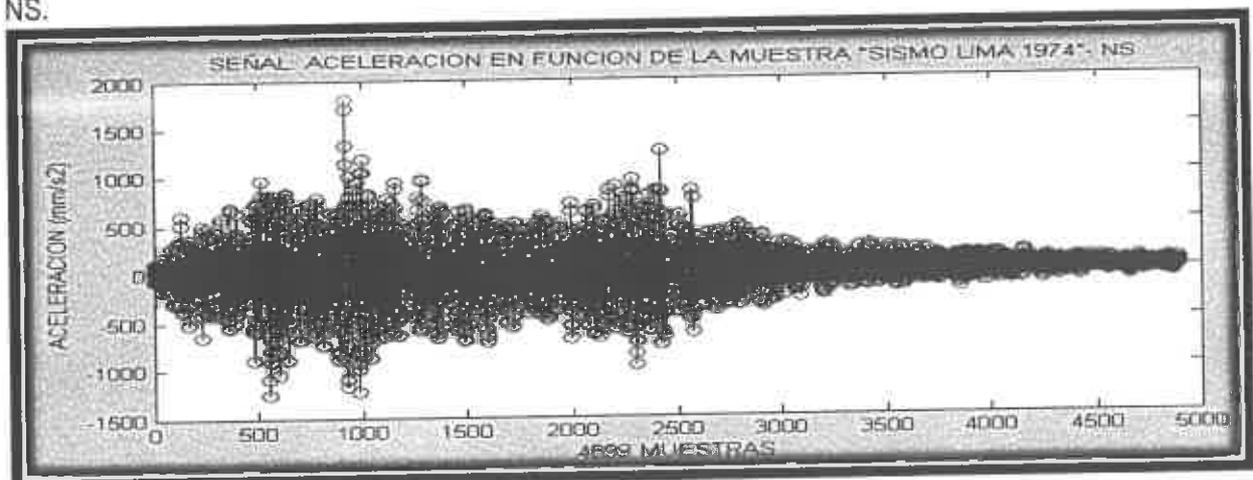
```

Figura 048. Aceleraciones sísmicas muestreadas en 4899 muestras mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - EW.



Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

Figura 049. Aceleraciones sísmicas muestreadas en 4899 muestras mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - NS.



Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

4.2.4. TRANSFORMADA DE FOURIER DE LA SEÑAL MUESTREADA

A. ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE UNA SEÑAL

- El Espectro de Frecuencias despliega las diferentes componentes sinusoidales que forman una señal.
- El Espectro de Frecuencias, es una función de la variable frecuencia valuada en complejos, y por tanto se especifica en términos de un espectro de amplitud y un espectro de fase.
- El Espectro de Frecuencias, es la representación gráfica o matemática de una señal por medio de su contenido de frecuencias.

B. ANÁLISIS DE LA SEÑAL

Podemos estudiar, analizar las características de una señal, si a la señal la representamos por medio de sus amplitudes en función de sus contenidos de frecuencias de la señal.

ANÁLISIS DE FOURIER DE LAS SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT)

- La transformada Discreta de Fourier (DFT) de una señal de tiempo discreto, es función de un número finito de frecuencias.
- La transformada Discreta de Fourier (DFT) es usada para señales de tiempo discreto limitadas en el tiempo.
- La transformada Discreta de Fourier (DFT) es una discretización en frecuencia de la (DTFT).
- Debido a que La transformada Discreta de Fourier (DFT) es una función de un número finito de frecuencias, es la transformada la que generalmente se utiliza en la práctica de procesamiento de señales digitales.

Sea una señal de tiempo discreto $x[n]$, con la transformada de Fourier de tiempo discreto (DTFT) $X[\Omega]$. Debido a que

$X[\Omega]$ es una función de la variable continua Ω , no es posible almacenarla en la memoria de una computadora digital. Para implementar técnicas de DTFT en una computadora digital, es necesario realizar una discretización en frecuencia.

Dado un entero positivo N , la Transformada Discreta de Fourier (DFT) de N puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1$, se define como

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Aquí:

- DFT X_k es una función de la variable discreta (entera) k .
- DFT X_k , es completamente específica para los DFT N valores $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1}$.
- Debido que la sumatoria es finita, la DFT X_k siempre existe.

FORMA RECTANGULAR DE LA DFT

$$X_k = R_k + jI_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Donde R_k es la parte real de X_k dada por

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{N}$$

I_k es la parte imaginaria de X_k dada por

$$I_k = - \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \sen \frac{2\pi kn}{N}$$

C. DETERMINACIÓN DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER DE LA SEÑAL MUESTREADA MEDIANTE LA TEORÍA MATEMÁTICA

Dirección Este - Oeste (EW)

- **USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - EW**

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = 80.46 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 0.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = -34.26 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = -58.99 \text{ mm/s}^2$$

Como: Dado un entero positivo N , la Transformada Discreta de Fourier (DFT) de N puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1$, se define como

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Como según la ecuación de Euler

$$e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j\text{sen}(\omega t)$$

Entonces

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \left\{ \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j\text{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right\}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

$$X_k = \left(\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right) - j \left(\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \text{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right),$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Por lo tanto se tiene una parte real y una parte imaginaria X_k .

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

$$I_k = - \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \text{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Luego de haberse evaluado para $n = 0$ para cada parte tenemos:

La parte real R_k de X_k es:

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{N}, k = 0, 1, 2, \dots (N-1)$$

La parte imaginaria I_k de X_k es:

$$I_k = - \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{N}, k = 0, 1, 2, 3, \dots (N-1)$$

Entonces cuando $N = 4$ puntos

La Transformada Discreta de Fourier (X_k) de la señal de tiempo discreto $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1 = 3$, se define como:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} = \sum_{n=0}^3 x[n] e^{-j\frac{2\pi kn}{4}}, k = 0, 1, 2, 3$$

La parte real R_k de X_k es

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^3 x[n] \cos \frac{2\pi kn}{4}, k = 0, 1, 2, 3$$

$$R_k = x[0] + x[1] \cos \frac{2\pi k(1)}{4} + x[2] \cos \frac{2\pi k(2)}{4} + x[3] \cos \frac{2\pi k(3)}{4}$$

$$R_k = 80.46 + 0.01 \cos \frac{2\pi k(1)}{4} - 34.26 \cos \frac{2\pi k(2)}{4} - 58.99 \cos \frac{2\pi k(3)}{4}$$

$$R_k = \begin{cases} -12.7920, & k = 0 \\ +114.720, & k = 1 \\ +105.180, & k = 2 \\ +114.720, & k = 3 \end{cases}$$

La parte imaginaria I_k de X_k es

$$I_k = - \sum_{n=1}^3 x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{4}, \quad k = 0,1,2,3$$

$$I_k = - \left(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4} + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4} \right)$$

$$I_k = - \left(0.01 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4} - 34.26 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4} - 58.99 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4} \right)$$

$$I_k = \begin{cases} +00.000, & k = 0 \\ -59.000, & k = 1 \\ +00.000, & k = 2 \\ +59.000, & k = 3 \end{cases}$$

Por lo tanto la forma rectangular de la Transformada Discreta de Fourier " X_k " es:

$$X_k = \begin{cases} -12.7920 + 00.000i, & k = 0 \\ +114.720 - 59.000i, & k = 1 \\ +105.180 + 00.000i, & k = 2 \\ +114.720 + 59.000i, & k = 3 \end{cases}$$

Según Matlab

1.0e+02 *

-0.1279 + 0.0000i

1.1472 - 0.5900i

1.0518 + 0.0000i

1.1472 + 0.5900i

- **USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 10 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - EW**

$$\begin{aligned}
 x[0] &= x(0T) = x(0.00) = 80.46 \text{ mm/s}^2 \\
 x[1] &= x(1T) = x(0.02) = 0.01 \text{ mm/s}^2 \\
 x[2] &= x(2T) = x(0.04) = -34.26 \text{ mm/s}^2 \\
 x[3] &= x(3T) = x(0.06) = -58.99 \text{ mm/s}^2 \\
 x[4] &= x(4T) = x(0.08) = -26.17 \text{ mm/s}^2 \\
 x[5] &= x(5T) = x(0.10) = 9.34 \text{ mm/s}^2 \\
 x[6] &= x(6T) = x(0.12) = 41.89 \text{ mm/s}^2 \\
 x[7] &= x(7T) = x(0.14) = -23.34 \text{ mm/s}^2 \\
 x[8] &= x(8T) = x(0.16) = -59.97 \text{ mm/s}^2 \\
 x[9] &= x(9T) = x(0.18) = -29.33 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}
 \end{aligned}$$

Entonces cuando $N = 10$ puntos

La Transformad Discreta de Fourier (X_k) de la señal de tiempo discreto $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1 = 9$, se define como:

$$\begin{aligned}
 X_k &= \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} = \sum_{n=0}^9 x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{10}}, \quad k \\
 &= 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
 \end{aligned}$$

La parte real R_k de X_k es

$$\begin{aligned}
 R_k &= x[0] + \sum_{n=1}^9 x[n] \cos \frac{2\pi kn}{10}, \quad k \\
 &= 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_k = & x[0] + x[1]\cos\frac{2\pi k(1)}{10} + x[2]\cos\frac{2\pi k(2)}{10} \\
 & + x[3]\cos\frac{2\pi k(3)}{10} + x[4]\cos\frac{2\pi k(4)}{10} \\
 & + x[5]\cos\frac{2\pi k(5)}{10} + x[6]\cos\frac{2\pi k(6)}{10} \\
 & + x[7]\cos\frac{2\pi k(7)}{10} + x[8]\cos\frac{2\pi k(8)}{10} \\
 & + x[9]\cos\frac{2\pi k(9)}{10}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_k = & 80.46 + 0.01\cos\frac{2\pi k(1)}{10} - 34.26\cos\frac{2\pi k(2)}{10} \\
 & - 58.99\cos\frac{2\pi k(3)}{10} - 26.17\cos\frac{2\pi k(4)}{10} \\
 & + 9.34\cos\frac{2\pi k(5)}{10} + 41.89\cos\frac{2\pi k(6)}{10} \\
 & - 23.34\cos\frac{2\pi k(7)}{10} - 59.97\cos\frac{2\pi k(8)}{10} \\
 & - 29.33\cos\frac{2\pi k(9)}{10}
 \end{aligned}$$

$$R_k = \begin{cases} -100.390, & k = 0 \\ +31.0050, & k = 1 \\ +228.437, & k = 2 \\ +94.6650, & k = 3 \\ +46.2430, & k = 4 \\ +104.260, & k = 5 \\ +46.2430, & k = 6 \\ +94.6650, & k = 7 \\ +228.437, & k = 8 \\ +31.0050, & k = 9 \end{cases}$$

La parte imaginaria I_k de X_k es

$$I_k = -\sum_{n=1}^9 x[n] \operatorname{sen}\frac{2\pi kn}{10}, \quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$$

$$I_k = -(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{10} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{10} \\ + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{10} + x[4] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{10} \\ + x[5] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{10} + x[6] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{10} \\ + x[7] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{10} + x[8] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{10} \\ + x[9] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{10})$$

$$I_k = -(0.01 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{10} - 34.26 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{10} \\ - 58.99 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{10} - 26.17 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{10} \\ + 9.34 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{10} + 41.89 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{10} \\ - 23.34 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{10} - 59.97 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{10} \\ - 29.33 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{10})$$

$$I_k = \begin{cases} +000.000, & k = 0 \\ +32.2130, & k = 1 \\ -128.699, & k = 2 \\ +30.9820, & k = 3 \\ +1.10700, & k = 4 \\ +000.000, & k = 5 \\ -1.10700, & k = 6 \\ -30.9820, & k = 7 \\ +128.699, & k = 8 \\ -32.2130, & k = 9 \end{cases}$$

Por lo tanto la forma rectangular de la Transformada Discreta de Fourier " X_k " es:

$$X_k = \begin{cases} -100.390 + 000.000, & k = 0 \\ +31.0050 + 32.2130, & k = 1 \\ +228.437 - 128.699, & k = 2 \\ +94.6650 + 30.9820, & k = 3 \\ +46.2430 + 1.10700, & k = 4 \\ +104.260 + 000.000, & k = 5 \\ +46.2430 - 1.10700, & k = 6 \\ +94.6650 - 30.9820, & k = 7 \\ +228.437 + 128.699, & k = 8 \\ +31.0050 - 32.2130, & k = 9 \end{cases}$$

Según Matlab

X2 =

1.0e+02 *

-1.0039 + 0.0000i
0.3100 + 0.3221i
2.2844 - 1.2870i
0.9467 + 0.3098i
0.4624 + 0.0111i
1.0426 + 0.0000i
0.4624 - 0.0111i
0.9467 - 0.3098i
2.2844 + 1.2870i
0.3100 - 0.3221i

- **USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4899 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - EW**

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = 80.46 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 0.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = -34.26 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = -58.99 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = -26.17 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = 9.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 41.89 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = -23.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = -59.97 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = -29.33 \text{ mm/s}^2$$

.

.

.

$$x[4897] = x(4897T) = x(97.94) = -38.10 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4898] = x(4898T) = x(97.96) = -16.84 \text{ mm/s}^2$$

El número de puntos muestreados en el registro sísmico será igual a: 4899 puntos muestreados.

Entonces $N = 4899$ puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1 = 4898$, se define como

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

$$X_k = \sum_{n=0}^{4898} x[n] e^{-j2\pi kn/4899}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 4898$$

$$\begin{aligned}
X_k = & [0]e^{-j2\pi k(0)/4899} + [1]e^{-j2\pi k(1)/4899} \\
& + [2]e^{-j2\pi k(2)/4899} + [3]e^{-j2\pi k(3)/4899} \\
& + [4]e^{-j2\pi k(4)/4899} + [5]e^{-j2\pi k(5)/4899} \\
& + [6]e^{-j2\pi k(6)/4899} + [7]e^{-j2\pi k(7)/4899} \\
& + [8]e^{-j2\pi k(8)/4899} + [9]e^{-j2\pi k(9)/4899} \\
& + [10]e^{-j2\pi k(10)/4899} + \dots \\
& + [4897]e^{-j2\pi k(4897)/4899} \\
& + [4898]e^{-j2\pi k(4898)/4899}
\end{aligned}$$

La parte real R_k de X_k es

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{N}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, (N-1)$$

Entonces

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{4898} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{4899}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, 4898$$

$$\begin{aligned}
R_k = & x[0] + x[1] \cos \frac{2\pi k(1)}{4899} + x[2] \cos \frac{2\pi k(2)}{4899} \\
& + x[3] \cos \frac{2\pi k(3)}{4899} + x[4] \cos \frac{2\pi k(4)}{4899} \\
& + x[5] \cos \frac{2\pi k(5)}{4899} + x[6] \cos \frac{2\pi k(6)}{4899} \\
& + x[7] \cos \frac{2\pi k(7)}{4899} + x[8] \cos \frac{2\pi k(8)}{4899} \\
& + x[9] \cos \frac{2\pi k(9)}{4899} + \dots \\
& + x[4897] \cos \frac{2\pi k(4897)}{4899} \\
& + x[4898] \cos \frac{2\pi k(4898)}{4899}
\end{aligned}$$

I_k es la parte imaginaria de X_k dada por

$$I_k = - \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{N} \quad , k = 0,1,2,3, \dots (N - 1)$$

Entonces

$$I_k = - \sum_{n=1}^{4898} x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{4899} \quad , k = 0,1,2,3, \dots, 4898$$

$$\begin{aligned} I_k = - & \left(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4899} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4899} \right. \\ & + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4899} + x[4] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{4899} \\ & + x[5] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{4899} + x[6] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{4899} \\ & + x[7] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{4899} + x[8] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{4899} \\ & + x[9] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{4899} + \dots \\ & + x[4897] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4897)}{4899} \\ & \left. + x[4898] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4898)}{4899} \right) \end{aligned}$$

Nota: el cálculo se efectuó solamente para los primeros 10 resultados mediante una hoja de cálculo "Excel". Puesto que el cálculo de la forma matemática para la Transformada de Fourier es tedioso se utiliza el MATLAB, donde los resultados obtenidos con este programa fueron comprobados matemáticamente para pequeños puntos (4 puntos y 10 puntos) del registro de aceleraciones sísmicas.

La forma rectangular de la Transformada Discreta de Fourier " X_k " es:

$$X_k = \begin{cases} -83263.767 + 000.000i, & k = 0 \\ +899.354 - 77.496000i, & k = 1 \\ +800.072 + 86.316000i, & k = 2 \\ +1113.772 - 65.03800i, & k = 3 \\ +831.839 - 56.806000i, & k = 4 \\ +601.191 + 489.85000i, & k = 5 \\ +2820.317 + 1350.614i, & k = 6 \\ +6320.180 - 1433.023i, & k = 7 \\ -1324.329 - 5273.077i, & k = 8 \\ +1229.125 - 4963.666i, & k = 9 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & k = 4898 \end{cases}$$

Dirección Norte – Sur (NS)

- **USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - NS**

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = -60.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 97.16 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = 116.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = 44.02 \text{ mm/s}^2$$

Como: Dado un entero positivo N , la Transformada Discreta de Fourier (DFT) de N puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1$, se define como

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Como según la ecuación de Euler

$$e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j\text{sen}(\omega t)$$

Entonces

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \left\{ \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right\}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$$

$$X_k = \left(\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right) - j \left(\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right), \\ k = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$$

Por lo tanto se tiene una parte real y una parte imaginaria X_k .

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$$

$$I_k = - \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$$

Luego de haberse evaluado para $n = 0$ para cada parte tenemos:

La parte real R_k de X_k es:

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cos\frac{2\pi kn}{N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$$

La parte imaginaria I_k de X_k es:

$$I_k = - \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \operatorname{sen}\frac{2\pi kn}{N}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, (N-1)$$

Entonces cuando $N = 4$ puntos

La Transformada Discreta de Fourier (X_k) de la señal de tiempo discreto $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1 = 3$, se define como:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} = \sum_{n=0}^3 x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{4}}, \quad k = 0, 1, 2, 3$$

La parte real R_k de X_k es

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^3 x[n] \cos \frac{2\pi kn}{4}, \quad k = 0, 1, 2, 3$$

$$R_k = x[0] + x[1] \cos \frac{2\pi k(1)}{4} + x[2] \cos \frac{2\pi k(2)}{4} \\ + x[3] \cos \frac{2\pi k(3)}{4}$$

$$R_k = -60.01 + 97.16 \cos \frac{2\pi k(1)}{4} + 116.34 \cos \frac{2\pi k(2)}{4} \\ + 44.02 \cos \frac{2\pi k(3)}{4}$$

$$R_k = \begin{cases} +197.506, & k = 0 \\ -176.350, & k = 1 \\ -84.8500, & k = 2 \\ -176.350, & k = 3 \end{cases}$$

La parte imaginaria I_k de X_k es

$$I_k = - \sum_{n=1}^3 x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{4}, \quad k = 0, 1, 2, 3$$

$$I_k = - \left(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4} \right. \\ \left. + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4} \right)$$

$$I_k = - \left(97.16 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4} + 116.34 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4} \right. \\ \left. + 44.02 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4} \right)$$

$$I_k = \begin{cases} +00.000, & k = 0 \\ -53.140, & k = 1 \\ +00.000, & k = 2 \\ +53.140, & k = 3 \end{cases}$$

Por lo tanto la forma rectangular de la Transformada Discreta de Fourier

" X_k " es:

$$R_k = \begin{cases} +197.506 + 00.000i, & k = 0 \\ -176.350 - 53.140i, & k = 1 \\ -84.8500 + 00.000i, & k = 2 \\ -176.350 + 53.140i, & k = 3 \end{cases}$$

Según Matlab

1.0e+02 *

1.9751 + 0.0000i

-1.7635 - 0.5314i

-0.8485 + 0.0000i

-1.7635 + 0.5314i

- **USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 10 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACCELERACIONES SÍSMICAS - NS**

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = -60.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 97.16 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = 116.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = 44.02 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = -50.50 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = -46.26 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 29.05 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = 28.95 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = 19.80 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = 20.53 \text{ mm/s}^2$$

Entonces cuando $N = 10$ puntos

La Transformada Discreta de Fourier (X_k) de la señal de tiempo discreto $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1 = 9$, se define como:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} = \sum_{n=0}^9 x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{10}}, \quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$$

La parte real R_k de X_k es

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^9 x[n] \cos \frac{2\pi kn}{10}, \quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$$

$$\begin{aligned} R_k = & x[0] + x[1] \cos \frac{2\pi k(1)}{10} + x[2] \cos \frac{2\pi k(2)}{10} \\ & + x[3] \cos \frac{2\pi k(3)}{10} + x[4] \cos \frac{2\pi k(4)}{10} \\ & + x[5] \cos \frac{2\pi k(5)}{10} + x[6] \cos \frac{2\pi k(6)}{10} \\ & + x[7] \cos \frac{2\pi k(7)}{10} + x[8] \cos \frac{2\pi k(8)}{10} \\ & + x[9] \cos \frac{2\pi k(9)}{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_k = & -60.01 + 97.16 \cos \frac{2\pi k(1)}{10} + 116.34 \cos \frac{2\pi k(2)}{10} \\ & + 44.02 \cos \frac{2\pi k(3)}{10} - 50.50 \cos \frac{2\pi k(4)}{10} \\ & - 46.26 \cos \frac{2\pi k(5)}{10} + 29.05 \cos \frac{2\pi k(6)}{10} \\ & + 28.95 \cos \frac{2\pi k(7)}{10} + 19.80 \cos \frac{2\pi k(8)}{10} \\ & + 20.53 \cos \frac{2\pi k(9)}{10} \end{aligned}$$

$$R_k = \begin{cases} +199.070, & k = 0 \\ +118.337, & k = 1 \\ -245.704, & k = 2 \\ -107.852, & k = 3 \\ -119.511, & k = 4 \\ -89.7200, & k = 5 \\ -119.511, & k = 6 \\ -107.852, & k = 7 \\ -245.704, & k = 8 \\ +118.337, & k = 9 \end{cases}$$

La parte imaginaria I_k de X_k es

$$I_k = -\sum_{n=1}^9 x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{10}, \quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$$

$$\begin{aligned} I_k = & -(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{10} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{10} \\ & + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{10} + x[4] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{10} \\ & + x[5] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{10} + x[6] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{10} \\ & + x[7] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{10} + x[8] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{10} \\ & + x[9] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{10}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_k = & -(97.16 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{10} + 116.34 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{10} \\ & + 44.02 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{10} - 50.50 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{10} \\ & - 46.26 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{10} + 29.05 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{10} \\ & + 28.95 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{10} + 19.80 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{10} \\ & + 20.53 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{10}) \end{aligned}$$

$$I_k = \begin{cases} +000.000, & k = 0 \\ -104.431, & k = 1 \\ -196.423, & k = 2 \\ +68.3800, & k = 3 \\ -14.3180, & k = 4 \\ +000.000, & k = 5 \\ +14.3180, & k = 6 \\ -68.3800, & k = 7 \\ +196.423, & k = 8 \\ +104.431, & k = 9 \end{cases}$$

Por lo tanto la forma rectangular de la Transformada Discreta de Fourier " X_k " es:

$$X_k = \begin{cases} +199.070 + 000.000i, & k = 0 \\ +118.337 - 104.431i, & k = 1 \\ -245.704 - 196.423i, & k = 2 \\ -107.852 + 68.3800i, & k = 3 \\ -119.511 - 14.3180i, & k = 4 \\ -89.7200 + 000.000i, & k = 5 \\ -119.511 + 14.3180i, & k = 6 \\ -107.852 - 68.3800i, & k = 7 \\ -245.704 + 196.423i, & k = 8 \\ +118.337 + 104.431i, & k = 9 \end{cases}$$

Según Matlab

1.0e+02 *

1.9907 + 0.0000i
 1.1834 - 1.0443i
 -2.4570 - 1.9642i
 -1.0785 + 0.6838i
 -1.1951 - 0.1432i
 -0.8972 + 0.0000i
 -1.1951 + 0.1432i
 -1.0785 - 0.6838i
 -2.4570 + 1.9642i
 1.1834 + 1.0443i

- **USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4899 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS - NS**

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = -60.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 97.16 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = 116.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = 44.02 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = -50.50 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = -46.26 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 29.05 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = 28.95 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = 19.80 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = 20.53 \text{ mm/s}^2$$

.

.

.

$$x[4897] = x(4897T) = x(97.94) = 8.10 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4898] = x(4898T) = x(97.96) = 7.02 \text{ mm/s}^2$$

El número de puntos muestreados en el registro sísmico será igual a: 4899 puntos muestreados.

Entonces $N = 4899$ puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1 = 4898$, se define como

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

$$X_k = \sum_{n=0}^{4898} x[n] e^{-j2\pi kn/4899}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 4898$$

$$\begin{aligned}
X_k = & [0]e^{-j2\pi k(0)/4899} + [1]e^{-j2\pi k(1)/4899} \\
& + [2]e^{-j2\pi k(2)/4899} + [3]e^{-j2\pi k(3)/4899} \\
& + [4]e^{-j2\pi k(4)/4899} + [5]e^{-j2\pi k(5)/4899} \\
& + [6]e^{-j2\pi k(6)/4899} + [7]e^{-j2\pi k(7)/4899} \\
& + [8]e^{-j2\pi k(8)/4899} + [9]e^{-j2\pi k(9)/4899} \\
& + [10]e^{-j2\pi k(10)/4899} + \dots \\
& + [4897]e^{-j2\pi k(4897)/4899} \\
& + [4898]e^{-j2\pi k(4898)/4899}
\end{aligned}$$

La parte real R_k de X_k es

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{N}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, (N-1)$$

Entonces

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{4898} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{4899}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, 4898$$

$$\begin{aligned}
R_k = & x[0] + x[1] \cos \frac{2\pi k(1)}{4899} + x[2] \cos \frac{2\pi k(2)}{4899} \\
& + x[3] \cos \frac{2\pi k(3)}{4899} + x[4] \cos \frac{2\pi k(4)}{4899} \\
& + x[5] \cos \frac{2\pi k(5)}{4899} + x[6] \cos \frac{2\pi k(6)}{4899} \\
& + x[7] \cos \frac{2\pi k(7)}{4899} + x[8] \cos \frac{2\pi k(8)}{4899} \\
& + x[9] \cos \frac{2\pi k(9)}{4899} + \dots \\
& + x[4897] \cos \frac{2\pi k(4897)}{4899} \\
& + x[4898] \cos \frac{2\pi k(4898)}{4899}
\end{aligned}$$

I_k es la parte imaginaria de X_k dada por

$$I_k = - \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{N} \quad , k = 0,1,2,3, \dots (N - 1)$$

Entonces

$$I_k = - \sum_{n=1}^{4898} x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{4899} \quad , k = 0,1,2,3, \dots, 4898$$

$$\begin{aligned} I_k = - \left(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4899} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4899} \right. \\ + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4899} + x[4] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{4899} \\ + x[5] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{4899} + x[6] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{4899} \\ + x[7] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{4899} + x[8] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{4899} \\ + x[9] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{4899} + \dots \\ + x[4897] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4897)}{4899} \\ \left. + x[4898] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4898)}{4899} \right) \end{aligned}$$

Nota: el cálculo se efectuó solamente para los primeros 10 resultados mediante una hoja de cálculo "Excel". Puesto que el cálculo de la forma matemática para la Transformada de Fourier es tedioso se utiliza el MATLAB, donde los resultados obtenidos con este programa fueron comprobados matemáticamente para pequeños puntos (4 puntos y 10 puntos) del registro de aceleraciones sísmicas.

La forma rectangular de la Transformada Discreta de Fourier " X_k " es:

$$X_k = \begin{cases} +55208.961 + 000.000i, & k = 0 \\ -770.406 - 69.458000i, & k = 1 \\ -802.853 + 122.95600i, & k = 2 \\ -1052.073 - 172.3390i, & k = 3 \\ -815.297 + 440.63700i, & k = 4 \\ -561.038 - 4.9160000i, & k = 5 \\ -4466.344 - 1674.158i, & k = 6 \\ +743.721 - 654.48400i, & k = 7 \\ -5091.274 + 5171.563i, & k = 8 \\ +493.896 + 5383.7080i, & k = 9 \\ \vdots & \vdots \\ & k = 4898 \end{cases}$$

D. DETERMINACIÓN DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER DE LA SEÑAL MUESTREADA MEDIANTE EL USO DEL ALGORITMO FFT IMPLEMENTADO EN EL PROGRAMA MATLAB

1. ALGORITMO DE LA TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER (FFT)

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

- Es un método rápido para calcular la transformada Discreta de Fourier (DFT).
- Debido a que la evaluación directa de X_k requiere N^2 multiplicaciones, esto puede ocasionar muchísimos cálculos se N es grande. Con el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT) se requerirá $(N \log_2 N)/2$ mutiplicaciones.

El software MATLAB contiene un comando para calcular la FFT denotado por `fft`.

Las sentencias usadas para obtener la Transformada Discreta de Fourier fueron:

```

%REGISTRO SISMICO-EW
N2=4899;
fm=50;
T2=1/fm;
k2=0:N2-1;
t2=0:1/fm:(N2-1)/fm;
load MUESTRAEW4899PUNTOS.txt
M = MUESTRAEW4899PUNTOS;
figure(1);
subplot(2,1,1);
plot(t2,M);
title('ACELERACIÓN SÍSMICA: ');
xlabel('tiempo (seg)');
ylabel('aceleración (mm/s2)');
%TRANSFORMADA DE FOURIER
X2=fft(M);
magnitudX2=abs(X2);
hertz2=k2*(1/(N2*T2));
figure(1);
subplot(2,1,2);
plot(hertz2(1:N2/1),magnitudX2(1:N2/1));
grid;
title('SEÑAL: ANALISIS ESPECTRAL');
xlabel('Hz');
ylabel('Magnitud |Xk|');
%REGISTRO SISMICO-NS
N2=4899;
fm=50;
T2=1/fm;
k2=0:N2-1;
t2=0:1/fm:(N2-1)/fm;
load MUESTRANS4899PUNTOS.txt
M = MUESTRANS4899PUNTOS;
figure(2);
subplot(2,1,1);
plot(t2,M);
title('ACELERACIÓN SÍSMICA: ');
xlabel('tiempo (seg)');
ylabel('aceleración (mm/s2)');
%TRANSFORMADA DE FOURIER
X2=fft(M);
magnitudX2=abs(X2);
hertz2=k2*(1/(N2*T2));
figure(2);
subplot(2,1,2);
plot(hertz2(1:N2/1),magnitudX2(1:N2/1));
grid;
title('SEÑAL: ANALISIS ESPECTRAL');
xlabel('Hz');
ylabel('Magnitud |Xk|');
hold on;
index=find(magnitudX2==max(magnitudX2));
mainhertz2Str=num2str(hertz2(index));
plot(hertz2(index),magnitudX2(index),'r.',
'MarkerSize',15);

```

```
text(hertz2(index)+2,magnitudX2(index), ['frecuencia = ',mainhertz2Str]);
hold on;
```

Según Matlab para la dirección EW

Todos estos resultados serán afectados por el factor 1.0e+04.

-8.3264 + 0.0000i , K=0
0.0899 - 0.0077i , K=1
0.0800 + 0.0086i , K=2
0.1114 - 0.0065i , K=3
0.0832 - 0.0057i , K=4
0.0601 + 0.0490i , K=5
0.2820 + 0.1351i , K=6
0.6320 - 0.1433i , K=7
-0.1324 - 0.5273i , K=8
0.1229 - 0.4964i , K=9
.
.
.
0.0899 + 0.0077i K=4898

Según Matlab para la dirección NS

Todos estos resultados serán afectados por el factor 1.0e+04.

5.5209 + 0.0000i, K=0
-0.0770 - 0.0069i, K=1
-0.0803 + 0.0123i, K=2
-0.1052 - 0.0172i, K=3
-0.0815 + 0.0441i, K=4
-0.0561 - 0.0005i, K=5
-0.4466 - 0.1674i, K=6

0.0744 - 0.0654i, K=7

-0.5091 + 0.5172i, K=8

0.0494 + 0.5384i, K=9

.
. .
. . .

-0.0770 + 0.0069i, K=4898

2. DETERMINANDO EN ESPECTRO DE FOURIER (MAGNITUD EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA)

Sea el número complejo $c = a + ib$.

Entonces la magnitud de un número complejo viene dada por la fórmula:

$$|c| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Para el cálculo de la magnitud de los números complejos de la Transformada Discreta de Fourier se realizó utilizando el comando `abs(X2)` implementado en Matlab.

Según Matlab para la dirección EW

```
magnitudX2 =  
1.0e+05 *  
0.8326, K=0  
0.0090, K=1  
0.0080, K=2  
0.0112, K=3  
0.0083, K=4  
0.0078, K=5  
0.0313, K=6  
0.0648, K=7
```

0.0544, K=8

0.0511, K=9

.

.

.

0.0080, K=4897

0.0090, K=4898

Según Matlab para la dirección NS

magnitudX2 =

1.0e+04 *

5.5209, K=0

0.0774, K=1

0.0812, K=2

0.1066, K=3

0.0927, K=4

0.0561, K=5

0.4770, K=6

0.0991, K=7

0.7257, K=8

0.5406, K=9

.

.

.

0.0812, K=4897

0.0774, K=4898

3. DETERMINANDO LA FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL

El término "frecuencia", en un registro de aceleraciones sísmicas, es usado para referirse a la frecuencia principal de aceleración terrestre que está presente durante el sismo. Generalmente existen varias frecuencias presentes en la aceleración de un fenómeno sísmico, pero la mayoría de las veces una domina sobre las otras en su prolongación o valor. ¹²¹

En un sismo, las frecuencias responsables del movimiento son difíciles de percibir a través de nuestros sentidos, pero a través de sismógrafos o acelerómetros y utilizando herramientas matemáticas del área de Tratamiento Frecuencial podemos hallar frecuencias dominantes en éstos. ¹²²

Las frecuencias dominantes en señales ha sido realizada utilizando transformadas discretas y sus herramientas derivadas. La más tradicional de estas herramientas es la Transformada de Fourier utilizada aún para obtener componentes frecuenciales en señales. ¹²³

Una parte importante del análisis de datos es determinar las componentes sinusoidales dominantes (o cíclicas) de una señal dada $x[n]$ que está especificada por $n = 0, 1, \dots, N - 1$. Aquí, "dominante" se refiere a cualquier componente sinusoidal de $x[n]$, cuyas amplitudes sean mucho más grandes que las del resto de las componentes sinusoidales incluidas en $x[n]$. La DFT de N puntos (o FFT de N puntos) puede aplicarse a $x[n]$ para determinar si existen componentes cíclicas dominantes contenidas en la señal. ¹²⁴

¹²¹ Echeverría Pérez F. Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras de movimiento y registros sísmicos utilizando la Transformada Wavelet. [Tesis]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010. (Página 50).

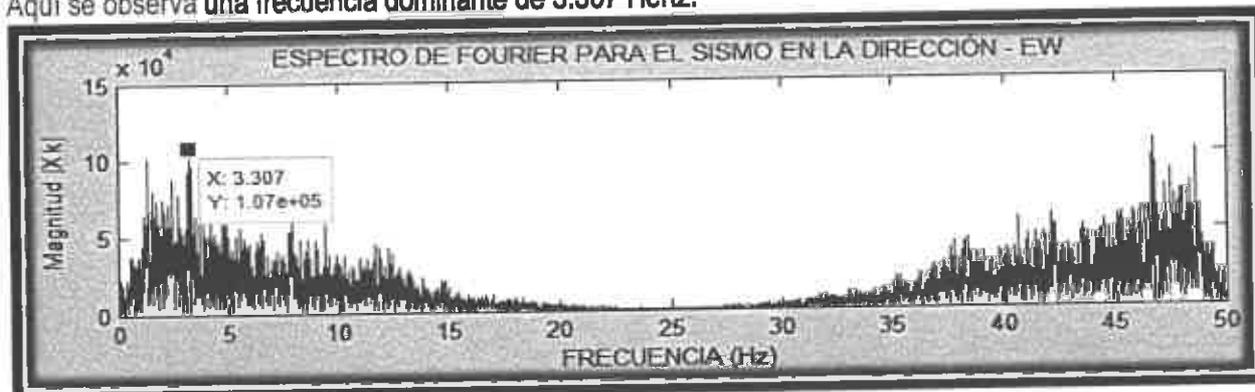
¹²² Echeverría Pérez F. Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras de movimiento y registros sísmicos utilizando la Transformada Wavelet. [Tesis]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010. (Página 17).

¹²³ Echeverría Pérez F. Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras de movimiento y registros sísmicos utilizando la Transformada Wavelet. [Tesis]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010. (Página 8).

¹²⁴ KAMEN, Edward y Heck, Bonnie: FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS USANDO LA WEB Y MATLAB. Tercera edición: 2008. Editorial Pearson Educación, Capítulo 4, (Página 206).

Entonces para determinar que contenidos de frecuencias dominan en una señal $x[n]$, se determinarán las frecuencias para los cuales se tiene una mayor magnitud $|X_k|$.

Figura 050. Espectro de Fourier (magnitud $|X_k|$ de la Transformada Discreta de Fourier en el dominio de la frecuencia) para el sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección EW. Aquí se observa una frecuencia dominante de 3.307 Hertz.



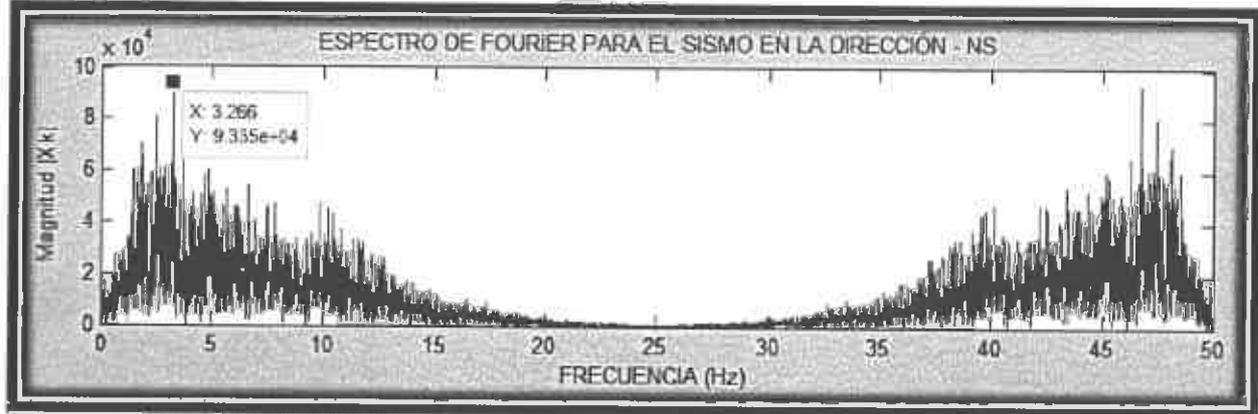
Fuente: Elaboración propia 'uso del programa MATLAB'.

El espectro de Fourier del sismo en la dirección EW al cual se sometió a la edificación indica que la frecuencia dominante se encuentra en el intervalo de 1.337 Hz – 3.521 Hz, presentándose una mayor concentración energética alrededor de la frecuencia de 3.307 Hz.

Entonces al aplicar la Transformada Discreta de Fourier a una señal muestreada de un registro de aceleraciones sísmicas de 4899 puntos muestreados y una frecuencia de muestreo de 50 Hz durante 1 min 37.96 seg (97.96 seg), se obtiene claramente en el Espectro de Fourier una mayor magnitud $|X_k| = 107000$ y asociado a éste está la frecuencia dominante de 3.307 Hz.

Por lo tanto, la frecuencia dominante en este registro de aceleración sísmica en la dirección EW (Este - Oeste) es de 3.307 Hz.

Figura 051. Espectro de Fourier (magnitud $|X_k|$ de la Transformada Discreta de Fourier en el dominio de la frecuencia) para el sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección NS. Aquí se observa una frecuencia dominante de 3.266 Hertz.



Fuente: Elaboración propia "usó del programa MATLAB".

El espectro de Fourier del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección NS al cual se sometió a la edificación indica que la frecuencia dominante se encuentra en el intervalo de 2.521 Hz – 3.695 Hz, presentándose una mayor concentración energética alrededor de la frecuencia de 3.266 Hz.

Por lo tanto, al aplicar la Transforma Discreta de Fourier a una señal muestreada de un registro de aceleraciones sísmicas de 4899 puntos muestreados y una frecuencia de muestreo de 50 Hz durante 1 min 37.96 seg (97.96 seg), se obtiene claramente en el Espectro de Fourier una mayor magnitud $|X_k| = 93350$ y asociado a éste está la frecuencia dominante de 3.266 Hz.

Por lo tanto, la frecuencia dominante en este registro de aceleración sísmica en la dirección NS (Norte – Sur) es de 3.266 Hz.

TABLA 030. Frecuencia y periodo fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) en la dirección X e Y.

DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN					
FRECUENCIA Y PERIODO FUNDAMENTAL DEL VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN					
PARAMETROS	DIRECCIÓN	MATEMÁTICAMENTE SEGÚN N. T. E.030	CON EL PROGRAMA ETABS	ERROR	OBSERVACIONES
FRECUENCIA FUNDAMENTAL DEL VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN FRECUENCIA (Hz)	X	2.336 Hz	2.194 Hz	6.07%	respecto al calculado según la N. T. E.030
	Y	11.680 Hz	11.944 Hz	2.26%	respecto al calculado según la N. T. E.030
PERIODO FUNDAMENTAL DEL VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (Segundos)	X	0.428 seg	0.456 seg	6.54%	respecto al calculado según la N. T. E.030
	Y	0.086 seg	0.084 seg	2.32%	respecto al calculado según la N. T. E.030

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

TABLA 031. Frecuencia dominante en la señal sísmica (sismo del 03 de octubre del año 1974) en las direcciones Este – Oeste y Norte – Sur.

FRECUENCIA DOMINANTE EN LA SEÑAL SÍSMICA (sismo del 03 de octubre del año 1974)			
PARAMETROS	PROGRAMA MATLAB		OBSERVACIONES
FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL SÍSMICA FRECUENCIA (Hz)	DIRECCIÓN X	3.307 Hz	El eje X coincide con la dirección del registro sísmico EW
	DIRECCIÓN Y	3.266 Hz	El eje Y coincide con la dirección del registro sísmico NS
PERIODO (Segundos)	DIRECCIÓN X	0.302 seg	El eje X coincide con la dirección del registro sísmico EW
	DIRECCIÓN Y	0.306 seg	El eje Y coincide con la dirección del registro sísmico NS

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

TABLA 032. Comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación y la frecuencia dominante de la señal sísmica en las direcciones X e Y.

COMPARACION ENTRE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACION DE LA EDIFICACION Y LA FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL SISMICA				
FRECUENCIA FUNDAMENTAL DEL VIBRACION DE LA EDIFICACION		FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL SISMICA	COMPARACION	INTERPRETACION
DIRECIÓN X	2.336 Hz	3.307 Hz	≠	Aquí la frecuencia fundamental de vibración de la edificación es diferente a la frecuencia dominante del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección Este – Oeste, por lo tanto, para la dirección considerada no se produce un estado de resonancia que amplifiquen la amplitud de vibración o que se produzca una amplificación lateral en la edificación.
DIRECIÓN Y	11.680 Hz	3.266 Hz	≠	De forma similar también aquí la frecuencia fundamental de vibración de la edificación es diferente a la frecuencia dominante del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección Norte - Sur, por lo tanto, para la dirección considerada no se produce un estado de resonancia que amplifiquen la amplitud de vibración o que se produzca una amplificación lateral.
OBSERVACIONES				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Como se puede observar la frecuencia fundamental de vibración de la edificación en la dirección Y es mucho mayor que la frecuencia en la dirección X, esto es correcto porque si realizamos una comparación con un sistema dinámico de un grado de libertad la frecuencia fundamental de vibración del sistema es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la rigidez del sistema y como en la dirección Y la edificación está formado por un sistema estructural de muros estructurales por lo tanto, la edificación es mucho más rígida en ésta dirección que en la dirección X conformado por un sistema estructural dual, entonces se acepta estos valores en las direcciones respectivas. ➤ Generalmente las señales sísmicas contienen componentes de frecuencia de 1 a 10 Hz y como en la dirección Y la frecuencia fundamental de vibración de la edificación esta fuera de este rango, por lo tanto, existirá poca posibilidad de que se amplifiquen las vibraciones considerablemente o que el sistema se encuentre en un estado de resonancia que ponga en peligro la edificación en un eventual sismo. 				
REFERENCIAS				
<ul style="list-style-type: none"> • Según (Bazán y Mellí, 2010) "el grado de amplificación depende del amortiguamiento propio de la edificación y de la relación entre el periodo de la estructura y el periodo dominante del suelo. Cuando el movimiento del terreno es lento, con periodos dominantes largos, es en las estructuras altas y flexibles donde se amplifican las vibraciones y se generan aceleraciones más elevadas y por ende fuerzas de inercia mayores" [12]. <p>Interpretaciones y comentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El grado de la amplificación del movimiento lateral de la edificación depende de la relación entre el periodo fundamental de la estructura y el periodo dominante de la señal sísmica. Cuando esta relación se aproxima a la unidad se producen grandes amplificaciones que pueden ocasionar daños en los elementos estructurales y hasta producir el colapso de la edificación, sustentándose esto con el fenómeno de la resonancia (Peralta, 2009). ✓ Cuando el movimiento del terreno es lento, con periodos dominantes largos o frecuencias dominantes menores, es en estructuras altas y flexibles donde se amplifican las vibraciones, esto es correcto de acuerdo a la interpretación que se da a lo mencionado por (Tejada, 2011) "las estructuras altas tienen frecuencias fundamentales de vibración menores". Por ende, la relación de estas frecuencias se aproximarán a la unidad produciéndose así grandes amplificaciones, como también puede producirse el fenómenos de la resonancia (Peralta, 2009). <ul style="list-style-type: none"> • Según (Peralta, 2009) "$A = \frac{F_0}{m(\omega_c^2 - \omega^2)}$ cuando ω tiende al ω_0, el valor absoluto de la amplitud A tiende a infinito. En esta situación en que el sistema elástico tiende a oscilar con una máxima amplitud se dice que el sistema entra en un estado de resonancia". 				

Interpretaciones y comentarios:

- ✓ Cuando la frecuencia fundamental de vibración ω del sistema tiende en valor a la frecuencia ω_0 de la señal excitadora " F_0 ". En este estado, la amplitud del movimiento aumenta gradualmente al infinito (tiende al infinito). Pero, como los materiales comúnmente usados en la práctica están sujetos a límites de resistencia y los fallos estructurales ocurrirán mucho antes de que las amplitudes puedan alcanzar valores extremadamente altos (Paz, 1992).
- Según (Tejada, 2011) "la aparición de estructuras cada vez más esbeltas en el panorama de la ingeniería civil, hace que los periodos propios de oscilación sean largos" [1].

Interpretación:

- ✓ Las estructuras altas tienen frecuencias fundamentales de vibración menores.
- Comentario de lo sucedido en el puente Tacoma Según (Tejada, 2011) "el efecto dinámico de un viento de apenas 60 km/h hizo, literalmente, romper el puente como si se tratara de una figurilla de plastilina. ¡En realidad este puente fue diseñado para soportar efectos estáticos provocados por vientos de más de 200 km/h" [1].

Comentario:

- ✓ Estudios posteriores determinaron que la causa del colapso del puente de Tacoma fue porque la frecuencia fundamental de la estructura coincidió con la frecuencia del viento dicho de otro modo fue a causa del fenómeno de la resonancia.
- Según (Echeverría, 2010) "la principal preocupación al analizar una estructura sometida a excitación sísmica radica en la posibilidad de que exista resonancia, es decir, la condición en la cual el periodo de vibración del terremoto inducido por el movimiento terrestre es igual al periodo natural de vibración de la estructura produciéndose intensas amplificaciones de la dinámica. Cuando ocurre la resonancia, el movimiento responsable del edificio es aumentado, incrementando la amplitud de la vibración rápidamente" [2].

Comentario:

- ✓ Lo manifestado anteriormente es válida también cuando se representa mediante frecuencias de vibración.

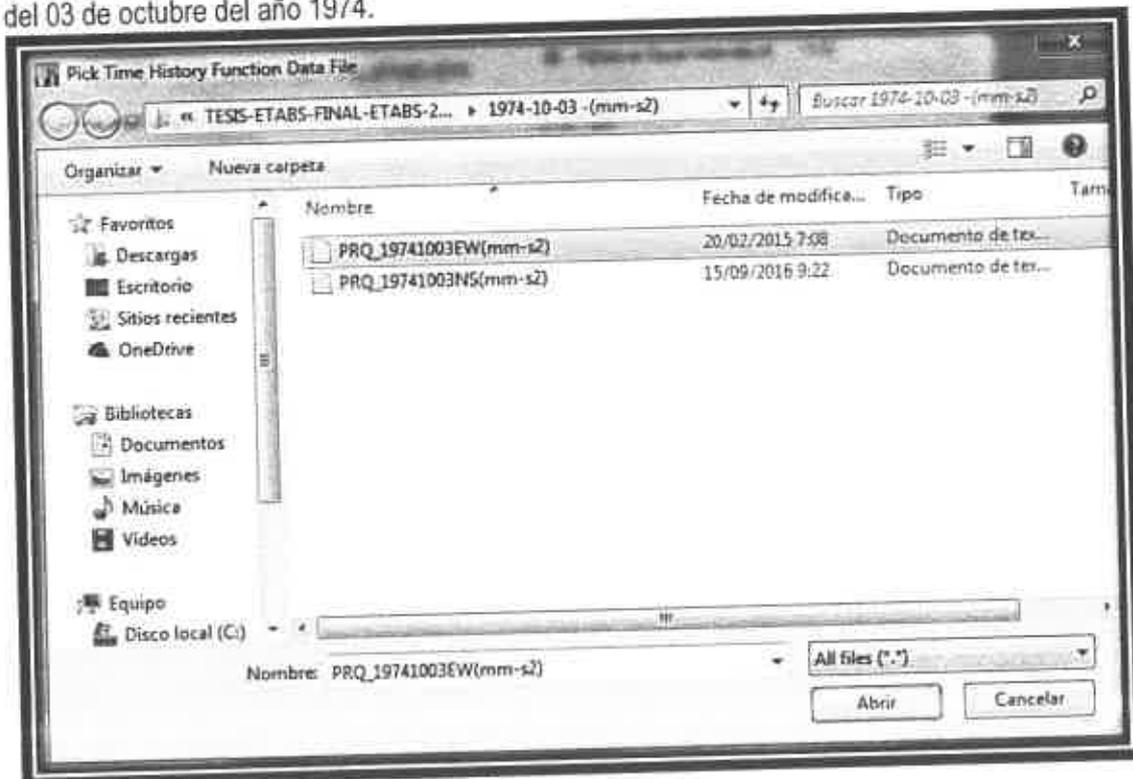
CONCLUSIONES

- De acuerdo al espectro de Fourier la frecuencia dominante del registro de aceleraciones sísmicas en la dirección EW se encuentra en el intervalo de 1.337 Hz – 3.521 Hz, y tiene como valor de 3.307 Hz, y la frecuencia fundamental de vibración de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales) es de 2.336 Hz en la dirección X, donde según la teoría si existe en la señal excitadora una frecuencia dominante igual a la frecuencia fundamental de la estructura se producirá un estado conocido como resonancia y de acuerdo a las frecuencias calculadas en la dirección mencionada no existe resonancia, por lo tanto para el sismo considerado (sismo 03 de octubre del año 1974 dirección EW) no se producirá amplificación del comportamiento dinámico de la estructura y específicamente amplificación del desplazamiento lateral.
- De acuerdo al espectro de Fourier del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección NS al cual se sometió a la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) indica que la frecuencia dominante se encuentra en el intervalo de 2.521 Hz – 3.695 Hz, presentándose una mayor concentración energética alrededor de la frecuencia de 3.266 Hz. Por lo tanto, la frecuencia dominante de este registro de aceleración sísmica en la dirección NS (Norte – Sur) es de 3.266 Hz, y realizando una comparación con la frecuencia fundamental de vibración de la edificación que es de 11.680 Hz en la dirección Y, las cuales no son iguales se concluye que la frecuencia de la excitación no sería capaz de someter a la estructura a una amplificación de su amplitud de vibración o producir un estado de resonancia.

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis"

escribimos el nombre del registro sísmico u otro nombre, por ejemplo: LIMA1974EW, para ingresar los datos del registro sísmico de un archivo guardado, hacemos un clic en el botón **Browse...** Seleccionamos la unidad y carpeta donde está guardado el archivo, para poder visualizar los archivos de tipo txt dentro de esta carpeta, seleccionamos este tipo de archivo del botón desplegable, seleccionar el archivo del tipo documento de texto PQR_19741003EW(mm-s2) y hacemos un clic en el botón **Abrir**.

Figura 052. Selección de la unidad y carpeta donde está guardado el archivo del tipo txt (PQR_19741003EW(mm-s2)), que contiene el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974.

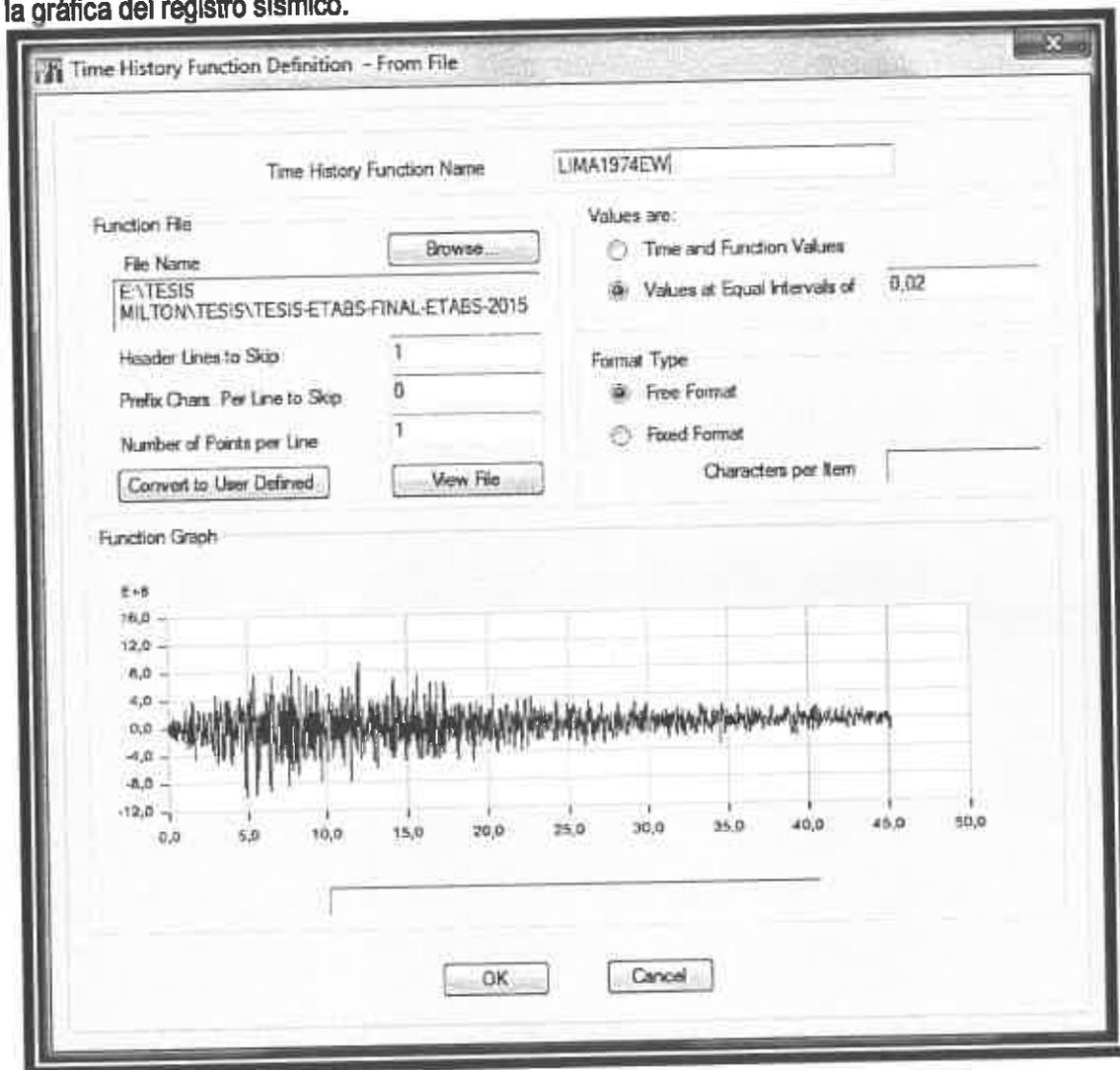


Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

En **File Name (Nombre del archivo)**, se deberá visualizar la dirección de la ubicación del archivo abierto, en **Header Lines to Skip (Líneas del encabezado a pasar)**, digitar el número de líneas que no se desea que se considere en la lectura del archivo (esto por los comentarios en el encabezado del archivo),

como nuestro archivo ya fue editado eliminando los comentarios del encabezado dejando solamente la unidad entonces digitamos 1, en **Number of Points per Line (Número de puntos por línea)**, escriba el número de puntos que existe en cada fila (escriba el número de columnas por fila del registro sísmico en el archivo) para nuestro caso es 1, active el botón **Values at Equal Intervals of (Valores a los intervalos iguales de)** y digite 0.020, porque el tiempo tomado en cuenta en el registro sísmico tiene un intervalo de (0.02) segundos, active el botón **Free Format**, hacer un clic en el botón **Display Graph (Despliegue la gráfica)** para ver la gráfica del acelerograma sísmico (sismo de lima del 03 de octubre del año 1974) cargado al programa y luego haga un clic en el botón **OK**.

Figura 053. Aquí se muestra el nombre de la función editado anteriormente, el archivo del registro sísmico cargado, el intervalo de tiempo de 0.020 segundos (periodo de muestreo), el salto de una línea para la lectura de datos, número de puntos por línea y también se muestra la gráfica del registro sísmico.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

De forma similar al realizado anteriormente para la función de nombre LIMA1974NS, esto para la dirección Norte – Sur del registro de aceleraciones sísmicas.

4.3.1.3. ADICIONANDO UN NUEVO CASO DE CARGA DINÁMICO DE NOMBRE THLIMA1974-X Y THLIMA1974-Y

A. PARA EL CASO THLIMA1974-X

Para adicionar un nuevo caso de carga dinámico de nombre THLIMA1974-X realizamos lo siguiente:

En la barra de menú hacemos un clic en el menú **Define (Definir)** y luego hacemos un clic en la opción **Load Cases... (Casos de carga)**.

En el cuadro **Load Cases** haga un clic en el botón **Add New Case... (Adicionando un nuevo caso)**.

En el cuadro **Load Case Data (Datos de caso de carga)**, y en **Load Case Name (Nombre del caso de carga)** digite THLIMA1974-X, en **Load Case Type (Tipo del caso de carga)**, hacer un clic en el botón desplegable y seleccionar **Time History** y seleccione **Linear Modal (Lineal)** ya que nuestro análisis será un análisis lineal, en **Advanced**, active la casilla para mostrar los siguientes parámetros de carga para configurar, en **Loads Applied**, realizar lo siguiente:

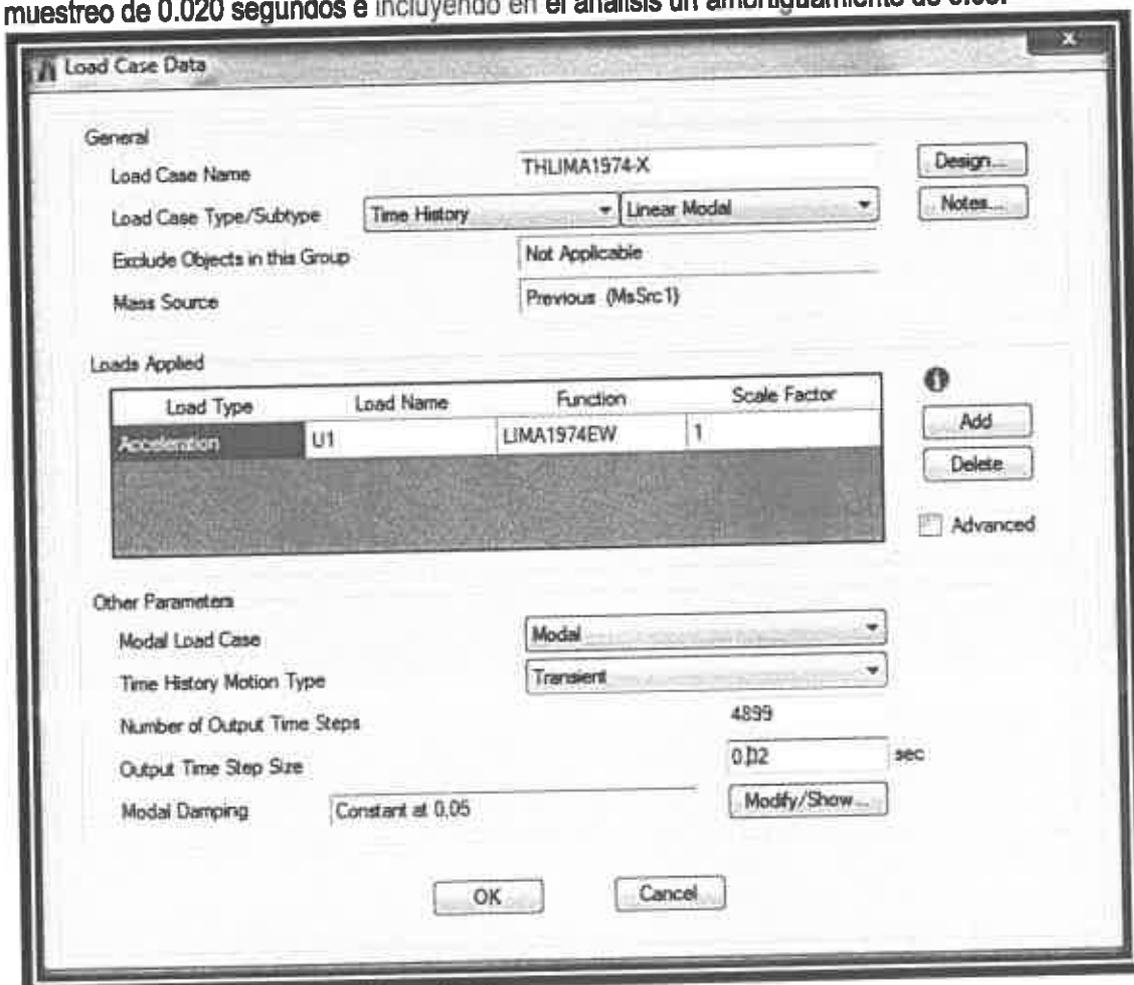
- En **Load Type (Tipo de carga)**, del botón desplegable seleccione **Acceleration**.
- En **Load Name (Nombre de la carga)**, del botón desplegable seleccione **U1**, por que para este caso la componente del sismo actúa en la dirección local U1 del eje global X (horizontal).
- En **Function (Función)**, del botón desplegable seleccione la función cargada previamente **LIMA1974EW**.
- En **Scale Factor (Factor de escala)**, digitar el factor de escala por el cual se va a multiplicar al acelerograma para trabajar con unidades del programa (mm/s²) configurada previamente, en este caso se digitará 1 porque en el archivo el registro de datos sísmicos "PQR-

19741003EW(mm-s²)" la unidad de la aceleración está en mm/s².

Lo demás tal como está configurado en la figura.

En **Number of Output Time Steps** digitamos 4899 (por que el registro sísmico tiene esa cantidad de puntos), en **Output Time Step Size** digitamos 0.020 que es el intervalo de tiempo del registro sísmico.

Figura 054. Creando un caso de carga dinámica de nombre THLIMA1974-X, configurando la dirección de análisis eje X (U1), cargando la función editada anteriormente de nombre LIMA1974EW, añadiendo un factor de escala de 1 porque los datos muestreados no son una fracción de la gravedad, configurando el número de 4899 puntos muestreados, el tiempo de muestreo de 0.020 segundos e incluyendo en el análisis un amortiguamiento de 0.05.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

B. PARA EL CASO THLIMA1974-Y

Para adicionar un nuevo caso de carga dinámico de nombre THLIMA1974-Y realizamos lo siguiente:

En la barra de menú hacemos un clic en el menú **Define (Definir)** y luego hacemos un clic en la opción **Load Cases... (Casos de carga)**.

En el cuadro **Load Cases** haga un clic en el botón **Add New Case... (Adicionando un nuevo caso)**.

En el cuadro **Load Case Data (Datos de caso de carga)**, y en **Load Case Name (Nombre del caso de carga)** digite THLIMA1974-Y, en **Load Case Type (Tipo del caso de carga)**, hacer un clic en el botón desplegable y seleccionar **Time History** y seleccione **Linear Modal (Lineal)** ya que nuestro análisis será un análisis lineal, en **Advanced**, active la casilla para mostrar los siguientes parámetros de carga para configurar, en **Loads Applied**, realizar lo siguiente:

- En **Load Type (Tipo de carga)**, del botón desplegable seleccione **Acceleration**.
- En **Load Name (Nombre de la carga)**, del botón desplegable seleccione **U2**, por que para este caso la componente del sismo actúa en la dirección local U2 del eje global Y (horizontal).
- En **Function (Función)**, del botón desplegable seleccione la función cargada previamente **LIMA1974NS**.
- En **Scale Factor (Factor de escala)**, digitar el factor de escala por el cual se va a multiplicar al acelerograma para trabajar con unidades del programa (mm/s²) configurada previamente, en este caso se digitará 1 porque en el archivo el registro de datos sísmicos "PQR-19741003NS(mm-s2)" la unidad de la aceleración está en mm/s².

Lo demás tal como está configurado en la figura.

En **Number of Output Time Steps** digitamos 4899 (por que el registro sísmico tiene esa cantidad de puntos), en **Output Time Step Size** digitamos 0.020 que es el intervalo de tiempo del registro sísmico.

Figura 055. Creando un caso de carga dinámico de nombre THLIMA1974-Y, configurando la dirección de análisis eje Y (U2), cargando la función editada anteriormente de nombre LIMA1974NS, añadiendo un factor de escala de 1 porque los datos muestreados no son una fracción de la gravedad, configurando el número de 4899 puntos muestreados, el tiempo de muestreo de 0.020 segundos e incluyendo en el análisis un amortiguamiento de 0.05.

Load Case Data

General

Load Case Name: THLIMA1974-Y

Load Case Type/Subtype: Time History / Linear Modal

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	LIMA1974NS	1

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Time History Motion Type: Transient

Number of Output Time Steps: 4899

Output Time Step Size: 0.02 sec

Modal Damping: Constant at 0.05

Buttons: Design..., Notes..., Add, Delete, Advanced, OK, Cancel

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Elabris".

4.3.1.4. CONTROL DE DERIVAS PARA LOS CASOS DINÁMICOS TIEMPO - HISTORIA

A. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO THLIMA1974-X

Para el cálculo de las derivas lo primero que se deberá calcular son los desplazamientos máximos de cada nivel, para esto realizamos lo siguiente:

Una vez hecho que el programa corra el análisis de la estructura mediante el comando **Run Analysis** hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego seleccionamos la opción **Analysis**, seleccionamos la opción **Results**, seleccionamos la opción **Displacements** y luego la opción **Story Max / Avg Displacements**.

En el botón **Load Case/Combo** hacemos un clic derecho y seleccionamos el caso sísmico dinámico **THLIMA1974-X Max** y en **Direction** hacemos un clic derecho y seleccionamos la dirección **X**.

Figura 056. Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-X en la dirección X.

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum mm	Average mm	Ratio
PISO 4	THLIMA1974-X Max	X	25.9	25.8	1.003194
PISO 3	THLIMA1974-X Max	X	23.9	19.4	1.00258
PISO 2	THLIMA1974-X Max	X	19.5	12.6	1.002041
PISO 1	THLIMA1974-X Max	X	12.6	4.9	1.001597
SEMI-SOTANO	THLIMA1974-X Max	X	4.9		1.001148

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Luego realizamos el cálculo de las derivas usando el Excel mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$\Delta_{\text{elástico}-i} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_{el}} \right)$$

Para todos los pisos, por tener la edificación la misma altura de entrepiso $h_{ei} = 3150$ mm.

TABLA 033. Desplazamientos máximos y derivas elásticas para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-X en la dirección X.

DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO THLIMA1974-X			
PISO	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTO δ_i (mm)	DERIVAS $\Delta_{elástico-i}$
PISO 4 (AZOTEA)	15.75	25.9981	0.000635
PISO 3	12.60	23.9971	0.001414
PISO 2	9.45	19.5441	0.002174
PISO 1	6.30	12.6955	0.002471
SEMI SOTANO	3.15	4.9127	0.001560
BASE	0	0	

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

B. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS INELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO THLIMA1974-X DESPLAZAMIENTO LATERAL AMPLIFICADOS

La norma Técnica E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" señala: para reestructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.¹²⁵

Esto señala que las fuerzas sísmicas distribuidas en cada piso deberán ser multiplicadas por el valor que resulte de 0.75 R, para así determinar luego los desplazamientos laterales que se produjeran para estos. O también directamente los desplazamientos obtenidos en el análisis lineal para los sismos en las direcciones respectivas deberán ser multiplicados por 0.75 R, para luego verificar si éstas están dentro del límite permitido. Entonces, aquí los valores de los desplazamientos máximos generados por el reporte con el programa ETABS para los

¹²⁵DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápite 5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales, (Página 576303).

diferentes nodos (centros de masa) serán multiplicados por el valor $0.75 R = 0.75 \times 7 = 5.25$ para así obtener los desplazamientos laterales en concordancia con la Norma Técnica E.030 (Diseño sismorresistente).

Realizamos el cálculo de las derivas usando el Excel y mediante la utilización de la siguientes formulas:

- ✓ $\Delta_{\text{elástico-i}} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_{ei}} \right)$.
- ✓ $\Delta = \Delta_{\text{inelástico-i}} = 0.75 * R * \Delta_{\text{elástico-i}}$.
- ✓ Para la dirección "X" el $R = 7$.
- ✓ $h_{ei} = 3150 \text{ mm}$

Donde:

$\Delta_{\text{elástico-i}}$: Deriva elástica en el nivel i.

δ_i : Desplazamiento máximo del nivel i.

h_{ei} : Altura del entrepiso i.

TABLA 034. Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-X (para la dirección "X" $R=7$).

DERIVAS INELÁSTICAS DE ACUERDO A LA NORMA TÉCNICA E.030 PARA EL CASO SÍSMICO THLIMA1974-X (PARA LA DIRECCIÓN "X" $R=7$)							
PISO	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	DESP. ENTREPISO $\delta_i - \delta_{i-1}$ (mm)	h_{ei} (m)	DERIVA ELÁSTICA $\Delta_{\text{elástico-i}}$ (%)	DERIVA INELÁSTICA (SEGÚN N. T. E.030) $\Delta = \Delta_{\text{inelástico-i}} = 0.75 * R * \Delta_{\text{elástico-i}}$ (%)	DERIVA LÍMITE (SEGÚN N. T. E.030) (%)	MEJOR A 7%? (SEGÚN N. T. E.030)
PISO 4 (AZOTEA)	25.9981	2.00100	3.15	0.635238	3.335000	7	SI
PISO 3	23.9971	4.45300	3.15	1.413651	7.421667	7	NO
PISO 2	19.5441	6.84860	3.15	2.174159	11.414333	7	NO
PISO 1	12.6955	7.78280	3.15	2.470730	12.971333	7	NO
SEMI SOTANO	4.9127	4.91270	3.15	1.559587	8.187833	7	NO
BASE							

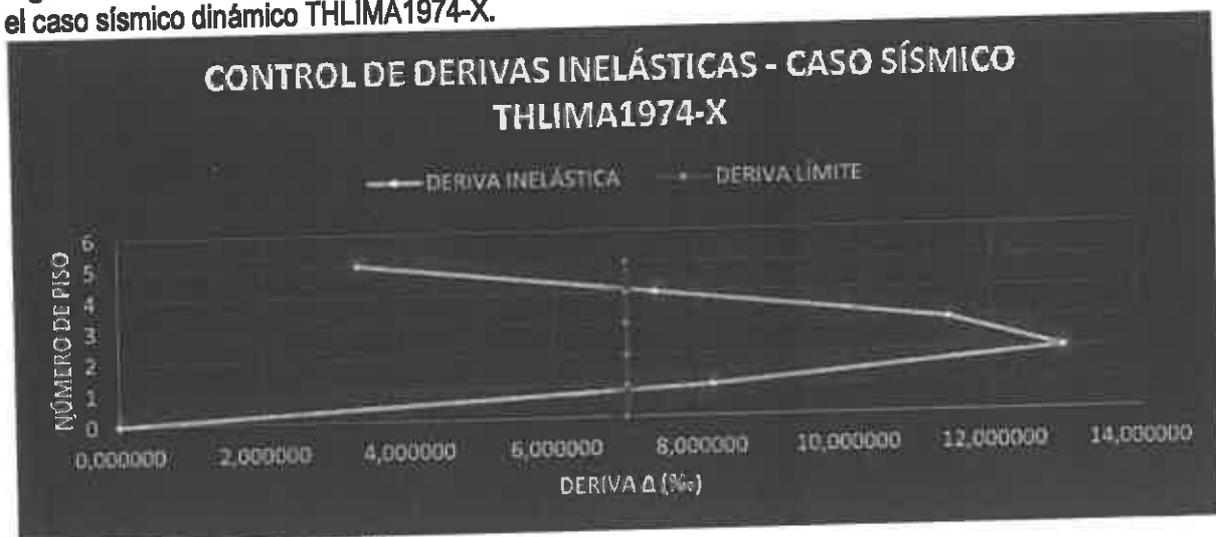
Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

* DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápite 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos admisibles/Tabla N° 11.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el cálculo de las derivas inelásticas mediante el uso de la formula y una hoja de cálculo (Excel) de cada piso por sismo, se observa que para el

1er al 3er piso incluido el semi sótano la deriva inelástica no está dentro del límite establecido por la norma (E.030 "Diseño Sismorresistente"), pero el 4to piso si está dentro del límite establecido. Por lo tanto los valores de la deriva inelástica calculada como del desplazamiento máximo de la azotea indican que la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) no tiene buena rigidez en la dirección X.

Figura 057. Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030 para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-X.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

C. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO THLIMA1974-Y

Para el cálculo de las derivas lo primero que se deberá calcular son los desplazamientos máximos de cada nivel, para esto realizamos lo siguiente:

Una vez hecho que el programa corra el análisis de la estructura mediante el comando **Run Analysis** hacemos un clic en la pestaña **Tables**, luego seleccionamos la opción **Analysis**, seleccionamos la opción **Results**, seleccionamos la opción

Displacements y luego la opción **Story Max / Avg Displacements**.

En el botón **Load Case/Combo** hacemos un clic derecho y seleccionamos el caso sísmico dinámico **THLIMA1974-Y Max** y en **Direction** hacemos un clic derecho y seleccionamos la dirección **Y**.

Figura 058. Desplazamientos máximos en los diferentes niveles de la edificación para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-Y en la dirección Y.

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum mm	Average mm	Ratio
PISO 4	THLIMA1974-Y Max	Y	0.8	0.6	1.212364
PISO 3	THLIMA1974-Y Max	Y	0.6	0.5	1.210169
PISO 2	THLIMA1974-Y Max	Y	0.4	0.4	1.206852
PISO 1	THLIMA1974-Y Max	Y	0.3	0.2	1.201194
SEMI-SOTANO	THLIMA1974-Y Max	Y	0.1	0.1	1.187218
BASE	THLIMA1974-Y Max	Y	0	0	1.187218

Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

Luego realizamos el cálculo de las derivas usando el Excel mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$\Delta_{\text{elástico}-i} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_{ei}} \right)$$

Para todos los pisos, por tener la edificación la misma altura de entrepiso $h_{ei} = 3150 \text{ mm}$.

TABLA 035. Desplazamientos máximos y derivas elásticas para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-Y en la dirección Y.

DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS ELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO THLIMA1974-Y			
PISO	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DERIVAS $\Delta_{\text{elástico}-i}$
PISO 4 (AZOTEA)	15.75	0.5118	0.000032
PISO 3	12.60	0.4119	0.000036
PISO 2	9.45	0.2973	0.000038
PISO 1	6.30	0.178	0.000034
SEMI SOTANO	3.15	0.0707	0.000022
BASE	0	0	

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

D. DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS INELÁSTICAS PARA EL CASO SÍSMICO DINÁMICO THLIMA1974-Y

Normatividad: Norma Técnica E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" (Capítulo 5 Requisitos de rigidez, Resistencia y ductilidad / 5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales) señala:

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas. ¹²⁶

Realizamos el cálculo de las derivas usando el Excel y mediante la utilización de la siguientes formulas:

- ✓ $\Delta_{\text{elástico}-i} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_i} \right)$.
- ✓ $\Delta = \Delta_{\text{inelástico}-i} = 0.75 * R * \Delta_{\text{elástico}-i}$.
- ✓ Para la dirección "Y" el R = 6.
- ✓ $h_i = 3150 \text{ mmm}$

Donde:

$\Delta_{\text{elástico}-i}$: Deriva elástica en el nivel i.

δ_i : Desplazamiento máximo del nivel i.

h_{ei} : Altura del entrepiso i.

¹²⁶DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápite 5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales, (Página 576303).

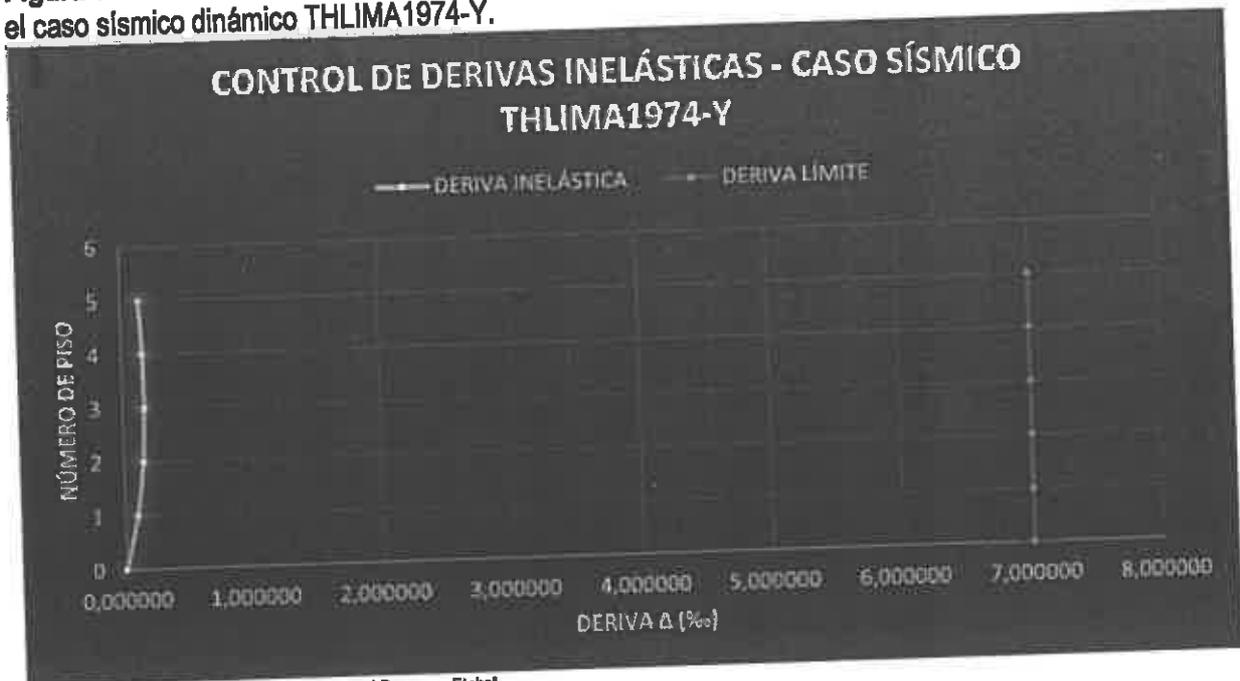
TABLA 036. Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-Y (para la dirección "Y" R=6).

DERIVAS INELÁSTICAS DE ACUERDO A LA NORMA TÉCNICA E.030 PARA EL CASO SÍSMICO THLIMA1974-Y (PARA LA DIRECCIÓN "Y" R=6)							
PISO	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	DESP. ENTREPISO $\delta_i - \delta_{i-1}$ (mm)	hel (m)	DERIVA ELÁSTICA $\Delta_{elástico-i}$ (%)	DERIVA INELÁSTICA (SEGÚN N. T. E.030) $\Delta = \Delta_{inelástico-i} = 0.75 * R * \Delta_{elástico-i}$ (%)	DERIVA LÍMITE (SEGÚN N. T. E.030) (%)	MEJOR A 7%? (SEGÚN N. T. E.030)
PISO 4 (AZOTEA)	0.5118	0.09990	3.15	0.031714	0.142714	7	SI
PISO 3	0.4119	0.11460	3.15	0.036381	0.163714	7	SI
PISO 2	0.2973	0.11930	3.15	0.037873	0.170429	7	SI
PISO 1	0.178	0.10730	3.15	0.034063	0.153286	7	SI
SEMI SOTANO	0.0707	0.07070	3.15	0.022444	0.101000	7	SI
BASE							

* DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápites 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos admisibles/Tabla N° 11.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el cálculo de las derivas inelásticas mediante el uso de la fórmula y una hoja de cálculo (Excel) de cada piso por sismo, se observa que para todos los pisos la deriva inelástica está dentro del límite establecido por la norma (E.030 "Diseño Sismorresistente"), también se observa que el desplazamiento máximo calculado en la azotea es de 0.8 mm en la dirección "Y". Por lo tanto los valores de la deriva inelástica calculada como del desplazamiento máximo de la azotea indican que la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) tiene buena rigidez en la dirección Y.

Figura 059. Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030 para el caso sísmico dinámico THLIMA1974-Y.



Fuente: Elaboración propia "análisis sísmico con el Programa Etabs".

4.4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

PRIMERO: VERIFICANDO EL SISTEMA ESTRUCTURAL ASUMIDO EN LA DIRECCIÓN CORRESPONDIENTE

Se verifico si el sistema estructural adoptado inicialmente era el correcto.

Inicialmente:

- Para la dirección "X" el SISTEMA ESTRUCTURAL del edificio es un SISTEMA DUAL.
- Para la dirección "Y" el SISTEMA ESTRUCTURAL del edificio es un SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES.

Posteriormente:

Posteriormente se determinó el porcentaje de la fuerza cortante que es absorbido por las columnas y muros del total de la fuerza cortante en la base de la edificación, para luego con estos porcentajes y haciendo uso del Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 (Diseño Sismorresistente) se determinó en las direcciones respectivas el sistema estructural correspondiente.

Para la dirección "X"

✓ Cortante Dinámica en columnas

$$V_x = 79.2139 \text{ ton} \rightarrow 36.06 \%$$

✓ Cortante Dinámica en muros

$$V_x = 140.4621 \text{ ton} \rightarrow 63.94 \%$$

✓ Sumatoria

$$V = 219.676 \text{ ton} \rightarrow 100 \%$$

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente")

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros esta entre 20% y 70% del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos el 30 % de la fuerza cortante en la base.

Por lo tanto, el SISTEMA ESTRUCTURAL del edificio es un SISTEMA DUAL.

Para la dirección "Y"

- ✓ **Cortante Dinámica en columnas**

$$V_y = 4.5322 \text{ ton} \rightarrow 2.04 \%$$

- ✓ **Cortante Dinámica en muros**

$$V_y = 217.3342 \text{ ton} \rightarrow 97.96 \%$$

- ✓ **Sumatoria**

$$V = 221.8664 \text{ ton} \rightarrow 100 \%$$

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente").

Muros Estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Por lo tanto, el **SISTEMA ESTRUCTURAL** del edificio en la **DIRECCIÓN "Y"** es un **SISTEMA DE MURÓS ESTRUCTURALES**.

Concluyéndose que: El sistema estructural adoptado en las direcciones X e Y inicialmente es el correcto.

SEGUNDO: VERIFICANDO EL COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS "R_o" EN LA DIRECCIÓN CORRESPONDIENTE SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

Se verifico si el coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas "R_o", en la dirección correspondiente adoptado inicialmente era el correcto.

inicialmente:

- **PARA LA DIRECCIÓN "X" R_o = 7**
- **PARA LA DIRECCIÓN "Y" R_o = 6**

Posterlormente:

Posteriormente con los sistemas estructurales definidos para las direcciones respectivas y haciendo uso del Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 (Diseño Sismorresistente /Tabla N° 7) se determinó en las direcciones respectivas lo siguiente:

Para la dirección "X"

PARA UN SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL LE CORRESPONDE UN COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN R_o EN LA DIRECCIÓN X IGUAL

PARA LA DIRECCIÓN "X" R_o = 7

Para la dirección "Y"

PARA UN SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES LE CORRESPONDE UN COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN R_o EN LA DIRECCIÓN Y IGUAL A:

PARA LA DIRECCIÓN "Y" R_o = 6

Concluyéndose que: El coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas "R_o", adoptado en las direcciones X e Y inicialmente es el correcto.

TERCERO: VERIFICANDO LA FUERZA CORTANTE MÍNIMA REQUERIDA PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

Para la dirección "X" e "Y"

Normatividad: (Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" /Capítulo 4: Análisis Estructural /4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral /Acápito 4.6.4 Fuerza Cortante Mínima).

Fuerza Cortante Mínima

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

Como la edificación en análisis (Facultad de Ciencias Empresariales) es una estructura regular, por lo tanto, la fuerza cortante en la base de la edificación calculada según el análisis sísmico dinámico, deberá ser mayor o igual que el 80 % de la fuerza cortante en la base calculada según el análisis sísmico estático. Entonces como se puede observar en la tabla la fuerza cortante en la base de la edificación calculada según el análisis sísmico dinámico es un 83.399 % de la fuerza cortante en la base calculada según un análisis sísmico estático para la dirección "X", por lo tanto, la edificación si cumple con este requisito estipulado por la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente).

También como se puede observar en la tabla la fuerza cortante en la base de la edificación calculada según el análisis sísmico dinámico es un 72.158 % de la fuerza cortante calculada según un análisis sísmico estático para la dirección "Y", por lo tanto, la edificación no cumple con este requisito estipulado por la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente).

TABLA 015. Fuerza cortante mínima requerida para un análisis sísmico dinámico según la Norma Técnica E.030 en las direcciones X e Y.

FUERZA CORTANTE	PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO	PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO	PORCENTAJE DE LA FUERZA CORTANTE DINÁMICA RESPECTO A LA FUERZA CORTANTE ESTÁTICA (%)	PORCENTAJE DE LA FUERZA CORTANTE DINÁMICA RESPECTO A LA FUERZA CORTANTE ESTÁTICA SEGÚN LA N. T. E.030
FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LA EDIFICACIÓN DIRECCIÓN X (Ton)	263.3700	219.6494	83.399 %	¿MAYOR AL 80 %? OK
FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LA EDIFICACIÓN DIRECCIÓN Y (Ton)	307.2850	221.7148	72.158 %	¿MAYOR AL 80 %? NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

CUARTO: CONTROL DE DERIVA PARA EL CASO DINÁMICO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030

Primeramente, se calculó las derivas elásticas por medio de la división de los desplazamientos máximos relativos que existe en cada entrepiso entre sus respectivas alturas, O haciendo uso de la siguiente formula.

$$\Delta_{\text{elástico}-i} = \left(\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_{ei}} \right)$$

Para todos los pisos, por tener la edificación la misma altura de entrepiso $h_{ei} = 3150$ mm.

Posteriormente, se calculó las derivas inelásticas, para esto las derivas elásticas obtenidos en el análisis lineal para los sismos en las direcciones respectivas fueron multiplicados por 0.75 R, y con este resultado obtenido se verifico si éstas están dentro del límite permitido como lo estipula el Reglamento Nacional de Edificación E.030 (Diseño Sismorresistente).

De esta manera se obtiene los siguientes resultados:

Para la dirección "X"

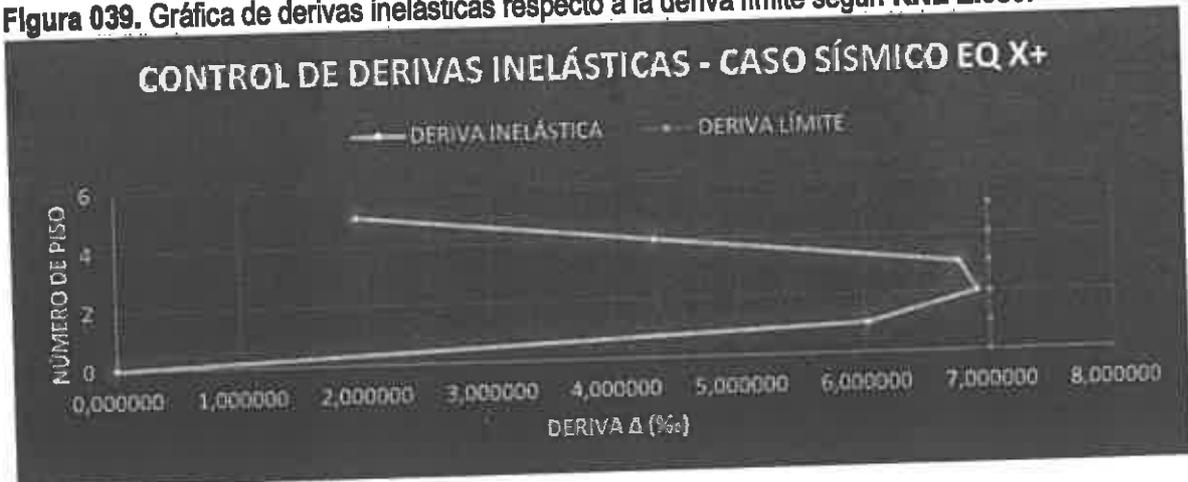
TABLA 017. Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico EQ X+ (para la dirección "X" R=7).

DERIVAS INELÁSTICAS DE ACUERDO A LA NORMA TÉCNICA E.030 PARA EL CASO SISMICO EQ X+ (PARA LA DIRECCIÓN "X" R=7)							
PISO	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	DESP. ENTREPISO $\delta_i - \delta_{i-1}$ (mm)	h _{ei} (m)	DERIVA ELÁSTICA $\Delta_{\text{elástico}-i}$ (%)	DERIVA INELÁSTICA (SEGÚN N. T. E.030) $\Delta = \Delta_{\text{inelástico}-i} = 0.75 * R * \Delta_{\text{elástico}-i}$ (%)	DERIVA LÍMITE (SEGÚN N. T. E.030) (%)	MEJOR A 7%? (SEGÚN N. T. E.030)
PISO 4 (AZOTEA)	15.5948	1.16980	3.15	0.371365	1.949667	7	SI
PISO 3	14.4250	2.60460	3.15	0.826857	4.341000	7	SI
PISO 2	11.8204	4.05750	3.15	1.288095	6.762500	7	SI
PISO 1	7.7629	4.14400	3.15	1.315556	6.906667	7	SI
SEMI SOTANO	3.6189	3.61890	3.15	1.148857	6.031500	7	SI
BASE							

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

* DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápito 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos admisibles/Tabla N° 11.

Figura 039. Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030.



Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

Concluyéndose que: De acuerdo a los resultados obtenidos para el cálculo de las derivas inelásticas mediante el uso de la fórmula y una hoja de cálculo (Excel) de cada piso por sismo, se observa que para todos los pisos la deriva inelástica está dentro del límite establecido por la norma (E.030 "Diseño Sismorresistente"), también se observa que el desplazamiento máximo calculado en la azotea es de 1.559 cm en la dirección "X". Por lo tanto los valores de la deriva inelástica calculada como del desplazamiento máximo de la azotea indican que la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) tiene buena rigidez en la dirección X.

Para la dirección "Y"

TABLA 019. Derivas inelásticas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 para el caso sísmico EQ Y+ (para la dirección "Y" R=6).

DERIVAS INELÁSTICAS DE ACUERDO A LA NORMA TÉCNICA E.030 PARA EL CASO SÍSMICO EQ Y+ (PARA LA DIRECCIÓN "Y" R=6)							
PISO	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	DESP. ENTREPISO $\delta_1 - \delta_{i-1}$ (mm)	hei (m)	DERIVA ELÁSTICA $\Delta_{elástico-i}$ (%)	DERIVA INELÁSTICA (SEGÚN N. T. E.030) $\Delta = \Delta_{inelástico-i} = 0.75 * R * \Delta_{elástico-i}$ (%)	DERIVA LÍMITE (SEGÚN N. T. E.030) (%)*	MENOR A 7%? (SEGÚN N. T. E.030)
PISO 4 (AZOTEA)	0.8153	0.16910	3.15	0.053683	0.241571	7	SI
PISO 3	0.6462	0.18980	3.15	0.060190	0.270857	7	SI
PISO 2	0.4566	0.19100	3.15	0.060635	0.272857	7	SI
PISO 1	0.2856	0.16480	3.15	0.052254	0.235143	7	SI
SEMI SOTANO	0.101	0.10100	3.15	0.032063	0.144286	7	SI
BASE							

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

* DIARIO OFICIAL, EL PERUANO: Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda (Decreto Supremo que modifica la NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE"). edición: 24 de Enero del 2016, Capítulo 5: Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad/Acápite 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos admisibles/Tabla N° 11.

Figura 041. Gráfica de derivas inelásticas respecto a la deriva límite según RNE E.030, para la dirección Y.



Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesla".

Concluyendo que: De acuerdo a los resultados obtenidos para el cálculo de las derivas inelásticas mediante el uso de la fórmula y una hoja de cálculo (Excel) de cada piso por sismo, se observa que para todos los pisos la deriva inelástica está dentro del límite establecido por la norma (E.030 "Diseño Sismorresistente"), también se observa que el desplazamiento máximo calculado en la azotea es de 0.0815 cm en la dirección "Y". Por lo tanto los valores de la deriva inelástica calculada como del desplazamiento máximo de la azotea indican que la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) tiene buena rigidez en la dirección Y.

QUINTO: CALCULO DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN SEGÚN LA NTE E.030

El periodo fundamental de Vibración para cada dirección se calculó con el uso de la siguiente expresión matemática según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 (Diseño Sismorresistente).

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i * d_i^2}{g * \sum_{i=1}^n f_i * d_i}}$$

Obteniéndose para cada dirección respectiva lo siguiente:

Para la dirección "X" e "Y"

TABLA 027. Resumen, Periodo y frecuencia fundamental de vibración de la edificación en la dirección X e Y.

DIRECCIÓN X		
MODO DE CALCULAR	PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (seg)	FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (Hz)
MANUALMENTE SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	0.428	2.336
ETABS	0.456	2.194
DIRECCIÓN Y		
MODO DE CALCULAR	PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (seg)	FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (Hz)
MANUALMENTE SEGÚN LA NORMA TÉCNICA E.030	0.086	11.680
ETABS	0.084	11.944

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

SEXTO: DETERMINACIÓN DE LA RESPUESTA EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA DEL REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS

Para determinar el contenido de frecuencias que posee la señal (registro de aceleraciones sísmicas) se tuvo que realizar un muestreo a la señal sísmica para luego aplicar la Transformada Discreta de Fourier y así obtener las magnitudes de las componentes en el dominio de la frecuencia, para luego determinar la frecuencia dominante de la señal sísmica.

Para esto se realizó lo siguiente:

Muestreo de la señal (registro de aceleraciones sísmicas) donde se definió solo para determinados instantes temporales.

Así:

$$x[n] = x(t)|_{t=nT} = x(t_n) = x(nT) ; n = 0, 1, 2, \dots, N$$

Donde:

- ✓ *T, es el periodo de toma de muestras.*
- ✓ *N + 1, es el número de puntos muestreados.*

TABLA 028. Datos muestreados con un periodo de muestro de $T = 0.020$ segundos y una frecuencia de muestreo de $F = 50$ Hz (Hertz) del registro de aceleraciones sísmicas (sismo del 03 de octubre del año 1974) - EW.

	cm/s ²	mm/s ²
0.00	8.046	80.46
0.02	0.001	00.01
0.04	-3.426	-34.26
0.06	-5.899	-58.99
0.08	-2.617	-26.17
0.10	0.934	09.34
0.12	4.189	41.89
0.14	-2.334	-23.34
0.16	-5.997	-59.97
0.18	-2.933	-29.33
0.20	-0.128	-01.28
0.22	-2.275	-22.75
0.24	9.675	96.75
0.26	1.698	16.98
0.28	-19.900	-199.00
.	.	.
.	.	.
.	.	.
97.94	-3.810	-38.10
97.96	-1.684	-16.84

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

Como se puede observar el intervalo de tiempo de muestreo es de 0.02 seg, entonces el periodo de muestreo T es igual a 0.02 seg.

PERIODO DE MUESTREO: $T = 0.02$ s

FRECUENCIA DE MUESTREO: $F = 50$ Hz

$$x[n] = x(nT) = x(t)|_{t=nT} \quad , \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = 80.46 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 0.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = -34.26 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = -58.99 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = -26.17 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = 9.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 41.89 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = -23.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = -59.97 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = -29.33 \text{ mm/s}^2$$

.

.

$$x[4897] = x(4897T) = x(97.94) = -38.10 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4898] = x(4898T) = x(97.96) = -16.84 \text{ mm/s}^2$$

Entonces, el número de puntos muestreados en el registro sísmico será igual a:

$$N + 1 = 4898 + 1 = 4899 \text{ puntos muestreados}$$

TABLA 029. Datos muestreados con un periodo de muestro de $T = 0.020$ segundos y una frecuencia de muestreo de $F = 50$ Hz (Hertz) del registro de aceleraciones sísmicas (sismo del 03 de octubre del año 1974) - NS.

t	cm/s ²	mm/s ²
0.00	-6.001	-60.01
0.02	9.716	97.16
0.04	11.634	116.34
0.06	4.402	44.02
0.08	-5.050	-50.50
0.10	-4.626	-46.26
0.12	2.905	29.05
0.14	2.895	28.95
0.16	1.980	19.80
0.18	2.053	20.53
0.20	-5.916	-59.16
0.22	-3.697	-36.97
0.24	4.688	46.88
0.26	8.453	84.53
0.28	4.273	42.73
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
97.94	0.810	08.10
97.96	0.702	07.02

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

Como se puede observar el intervalo de tiempo de muestreo es de 0.02 seg, entonces el periodo de muestreo T es igual a 0.02 seg.

PERIODO DE MUESTREO: $T = 0.02$ s

FRECUENCIA DE MUESTREO: $F = 50$ Hz

$$x[n] = x(nT) = x(t)|_{t=nT} \quad , \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = -60.01 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 97.16 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = 116.34 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = 44.02 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = -50.50 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = -46.26 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 29.05 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = 28.95 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = 19.80 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = 20.53 \text{ mm/s}^2$$

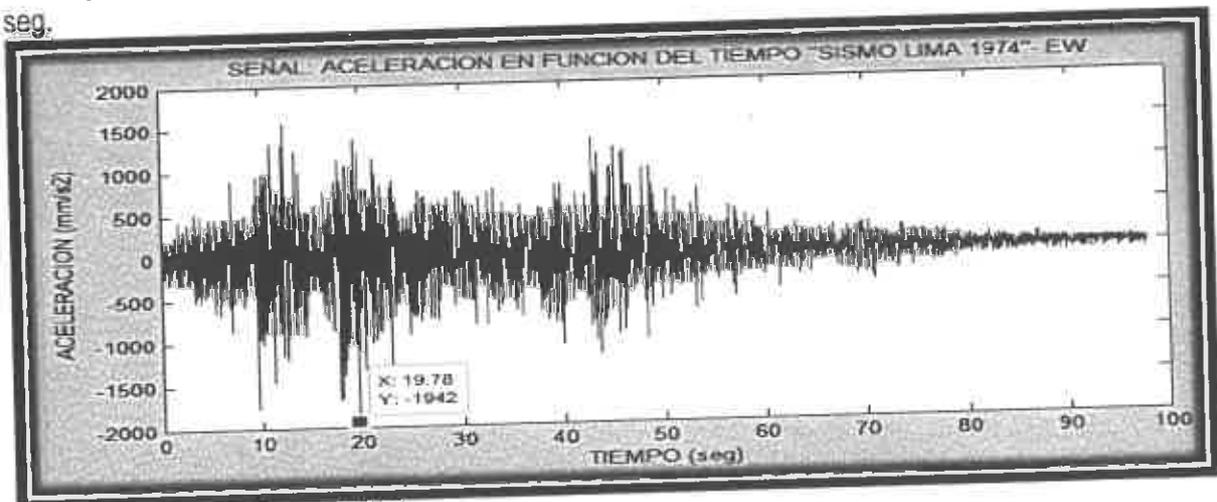
$$x[4897] = x(4897T) = x(97.94) = 8.10 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4898] = x(4898T) = x(97.96) = 7.02 \text{ mm/s}^2$$

Entonces, el número de puntos muestreados en el registro sísmico será igual a:

$$N + 1 = 4898 + 1 = 4899 \text{ puntos muestreados}$$

Figura 046. Aceleraciones sísmicas en función del tiempo graficado mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - EW. Aquí se observa un "peak" de aceleración de 1924.00 mm/s^2 en un tiempo de 19.78 seg.



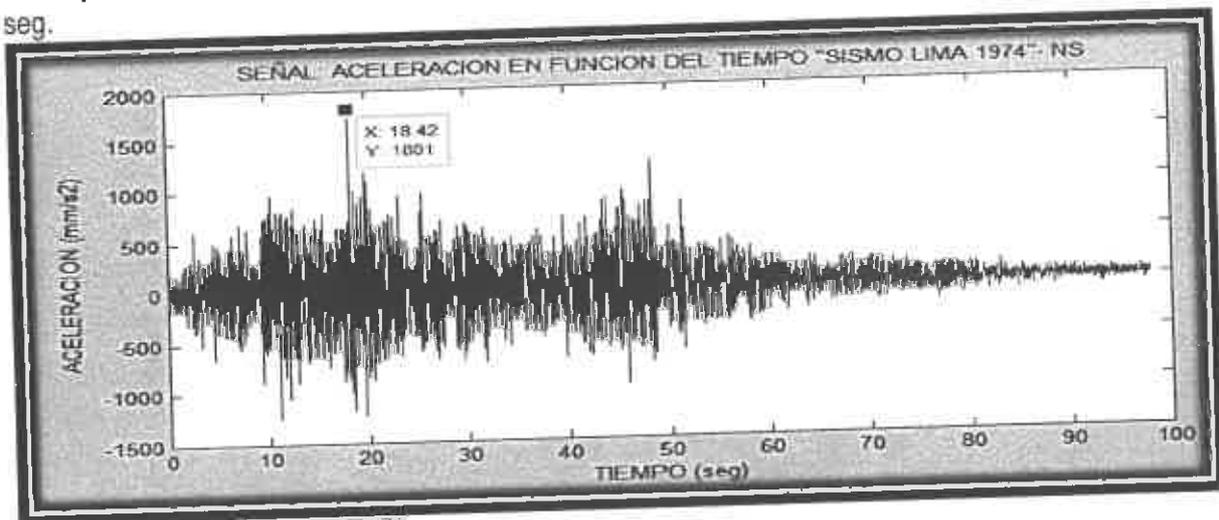
Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

El máximo valor absoluto de la aceleración de este registro de aceleraciones sísmicas tiene un valor de 1924.00 mm/s^2 y ocurre en el tiempo de 19.78 segundos después de comenzada la grabación. Comúnmente al máximo valor absoluto de la aceleración $a_{m\acute{a}x}$ se le conoce como "peak" de la aceleración.

Debido a que determinar los acontecimientos sísmicos, en el tiempo, es aún imposible, la terminación de las aceleraciones toma un papel fundamental para mitigar los daños estructurales que provocan los

movimientos terrestres. Conocido el peak de aceleración se puede determinar las fuerzas actuantes sobre las estructuras y diseñarlas para que la soporten.

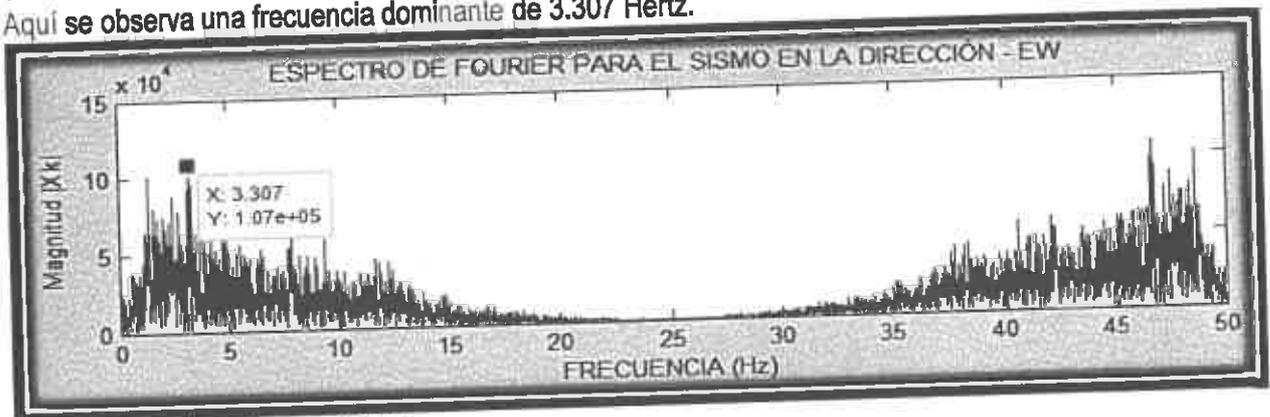
Figura 047. Aceleraciones sísmicas en función del tiempo graficado mediante el programa Matlab para el registro de aceleraciones sísmicas del sismo del 03 de octubre del año 1974 - NS. Aquí se observa un "peak" de aceleración de 1801.00 mm/s^2 en un tiempo de 18.42 seg.



Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

El máximo valor absoluto de la aceleración de este registro de aceleraciones sísmicas tiene un valor de 1801.0 mm/s^2 y ocurre en el tiempo de 18.42 segundos después de comenzada la grabación. Comúnmente al máximo valor absoluto de la aceleración $a_{m\acute{a}x}$ se le conoce como "peak" de la aceleración.

Figura 050. Espectro de Fourier (magnitud $|X_k|$ de la Transformada Discreta de Fourier en el dominio de la frecuencia) para el sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección EW. Aquí se observa una frecuencia dominante de 3.307 Hertz.



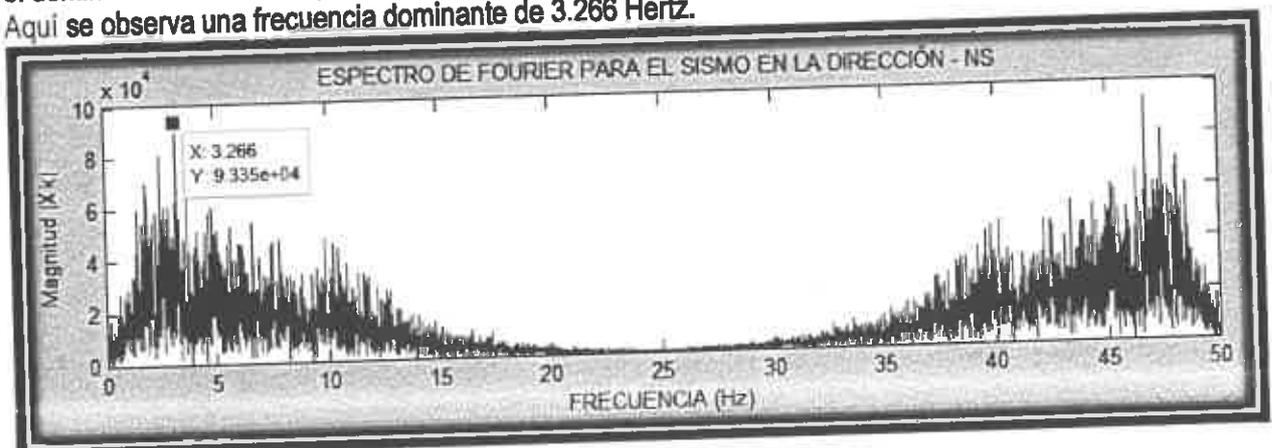
Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

El espectro de Fourier del sismo en la dirección EW al cual se sometió a la edificación indica que la frecuencia dominante se encuentra en el intervalo de 1.337 Hz – 3.521 Hz, presentándose una mayor concentración energética alrededor de la frecuencia de 3.307 Hz.

Entonces al aplicar la Transformada Discreta de Fourier a una señal muestreada de un registro de aceleraciones sísmicas de 4899 puntos muestreados y una frecuencia de muestreo de 50 Hz durante 1 min 37.96 seg (97.96 seg), se obtiene claramente en el Espectro de Fourier una mayor magnitud $|X_k| = 107000$ y asociado a éste está la frecuencia dominante de 3.307 Hz.

Por lo tanto, la frecuencia dominante en este registro de aceleración sísmica en la dirección EW (Este - Oeste) es de 3.307 Hz.

Figura 051. Espectro de Fourier (magnitud $|X_k|$ de la Transformada Discreta de Fourier en el dominio de la frecuencia) para el sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección NS. Aquí se observa una frecuencia dominante de 3.266 Hertz.



Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

El espectro de Fourier del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección NS al cual se sometió a la edificación indica que la frecuencia dominante se encuentra en el intervalo de 2.521 Hz – 3.695 Hz, presentándose una mayor concentración energética alrededor de la frecuencia de 3.266 Hz.

Por lo tanto, al aplicar la Transforma Discreta de Fourier a una señal muestreada de un registro de aceleraciones sísmicas de 4899 puntos muestreados y una frecuencia de muestreo de 50 Hz durante 1 min 37.96 seg (97.96 seg), se obtiene claramente en el Espectro de Fourier una mayor magnitud $|X_k| = 93350$ y asociado a éste está la frecuencia dominante de 3.266 Hz.

Por lo tanto, la frecuencia dominante en este registro de aceleración sísmica en la dirección NS (Norte – Sur) es de 3.266 Hz.

TABLA 030. Frecuencia y periodo fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) en la dirección X e Y.

DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACION DE LA EDIFICACIÓN					
FRECUENCIA Y PERIODO FUNDAMENTAL DEL VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN					
PARÁMETROS	DIRECCIÓN	MATEMÁTICAMENTE SEGÚN N. T. E.030	CON EL PROGRAMA ETABS	ERROR	OBSERVACIONES
FRECUENCIA FUNDAMENTAL DEL VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN FRECUENCIA (Hz)	X	2.336 Hz	2.194 Hz	6.07%	respecto al calculado según la N. T. E.030
	Y	11.680 Hz	11.944 Hz	2.26%	respecto al calculado según la N. T. E.030
PERIODO FUNDAMENTAL DEL VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (Segundos)	X	0.428 seg	0.456 seg	6.54%	respecto al calculado según la N. T. E.030
	Y	0.086 seg	0.084 seg	2.32%	respecto al calculado según la N. T. E.030

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

TABLA 031. Frecuencia dominante en la señal sísmica (sismo del 03 de octubre del año 1974) en las direcciones Este – Oeste y Norte – Sur.

FRECUENCIA DOMINANTE EN LA SEÑAL SÍSMICA (sismo del 03 de octubre del año 1974)			
PARÁMETROS	PROGRAMA MATLAB		OBSERVACIONES
FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL SÍSMICA FRECUENCIA (Hz)	DIRECCIÓN X	3.307 Hz	El eje X coincide con la dirección del registro sísmico EW
	DIRECCIÓN Y	3.266 Hz	El eje Y coincide con la dirección del registro sísmico NS
PERIODO (Segundos)	DIRECCIÓN X	0.302 seg	El eje X coincide con la dirección del registro sísmico EW
	DIRECCIÓN Y	0.306 seg	El eje Y coincide con la dirección del registro sísmico NS

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis".

TABLA 032. Comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación y la frecuencia dominante de la señal sísmica en las direcciones X e Y.

COMPARACIÓN ENTRE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN Y LA FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL SÍSMICA				
FRECUENCIA FUNDAMENTAL DEL VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL SÍSMICA	COMPARACIÓN	INTERPRETACIÓN
DIRECCIÓN X	2.336 Hz	3.307 Hz	≠	Aquí la frecuencia fundamental de vibración de la edificación es diferente a la frecuencia dominante del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección Este – Oeste, por lo tanto, para la dirección considerada no se produce un estado de resonancia que amplifiquen la amplitud de vibración o que se produzca una amplificación lateral en la edificación.
DIRECCIÓN Y	11.680 Hz	3.266 Hz	≠	De forma similar también aquí la frecuencia fundamental de vibración de la edificación es diferente a la frecuencia dominante del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección Norte - Sur, por lo tanto, para la dirección considerada no se produce un estado de resonancia que amplifiquen la amplitud de vibración o que se produzca una amplificación lateral.
OBSERVACIONES				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Como se puede observar la frecuencia fundamental de vibración de la edificación en la dirección Y es mucho mayor que la frecuencia en la dirección X, esto es correcto porque si realizamos una comparación con un sistema dinámico de un grado de libertad la frecuencia fundamental de vibración del sistema es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la rigidez del sistema y como en la dirección Y la edificación está formada por un sistema estructural de muros estructurales por lo tanto, la edificación es mucho más rígida en ésta dirección que en la dirección X conformado por un sistema estructural dual, entonces se acepta estos valores en las direcciones respectivas. ➤ Generalmente las señales sísmicas contienen componentes de frecuencia de 1 a 10 Hz y como en la dirección Y la frecuencia fundamental de vibración de la edificación esta fuera de este rango, por lo tanto, existirá poca posibilidad de que se amplifiquen las vibraciones considerablemente o que el sistema se encuentre en un estado de resonancia que ponga en peligro la edificación en un eventual sismo. 				
REFERENCIAS				
<ul style="list-style-type: none"> • Según (Bazán y Meili, 2010) "el grado de amplificación depende del amortiguamiento propio de la edificación y de la relación entre el periodo de la estructura y el periodo dominante del suelo. Cuando el movimiento del terreno es lento, con periodos dominantes largos, es en las estructuras altas y flexibles donde se amplifican las vibraciones y se generan aceleraciones más elevadas y por ende fuerzas de inercia mayores" [12]. <p>Interpretaciones y comentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El grado de la amplificación del movimiento lateral de la edificación depende de la relación entre el periodo fundamental de la estructura y el periodo dominante de la señal sísmica. Cuando esta relación se aproxima a la unidad se producen grandes amplificaciones que pueden ocasionar daños en los elementos estructurales y hasta producir el colapso de la edificación, sustentándose esto con el fenómeno de la resonancia (Peralta, 2009). ✓ Cuando el movimiento del terreno es lento, con periodos dominantes largos o frecuencias dominantes menores, es en estructuras altas y flexibles donde se amplifican las vibraciones, esto es correcto de acuerdo a la interpretación que se da a lo mencionado por (Tejada, 2011) "las estructuras altas tienen frecuencias fundamentales de vibración menores". Por ende, la relación de estas frecuencias se aproximarán a la unidad produciéndose así grandes amplificaciones, como también puede producirse el fenómenos de la resonancia (Peralta, 2009). • Según (Peralta, 2009) "$A = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$ cuando ω tiende al ω_0, el valor absoluto de la amplitud A tiende a infinito. En esta situación en que el sistema elástico tiende a oscilar con una máxima amplitud se dice que el sistema entra en un estado de resonancia". 				

Interpretaciones y comentarios:

- ✓ Cuando la frecuencia fundamental de vibración ω del sistema tiende en valor a la frecuencia ω_0 de la señal excitadora " F_0 ". En este estado, la amplitud del movimiento aumenta gradualmente al infinito (tiende al infinito). Pero, como los materiales comúnmente usados en la práctica están sujetos a límites de resistencia y los fallos estructurales ocurrirán mucho antes de que las amplitudes puedan alcanzar valores extremadamente altos (Paz, 1997).
- Según (Tejada, 2011) "la aparición de estructuras cada vez más esbeltas en el panorama de la Ingeniería civil, hace que los periodos propios de oscilación sean largos" [1].

Interpretación:

- ✓ Las estructuras altas tienen frecuencias fundamentales de vibración menores.
- Comentario de lo sucedido en el puente Tacoma Según (Tejada, 2011) "el efecto dinámico de un viento de apenas 60 km/h hizo, literalmente, romper el puente como si se tratara de una figurilla de plastilina. ¡En realidad este puente fue diseñado para soportar efectos estáticos provocados por vientos de más de 200 km/h" [1].

Comentario:

- ✓ Estudios posteriores determinaron que la causa del colapso del puente de Tacoma fue porque la frecuencia fundamental de la estructura coincidió con la frecuencia del viento dicho de otro modo fue a causa del fenómeno de la resonancia.
- Según (Echeverría, 2010) "la principal preocupación al analizar una estructura sometida a excitación sísmica radica en la posibilidad de que exista resonancia, es decir, la condición en la cual el periodo de vibración del terremoto inducido por el movimiento terrestre es igual al periodo natural de vibración de la estructura produciéndose intensas amplificaciones de la dinámica. Cuando ocurre la resonancia, el movimiento responsable del edificio es aumentado, incrementando la amplitud de la vibración rápidamente" [2].

Comentario:

- ✓ Lo manifestado anteriormente es válida también cuando se representa mediante frecuencias de vibración.

CONCLUSIONES

- De acuerdo al espectro de Fourier la frecuencia dominante del registro de aceleraciones sísmicas en la dirección EW se encuentra en el intervalo de 1.337 Hz – 3.521 Hz y tiene como valor de 3.307 Hz, y la frecuencia fundamental de vibración de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales) es de 2.336 Hz en la dirección X, donde según la teoría si existe en la señal excitadora una frecuencia dominante igual a la frecuencia fundamental de la estructura se producirá un estado conocido como resonancia y de acuerdo a las frecuencias calculadas en la dirección mencionada no existe resonancia, por lo tanto para el sismo considerado (sismo 03 de octubre del año 1974 dirección EW) no se producirá amplificación del comportamiento dinámico de la estructura y específicamente amplificación del desplazamiento lateral.
- De acuerdo al espectro de Fourier del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección NS al cual se sometió a la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) indica que la frecuencia dominante se encuentra en el intervalo de 2.521 Hz – 3.695 Hz, presentándose una mayor concentración energética alrededor de la frecuencia de 3.266 Hz. Por lo tanto, la frecuencia dominante de este registro de aceleración sísmica en la dirección NS (Norte – Sur) es de 3.266 Hz, y realizando una comparación con la frecuencia fundamental de vibración de la edificación que es de 11.680 Hz en la dirección Y, las cuales no son iguales se concluye que: la frecuencia de la excitación no sería capaz de someter a la estructura a una amplificación de su amplitud de vibración o producir un estado de resonancia.

Fuente: Elaboración propia "Proyecto de Tesis"

4.5 DISCUSIÓN

La motivación del presente trabajo de investigación radica en entender el comportamiento frecuencial de una edificación a través de su caracterización por medio de su frecuencia fundamental de vibración desde un punto de vista del Tratamiento frecuencial, la cual es de suma importancia de controlar porque mientras más alto es el edificio más prolongado es su periodo de vibración por ende disminuye su frecuencia fundamental de vibración y alcanza el rango de la frecuencia de vibración del sismo quedando así expuesta a coincidencias de frecuencia de vibración lo cual es perjudicial para la edificación por que se producirían amplificaciones en el desplazamiento lateral fuera del límite de seguridad establecido por la Norma, trayendo consigo daño en los elementos estructurales o puede producirse el colapso . Para determinar frecuencias de vibración y en especial frecuencias dominantes de señales sísmicas se usa el análisis de Fourier y se respectiva Transformada, generando así un espectro de frecuencias donde esta es la representación gráfica o matemática de la señal por medio de su contenido de frecuencias.

El contenido de frecuencias responsables del movimiento en una señal sísmica es difícil de percibir a través de nuestros sentidos, para esto primeramente se usa sismógrafos o acelerómetros para establecer un registro de aceleraciones y así posteriormente mediante herramientas matemáticas del área de Tratamiento Frecuencial determinar el contenido de frecuencial y su respectiva frecuencia dominante.

CONCLUSIONES

- Al realizar la caracterización, la frecuencia fundamental de vibración de la edificación en la dirección Y (11.680 Hz) es mucho mayor que la frecuencia en la dirección X (2.336 Hz), esto es correcto porque si realizamos una comparación con un sistema dinámico de un grado de libertad la frecuencia fundamental de vibración del sistema es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la rigidez del sistema y como en la dirección Y la edificación está formado por un sistema estructural de muros estructurales por lo tanto, la edificación es mucho más rígida en ésta dirección que en la dirección X conformado por un sistema estructural dual.
- Al determinar la frecuencia dominante de la señal sísmica (sismo del 03 de octubre del año 1974) en las direcciones Este – Oeste y Norte – Sur las cuales son 3.307 Hz y 3.266 Hz respectivamente, se determina que: estas frecuencias con casi similares para las direcciones consideradas y por lo tanto estas producirán amplificaciones de la amplitud vibracional, cuando la frecuencia fundamental de vibración de la estructura coincida con la frecuencia dominante de la señal sísmica en las direcciones respectivas.
- De acuerdo al espectro de Fourier la frecuencia dominante del registro de aceleraciones sísmicas en la dirección EW se encuentra en el intervalo de 1.337 Hz – 3.521 Hz y tiene como valor de 3.307 Hz, y la frecuencia fundamental de vibración de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales) es de 2.336 Hz en la dirección X, donde según la teoría si existe en la señal excitadora una frecuencia dominante igual a la frecuencia fundamental de la estructura se producirá un estado conocido como resonancia y de acuerdo a las frecuencias calculadas en la dirección mencionada no existe resonancia, por lo tanto para el sismo considerado (sismo 03 de octubre del año 1974 dirección EW) no se producirá amplificación del comportamiento dinámico de la estructura y específicamente amplificación del desplazamiento lateral.
- De acuerdo al espectro de Fourier del sismo del 03 de octubre del año 1974 en la dirección NS al cual se sometió a la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) indica que la frecuencia dominante se encuentra en el intervalo de 2.521 Hz – 3.695

Hz, presentándose una mayor concentración energética alrededor de la frecuencia de 3.266 Hz.

Por lo tanto, la frecuencia dominante de este registro de aceleración sísmica en la dirección NS (Norte – Sur) es de 3.266 Hz, y realizando una comparación con la frecuencia fundamental de vibración de la edificación que es de 11.680 Hz en la dirección Y, las cuales no son iguales se concluye que: la frecuencia de la excitación no sería capaz de someter a la estructura a una amplificación de su amplitud de vibración o producir un estado de resonancia.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones de estructuras sensorizadas modeladas en laboratorio, sometiéndolas a acciones dinámicas con un movimiento frecuencial variable conocida, para así a cierta frecuencia de excitación la estructura entre en resonancia y posterior colapso. Estudiándose así los tiempos que demoraría una estructura en colapsar encontrándose en proceso de resonancia.
- Sería conveniente sensorizar las estructuras ya construidas en cada nivel de forma que cuando suceda un evento sísmico se determine el comportamiento dinámico real de la estructura ante esas acciones.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] De Miguel Tejada A. Análisis dinámico de estructuras en el dominio de la frecuencia. [Tesis]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2011.
- [2] Echeverría Perez F. Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras de movimiento y registros sísmicos utilizando la Transformada Wavelet. [Tesis]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010.
- [3] Gómez S. Análisis sísmico moderno. 1ra. ed. México: Trillas; 2007.
- [4] Martínez Corredor R. Metodologías de descomposición espectral aplicadas al procesamiento de datos sísmicos. [Tesis]. Colombia: Universidad Industrial de Santander; 2008.
[19 de Febrero del 2015, hora 12h, 46m, 3s].
Disponible en:
<http://repositorio.uis.edu.co/spui/bitstream/123456789/3323/2/126114.pdf>
- [5] Torres Oviedo C. Análisis, descripción y comparación de los métodos de Fourier y Wavelet aplicados a la identificación de características dinámicas en estructuras. [Tesis]. Malaga: Universidad Industrial de Santander; 2011.
- [6] Taboada García J. Análisis y diseño de edificios asistido por computadoras. [Tesis]. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2009.
- [7] Suárez Santana W. Aplicación del programa matlab para optimizar el tiempo y determinar en forma segura el análisis dinámico de una estructura. [Tesis]. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato; 2010.
[20 de febrero del 2015, hora 13h, 30m, 36s].
Disponible en:
<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/2208/Tesis%20559%20%20Su%C3%A1rez%20Santana%20Wilmer%20Ernesto.pdf?sequence=1>

- [8] Monzón Posadas J. Selección y adecuación de acelerogramas sísmicos para análisis de estructuras con ejemplos para el valle de Guatemala. [Tesis]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala; 2013.
[20 de Febrero del 2015, hora 14h, 06m, 04s].
Disponible en:
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3607_C.pdf
- [9] Gómez F. Física. 15va edición. Perú: Editorial Gómez; 1993.
- [10] Paz M. Dinámica estructural teoría y cálculo. 3ra ed. Barcelona – España: Reverté S. A.; 1992.
- [11] Enrique L y García R. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico. 2da ed. Bogotá – Colombia: Universidad de los Andes; 1999.
- [12] Enrique B y Roberto M. Diseño sísmico de edificios. México: Limusa; 2010.
- [13] Hibbeler R. C. Mecánica de Materiales. 3ra ed. México: Prentice Hall; 1998.
- [14] Morales R. Diseño en Concreto Armado. 3ra ed. Lima-Perú: Fondo Editorial ICG; 2006.
- [15] Nash W. Resistencia de Materiales. 1ra ed. McGrawHill; 1991.
- [16] Reglamento Nacional de Edificaciones E.020 (Cargas).
- [17] Blanco A. Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado. Lima-Perú: Princlines E.I.R.L; 1996.
- [18] Delgado G. Diseño de estructuras aperturadas de concreto armado. 10ma ed. Lima-Peru: Edicivil; 2012.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN (FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA) CON EL PROGRAMA ETABS

ANEXO 2. PRUEBA 1 Y 2 PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESPECTRO DE FOURIER

ANEXO 3. INFORME TÉCNICO: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN

ANEXO 4. PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 5. PLANOS

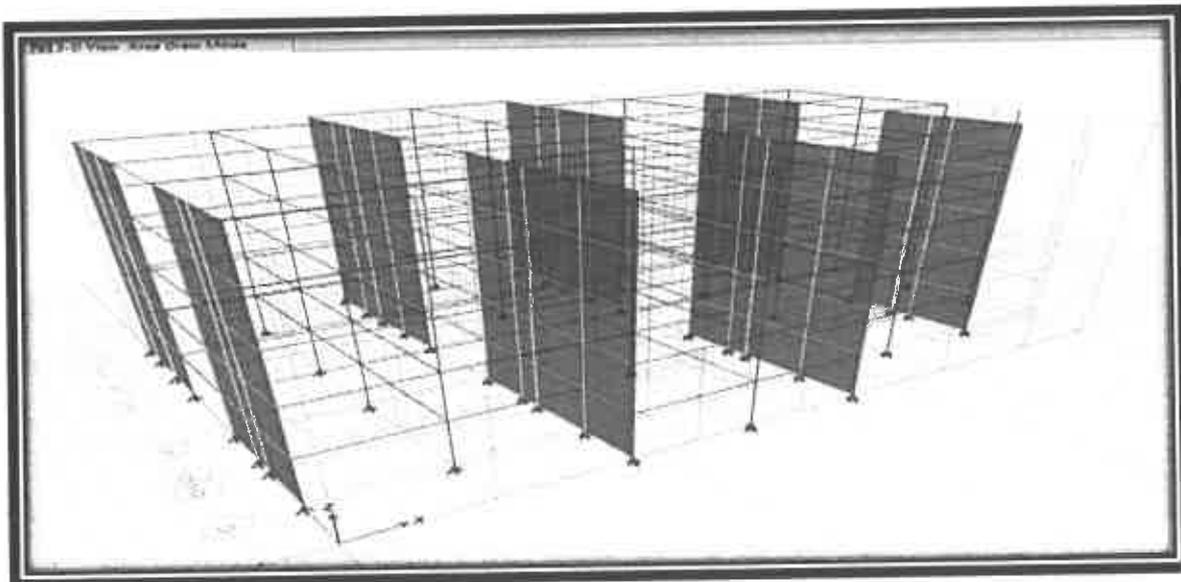
ANEXO 6. NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR Y TESISTA

ANEXO 7. ESQUEMAS METODOLÓGICOS

ANEXO 8. MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANEXO 1.

**CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN
(FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA) CON EL
PROGRAMA ETABS**



**CONFIGURACIÓN DE LA
EDIFICACIÓN CON EL
PROGRAMA ETABS PARA UN
ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO -
DINÁMICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**

INTRODUCCIÓN

Para la elección de un análisis sísmico estático o un análisis sísmico dinámico modal espectral de una estructura dependerá de un conjunto de factores a evaluar inicialmente por el ingeniero.

Para un análisis sísmico estático

Según el numeral 4.5.1 de la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente).

- Podrán analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1.
- Las estructuras clasificadas como regulares de no más de 30 m.

Para un análisis sísmico dinámico modal espectral

- Aquellos factores que tiene la estructura que no están consideradas en el análisis sísmico estático.

Cuando luego de una evaluación se requiere desarrollar un análisis sísmico dinámico modal espectral a la estructura se tendrá que realizar necesariamente un análisis sísmico estático, puesto que un numeral (4.6.4) del proceso de análisis sísmico dinámico de la Norma Técnica E.030 así lo requiere.

Entonces: según la zona sísmica donde está ubicado la edificación (la "Facultad de Ciencias Empresariales" está ubicada en el distrito de Huancavelica y de acuerdo a la Norma Técnica E.030 le corresponde una zona sísmica 3) y como para un análisis sísmico estático se requiere que la estructura este ubicada en la zona sísmica 1, **POR LO TANTO, SE REQUIERE DE UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO MODAL ESPECTRAL**, pero este proceso de análisis sísmico dinámico en el requisito de la **fuerza cortante mínima** en el primer entrepiso requiere que la fuerza cortante sea por lo menos el 80 % de la fuerza cortante calculada con el análisis sísmico estático, en consecuencia para el análisis sísmico se consideró un análisis sísmico estático y un análisis sísmico dinámico modal espectral.

Aquí solamente se realizará la configuración estructural de la edificación para un análisis sísmico estático y dinámico la cual se realiza en el proyecto de tesis.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS

- ✓ USO : AULAS
- ✓ UBICACIÓN : CIUDAD UNIVERSITARIA – PATURPAMPA
- ✓ PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES SE CONSIDERÓ UN MATERIAL HOMOGÉNEO E ISOTRÓPICO.

PROPIEDADES DEL CONCRETO

- ✓ RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN (f'_c)
 $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \equiv 2100 \text{ t/m}^2$
- ✓ PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO (w)
El peso volumétrico del concreto: $w = 2.4 \text{ t/m}^3$
 $w = 2400 \text{ kg/m}^3$
- ✓ MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c) PARA UN CONCRETO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $E_c = 15000\sqrt{210} = 217370.6 \text{ kg/cm}^2$
 $E_c = 2173706 \text{ t/m}^2$
 $1 \text{ kg/cm}^2 \equiv 0.01 \text{ kg/mm}^2$
 $E_c = 2173.706 \text{ kg/mm}^2$
- ✓ RELACIÓN DE POISSON (μ_c):
 $\mu_c = 0.18$.
- ✓ COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA (α)
Considere por defecto el valor del programa ETABS.
- ✓ MÓDULO DE ELASTICIDAD POR CORTANTE (G)
El programa lo calculará automáticamente mediante los valores ingresados de E_c , μ_c .

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

- ✓ TIPO DE SUELO (Suelo flexible) : SUELO BLANDO S_3 .

CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS

- ✓ FACTOR DE ZONA (Z): 0.35 g (Distrito Huancavelica - ZONA 3)
- ✓ FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (S): 1.20.
- ✓ PERIODO QUE DEFINE LA PLATAFORMA DEL FACTOR C (T_p):
1.0 seg.

Parte 2:

ABRIR EL PROGRAMA ETABS

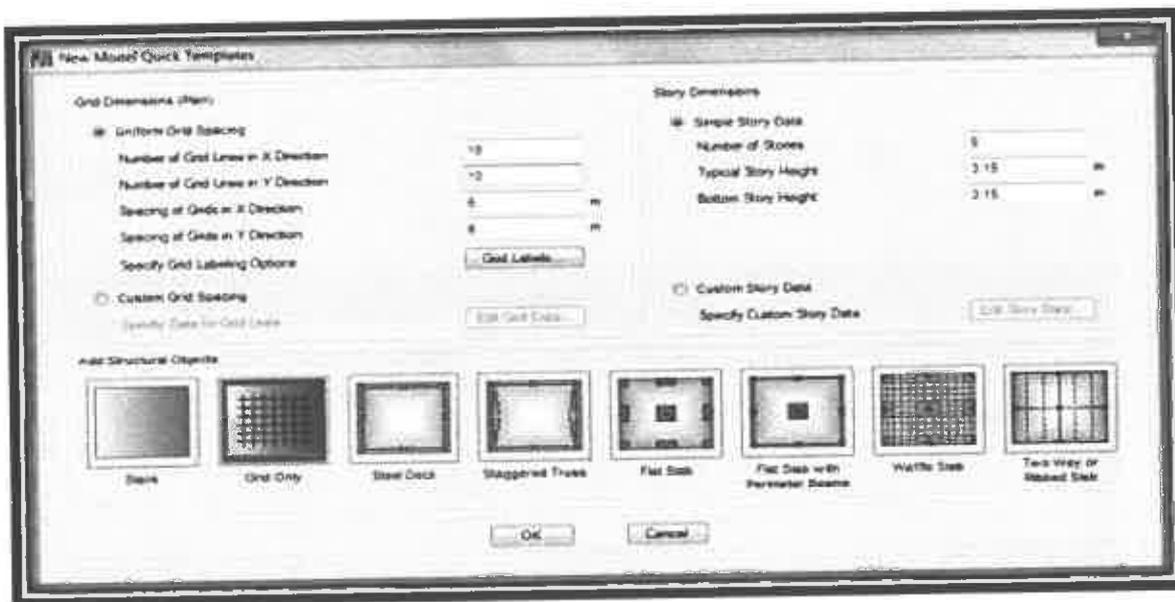
Existe diversas formas de abrir el programa ETABS.

- **Mediante el escritorio**, se deberá hacer dos clics en el icono del programa ETABS.
- **Mediante el botón inicio de la barra de tareas del escritorio**, se deberá hacer un clic en el botón inicio de la barra de tareas y dentro de **todos los programas** seleccionar la carpeta Computers and Structures, luego ETABS y finalmente hacer un clic en el icono del programa.



En el cuadro **New Model Quick Templates** para configurar el número de líneas (ejes) en las direcciones X e Y de acuerdo a los planos en planta de la edificación realizamos los siguientes pasos:

- ✓ Activamos el botón **Uniform Grid Spacing** (uniforme espaciamiento de la cuadrilla), para configurar el número de líneas grid en las direcciones X e Y.
- ✓ En **Number of Grid Lines in X Direction** (número de líneas grid en la dirección del eje X) digitamos **10** de acuerdo a los planos en planta.
- ✓ En **Number of Grid Lines in Y Direction** (número de líneas grid en la dirección del eje Y) digitamos **10** de acuerdo a los planos en planta.
- ✓ Activamos el botón **Custom Grid Spacing**.
- ✓ Luego hacemos un clic en el botón **Edit Grid Data**.



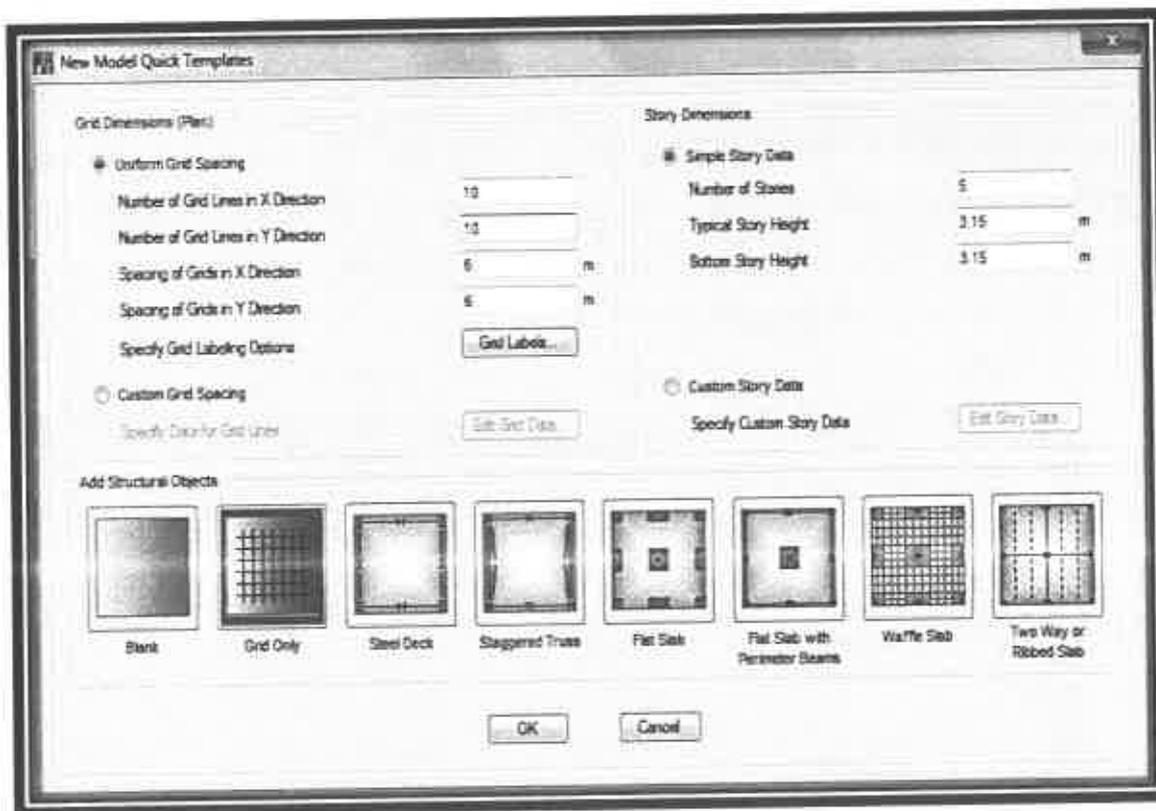
En el cuadro **Grid System Data** para configurar los espaciamientos entre líneas Grid en los respectivos ejes (eje X e Y) de acuerdo a los planos en planta de la edificación realizamos lo siguiente:

- ✓ Activamos el botón **Display Grid Data as Spacing** y en aquí realizamos la siguiente configuración:

Grid ID	X Spacing (m)
5	4.65
6	4.65
7	2.47
a	2.18
8	2.18
b	2.47
9	4.65

En el cuadro **New Model Quick Templates** para configurar el número de pisos, altura del primer nivel y altura típica de piso de acuerdo a los planos en elevación de la edificación realizamos los siguientes pasos:

- ✓ Activamos el botón **Simple Story Data (datos simples de piso)**, para configurar las alturas de los pisos de la estructura de acuerdo a los planos en elevación de una forma simple común.
- ✓ En **Number of Stories (número de pisos)**, de acuerdo a los planos de elevación la edificación tiene 4 pisos y un semi sótano por lo tanto digitamos **5**.
- ✓ En **Typical Story Height (altura típica de piso)**, de acuerdo a los planos de elevación, en la edificación del primer al cuarto piso tiene una altura típica de 3.15 metros por lo tanto digitamos **3.15**.
- ✓ En **Bottom Story Height (altura de fondo de piso)**, de acuerdo a los planos de elevación, en la edificación el semi - sótano tiene una altura de 3.15 metros por lo tanto digitamos **3.15**.
- ✓ Activamos el botón **Custom Story Data** para configurar, etiquetar los pisos de la edificación.
- ✓ Hacemos un clic en el botón **Edit Story Data**.



Parte 4:

DEFINIR PROPIEDADES DEL MATERIAL

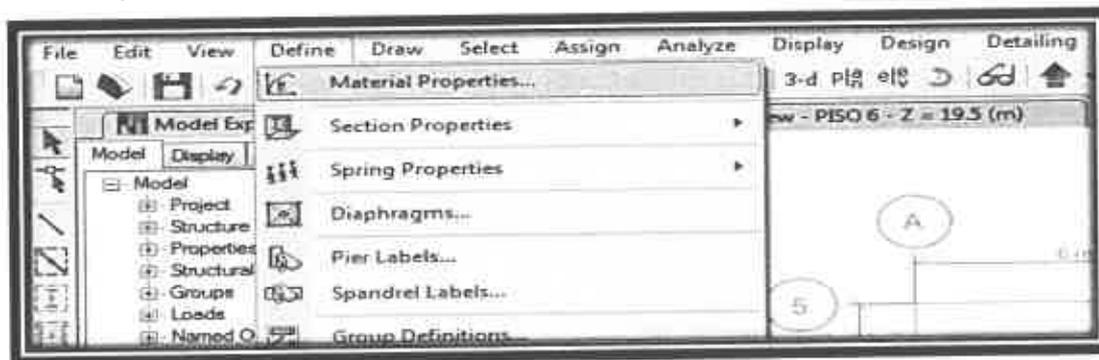
En nuestro proyecto, el material de la estructura es de concreto, en esta parte se deberá tener mucho cuidado al introducir los valores de las propiedades del material teniendo en cuenta las unidades.

El programa ETABS ofrece la ventaja de que una vez ingresado las dimensiones con sus unidades respectivas se puede cambiar a otras unidades para facilitar el manejo de datos.

Definiendo la propiedades del material CONCRETO $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

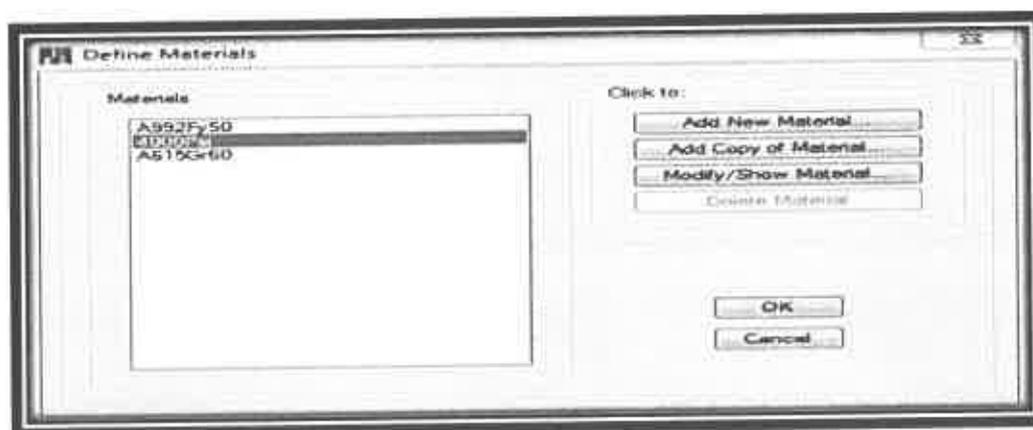
Selección del menú y la ruta a seguir:

Del menú principal seleccione mediante un clic izquierdo el menú **Define (Definir)**, luego hacer un clic en la opción **Materials... (Materiales)**.



En el cuadro **Define Materials** para adicionar y copiar algunas propiedades de la lista de materiales que tiene el programa realizar lo siguiente:

- ✓ Seleccione 4000Psi.
- ✓ Luego hacer un clic en **Add Copy of Material (Adicionar copia del material)** para adicionar y copiar algunas propiedades del material seleccionado.



En el cuadro **Material Property Design Data**, para introducir el valor de la resistencia del concreto a la fuerza compresiva realice lo siguiente:

- ✓ En **Specified Concrete Compressive Strength, f'_c** (Resistencia del concreto a la fuerza compresiva, f'_c) digite: 2.10.
- ✓ Luego haga un clic en el botón **OK**.
- ✓ Y nuevamente haga un clic en el botón **OK**.

Material Property Design Data

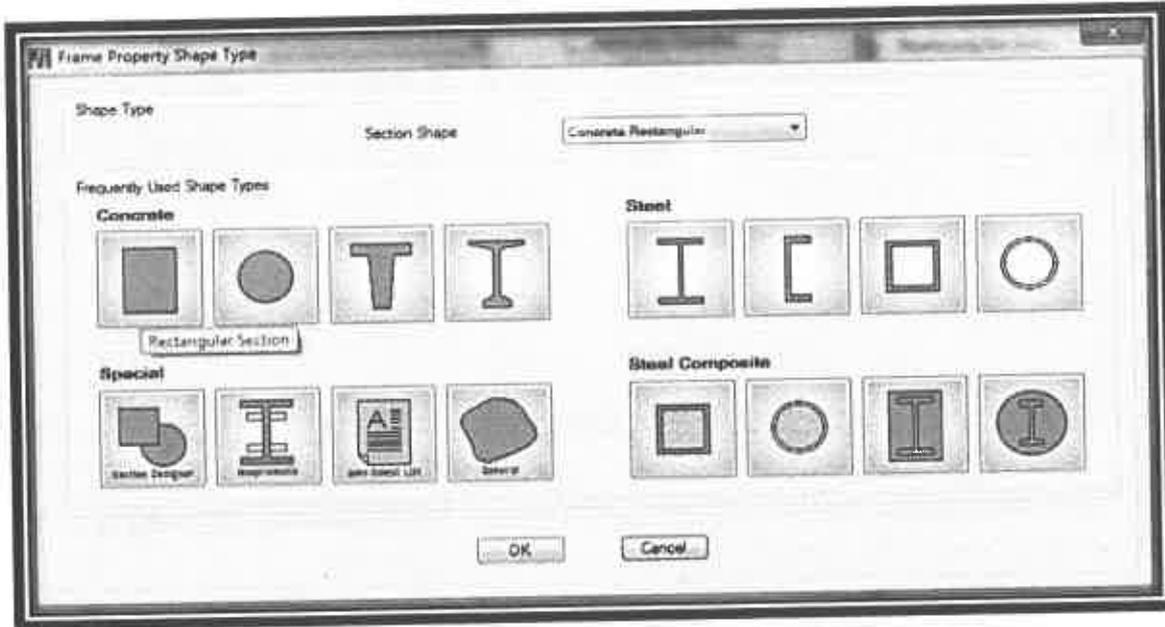
Material Name and Type
Material Name: CONCRETO f'c 210 kg/cm2
Material Type: Concrete, isotropic

Design Properties for Concrete Materials
Specified Concrete Compressive Strength, f'_c : 2.1 kgf/mm²
 Lightweight Concrete
Shear Strength Reduction Factor: [Empty field]

OK Cancel

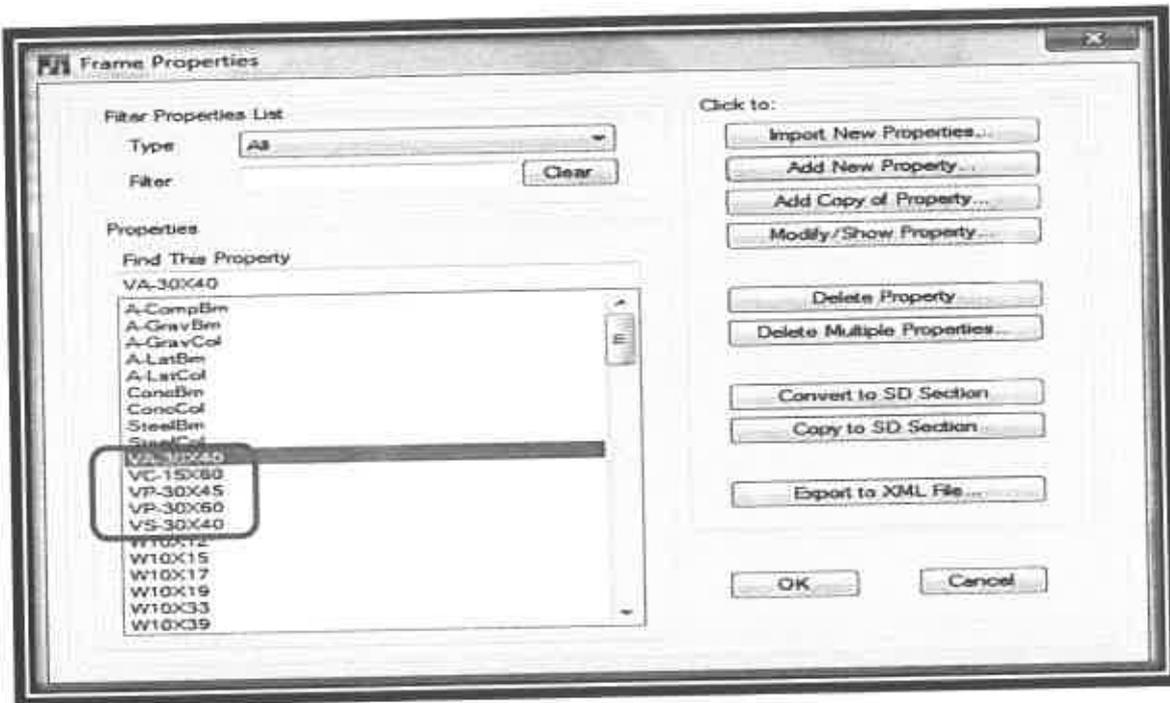
En el cuadro **Frame Property Shape Type**, para seleccionar una sección rectangular de un material de concreto realizar lo siguiente:

- ✓ En **Section Shape** seleccione **Concrete Rectangular (Concreto rectangular)** del botón desplegable.
- ✓ En **Concrete** seleccione el icono de concreto rectangular.



En el cuadro **Frame Section Property Data**, para seleccionar el material definido previamente (**CONCRETO f'c 210 kg/cm²**) y digitar las dimensiones de la sección (profundidad y ancho) de la viga realizar lo siguiente:

- ✓ En **Property Name (Nombre de la propiedad)** escriba VP-1.
- ✓ En **Material (Material)** de la lista desplegable seleccione el material definido previamente (**CONCRETO f'c 210 kg/cm²**).
- ✓ En **Depth** digite una profundidad de 600 (profundidad de la sección).
- ✓ En **Width (Ancho)** digite un ancho de 300 (ancho de la sección).
- ✓ Para señalar que lo configurado es para un elemento del tipo viga hacemos un clic en el botón **Modify/Show Rebar...**



DEFINIENDO LA SECCIÓN PARA COLUMNAS

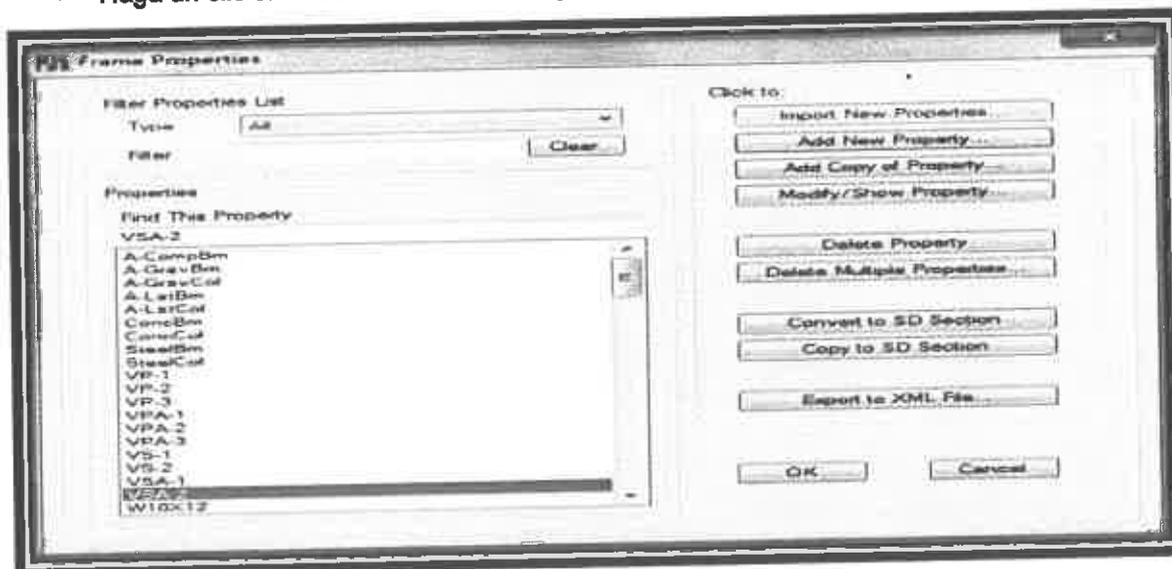
RESUMEN DE COLUMNAS

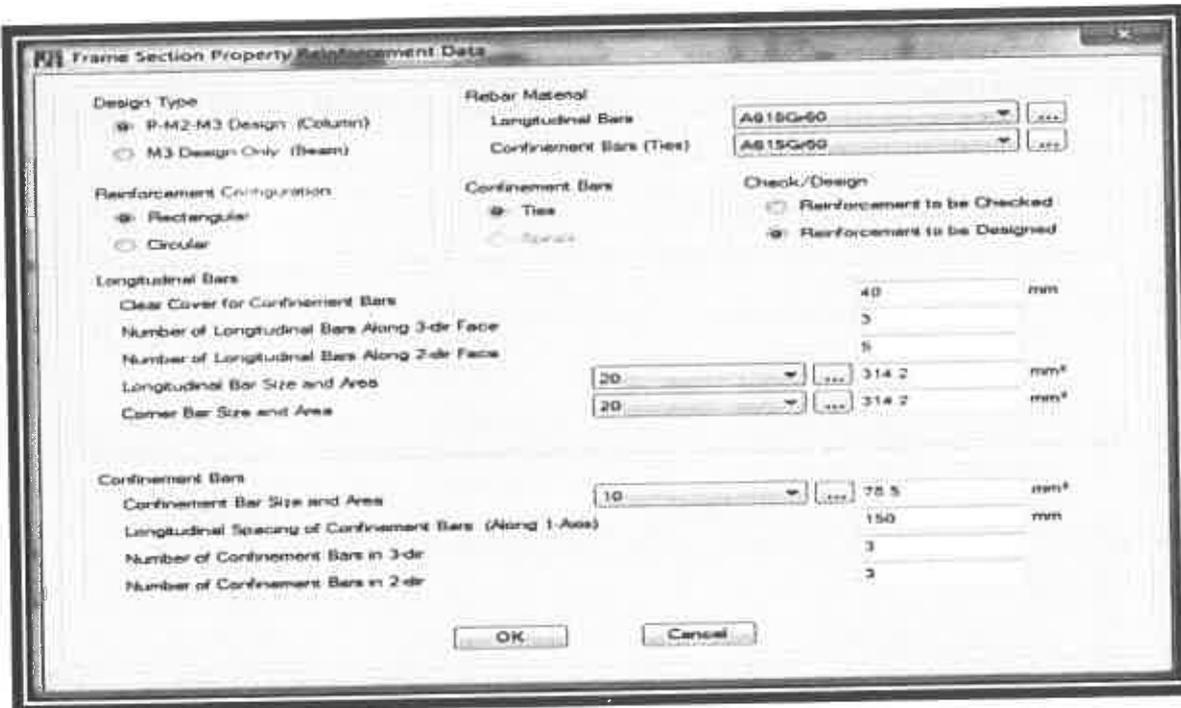
TIPO	SECCIÓN
COLUMNA C-2	0.30 X 0.60 m
COLUMNA C-3	0.30 X 0.60 m
COLUMNA C-4	0.30 X 0.50 m
COLUMNA C-5	0.30 X 0.50 m
COLUMNA C-6	0.30 X 0.30 m

PARA COLUMNA C-2

permaneciendo el cuadro **Frame Properties (Propiedades de la barra)** y para agregar una nueva propiedad al programa realizar lo siguiente:

- ✓ Haga un clic en el botón **Add New Property (Agregar una nueva propiedad)**.

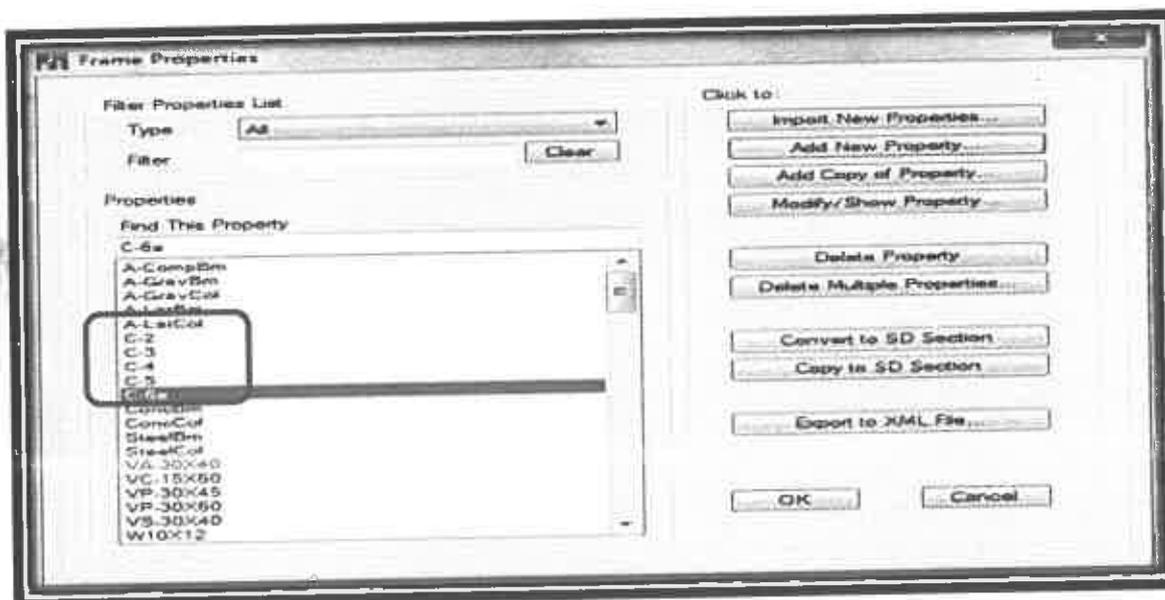




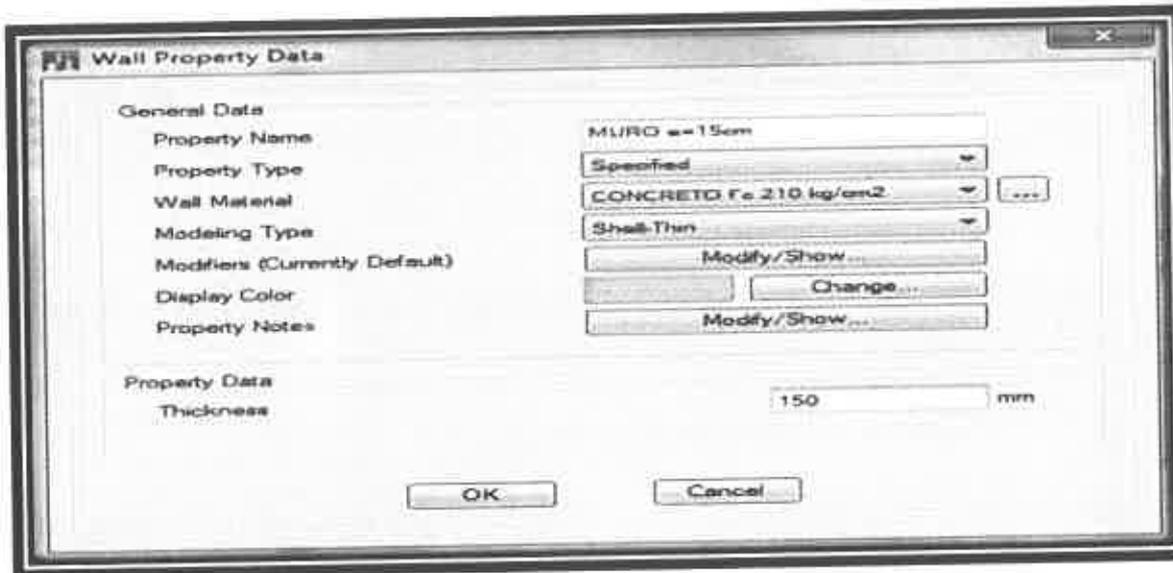
De forma similar para las columnas (C-3: 0.30 X 0.60, C-4: 0.30 X 0.50, C-5: 0.30 X 0.50 y C-6: 0.30 X 0.30)

Al finalizar la configuración el cuadro FRAME PROPERTIES deberá quedar así:

✓ Y finalmente hacemos un clic en el botón OK.



✓ Y en **Wall Properties** haga un clic en **OK**.



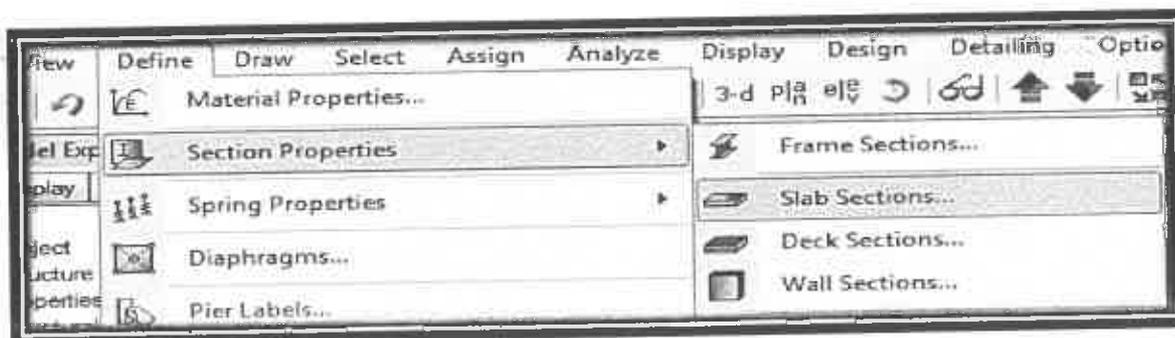
DEFINIENDO LA SECCIÓN PARA LA LOSA (h = 20.0 cm)

La losa aligerada será modelada como un conjunto de viguetas de sección T de una altura de 0.20 m, un ancho de ala de 0.40 m, una altura de ala de 0.05 m y un ancho de alma de 0.10 m.

Para esto seleccionar el siguiente menú y seguir la siguiente ruta:

Selección del menú y la ruta a seguir:

Hacer un clic en el menú **Define (Definir)**, luego hacer un clic en **Sección Propiedades (Propiedades de la sección)** y luego hacer un clic en **Slab Sections... (Secciones de losa)**.



Slab Property Data

General Data

Property Name: LOSA ALIG h=20 cm

Slab Material: CONCRETO Fc 210 kg/cm2

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default):

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Ribbed

Overall Depth: 200 mm

Slab Thickness: 50 mm

Stem Width at Top: 100 mm

Stem Width at Bottom: 100 mm

Rib Spacing (If perpendicular to Rib Direction): 400 mm

Rib Direction is Parallel to: Local 1-Axis

OK Cancel

Slab Properties

Slab Property

LOSA ALIG h=20cm
Plank1
Slab1

Click to:

Add New Property...

Add Copy of Property...

Modify/Show Property...

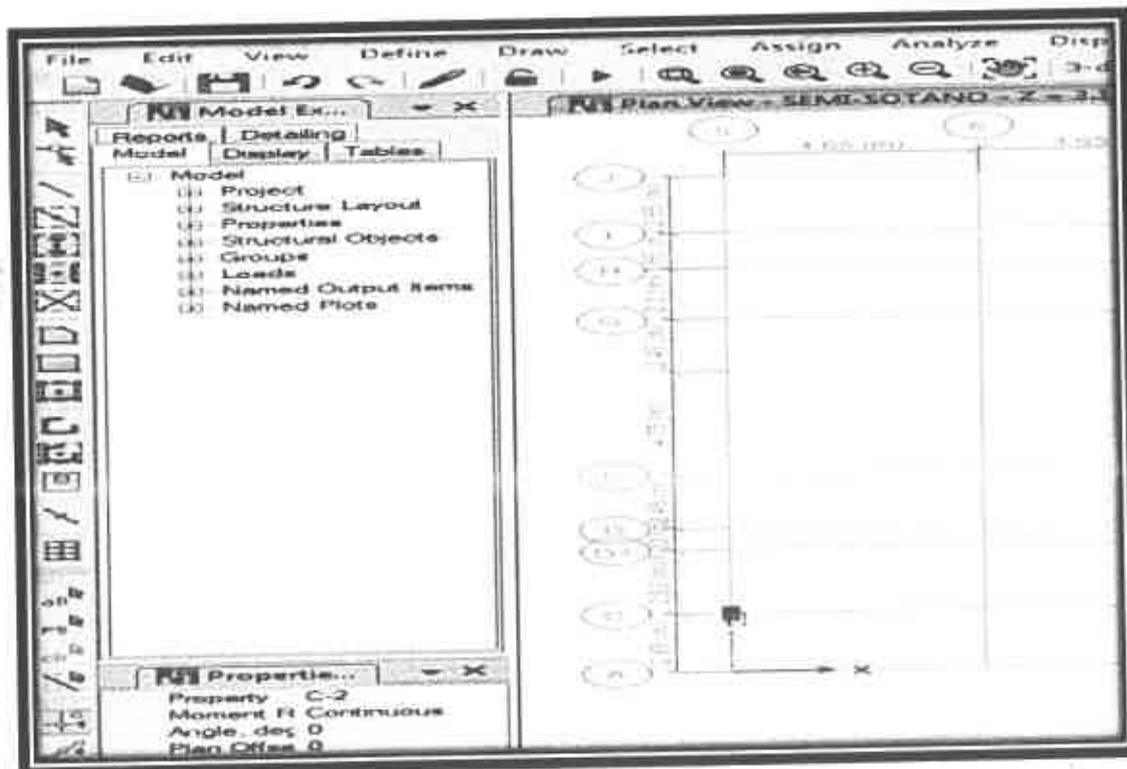
Delete Property

OK Cancel

- ✓ Para que la configuración de las columnas realizadas en planta del nivel (SEMI SOTANO) también se configuren en los pisos similares hacemos un clic en el botón desplegable y seleccionamos **Similar Stories**.

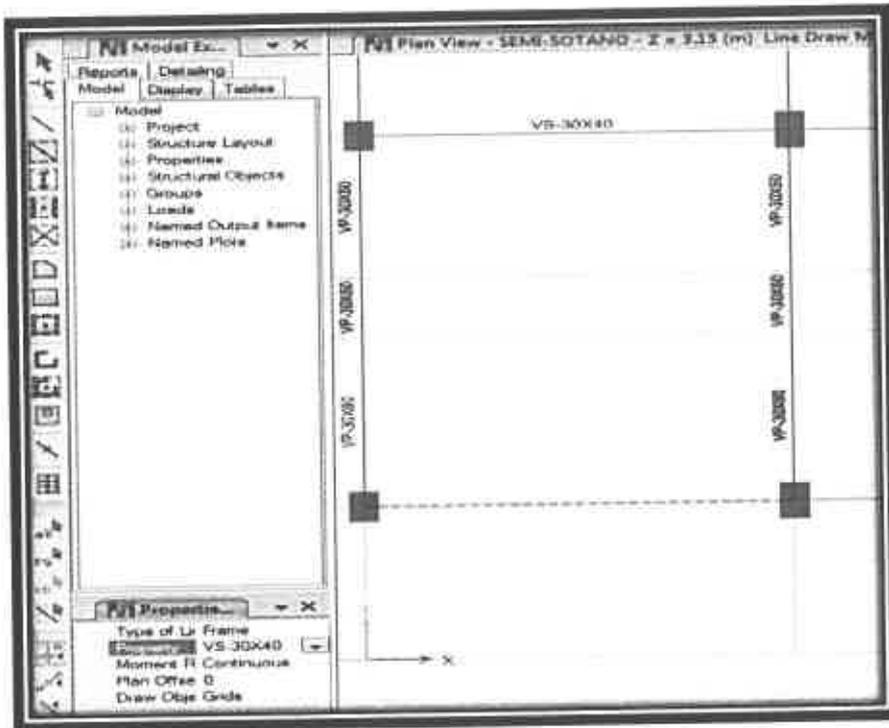


- ✓ En la barra de herramientas vertical hacemos un clic en el comando **Quick Draw Columns (Plan, 3D)**, para dibujar en planta las columnas de propiedades similares a C-2.
- ✓ Al hacer un clic el comando **Quick Draw Columns (Plan, 3D)** en la parte inferior se abrirá un cuadro de nombre **Properties of Object** y en este en **Property** hacemos un clic para que se muestre el botón desplegable y seleccionar **C2**.
- ✓ En la ventana de trabajo activa, de acuerdo a los planos de la edificación en planta, realizamos los nodos que pertenecen a la columna C-2.



- ✓ De forma similar para las demás columnas.

- ✓ Al hacer un clic el comando **Quick Draw Beams/Columns (Plan, Elev, 3D)** en la parte inferior se abrirá un cuadro de nombre **Properties of Object** y en este en **Property** hacemos un clic para que se muestre el botón desplegable y seleccionar las secciones de las vigas configuradas previamente y dibujar de acuerdo a los planos en planta de la edificación.
- ✓ En la ventana de trabajo activa, de acuerdo a los planos de la edificación en planta, realizamos la **selección de línea que corresponde a la viga correspondiente**.



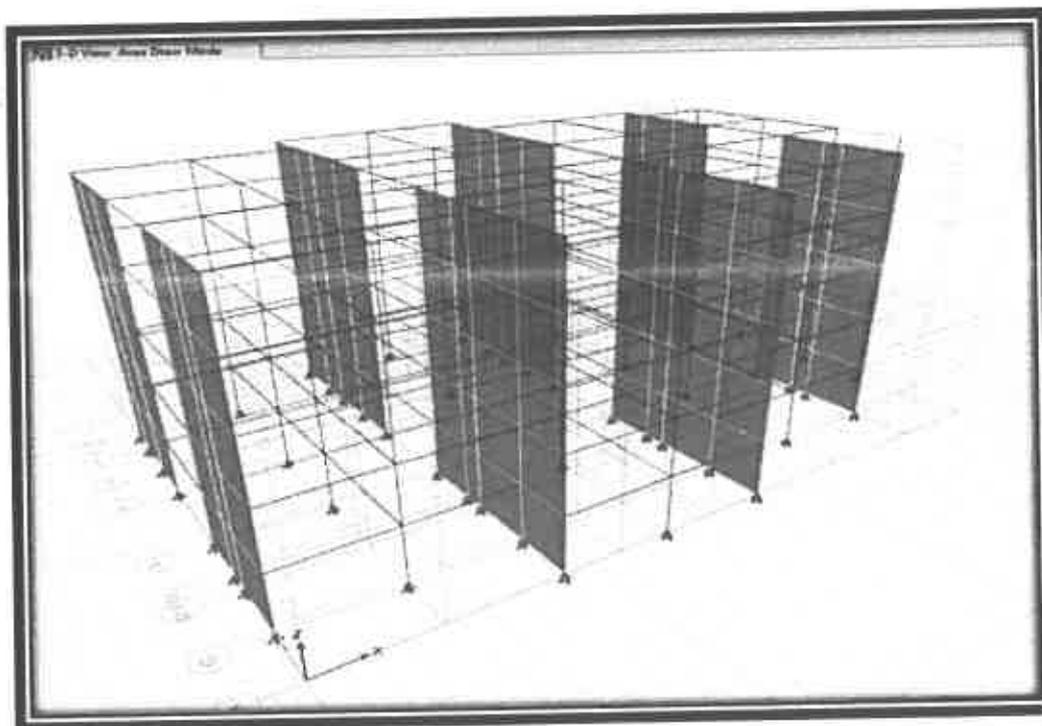
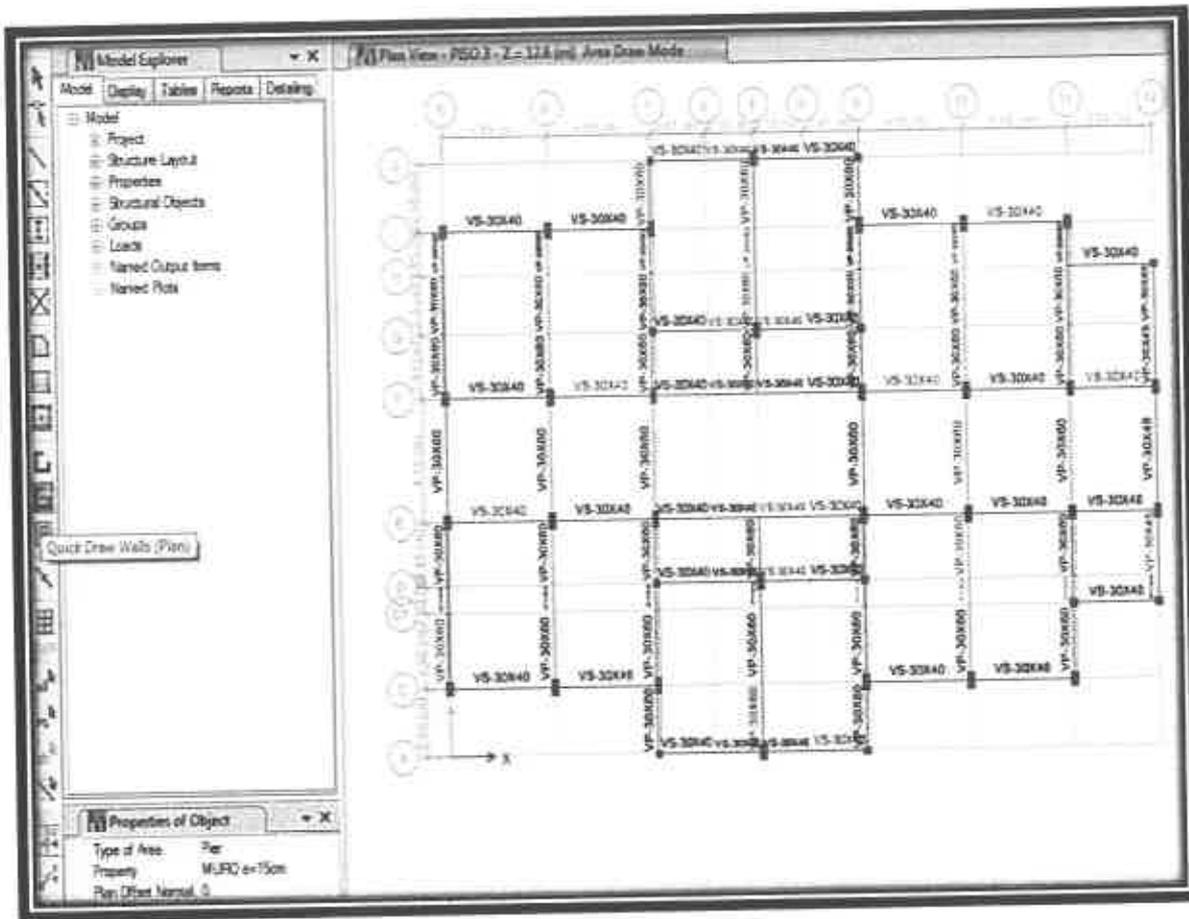
DE FORMA SIMILAR PARA LAS DEMAS VIGAS

PÁRA MUROS e = 15 cm

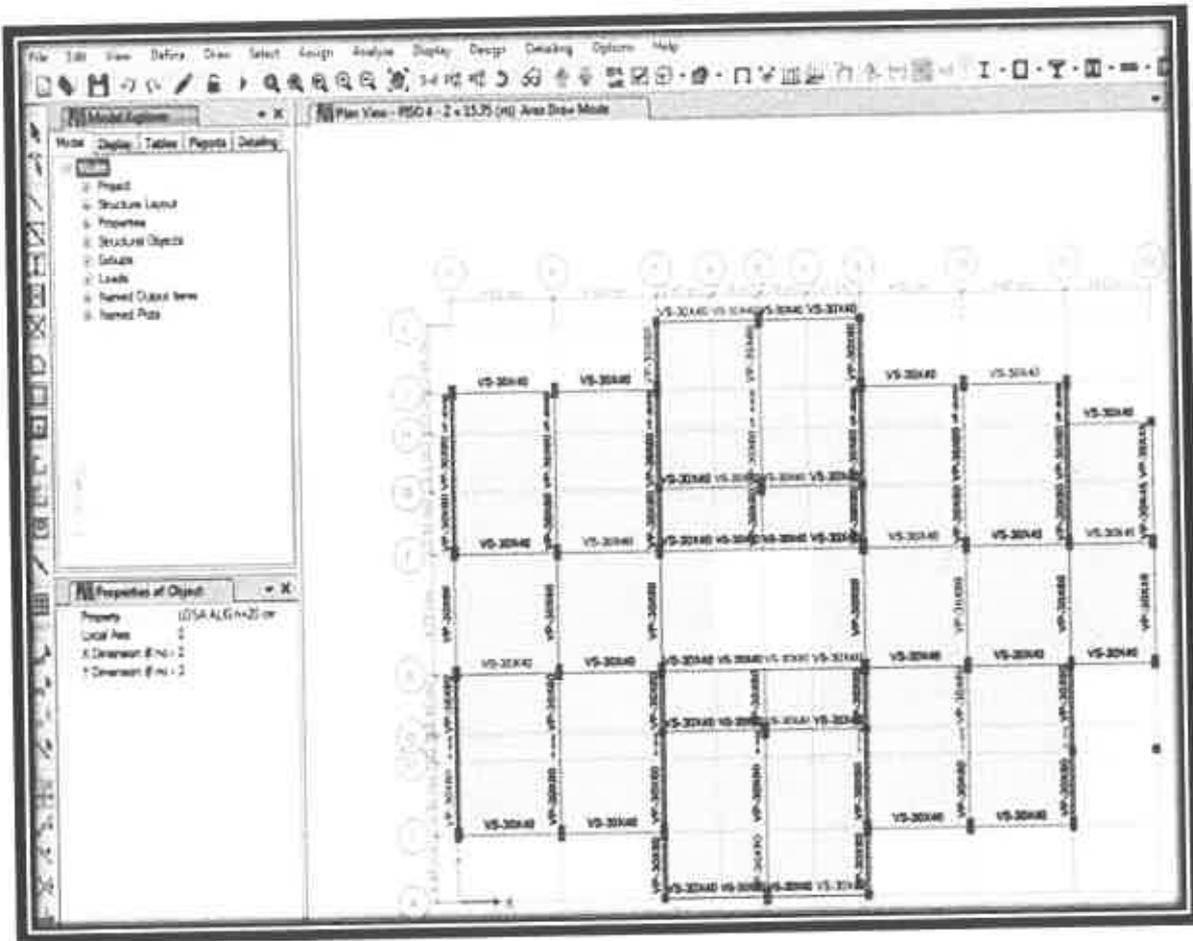
Para dibujar los muros de acuerdo a los planos de la edificación se deberá realizar lo siguiente:

- ✓ En la ventana de trabajo activa hacemos un clic en el comando **Set Plan View**, esto para configurar la visualización en planta de nivel (SEMI SOTANO) en dicha ventana.
- ✓ En el cuadro **Select Plan View** hacemos en clic en SEMI SOTANO, para que en la ventana de trabajo activa se visualice en planta el nivel (SEMI SOTANO).
- ✓ Luego hacemos un clic en **OK**.

- ✓ En la ventana de trabajo activa, de acuerdo a los planos de la edificación en planta, realizamos la selección de forma grupal de los nodos que pertenecen al MURO $e=15\text{ cm}$.



- ✓ En la ventana de trabajo activa, de acuerdo a los planos de la edificación en planta, realizamos la selección de forma grupal de 2 nodos opuestos que pertenecen a la losa.

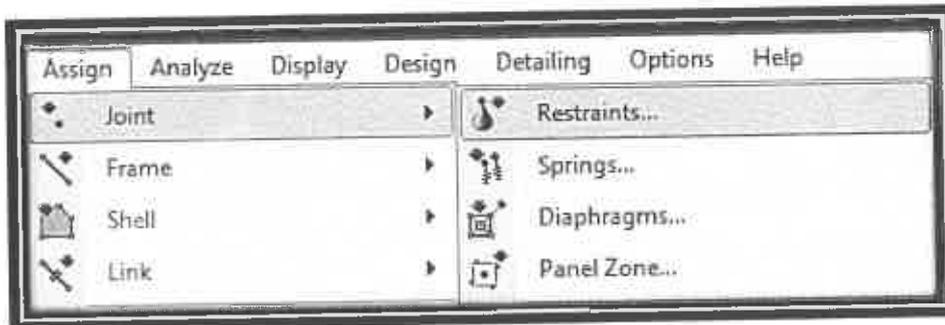


67

Para realizar el empotramiento de los apoyos de la estructura realizar la siguiente selección del menú y seguir la siguiente ruta:

Selección del menú y la ruta a seguir:

En la barra de menú seleccionamos el menú **Assign (Asignar)**, hacer un clic en **Joint (Nudo)** y luego hacer un clic en la opción **Restraints... (Restricciones, Limitaciones)**.



En el cuadro **Joint Restraints (Restricciones del nudo)**, para que el programa ejecute el empotramiento en los nudos seleccionados con anterioridad realizar lo siguiente:

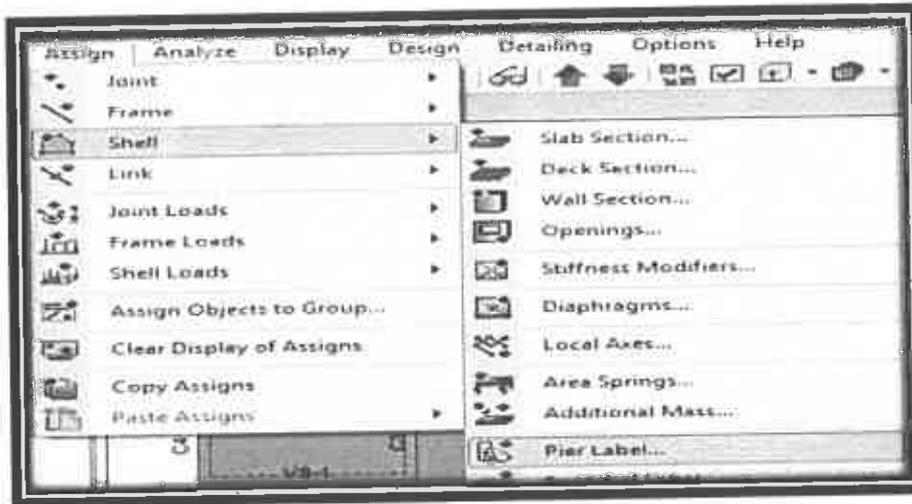
- ✓ Seleccione el icono de empotrado.
- ✓ Haga un clic en el botón **OK**.



Luego de haber seleccionados los elementos (muros) para etiquetar estos se deberá seleccionar el siguiente menú y seguir la siguiente ruta:

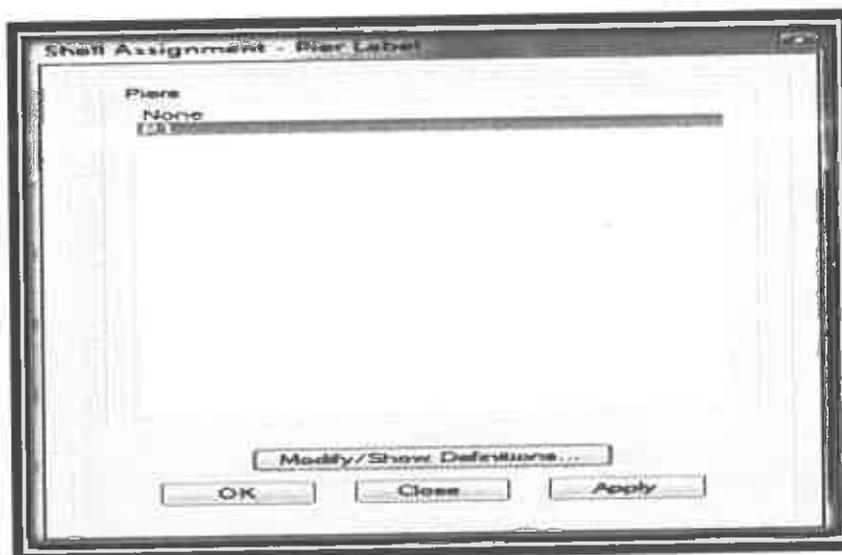
Selección del menú y la ruta a seguir:

Hacemos un clic en el menú **Assign**, hacemos un clic en la opción **Shell** y luego hacemos un clic en la opción **Pier Label...**



En el cuadro **Shell Assignment – Pier Label**, para realizar el etiquetado de los elementos y crear otras etiquetas realizamos lo siguiente:

- ✓ Seleccionamos **P1**.
- ✓ Hacemos un clic en el botón **Apply** para aplicar la etiqueta seleccionada.
- ✓ Para crear otra etiqueta hacemos un clic en el botón **Modify/Show Definitions...**



Parte 9:

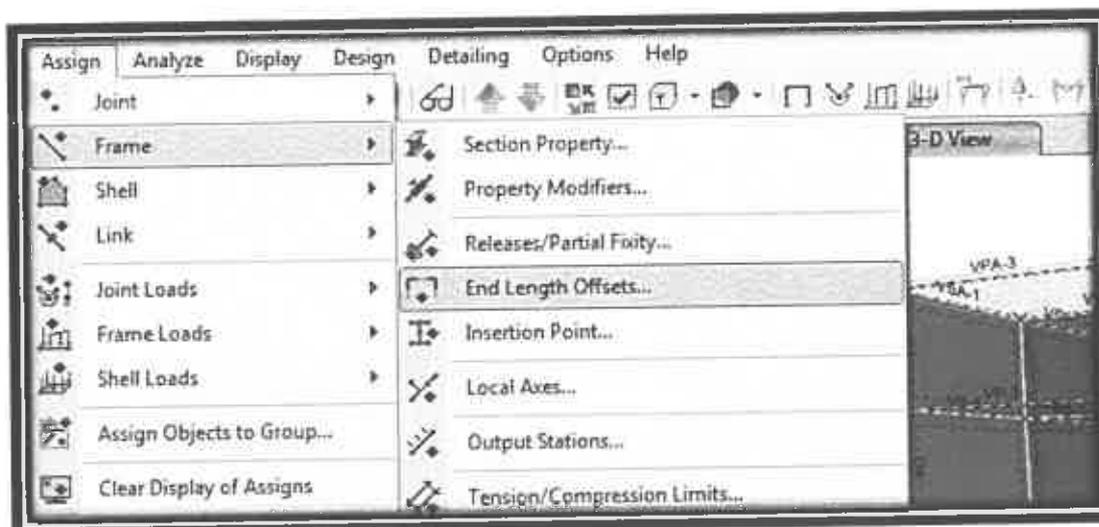
GENERANDO BRAZOS RÍGIDOS

Para considerar los extremos rígidos que toma en cuenta el traslape de los elementos tipo barra no colineales en la zona de unión (ejemplo viga - columna) y para ingresar el valor del factor de zona rígida 0.5 que toman los elementos de concreto armado realizamos lo siguiente:

- ✓ En la ventana de trabajo activamos la vista en 3D. /Hacemos un clic en el comando **Select All** para seleccionar todos los elementos de la estructura.



- ✓ Hacemos un clic en el menú **Assign**.
- ✓ Hacemos un clic en la opción **Frame**.
- ✓ Luego hacemos un clic en la opción **End Length Offsets...**



Parte 10:

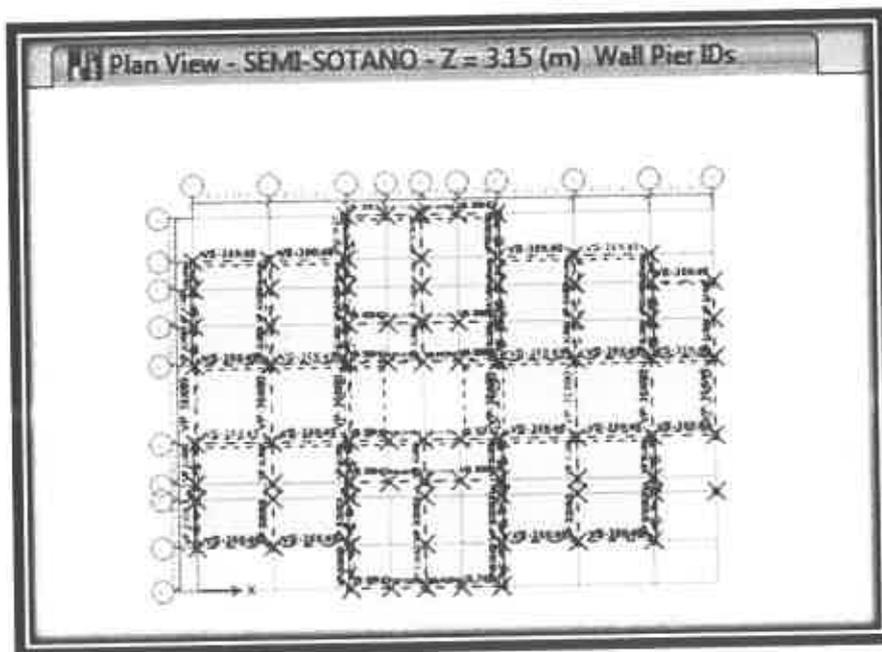
ASIGNACIÓN DE DIAFRAGMAS RÍGIDOS

Para la asignación de DIAFRAGMAS RÍGIDOS realizamos lo siguiente:

- ✓ Seleccionamos del botón desplegable **All Stories**, esto para que una vez seleccionado un objeto el programa seleccione de forma similar los demás niveles.

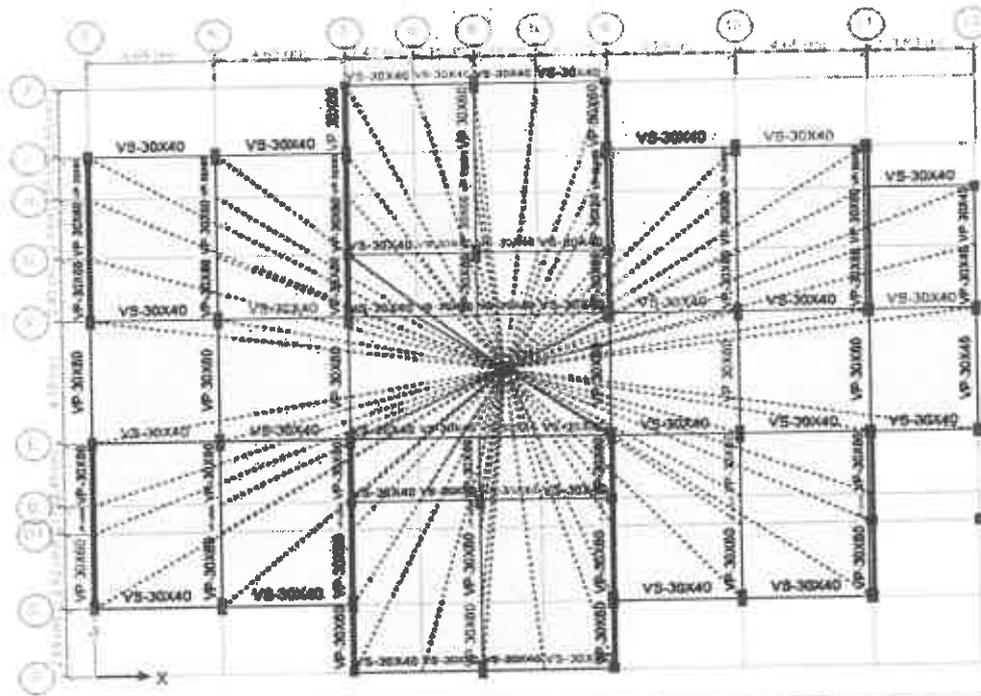


- ✓ En la ventana de trabajo activamos la vista en planta y nos ubicamos en el **SEMI SOTANO**.
- ✓ Seleccionamos todos los elementos de este nivel.



- ✓ Hacemos un clic en el menú **Assign**.
- ✓ Hacemos un clic en la opción **Shell**.
- ✓ Luego hacemos un clic en la opción **Diaphragm...**

Plan View - SEMI-SOTANO - Z = 3.15 (m) Diaphragms



A. PARA CARGA (Peso Propio)

- ✓ Seleccione Dead.
- ✓ Escriba **Peso Propio** en Load (carga).
- ✓ En **Type** seleccione del botón desplegable **Dead (Muerta)**.
- ✓ En **Self Weight Multiplier** digitar 1, esto para que incluya el peso propio de los elementos de la edificación.
- ✓ Haga un clic en el botón **Modify Load**.

B. PARA CARGA (Live)

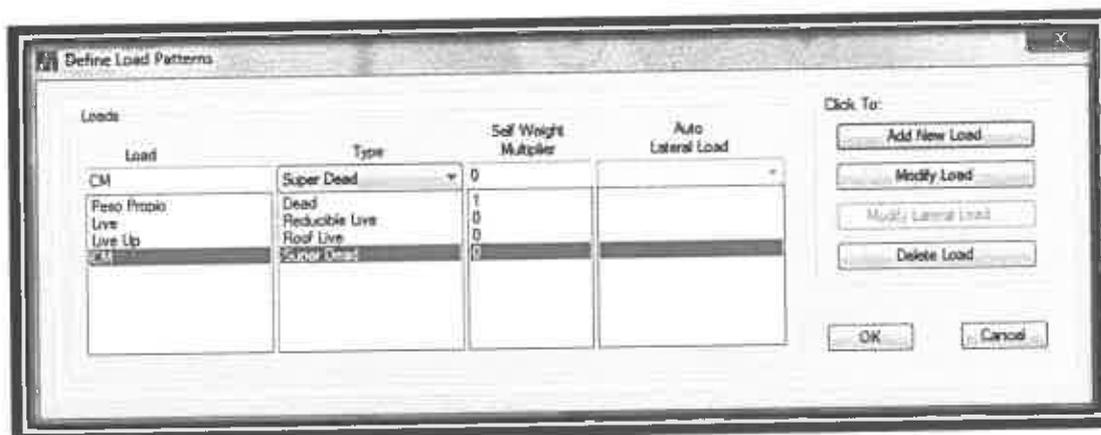
- ✓ Seleccione Live.
- ✓ Escriba **Live** en Load (carga).
- ✓ En **Type** seleccione del botón desplegable **Reducible Live**.
- ✓ En **Self Weight Multiplier** digitar 0, esto para que no incluya el peso propio de los elementos.
- ✓ Haga un clic en el botón **Modify Load**.

C. PARA CARGA (Live Up)

- ✓ Escriba **Live Up** en Load (carga).
- ✓ En **Type** seleccione del botón desplegable **Roof Live**. En **Self Weight Multiplier** digitar 0, esto para que no incluya el peso propio de los elementos.
- ✓ Haga un clic en el botón **Add New Load (adicionar nueva carga)**.

D. PARA CARGA (CM)

- ✓ Escriba **CM** en Load (carga).
- ✓ En **Type** seleccione del botón desplegable **Super Dead**.
- ✓ En **Self Weight Multiplier** digitar 0, esto para que no incluya el peso propio de los elementos.
- ✓ Haga un clic en el botón **Add New Load (adicionar nueva carga)**.
- ✓ Y finalmente hacer un clic en el botón **OK**.



C. TRANSFORMACIÓN EQUIVALENTE DE CARGA POR METRO LINEAL A CARGA POR UNIDAD DE ÁREA PARA TABIQUERÍAS

Peso del Tabique [Kg/m]	Carga Equivalente [Kg/m ²]
< 74	30
75 - 149	60
150 - 249	90
250 - 399	150
400 - 549	210
550 - 699	270
700 - 849	330
850 - 1000	390

Entonces, según esta tabla le corresponde una carga por unidad de área de 270 kg/m^2 .

Y es esta carga del tipo "Super Dead" que se tiene que asignar a las losas seleccionadas.

D. CONSIDERANDO EL PESO DE PISO TERMINADO

También al realizar la configuración estructural (dibujo de la estructura), a la estructura no se le consideró el espesor que tiene el piso terminado que se traduce en peso del piso terminado, por lo tanto, esta carga lo añadiremos como un tipo de carga muerta (CM).

Entonces, considerando el peso de piso terminado de 100 kg/m^2 .

Y es esta carga del tipo "Super Dead" que se tiene que asignar a las losas seleccionadas.

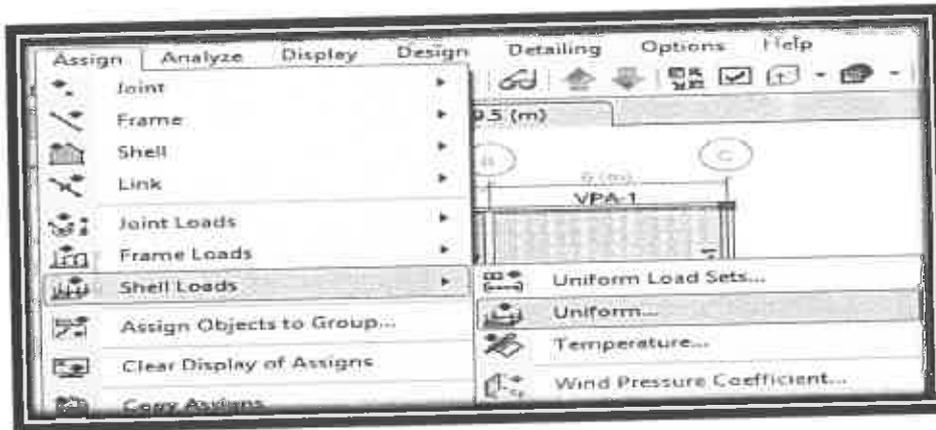
FINALMENTE

Teniendo en cuenta estas dos consideraciones finalmente se tiene:

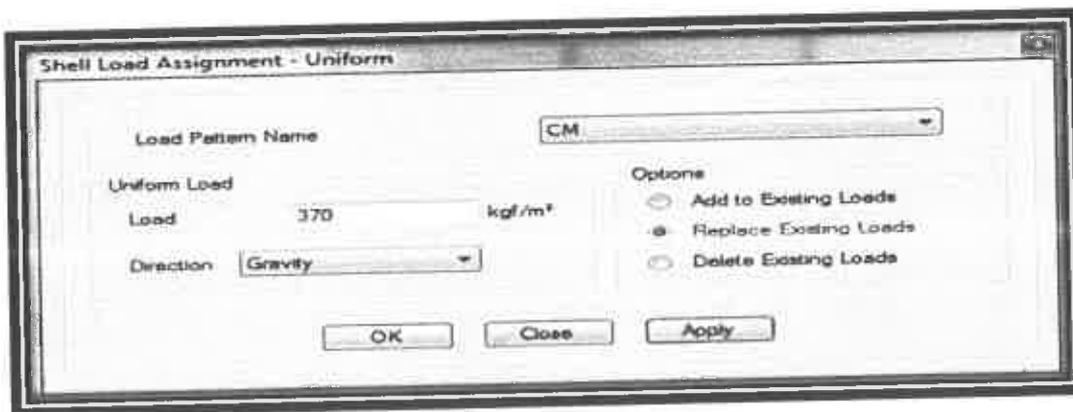
$$270 \text{ kg/m}^2 + 100 \text{ kg/m}^2 = 370 \text{ kg/m}^2$$

En la ventana activa de vista en planta.

- ✓ Utilizamos el **Move Up in List** para desplazarnos y ubicarnos en el plano ($Z = 15.75$).
- ✓ Luego des - seleccionar todas las losas seleccionadas correspondientes al 4 to piso (esto haciendo un clic izquierdo con el puntero sobre las losas).
- ✓ Luego hacemos un clic en el menú **Assign**.
- ✓ Hacemos un clic en la opción **Shell Loads**.
- ✓ Luego en la opción **Uniform...**



- ✓ En el cuadro **Shell Load Assignment – Uniform** y en **Load Pattern Name** seleccionamos del botón desplegable carga muerta **CM**.
- ✓ En **Load** digitamos 370.
- ✓ Lo demás lo dejamos como está configurado en la figura. /Luego hacemos un clic en el botón **Apply**.



2. ASIGNANDO CARGA A LA LOSA DEL 4TO PISO (AZOTEA)

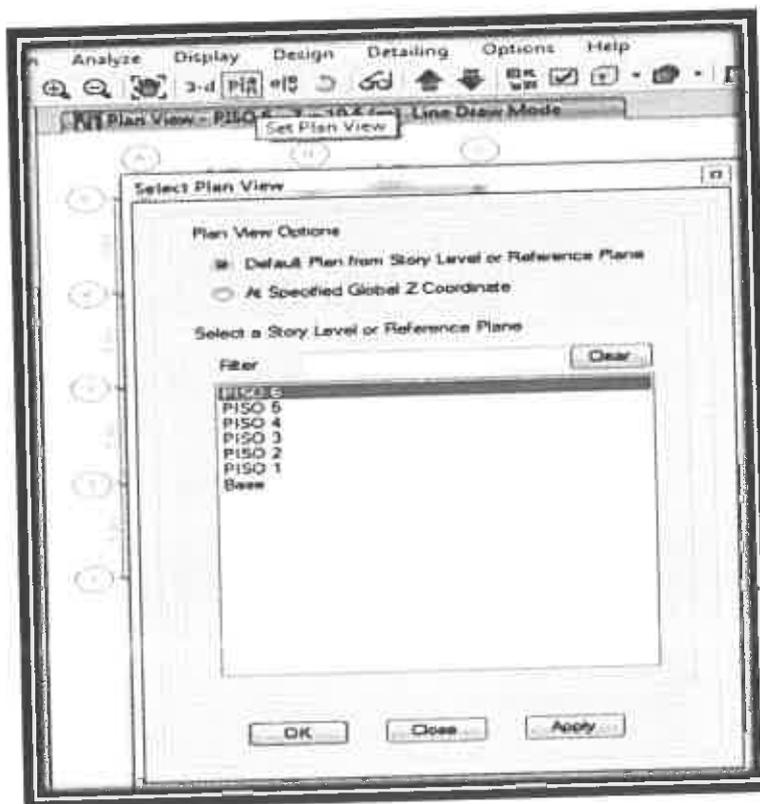
2.1. CARGA MUERTA(CM) DEL TIPO "SUPER DEAD"

También al realizar la configuración estructural (dibujo de la estructura), a la estructura no se le consideró el espesor que tiene el piso terminado en el 4to piso, que se traduce en peso del piso terminado, por lo tanto, esta carga lo añadiremos como un tipo de carga muerta (CM).

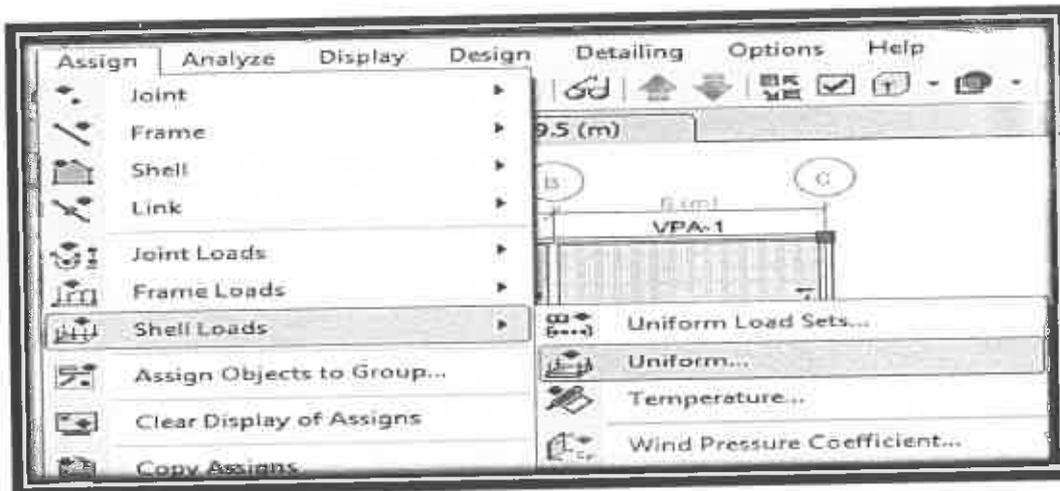
Entonces, considerando el peso de piso terminado de 100 kg/m^2 .

Y es esta carga del tipo "Super Dead" que se tiene que asignar a las losas seleccionadas del 4to piso (azotea).

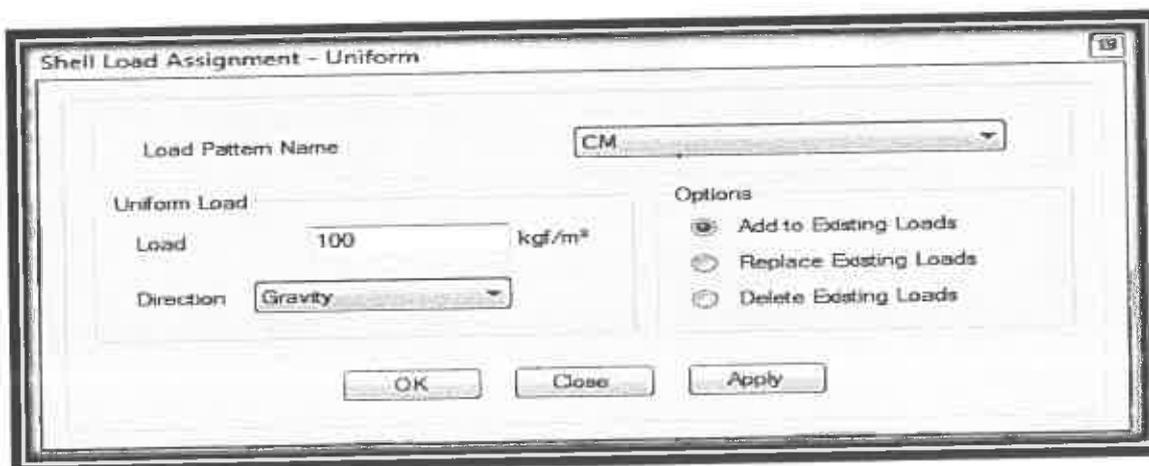
- ✓ En la ventana de trabajo activa hacemos un clic en el comando **Set Plan View**, esto para configurar la visualización en planta de nivel (PISO 4) en dicha ventana.
- ✓ En el cuadro **Select Plan View** hacemos en clic en **PISO 4**, para que en la ventana de trabajo activa se visualice en planta el nivel (PISO 4).
- ✓ Luego hacemos un clic en **OK**.



- ✓ Hacemos un clic en el menú **Assign**.
- ✓ Hacemos un clic en la opción **Shell Loads**.
- ✓ Luego en la opción **Uniform...**



- ✓ En el cuadro **Shell Load Assignment – Uniform** y en **Load Pattern Name** seleccionamos del botón desplegable carga muerta **CM**.
- ✓ En **Load** digitamos 100.
- ✓ Lo demás lo dejamos como está configurado en la figura.
- ✓ Luego hacemos un clic en el botón **Apply**.



ANEXO 2.

**PRUEBA 1 Y 2 PARA LA DETERMINACIÓN DEL
ESPECTRO DE FOURIER**

PRUEBA 1

TRATAMIENTO DE UNA SEÑAL COMPUESTA DE TIEMPO CONTINUO

(Determinación del contenido frecuencial y la frecuencia dominante de una señal)

Se realizará el análisis de una señal compuesta por sinusoides (señal de tiempo continuo) de características conocidas "contenido de frecuencias" y de duración de 1 min 37.96 seg, para luego generar una señal muestreada (señal de tiempo discreto) tomando 4899 puntos muestreados y con una frecuencia de muestreo de 50 Hz. Luego mediante la teoría matemática "uso de la Transformada Discreta de Fourier" se determinará los componentes complejos de ésta transformada contrastados éstos con el uso del algoritmo (FFT) implementado en Matlab primero para 4 puntos y luego para 10 puntos. Si los resultados son similares se determinará la confiabilidad del uso del algoritmo (FFT) para 4899 puntos muestreados del registro de aceleraciones y finalmente producir el contenido de frecuencias de la señal, con lo cual también si el programa describe un contenido de frecuencias y frecuencia dominante similar a la señal de características conocidas inicialmente se estará confirmando la confiabilidad del proceso de análisis del contenido frecuencial.

Sea la $x(t)$ una señal compuesta de tiempo continuo.

$$x(t) = 25\text{sen}(6.283t) + 30\text{sen}(18.849t) + 50\text{sen}(37.699t) + 40\text{sen}(12.566t) + 60\text{sen}(25.133t) \quad ; \quad \text{mm/s}^2$$

Figura 001. Señal compuesta de tiempo continuo (aceleración en el dominio del tiempo).



Fuente: Elaboración propia "uso de la hoja de cálculo EXCEL".

Entonces se realizará su caracterización de la señal por medio de su contenido de frecuencias, para ello realizamos lo siguiente:

- La componente frecuencial $60\text{sen}(2\pi * 4 * t)$, tiene una amplitud de 60 mm/s^2 y le corresponde una frecuencia de 4 Hz .

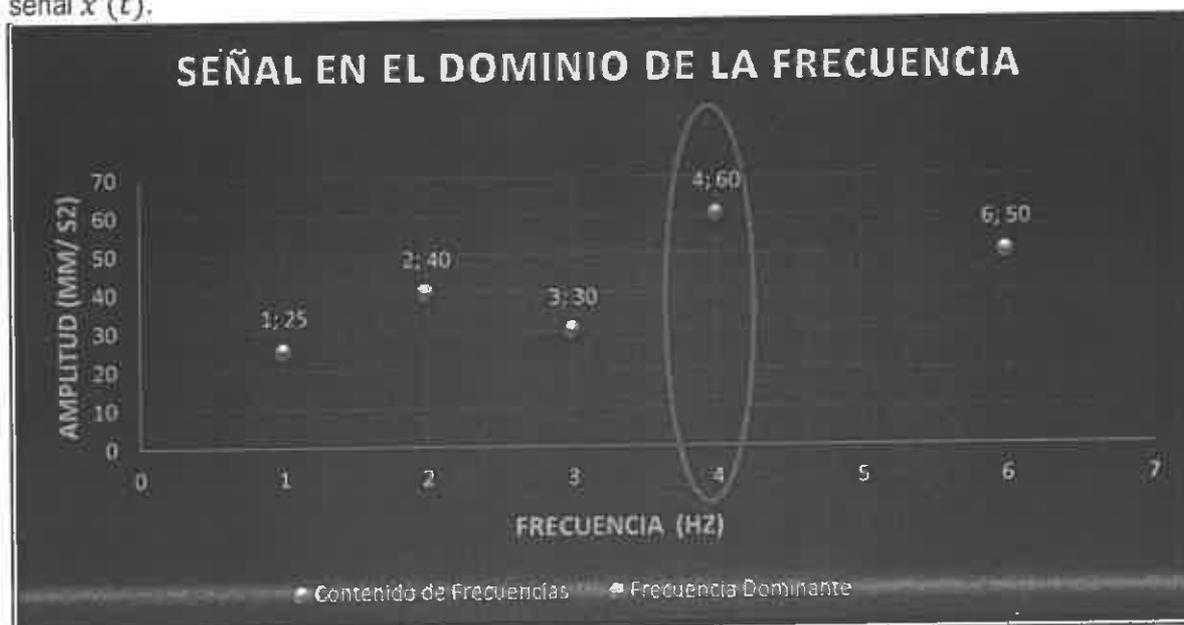
Por lo tanto, la señal $x(t)$ tiene el siguiente contenido de frecuencias 1 Hz , 3 Hz , 6 Hz , 2 Hz , y 4 Hz .

2.2. FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL

Es la frecuencia correspondiente a la componente senoidal (componente frecuencial) de mayor amplitud.

- La componente senoidal de mayor amplitud en la señal es de 60 mm/s^2 y le corresponde una frecuencia de 4 Hz , por lo tanto: la frecuencia dominante de la señal $x(t)$ es de 4 Hz .

Figura 002. Señal en el dominio de la frecuencia donde se aprecia la frecuencia dominante de la señal $x(t)$.



Fuente: Elaboración propia *uso de la hoja de cálculo EXCEL*

PERIODO DE MUESTREO: $T = 0.02$ s
FRECUENCIA DE MUESTREO: $F = 50$ Hz

Donde se obtuvo la señal $x(nT)$ en tiempo discreto.

$$x[n] = x(nT) = x(t)|_{t=nT} \quad , \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = 0.000 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 87.257 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = 146.585 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = 162.137 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = 136.314 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = 87.146 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 38.556 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = 8.703 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = 2.396 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = 11.131 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4897] = x(4897T) = x(97.94) = -162.137 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4898] = x(4898T) = x(97.96) = -146.585 \text{ mm/s}^2$$

El número de puntos muestreados en el registro sísmico fue de:

$$N + 1 = 4898 + 1 = 4899 \text{ puntos muestreados.}$$

Donde se obtuvo el máximo valor absoluto de la aceleración de este registro que fue de 162.137 mm/s^2 .

Teniendo la señal en tiempo discreto se procederá a utilizar la Transformada Discreta de Fourier para determinar el contenido de frecuencias de la señal de forma matemática primero con 4 puntos luego con 10 puntos comparando estos resultados el uso del programa implementado en el Matlab, esto para determinar la confiabilidad del uso del programa diseñado en Matlab para la utilización de 4899 puntos.

3.2. USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = 0.000 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 87.257 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = 146.585 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = 162.137 \text{ mm/s}^2$$

Como: Dado un entero positivo N , la Transformada Discreta de Fourier (DFT) de N puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1$, se define como

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Como según la ecuación de Euler

$$e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j\text{sen}(\omega t)$$

Entonces

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \left\{ \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j\text{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right\}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

$$X_k = \left(\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right) - j \left(\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \text{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Por lo tanto se tiene una parte real y una parte imaginaria X_k .

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

La parte imaginaria I_k de X_k es

$$I_k = - \sum_{n=1}^3 x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{4}, \quad k = 0,1,2,3$$

$$I_k = - \left(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4} + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4} \right)$$

$$I_k = - \left(87.257 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4} + 146.585 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4} + 162.137 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4} \right)$$

$$I_k = \begin{cases} +00.000, & k = 0 \\ +74.880, & k = 1 \\ +00.000, & k = 2 \\ -74.880, & k = 3 \end{cases}$$

Por lo tanto la forma rectangular de la Transformada Discreta de Fourier " X_k " es:

$$X_k = \begin{cases} +395.979 + 00.000i & k = 0 \\ -146.590 + 74.880i & k = 1 \\ -102.810 + 00.000i & k = 2 \\ -146.590 - 74.880i & k = 3 \end{cases}$$

Según Matlab

```

1.0e+02 *
3.9598 + 0.0000i
-1.4659 + 0.7488i
-1.0281 + 0.0000i
-1.4659 - 0.7488i
    
```

$$\begin{aligned}
 R_k = & 0.000 + 87.257 \cos \frac{2\pi k(1)}{10} + 146.585 \cos \frac{2\pi k(2)}{10} + 162.137 \cos \frac{2\pi k(3)}{10} \\
 & + 136.314 \cos \frac{2\pi k(4)}{10} + 87.146 \cos \frac{2\pi k(5)}{10} \\
 & + 38.556 \cos \frac{2\pi k(6)}{10} + 8.703 \cos \frac{2\pi k(7)}{10} + 2.396 \cos \frac{2\pi k(8)}{10} \\
 & + 11.131 \cos \frac{2\pi k(9)}{10}
 \end{aligned}$$

$$R_k = \begin{cases} +680.225, & k = 0 \\ -155.776, & k = 1 \\ -087.153, & k = 2 \\ -045.828, & k = 3 \\ -035.094, & k = 4 \\ -032.523, & k = 5 \\ -035.094, & k = 6 \\ -045.828, & k = 7 \\ -087.153, & k = 8 \\ -155.776, & k = 9 \end{cases}$$

La parte imaginaria I_k de X_k es

$$I_k = - \sum_{n=1}^9 x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{10}, \quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$$

$$\begin{aligned}
 I_k = & -(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{10} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{10} + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{10} \\
 & + x[4] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{10} + x[5] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{10} + x[6] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{10} \\
 & + x[7] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{10} + x[8] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{10} + x[9] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{10})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_k = & 0.000 + 87.257 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{10} + 146.585 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{10} + 162.137 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{10} \\
 & + 136.314 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{10} + 87.146 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{10} \\
 & + 38.556 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{10} + 8.703 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{10} + 2.396 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{10} \\
 & + 11.131 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{10}
 \end{aligned}$$

4. ANÁLISIS DE LA SEÑAL MEDIANTE EL PROGRAMA MATLAB

4.1. USO DEL ALGORITMO FFT IMPLEMENTADO EN MATLAB PARA EL CÁLCULO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER PARA 4899 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES

$$\begin{aligned}x[0] &= x(0T) = x(0.00) = 0.000 \text{ mm/s}^2 \\x[1] &= x(1T) = x(0.02) = 87.257 \text{ mm/s}^2 \\x[2] &= x(2T) = x(0.04) = 146.585 \text{ mm/s}^2 \\x[3] &= x(3T) = x(0.06) = 162.137 \text{ mm/s}^2 \\x[4] &= x(4T) = x(0.08) = 136.314 \text{ mm/s}^2 \\x[5] &= x(5T) = x(0.10) = 87.146 \text{ mm/s}^2 \\x[6] &= x(6T) = x(0.12) = 38.556 \text{ mm/s}^2 \\x[7] &= x(7T) = x(0.14) = 8.703 \text{ mm/s}^2 \\x[8] &= x(8T) = x(0.16) = 2.396 \text{ mm/s}^2 \\x[9] &= x(9T) = x(0.18) = 11.131 \text{ mm/s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x[4897] &= x(4897T) = x(97.94) = -162.137 \text{ mm/s}^2 \\x[4898] &= x(4898T) = x(97.96) = -146.585 \text{ mm/s}^2\end{aligned}$$

Entonces cuando $N = 4899$ puntos

La Transformada Discreta de Fourier (X_k) de la señal de tiempo discreto $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1 = 4898$, se define como:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} = \sum_{n=0}^{4898} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{4899}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 4898$$

La parte real R_k de X_k es

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{4898} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{4899}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 4898$$

4.2. DETERMINANDO EN ESPECTRO DE FOURIER (MAGNITUD EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA)

Sea el número complejo $c = a + ib$.

Entonces la magnitud de un número complejo viene dada por la fórmula:

$$|c| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Para el cálculo de la magnitud de los números complejos de la Transformada Discreta de Fourier se realizó utilizando el comando `abs(X2)` implementado en Matlab.

Según Matlab

```
magnitudX2 =  
1.0e+05 *  
0.0009 k=0  
0.0009 k=1  
0.0009 k=2  
0.0009 k=3  
0.0009 k=4  
0.0009 k=5  
0.0009 k=6  
0.0009 k=7  
.  
.  
.  
0.0009 k=4897  
0.0009 k=4898
```

Tabla 003: Resumen de la tabla 002 en la cual se recopiló aquellos componentes de la DFT que tienen magnitudes considerables respecto a los demás componentes.

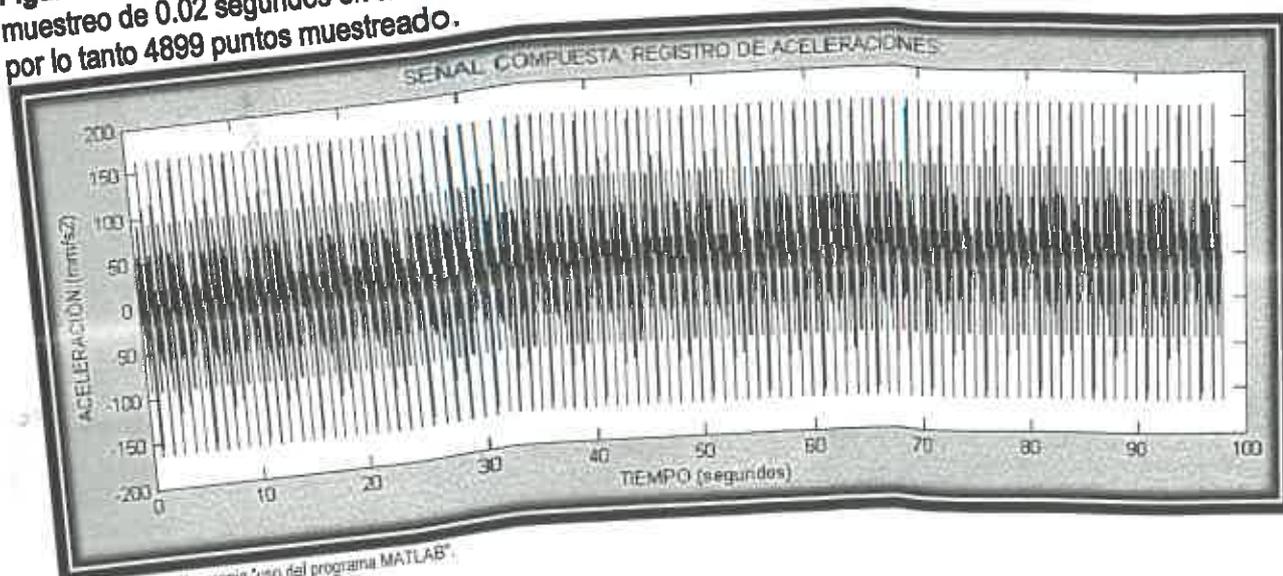
SEÑAL MUESTREADA		RESUMEN TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT)			ESPECTRO DE FOURIER		
PERIODO MUEST. T=0.02 seg	SEÑAL COMPUESTA (mm/s ²)	PARTE REAL DE X_k Factor $1.0e+05$	PARTE IMAGINARIA DE X_k Factor $1.0e+05$ *	F. RECTANGULAR DE X_k Factor $1.0e+05$ *	CONTENIDO DE FRECUENCIAS HERTZ (Hz)	MAGNITUD DE X_k Factor $1.0e+05$ *	
		k					
1,96	-146,585	98	-0,0375	-0,6102	-0,0375 - 0,6102i	1,0002	0,6114
3,92	-136,314	196	-0,1216	-0,9689	-0,1215 - 0,9689i	2,0004	0,9785
5,88	-38,556	294	-0,1359	-0,7169	-0,1359 - 0,7169i	3,0006	0,7297
11,76	-3,980	588	-0,4399	-1,1131	-0,4399 - 1,1131i	6,0012	1,1969
7,84	-2,396	392	-0,3610	-1,4090	-0,3610 - 1,4090i	4,0008	1,4545

Fuente: Elaboración propia "uso de la hoja de cálculo EXCEL".

4.3. DETERMINANDO EL CONTENIDO DE FRECUENCIAS Y LA FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL

La forma de la señal depende de las magnitudes (amplitudes) relativas de las componentes frecuenciales que dan forma a la señal. De ahí la importancia de determinar que componente frecuencial tiene mayor magnitud y asociado a éste, estará la frecuencia dominante de la señal.

Figura 005. Señal compuesta muestreada con una frecuencia de muestreo de 50 Hz, periodo de muestreo de 0.02 segundos en toda la duración de la señal que es de 1 min 37.96 seg, obteniéndose por lo tanto 4899 puntos muestreado.



Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

Tabla 004: Resumen de la terminación del contenido de frecuencias y la frecuencia dominante mediante su representación explícita y mediante la teoría matemática.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FRECUENCIAS Y LA FRECUENCIA DOMINANTE DE UNA SEÑAL		
PARÁMETRO	MEDIANTE SU REPRESENTACIÓN EXPLÍCITA	MEDIANTE LA TEORÍA MATEMÁTICA: USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER Y AL ALGORITMO FFT IMPLEMENTADO EN MATLAB
CONTENIDO DE FRECUENCIAS	1, 2, 3, 4 y 6 Hz	1.0002, 2.0004, 3.0006, 4.0008 y 6.0012 Hz
FRECUENCIA DOMINANTE	4.000 Hz	4.0008 Hz
ERROR RESPECTO A SU REPRESENTACIÓN EXPLÍCITA		0.02%

Fuente: Elaboración propia "uso de la hoja de cálculo EXCEL".

ANEXO

```
#####
%grafica de la señal
N2=4899;
fm=50;
T2=1/fm;
k2=0:N2-1;
t2=0:1/fm:(N2-1)/fm;
load ANEXOMUESTRA4899PUNTOS.txt
M = ANEXOMUESTRA4899PUNTOS;
figure(1);
subplot(2,1,1);
plot(t2,M);
title('SEÑAL COMPUESTA: REGISTRO DE ACELERACIONES: ');
xlabel('TIEMPO (segundos)');
ylabel('ACELERACIÓN (mm/s2)');
% Transformada de Fourier
X2=fft(M);
real(X2);
imag(X2);
magnitudX2=abs(X2)
hertz2=k2*(1/(N2*T2));
figure(1);
subplot(2,1,2);
stem(hertz2(1:N2/1),magnitudX2(1:N2/1));
title('SEÑAL: ANALISIS ESPECTRAL');
xlabel('FRECUENCIA (Hz)');
ylabel('MAGNITUD |Xk|');
```

PRUEBA 2

TRATAMIENTO DE UNA SEÑAL COMPUESTA DE TIEMPO CONTINUO

(Determinación del contenido frecuencial y la frecuencia dominante de una señal)

Se realizará el análisis de una señal compuesta por sinusoides (señal de tiempo continuo) de características conocidas "contenido de frecuencias" y de duración de 1 min 37.96 seg, para luego generar una señal muestreada (señal de tiempo discreto) tomando 4899 puntos muestreados y con una frecuencia de muestreo de 50 Hz. Luego mediante la teoría matemática "uso de la Transformada Discreta de Fourier" se determinará los componentes complejos de ésta transformada contrastados éstos con el uso del algoritmo (FFT) implementado en Matlab primero para 4 puntos y luego para 10 puntos. Si los resultados son similares se determinará la confiabilidad del uso del algoritmo (FFT) para 4899 puntos muestreados del registro de aceleraciones y finalmente producir el contenido de frecuencias de la señal, con lo cual también si el programa describe un contenido de frecuencias y frecuencia dominante similar a la señal de características conocidas inicialmente se estará confirmando la confiabilidad del proceso de análisis del contenido frecuencial.

Sea la $x(t)$ una señal compuesta de tiempo continuo.

$$x(t) = 20\text{sen}(6.283t) + 25\text{sen}(18.849t) + 35\text{sen}(37.699t) + 45\text{sen}(12.566t) + 50\text{sen}(25.133t) + 15\text{sen}(62.830t) + 35\text{sen}(56.547t) + 55\text{sen}(43.981t) \quad ; \text{ mm/s}^2$$

Figura 001. Señal compuesta de tiempo continuo (aceleración en el dominio del tiempo).



Fuente: Elaboración propia "uso de la hoja de cálculo EXCEL".

Entonces se realizará su caracterización de la señal por medio de su contenido de frecuencias, para ello realizamos lo siguiente:

- La componente frecuencial $45\text{sen}(2\pi * 2 * t)$, tiene una amplitud de 45 mm/s^2 y le corresponde una frecuencia de 2 Hz .
- La componente frecuencial $50\text{sen}(2\pi * 4 * t)$, tiene una amplitud de 50 mm/s^2 y le corresponde una frecuencia de 4 Hz .
- La componente frecuencial $15\text{sen}(2\pi * 10 * t)$, tiene una amplitud de 15 mm/s^2 y le corresponde una frecuencia de 10 Hz .
- La componente frecuencial $35\text{sen}(2\pi * 9 * t)$, tiene una amplitud de 35 mm/s^2 y le corresponde una frecuencia de 9 Hz .
- La componente frecuencial $55\text{sen}(2\pi * 7 * t)$, tiene una amplitud de 55 mm/s^2 y le corresponde una frecuencia de 7 Hz .

Por lo tanto, la señal $x(t)$ tiene el siguiente contenido de frecuencias 1 Hz , 3 Hz , 6 Hz , 2 Hz , 4 Hz , 10 Hz , 9 Hz y 7 Hz .

2.2. FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL

Es la frecuencia correspondiente a la componente senoidal (componente frecuencial) de mayor amplitud.

- La componente senoidal de mayor amplitud en la señal es de 55 mm/s^2 y le corresponde una frecuencia de 7 Hz , por lo tanto: la frecuencia dominante de la señal $x(t)$ es de 7 Hz .

Figura 002. Señal en el dominio de la frecuencia donde se aprecia la frecuencia dominante de la señal $x(t)$.



Fuente: Elaboración propia "uso de la hoja de cálculo EXCEL".

Donde se obtuvo la señal $x(nT)$ en tiempo discreto.

$$x[n] = x(nT) = x(t)|_{t=nT} \quad , \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

$$x[0] = x(0T) = x(0.00) = 0.000 \text{ mm/s}^2$$

$$x[1] = x(1T) = x(0.02) = 159.261 \text{ mm/s}^2$$

$$x[2] = x(2T) = x(0.04) = 210.724 \text{ mm/s}^2$$

$$x[3] = x(3T) = x(0.06) = 146.633 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4] = x(4T) = x(0.08) = 53.316 \text{ mm/s}^2$$

$$x[5] = x(5T) = x(0.10) = 14.266 \text{ mm/s}^2$$

$$x[6] = x(6T) = x(0.12) = 34.441 \text{ mm/s}^2$$

$$x[7] = x(7T) = x(0.14) = 60.554 \text{ mm/s}^2$$

$$x[8] = x(8T) = x(0.16) = 55.225 \text{ mm/s}^2$$

$$x[9] = x(9T) = x(0.18) = 30.966 \text{ mm/s}^2$$

.

.

.

$$x[4897] = x(4897T) = x(97.94) = -146.633 \text{ mm/s}^2$$

$$x[4898] = x(4898T) = x(97.96) = -210.724 \text{ mm/s}^2$$

El número de puntos muestreados en el registro sísmico fue de:

$$N + 1 = 4898 + 1 = 4899 \text{ puntos muestreados.}$$

Donde se obtuvo el máximo valor absoluto de la aceleración de este registro que fue de 210.724 mm/s^2 .

Teniendo la señal en tiempo discreto se procederá a utilizar la Transformada Discreta de Fourier para determinar el contenido de frecuencias de la señal de forma matemática primero con 4 puntos luego con 10 puntos comparando estos resultados el uso del programa implementado en el Matlab, esto para determinar la confiabilidad del uso del programa diseñado en Matlab para la utilización de 4899 puntos.

3.2. USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) PARA 4 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES

$$\begin{aligned}x[0] &= x(0T) = x(0.00) = 0.000 \text{ mm/s}^2 \\x[1] &= x(1T) = x(0.02) = 159.261 \text{ mm/s}^2 \\x[2] &= x(2T) = x(0.04) = 210.724 \text{ mm/s}^2 \\x[3] &= x(3T) = x(0.06) = 146.633 \text{ mm/s}^2\end{aligned}$$

Como: Dado un entero positivo N , la Transformada Discreta de Fourier (DFT) de N puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1$, se define como

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Como según la ecuación de Euler

$$e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j\text{sen}(\omega t)$$

Entonces

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \left\{ \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j\text{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right\}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

$$X_k = \left(\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right) - j \left(\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \text{sen}\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

Por lo tanto se tiene una parte real y una parte imaginaria X_k .

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1)$$

La parte imaginaria I_k de X_k es

$$I_k = - \sum_{n=1}^3 x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{4}, \quad k = 0,1,2,3$$

$$I_k = - \left(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4} + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4} \right)$$

$$I_k = - \left(159.261 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{4} + 210.724 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{4} + 146.633 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{4} \right)$$

$$I_k = \begin{cases} +00.000, & k = 0 \\ -12.628, & k = 1 \\ +00.000, & k = 2 \\ +12.628, & k = 3 \end{cases}$$

Por lo tanto la forma rectangular de la Transformada Discreta de Fourier " X_k " es:

$$X_k = \begin{cases} +516.618 + 00.000i & k = 0 \\ -210.724 - 12.628i & k = 1 \\ -095.170 + 00.000i & k = 2 \\ -210.724 + 12.628i & k = 3 \end{cases}$$

Según Matlab

1.0e+02 *
 5.1662 + 0.0000i
 -2.1072 - 0.1263i
 -0.9517 + 0.0000i
 -2.1072 + 0.1263i

$$\begin{aligned}
 R_k = & 0.000 + 159.261 \cos \frac{2\pi k(1)}{10} + 210.724 \cos \frac{2\pi k(2)}{10} \\
 & + 146.633 \cos \frac{2\pi k(3)}{10} + 53.316 \cos \frac{2\pi k(4)}{10} \\
 & + 14.266 \cos \frac{2\pi k(5)}{10} + 34.441 \cos \frac{2\pi k(6)}{10} + 60.554 \cos \frac{2\pi k(7)}{10} \\
 & + 55.225 \cos \frac{2\pi k(8)}{10} + 30.966 \cos \frac{2\pi k(9)}{10}
 \end{aligned}$$

$$R_k = \begin{cases} +765.386, & k = 0 \\ +086.792, & k = 1 \\ -282.607, & k = 2 \\ -093.470, & k = 3 \\ -064.421, & k = 4 \\ -057.974, & k = 5 \\ -064.421, & k = 6 \\ -093.470, & k = 7 \\ -282.607, & k = 8 \\ +086.792, & k = 9 \end{cases}$$

La parte imaginaria I_k de X_k es

$$I_k = - \sum_{n=1}^9 x[n] \operatorname{sen} \frac{2\pi kn}{10}, \quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$$

$$\begin{aligned}
 I_k = & -(x[1] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{10} + x[2] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{10} + x[3] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{10} \\
 & + x[4] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{10} + x[5] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{10} + x[6] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{10} \\
 & + x[7] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{10} + x[8] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{10} + x[9] \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{10})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_k = & -(159.261 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(1)}{10} + 210.724 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(2)}{10} + 146.633 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(3)}{10} \\
 & + 53.316 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(4)}{10} + 14.266 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(5)}{10} + 34.441 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(6)}{10} \\
 & + 60.554 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(7)}{10} + 55.225 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(8)}{10} \\
 & + 30.966 \operatorname{sen} \frac{2\pi k(9)}{10})
 \end{aligned}$$

4. ANÁLISIS DE LA SEÑAL MEDIANTE EL PROGRAMA MATLAB

4.1. USO DEL ALGORITMO FFT IMPLEMENTADO EN MATLAB PARA EL CÁLCULO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER PARA 4899 PUNTOS MUESTREADOS DEL REGISTRO DE ACELERACIONES

$$\begin{aligned}x[0] &= x(0T) = x(0.00) = 0.000 \text{ mm/s}^2 \\x[1] &= x(1T) = x(0.02) = 159.261 \text{ mm/s}^2 \\x[2] &= x(2T) = x(0.04) = 210.724 \text{ mm/s}^2 \\x[3] &= x(3T) = x(0.06) = 146.633 \text{ mm/s}^2 \\x[4] &= x(4T) = x(0.08) = 53.316 \text{ mm/s}^2 \\x[5] &= x(5T) = x(0.10) = 14.266 \text{ mm/s}^2 \\x[6] &= x(6T) = x(0.12) = 34.441 \text{ mm/s}^2 \\x[7] &= x(7T) = x(0.14) = 60.554 \text{ mm/s}^2 \\x[8] &= x(8T) = x(0.16) = 55.225 \text{ mm/s}^2 \\x[9] &= x(9T) = x(0.18) = 30.966 \text{ mm/s}^2 \\&\vdots \\&\vdots \\&\vdots \\x[4897] &= x(4897T) = x(97.94) = -146.633 \text{ mm/s}^2 \\x[4898] &= x(4898T) = x(97.96) = -210.724 \text{ mm/s}^2\end{aligned}$$

Entonces cuando $N = 4899$ puntos

La Transformada Discreta de Fourier (X_k) de la señal de tiempo discreto $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n = 0$ hasta $n = N - 1 = 4898$, se define como:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} = \sum_{n=0}^{4898} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{4899}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 4898$$

La parte real R_k de X_k es

$$R_k = x[0] + \sum_{n=1}^{4898} x[n] \cos \frac{2\pi kn}{4899}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 4898$$

4.2. DETERMINANDO EN ESPECTRO DE FOURIER (MAGNITUD EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA)

Sea el número complejo $c = a + ib$.

Entonces la magnitud de un número complejo viene dada por la fórmula:

$$|c| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Para el cálculo de la magnitud de los números complejos de la Transformada Discreta de Fourier se realizó utilizando el comando `abs(X2)` implementado en Matlab.

Según Matlab

```
magnitudX2 =  
1.0e+05 *  
0.0016 k=0  
0.0016 k=1  
0.0016 k=2  
0.0016 k=3  
0.0016 k=4  
0.0016 k=5  
0.0016 k=6  
0.0016 k=7  
.  
.  
.  
0.0016 k=4897  
0.0016 k=4898
```

Tabla 003: Resumen de la tabla 002 en la cual se recopiló aquellos componentes de la DFT que tienen magnitudes considerables respecto a los demás componentes.

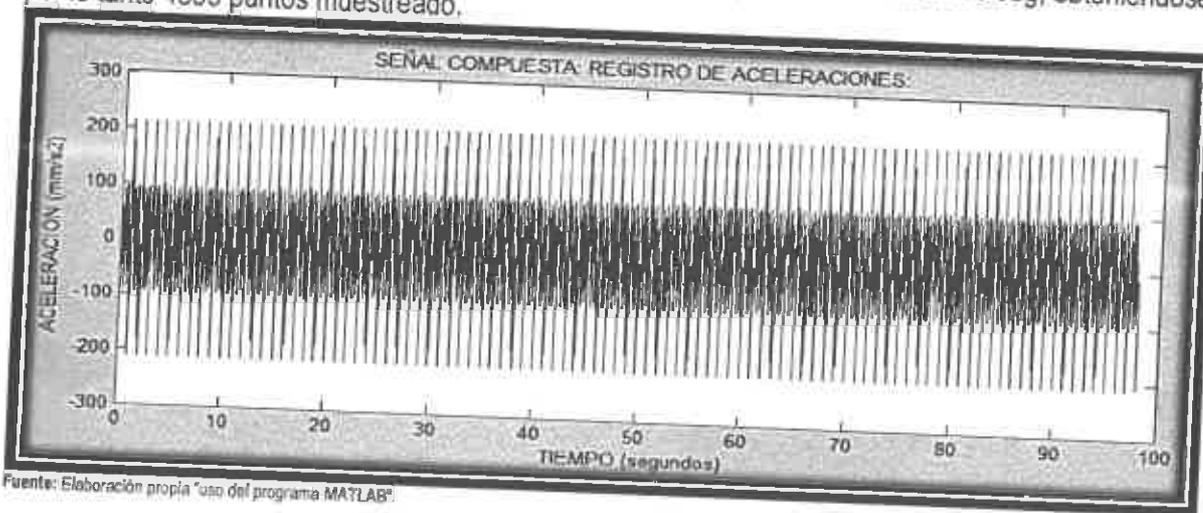
SEÑAL MUESTREADA		RESUMEN					ESPECTRO DE FOURIER	
PERIODO MUEST. T=0.02 seg	SEÑAL COMPUESTA (mm/s ²)	TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT)			F. RECTANGULAR DE X _k Factor 1.0e+05 *	CONTENIDO DE FRECUENCIAS HERTZ (Hz)	MAGNITUD DE X _k Factor 1.0e+05 *	
		k	PARTE REAL DE X _k Factor 1.0e+05 *	PARTE IMAGINARIA DE X _k Factor 1.0e+05 *				
1.96	-210.724	98	-0.0291	-0.4880	-0.0291 - 0.4880i	1.0002	0.4889	
3.92	-53.316	196	-0.1361	-1.0899	-0.1361 - 1.0899i	2.0004	1.0984	
5.88	-34.441	294	-0.1124	-0.5972	-0.1123 - 0.5972i	3.0006	0.6077	
7.84	-55.225	392	-0.2998	-1.1736	-0.2998 - 1.1736i	4.0008	1.2113	
11.76	9.804	588	-0.3062	-0.7773	-0.3062 - 0.7773i	5.0012	0.8354	
17.64	-50.430	882	-0.4346	-0.8871	-0.4346 - 0.8871i	9.0018	0.8130	
19.60	88.963	980	-0.2024	-0.2806	-0.2024 - 0.2806i	10.0020	0.3460	
13.72	47.800	686	-0.5543	-1.1811	-0.5543 - 1.1811i	7.0014	1.3047	

Fuente: Elaboración propia "uso de la hoja de cálculo EXCEL".

4.3. DETERMINANDO EL CONTENIDO DE FRECUENCIAS Y LA FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL

La forma de la señal depende de las magnitudes (amplitudes) relativas de las componentes frecuenciales que dan forma a la señal. De ahí la importancia de determinar que componente frecuencial tiene mayor magnitud y asociado a éste, estará la frecuencia dominante de la señal.

Figura 005. Señal compuesta muestreada con una frecuencia de muestreo de 50 Hz, periodo de muestreo de 0.02 segundos en toda la duración de la señal que es de 1 min 37.96 seg, obteniéndose por lo tanto 4899 puntos muestreado.



Fuente: Elaboración propia "uso del programa MATLAB".

Tabla 004: Resumen de la terminación del contenido de frecuencias y la frecuencia dominante mediante su representación explícita y mediante la teoría matemática.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FRECUENCIAS Y LA FRECUENCIA DOMINANTE DE UNA SEÑAL		
PARÁMETRO	MEDIANTE SU REPRESENTACIÓN EXPLÍCITA	MEDIANTE LA TEORÍA MATEMÁTICA: USO DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER Y AL ALGORITMO FFT IMPLEMENTADO EN MATLAB
CONTENIDO DE FRECUENCIAS	1, 2, 3, 4, 6, 7, 9 y 10 Hz	1.0002, 2.0004, 3.0006, 4.0008, 6.0012, 7.0014, 9.0018 y 10.0020 Hz
FRECUENCIA DOMINANTE	7.000 Hz	7.0014 Hz
ERROR RESPECTO A SU REPRESENTACIÓN EXPLÍCITA	0.02%	

Fuente: Elaboración propia *uso de la hoja de cálculo EXCEL*.

ANEXO

```
#####
%grafica de la señal
N2=4899;
fm=50;
T2=1/fm;
k2=0:N2-1;
t2=0:1/fm:(N2-1)/fm;
load ANEXOMUESTRA4899PUNTOS.txt
M = ANEXOMUESTRA4899PUNTOS;
figure(1);
subplot(2,1,1);
plot(t2,M);
title('SEÑAL COMPUESTA: REGISTRO DE ACELERACIONES: ');
xlabel('TIEMPO (segundos)');
ylabel('ACELERACIÓN (mm/s2)');
% Transformada de Fourier
X2=fft(M);
real(X2);
imag(X2);
magnitudX2=abs(X2)
hertz2=k2*(1/(N2*T2));
figure(1);
subplot(2,1,2);
stem(hertz2(1:N2/1),magnitudX2(1:N2/1));
title('SEÑAL: ANALISIS ESPECTRAL');
xlabel('FRECUENCIA (Hz)');
ylabel('MAGNITUD |Xk|');
```

ANEXO 3.

**INFORME TÉCNICO: ESTUDIO DE MECÁNICA DE
SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN**

INFORME TÉCNICO

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN

“Construcción coliseo polideportivo de la Universidad Nacional de Huancavelica”

ATECS S.A.C.



Ing. Eusthides Rivera Pariona
GERENTE GENERAL

2. GEOLOGIA Y SISMICIDAD DEL AREA EN ESTUDIO

2.1 GEOLOGIA

2.1.1 GEOLOGIA REGIONAL

Aspectos geomorfológicos

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área de estudio y alrededores han sido modelados por eventos de geodinámica interna y externa. Las unidades geomorfológicas existentes son clasificadas como Valles - Quebradas y Estribaciones de la Cordillera Occidental.

Aspectos Litoestratigráficos.

La secuencia litoestratigráfica, está dada por la ocurrencia de afloramientos y depósitos no consolidados con edades que se inician en el Cretáceo Inferior, hasta la actualidad.

Morfogénesis y Procesos Geodinámicos

La configuración del relieve en la región está subordinada a procesos morfogenéticos que han ocurrido en el pasado geológico.

2.1.2 Geología Local

Aspectos Geomorfológicos

El área de estudio se encuentra en el cauce de quebradas antiguas

Aspectos Litoestratigráficos

El área en estudio está asociada a depósitos aluviales de quebradas

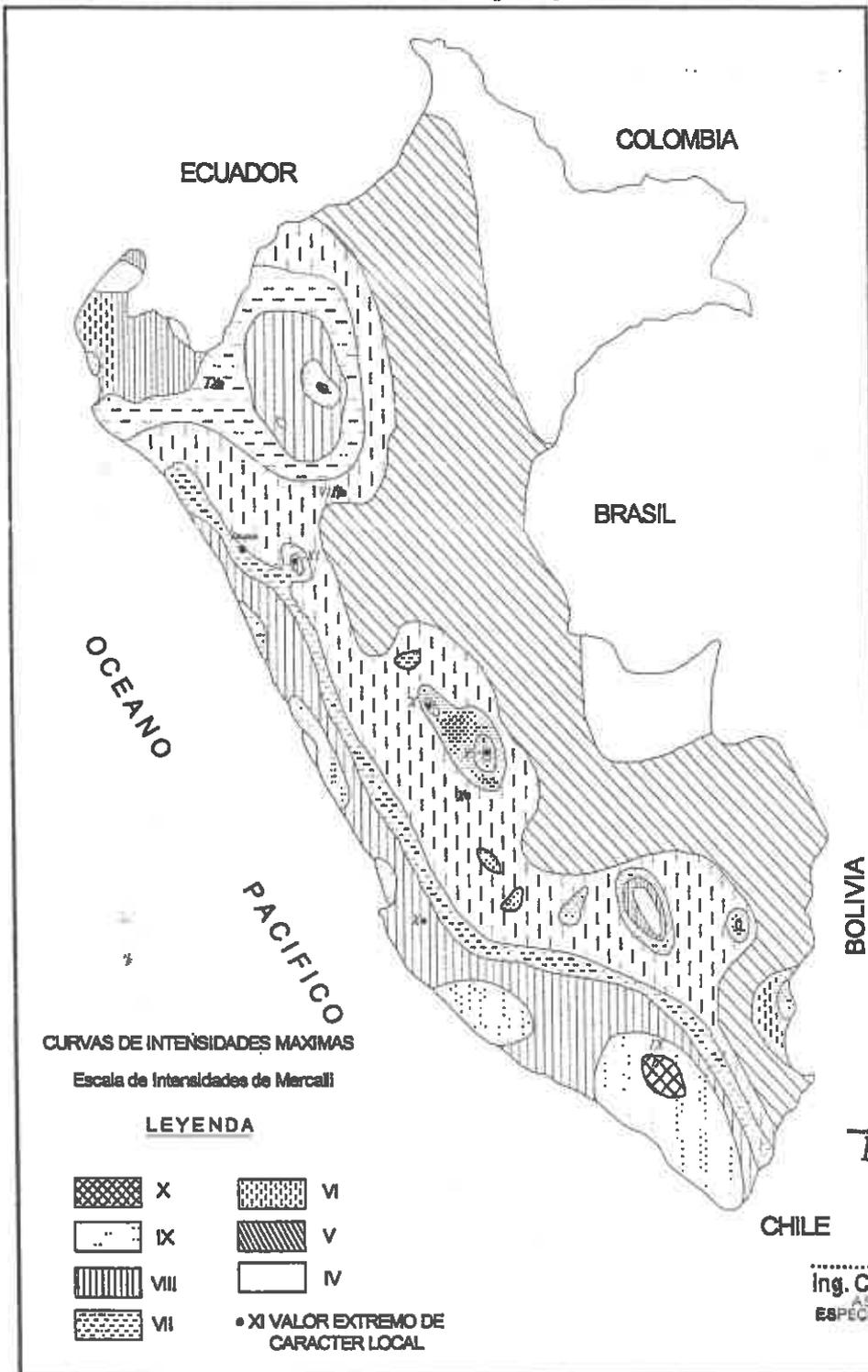
2.2 SISMICIDAD

ATECS S.A.C.

Ing. Enrique Riveros
GERENTE GENERAL


Ing. Civil **MARINO PEÑA DUEÑAS**
ASESOR TÉCNICO - 78936
ESPECIALISTA EN REPARACIÓN DE SUELOS

Ver Mapas adjuntos.



ATECS S.A.C.

Ing. Eutripides Riveros Pariona
GERENTE GENERAL

Ing. Civil MARINO PENA DUEÑAS
ASESOR TECNICO EN GEOTECNIA
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS,

Figura N°4: Mapa de Zonificación Sísmica del Perú, Según el Reglamento Nacional de Construcción (1997) o Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente. (2003).

1. INVESTIGACION GEOTECNICA EFECTUADA

1.1. EXPLORACIONES

La exploración del subsuelo se realizó mediante 03 excavaciones a cielo abierto ó calicatas, ubicadas estratégicamente de tal manera de cubrir todo el terreno en estudio. La profundidad máxima explorada fue de 1.5 m.

3.2. MUESTREO DISTURBADO

Se extrajeron muestras disturbadas representativas de los estratos típicos en cantidad suficiente para la realización de ensayos estándar, especiales y análisis químicos.

3.3. REGISTRO DE EXPLORACIONES

Paralelamente al muestreo se efectuó el registro de cada una de las exploraciones, anotándose las características de los suelos tales como espesor, color, humedad, compacidad, etc.

Cada una de las calicatas exploradas, presentan un Registro de Excavación. Se presenta el resumen de los materiales encontrados en las calicatas exploradas.

Se indica las profundidades y se describen los materiales predominantes en cada una de las exploraciones. Sin embargo se puede concluir que los suelos son del tipo:

Limos inorganicos de color amarillo claro .

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos se efectuaron en el Laboratorio N° 01 de Mecánica de Suelos de la Empresa

ATECS S.A.C.


Ing. E. Ampides Rivas Pariona
GERENTE GENERAL

Ing. Civil MARINO RIVERA DUENAS
ASESOR TECNICO CIP. 78936
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS.

5. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO

La estratigrafía se definió mediante la interpretación de los registros estratigráficos de las exploraciones efectuadas, las cuales se muestran en el "Perfil Estratigráfico" estableciéndose la siguiente conformación del subsuelo:

POZO	CLASIFICACION	CARACTERÍSTICAS
C-1	MH	LIMOS INORGANICOS DE COLOR MARRON
C-2	MH	LIMOS INORGANICOS DE COLOR AMARILLO
C-3	CL	LIMOS INORGANICOS DE COLOR AMARILLO CLARO

6. ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN

De acuerdo a los trabajos de campo, ensayos de laboratorio y la estratigrafía del subsuelo, se evaluó la capacidad portante, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

El material presente en la zona activa de cimentación, está conformado por Limos inorganicos de color amarillo claro . Se efectuó dos ensayos de corte directo en laboratorio, obteniéndose los siguientes parámetros de resistencia:

	C-1	C-2	C-3
Angulo de fricción interna, ϕ	11.80	12.80°	15.40°
Cohesión, C (kg/cm ²)	0.12	0.12	0.14

ATECS S.A.C.



Andrés Riveros
GERENTE GENERAL

Ing. Civil MARINO PÉREZ DUENAS
ASESOR TÉCNICO N.º 78936
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS.

Generalmente las teorías desarrolladas tienen su base en hipótesis simplificadas del comportamiento de los suelos. El problema de capacidad portante se reduce a los casos, de presencia de suelos friccionantes. Terzaghi, propone un mecanismo de falla para un cimiento poco profundo que posteriormente Vesic (1973), proporciona algunas ideas sobre la capacidad portante, considerando un factor adicional, ocasionado por los efectos de la forma de la cimentación, tal como se muestra.

$$q_{ult} = CN_c S_c + \gamma_1 D_f N_q W_q S_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma W_\gamma S_\gamma$$

Donde:

q_{ult}	=	Capacidad última de carga
γ	=	Peso Volumetrico.
B	=	Ancho o diámetro de la cimentación
D_f	=	Profundidad de cimentación
N_c, N_q, N_γ	=	Factores de carga
S_c, S_q, S_γ	=	Factores de forma
W_q, W_γ	=	Factores por nivel freático

Los factores de forma son parámetros adimensionales que dependen principalmente del ángulo de resistencia al esfuerzo cortante ϕ del suelo y de la geometría de la cimentación.

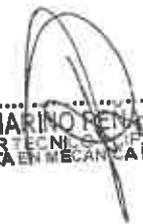
Para la evaluación de la capacidad portante tenemos los datos brindados por el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Empresa KLAFER:

Ver : CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE.

Podemos apreciar un rango de valores que se encuentra comprendido entre :

ATECS S.A.C.

Ing. Ampides Riveros Pariona
GERENTE GENERAL


Ing. Civil MARINO PEÑA DUENAS
ASESOR TECNICO N° 78939
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS.

diseño de la estructura de contención se basarán en los empujes activos y pasivos producidos por la masa de suelo, a diferentes profundidades que serán calculados teniendo en cuenta los coeficientes de presiones laterales según:

$$k_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad k_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Donde, ϕ es el ángulo de fricción interna del suelo, luego obtenemos los coeficientes de presión lateral activo y pasivo, respectivamente.

CUADRO N°2: EMPUJES ACTIVOS Y PASIVOS

PARÁMETRO	VALORES	VALORES	VALORES
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ)	11.80	12.80°	15.40

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente Informe Técnico se ha elaborado en base a la Norma Técnica E-050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Construcciones y corresponde al estudio de mecánica de suelos para el proyecto.
- Los cálculos realizados son basados en una altura de 0.70 a 1.50 mts,
- El terreno presenta napa freática a la profundidad excavada al fecha de excavación correspondiente a la calicata 01 (01 set-11), pero se debe tener en consideración que la muestra presenta contenido de agua muy altos razon por la cual debiera de considerar vigas de cimentación, lozas, plateas y demas.
- El terreno no presenta napa freática a la profundidad excavada al fecha de excavacion de las calicatas 02, 03 (01 set-11), pero se debe tener en consideración el uso de vigas de cimentación, lozas, plateas y demas.
- El suelo presente a la profundidad activa de cimentación, está conformado por un manito de limos inorgánicos de color amarillo claro, marron, de compacidad baja y se considera a

Ing. Civil MARINO PENA DUENAS
 ASESOR TÉCNICO N° 78936
 ESPECIALISTA EN SELECCIÓN DE SUELOS.



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYELICA

PROYECTO : "CONSTRUCCION COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYELICA"

COLISEO POLIDEPORTIVO

UBICACIÓN :

FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2011

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : **C-1**
Muestra : **M-1** /
PROG : **0+000**
Prof. (m) : **1.50 mts**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

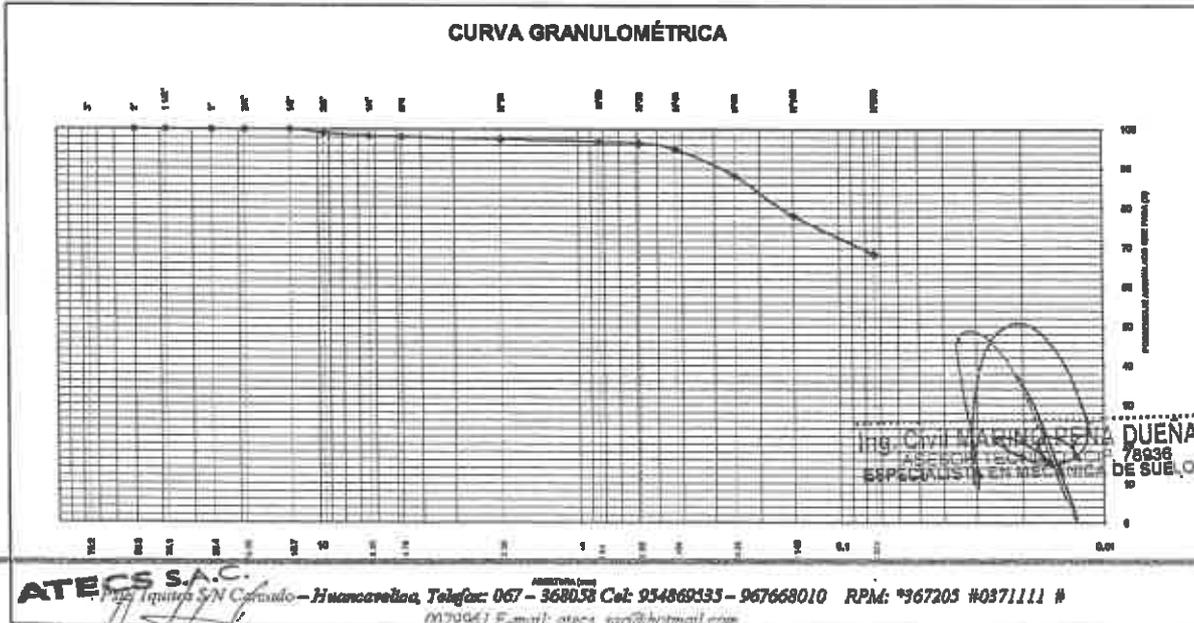
Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial	(% Acumulado	
			Reta	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	100.0
3/8"	9.525	0.9	0.9	99.1
1/4"	6.350	0.8	1.7	98.3
Nº4	4.760	0.2	1.9	98.1
Nº10	2.000	0.6	2.5	97.5
Nº20	0.840	0.6	3.1	96.9
Nº30	0.590	0.4	3.5	96.5
Nº40	0.426	1.5	5.0	95.0
Nº80	0.250	6.7	11.8	88.2
Nº100	0.149	10.1	21.9	78.1
Nº200	0.074	9.7	31.6	68.4
- Nº200		68.4		

% grava	: 1.9
% arena	: 29.7
% finos	: 68.4

LIMITE DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LIMITE LIQUIDO (%)	: 24.31
LIMITE PLASTICO (%)	: 19.62
INDICE PLASTICO (%)	: 4.69

Clasificación SUCS ASTM D-2487 : **CL-ML**
Clasificación SUCS ASTM D-3282 : **A-4(1)**

CURVA GRANULOMÉTRICA



Ing. Eulpidio Rivero Duriana
GERENTE GENERAL

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM - D3080)**

**“CONSTRUCCION COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA”**

OBRA :

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
 UBICACIÓN : COLISEO DEPORTIVO
 CALICATA : C-1
 MUESTRA : M-1
 PROFUND : 1.5 mtr
 FECHA : 05-Sep-11
 CLASI SUCS : CL-ML

ESPECIMEN N° 01		
Peso del anillo (g)		139.60
Peso del anillo+ espécimen (g)		282.28
Altura (cm)		2.14
Largo (cm)		6.05
Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)		0.50
Lect. Inicial del dial (cm)		0.1392
Lectura final del dial (cm)		0.0685
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL		
Peso de la tara (g)		40.26
Peso tara + Suelo húmedo (g)		138.90
Peso tara + Suelo seco (g)		104.56
Densidad seca inicial (g/cm ³)		1.19
Humedad inicial (%)		53.41
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL		
Peso de la tara (g)		39.44
Peso tara + Suelo húmedo (g)		149.63
Peso tara + Suelo seco (g)		109.58
Densidad seca final (g/cm ³)		1.30
Humedad final (%)		57.10
Desplazamiento de la Muestra		
Lectura Inicial (cm)		2.105
Lectura Final (cm)		2.805
Corte de la Muestra (cm)		0.70

Desplazamiento en pulgadas 1 = 0.061	Deformación Tangencial (%)	Lectura del dial de Carga	Esfuerzo	
			Corte (kg/cm ²)	Normal (kg/cm ²)
00	0.00	0	0.00	0.00
1.1	0.05	3	0.01	0.02
2.4	0.10	7	0.02	0.04
4.7	0.20	11	0.03	0.06
8.3	0.35	16	0.05	0.09
11.8	0.50	21	0.06	0.12
17.7	0.75	26	0.07	0.15
23.6	1.00	31	0.09	0.18
29.5	1.25	36	0.10	0.20
35.4	1.50	41	0.12	0.23
41.3	1.75	45	0.13	0.25
47.2	2.00	49	0.14	0.28
59	2.50	56	0.16	0.32
70.9	3.00	62	0.18	0.35
82.7	3.50	68	0.19	0.39
94.5	4.00	73	0.21	0.41
106.3	4.50	80	0.23	0.45
118.1	5.00	84	0.24	0.48
141.7	6.00	84	0.24	0.48
165.4	7.00	88	0.25	0.50
188.9	8.00	90	0.25	0.51
212.6	9.00	99	0.28	0.56
236.2	10.00	99	0.28	0.56
259.8	11.00	99	0.28	0.56
283.4	12.00	99	0.28	0.56

ATECS S.A.C.

Ing. Enríquez Riveros Pariona
GERENTE GENERAL

Ing. Civil MARINO PENA DUENAS
ASESOR TECNICO N.º P. 78838
ESPECIALISTA EN MÉTODOS DE SUELOS.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM - D3080)**

**OBRA : "CONSTRUCCION COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA"**

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
UBICACIÓN : COLISEO DEPORTIVO
CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1
PROFUND : 1.5 mts
FECHA : 05-Sep-11
CLASISUCS : CL-ML

ESPECIMEN N° 03		
Peso del Molde (g)		167.05
Peso del Molde+ espécimen (g)		279.44
Altura (cm)		2.14
Largo (cm)		6.05
Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)		1.50
Lect. inicial del dial (cm)		0.1729
Lectura final del dial (cm)		0.0927
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL		
Peso de la tara (g)		40.26
Peso tara + Suelo húmedo (g)		130.25
Peso tara + Suelo seco (g)		102.30
Densidad seca inicial (g/cm ³)		0.99
Humedad inicial (%)		45.05
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL		
Peso de la tara (g)		37.65
Peso tara + Suelo húmedo (g)		145.26
Peso tara + Suelo seco (g)		102.30
Densidad seca final (g/cm ³)		1.09
Humedad final (%)		66.45

Desplazamiento de la Muestra		
Lectura Inicial (cm)		2.085
Lectura Final (cm)		2.710
Corte de la Muestra (cm)		0.63

Tipo de evaluación	Resultados

Desplazamiento en pulgadas 1 = 0.001	Deformación Tangencial (%)	Lectura del dial de Carga	Esfuerzo	
			Corte (kg/cm ²)	Normal (kg/cm ²)
00	0.00	0	0.00	0.00
1.1	0.05	14	0.04	0.03
2.4	0.10	22	0.06	0.04
4.7	0.20	31	0.09	0.06
8.3	0.35	40	0.11	0.08
11.8	0.50	49	0.14	0.09
17.7	0.75	59	0.17	0.11
23.6	1.00	69	0.20	0.13
29.5	1.25	79	0.22	0.15
35.4	1.50	90	0.25	0.17
41.3	1.75	99	0.28	0.19
47.2	2.00	108	0.31	0.20
59	2.50	116	0.33	0.22
70.9	3.00	124	0.35	0.23
82.7	3.50	131	0.37	0.25
94.5	4.00	138	0.39	0.26
106.3	4.50	144	0.41	0.27
118.1	5.00	150	0.42	0.28
141.7	6.00	156	0.44	0.29
165.4	7.00	162	0.46	0.31
188.9	8.00	168	0.48	0.32
212.6	9.00	173	0.49	0.33
236.2	10.00	173	0.49	0.33
259.8	11.00	173	0.49	0.33
283.4	12.00	173	0.49	0.33

ATECS S.A.C.

Ing. Empípedes Riveros Pariona
GÉRENTE GENERAL

Ing. Civil MARINO RENA DUEÑAS
ASESOR TÉCNICO CIP 78938
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS

PERFIL ESTRATIGRAFICO

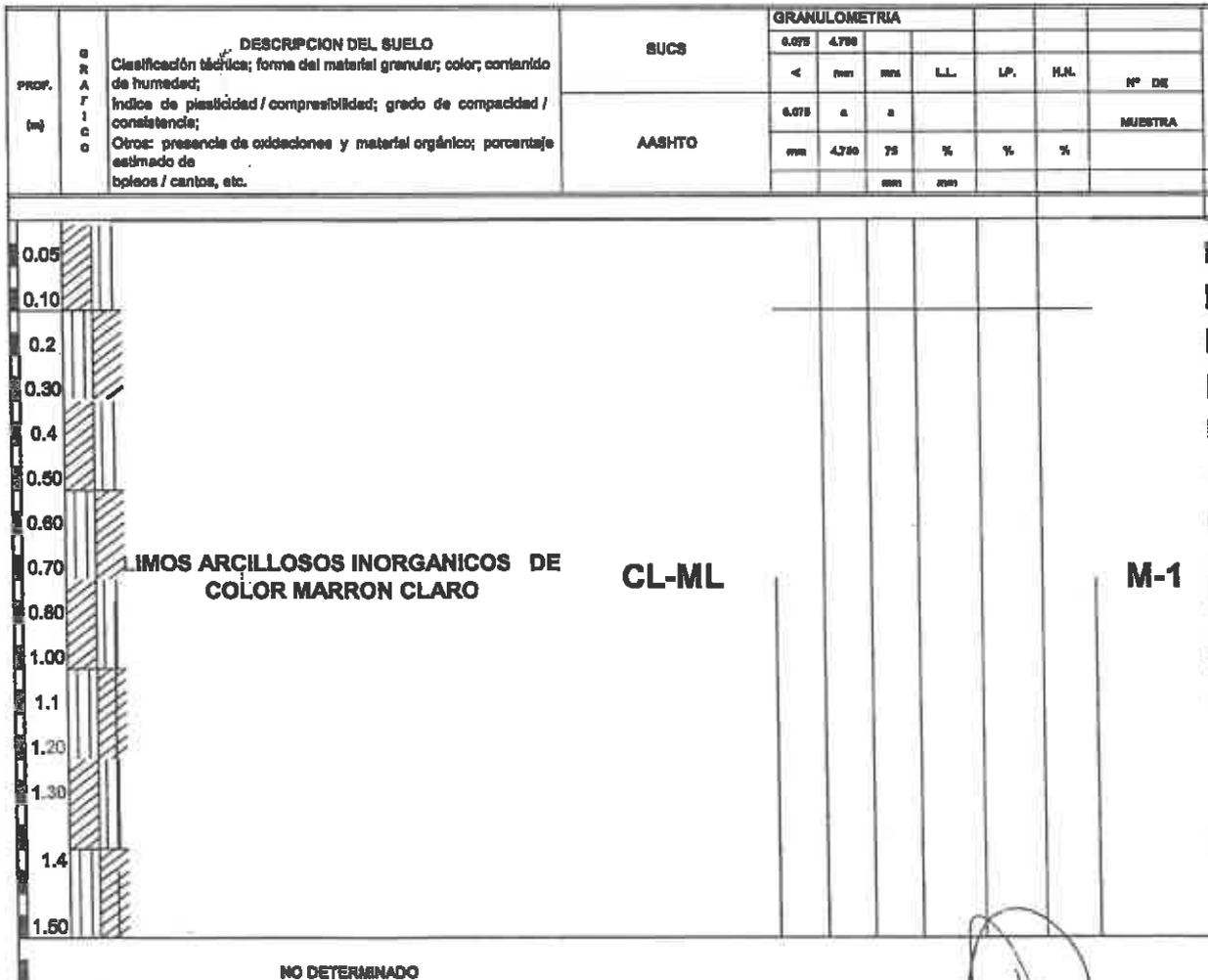
**"CONSTRUCCION COLISEO
POLIDEPORTIVO DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE HUANCAMELICA"**

PROYECTO: NACIONAL DE HUANCAMELICA REALIZADO : E.P.D.

COLISEO POLIDEPORTIVO

UBICACIÓN:
FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2011
SOLICITANTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
MUESTRA: **M-1**
CALICATA: **C-1**
PROGRESIVA: **0+000**

FECHA DE EXCAVACIÓN : 05 DE SETIEMBRE DEL 2011
PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.80 mts
PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.P



OBSERVACIONES

ATECS S.A.C.

Ing. Civil **MARINO REÑA DUENAS**
ASESOR TECNICO CIP. 78938
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS.

TEORIA DE CAPACIDAD PORTANTE
(KARL TERZAGHI)

PROYECTO: "CONSTRUCCION COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA"

OLICITANTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

CALICATA : C-2

MUESTRA : M-1

DATOS GENERALES:

Angulo de fricción interna	12.8	grados
Cohesión	0.12	kg/cm ²
Peso unitario de sobrecarga	1.45	gr/cm ³
Peso unitario del suelo de cimentación	1.45	gr/cm ³
Relación Ancho/Largo (B/L)	0.1	Forma:
Ancho de la base o diámetro de cimentación	1	m
Profundidad de fondo de cimentación	1.5	m
Profundidad de desplante	1.5	m
Posición de nivel freático	50	m
Factor de seguridad	4	
Clasificación SUCS del suelo de cimentación	CL-ML	
Cimentación sugerida		
Cota de terreno	3720	msnm

B. FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA:

Nc:	15.82
Nq:	7.07
Ny:	6.20

C. FACTORES DE FORMA:

Sc:	1.0447
Sq:	1.0227
Sy:	0.96

D. CAPACIDAD ADMISIBLE

Desplante Df(m)	Cota Relativa	Ancho B(m)	Factores por N.F.		quit (kg/cm ²)	qadm (kg/cm ²)
			W	W'		
0.7	3,719.30	0.5	1	1	2.93	0.73
0.7	3,719.30	1	1	1	3.15	0.79
0.7	3,719.30	1.2	1	1	3.23	0.81
0.7	3,719.30	1.5	1	1	3.36	0.84
1	3,719.00	0.5	1	1	3.25	0.81
1	3,719.00	1	1	1	3.46	0.87
1	3,719.00	1.2	1	1	3.55	0.89
1	3,719.00	1.5	1	1	3.68	0.92
1.2	3,718.80	0.5	1	1	3.46	0.86
1.2	3,718.80	1	1	1	3.87	0.92
1.2	3,718.80	1.2	1	1	3.76	0.94
1.2	3,718.80	1.5	1	1	3.89	0.97
1.5	3,718.50	0.5	1	1	3.77	0.94
1.5	3,718.50	1	1	1	3.99	1.00
1.5	3,718.50	1.2	1	1	4.07	1.02
1.5	3,718.50	1.5	1	1	4.20	1.05

Podemos apreciar un rango de valores que se encuentran comprendido entre 0.73 kg/cm² y 1.05 kg/cm², valores que varían de acuerdo a la profundidad y geometría de la cimentación además a mayor profundidad notamos que se va ganando propiedades de resistencia

ATECS S.A.C.

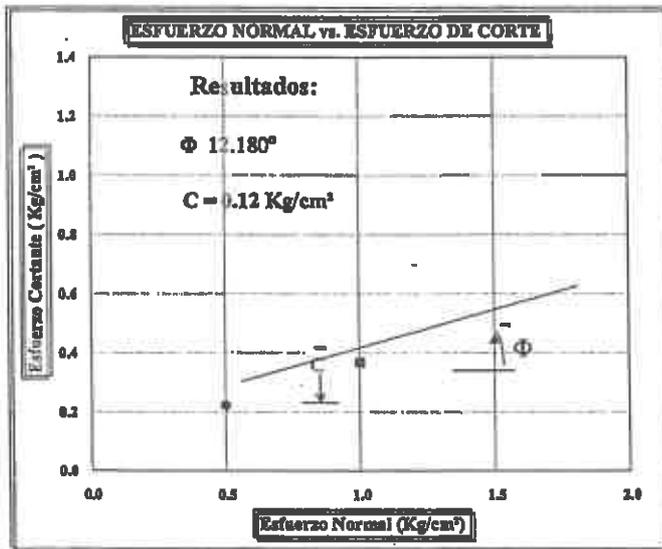
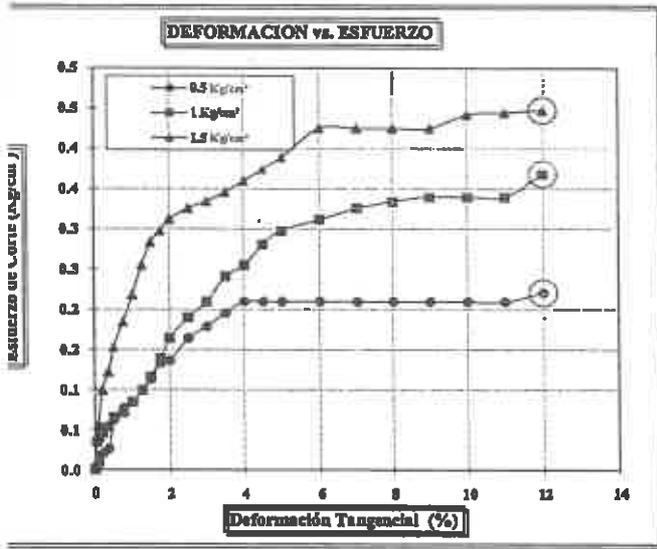
Ing. Euripides Riveros Pariona
GERENTE GENERAL

Ing. Civil **MARINO PEÑA DUENAS**
ASESOR TECNICO P 78938
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM - D3080)

OBRA : "CONSTRUCCION COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYELICA"

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYELICA
UBICACIÓN : COLISEO POLIDEPORTIVO
PROFUND : 1.5 mts
FECHA : 05-Sep-11
SONDAJE : C-2
MUESTRA : M-1
ESTADO : ALTERADO
SUCS : CL-ML



ATECS S.A.C.


Ing. Eugenio Rivera Pariona
 GERENTE GENERAL



Ing. Civil MARINO BENA DUENAS
 ASESOR TECNICO / CIP 78938
 ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM - D3080)

OBRA : "CONSTRUCCION COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYELICA"

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYELICA
UBICACIÓN : COLISEO POLIDEPORTIVO
CALICATA : C-2
MUESTRA : M-1
PROFUND : 1.5 mts
FECHA : 05-Sep-11
CLASISUCS : CL-ML

ESPECIMEN N° 02	
Peso del anillo (g)	167.05
Peso del anillo+ espécimen (g)	278.79
Altura (cm)	2.14
Largo (cm)	6.03
Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	1.00
Lect. Inicial del dial (cm)	0.1941
Lectura final del dial (cm)	0.0885
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL	
Peso de la tara (g)	36.58
Peso tara + Suelo húmedo (g)	130.25
Peso tara + Suelo seco (g)	125.69
Densidad seca inicial (g/cm ³)	1.36
Humedad inicial (%)	5.12
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL	
Peso de la tara (g)	40.21
Peso tara + Suelo húmedo (g)	142.36
Peso tara + Suelo seco (g)	134.56
Densidad seca final (g/cm ³)	1.55
Humedad final (%)	8.27
Desplazamiento de la Muestra	
Lectura Inicial (cm)	2.156
Lectura Final (cm)	2.856
Corte de la Muestra (cm)	0.70
Tipo de evaluación	Resultados

Desplazamiento en pulgadas 1=0.001	Deformación Tangencial (%)	Lectura del dial de Carga	Esfuerzo	
			Corte (kg/cm ²)	Normal (kg/cm ²)
00	0.00	0	0.00	0.00
1.1	0.05	12	0.03	0.03
2.4	0.10	14	0.04	0.04
4.7	0.20	16	0.05	0.05
8.3	0.35	19	0.05	0.05
11.8	0.50	23	0.07	0.07
17.7	0.75	25	0.07	0.07
23.6	1.00	30	0.08	0.08
29.5	1.25	35	0.10	0.10
35.4	1.50	41	0.12	0.12
41.3	1.75	49	0.14	0.14
47.2	2.00	58	0.16	0.16
59	2.50	67	0.19	0.19
70.9	3.00	74	0.21	0.21
82.7	3.50	85	0.24	0.24
94.5	4.00	90	0.25	0.25
106.3	4.50	99	0.28	0.28
118.1	5.00	105	0.30	0.30
141.7	6.00	110	0.31	0.31
165.4	7.00	115	0.33	0.33
188.9	8.00	118	0.33	0.33
212.6	9.00	120	0.34	0.34
236.2	10.00	120	0.34	0.34
259.8	11.00	120	0.34	0.34
283.4	12.00	130	0.37	0.37

ATECS S.A.C.


Ing. Eurípides Riveros Pariona
 GERENTE GENERAL


 Ing. Civil MARINO FERRA DUENAS
 ASESOR TECNICO ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

PROYECTO : "CONSTRUCCION COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA"

COLISEO POLIDEPORTIVO

UBICACIÓN :

FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2011

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : **C-3**
Muestra : **M-1**
PROG : **0+000**
Prof. (m) : **1.50 mts**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

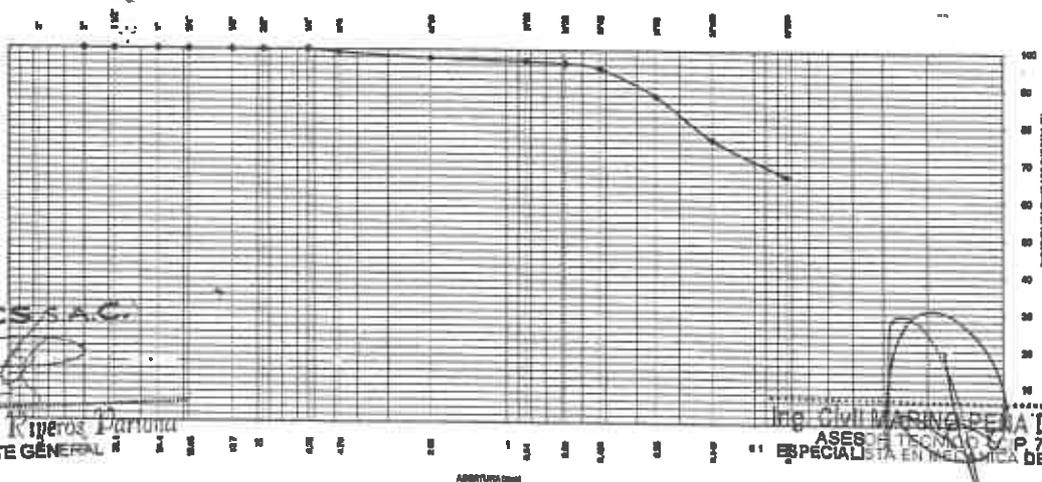
Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Rete	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	100.0
Nº4	4.760	0.8	0.8	99.2
Nº10	2.000	1.4	2.2	97.8
Nº20	0.840	0.8	3.0	97.0
Nº30	0.590	0.6	3.6	96.4
Nº40	0.426	1.3	4.8	95.2
Nº60	0.250	7.4	12.2	87.8
Nº100	0.149	11.8	23.8	76.2
Nº200	0.074	9.7	33.5	66.5
- Nº200		66.5		

% grava	: 0.8
% arena	: 32.7
% finos	: 66.5

LIMITES DE CONSISTENCIA	
ASTM D4318	
LIMITE LIQUIDO (%)	: 20.39
LIMITE PLASTICO (%)	: 17.15
INDICE PLASTICO (%)	: 3.24

Clasificación SUCS ASTM D-2487 : **CL**
Clasificación SUCS ASTM D-3282 : **A-4(0)**

CURVA GRANULOMÉTRICA



ATECS S.A.C.

Ing. Eusebio Reyes Pariona
GERENTE GENERAL

Ing. CIVIL MARINA DE NA DUENAS
ASESOR TECNICO P 78936
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS

TEORIA DE CAPACIDAD PORTANTE
(KARL TERZAGHI)

PROYECTO: "CONSTRUCCION COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA"

OLIGITANTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

CALICATA : C-3

MUESTRA : M-1

DATOS GENERALES:

Angulo de fricción Interna	15.4 grados
Cohesión	0.14 kg/cm ²
Peso unitario de sobrecarga	1.45 gr/cm ³
Peso unitario del suelo de cimentación	1.45 gr/cm ³
Relación Ancho/Largo (B/L)	0.1 Forma:
Ancho de la base o diámetro de cimentación	1 m
Profundidad de fondo de cimentación	1.5 m
Profundidad de desplante	1.5 m
Posición de nivel freático	50 m
Factor de seguridad	4
Clasificación SUCS del suelo de cimentación	MH
Cimentación sugerida	
Cota de terreno	3280 msnm

3. FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA:

Nc: 15.82
Nq: 7.07
Ny: 6.20

C. FACTORES DE FORMA:

Sc: 1.0447
Sq: 1.0275
Sy: 0.96

3. CAPACIDAD ADMISIBLE

Desplante Df(m)	Cota Relativa	Ancho B(m)	Factores por N.F.		quit (kg/cm ²)	qadm (kg/cm ²)
			W	W'		
0.7	3,279.30	0.5	1	1	3.27	0.82
0.7	3,279.30	1	1	1	3.48	0.87
0.7	3,279.30	1.2	1	1	3.57	0.89
0.7	3,279.30	1.5	1	1	3.70	0.92
1	3,279.00	0.5	1	1	3.58	0.90
1	3,279.00	1	1	1	3.80	0.95
1	3,279.00	1.2	1	1	3.88	0.97
1	3,279.00	1.5	1	1	4.01	1.00
1.2	3,278.80	0.5	1	1	3.79	0.95
1.2	3,278.80	1	1	1	4.01	1.00
1.2	3,278.80	1.2	1	1	4.10	1.02
1.2	3,278.80	1.5	1	1	4.23	1.06
1.5	3,278.50	0.5	1	1	4.11	1.03
1.5	3,278.50	1	1	1	4.33	1.08
1.5	3,278.50	1.2	1	1	4.41	1.10
1.5	3,278.50	1.5	1	1	4.54	1.14

Podemos apreciar un rango de valores que se encuentran comprendido entre 0.82 kg/cm² y 1.14 kg/cm², valores que varían de acuerdo a la profundidad y geometría de la cimentación además a mayor profundidad notamos que se va ganando propiedades de resistencia

ATECS S.A.C.

Ing. Empedres Riveros Varona
GERENTE GENERAL

Ing. Civil **MARINO RIVERA DUENAS**
ASESOR TECNICO 78836
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM - D3080)**

**"CONSTRUCCIÓN COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA"**

OBRA :

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

UBICACIÓN : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

CALICATA : C-3

MUESTRA : M-1

PROFUND : 1.5 mts

FECHA : 05-Sep-11

CLASI SUCS :

ESPECIMEN N° 01		
Peso del anillo (g)		139.60
Peso del anillo+ especimen (g)		282.28
Altura (cm)		2.14
Largo (cm)		6.05
Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)		0.50
Lect. Inicial del dial (cm)		0.1392
Lectura final del dial (cm)		0.0685
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL		
Peso de la tara (g)		40.26
Peso tara + Suelo húmedo (g)		138.90
Peso tara + Suelo seco (g)		104.56
Densidad seca inicial (g/cm ³)		1.19
Humedad inicial (%)		53.41
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL		
Peso de la tara (g)		39.44
Peso tara + Suelo húmedo (g)		149.63
Peso tara + Suelo seco (g)		109.58
Densidad seca final (g/cm ³)		1.30
Humedad final (%)		57.10

Desplazamiento en pulgadas 1 = 0.001	Deformación Tangencial (%)	Lectura del dial de Carga	Esfuerzo	
			Corte (kg/cm ²)	Normal (kg/cm ²)
00	0.00	0	0.00	0.00
1.1	0.05	3	0.01	0.02
2.4	0.10	7	0.02	0.04
4.7	0.20	11	0.03	0.06
8.3	0.35	16	0.05	0.09
11.8	0.50	21	0.06	0.12
17.7	0.75	26	0.07	0.15
23.6	1.00	31	0.09	0.18
29.5	1.25	36	0.10	0.20
35.4	1.50	41	0.12	0.23
41.3	1.75	45	0.13	0.25
47.2	2.00	49	0.14	0.28
59	2.50	56	0.16	0.32
70.9	3.00	62	0.18	0.35
82.7	3.50	68	0.19	0.39
94.5	4.00	73	0.21	0.41
106.3	4.50	80	0.23	0.45
118.1	5.00	80	0.23	0.45
141.7	6.00	80	0.23	0.45
165.4	7.00	80	0.23	0.45
188.9	8.00	85	0.24	0.48
212.6	9.00	85	0.24	0.48
236.2	10.00	87	0.25	0.49
259.8	11.00	88	0.25	0.50
283.4	12.00	89	0.25	0.50

Desplazamiento de la Muestra		
Lectura Inicial (cm)		2.105
Lectura Final (cm)		2.805
Corte de la Muestra (cm)		0.70

ATECS S.A.C.

Ing. Eurípides Riveros Nariona
GERENTE GENERAL

Ing. Civil MARINO CENA DUENAS
ASESOR TÉCNICO IP 78838
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM - D3080)**

OBRA : **"CONSTRUCCIÓN COLISEO POLIDEPORTIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA"**

SOLICITANTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA**

UBICACIÓN : **UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA**

CALICATA : **C-3**

MUESTRA : **M-1**

PROFUND : **1.5 mts**

FECHA : **05-Sep-11**

CLASISUCS : **0**

ESPECIMEN N° 03	
Peso del Molde (g)	167.05
Peso del Molde+ especimen (g)	279.44
Altura (cm)	2.14
Largo (cm)	6.05
Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	1.50
Lect. Inicial del dial (cm)	0.1729
Lectura final del dial (cm)	0.0927
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL	
Peso de la tara (g)	40.26
Peso tara + Suelo húmedo (g)	130.25
Peso tara + Suelo seco (g)	102.30
Densidad seca inicial (g/cm ³)	0.99
Humedad inicial (%)	45.05
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL	
Peso de la tara (g)	37.63
Peso tara + Suelo húmedo (g)	145.26
Peso tara + Suelo seco (g)	102.30
Densidad seca final (g/cm ³)	1.09
Humedad final (%)	66.45

Desplazamiento de la Muestra	
Lectura Inicial (cm)	2.085
Lectura Final (cm)	2.710
Corte de la Muestra (cm)	0.63

Tipo de evaluación	Resultados

Desplazamiento en pulgadas 1 = 0.001	Deformación Tangencial (%)	Lectura del dial de Carga	Esfuerzo	
			Corte (kg/cm ²)	Normal (kg/cm ²)
00	0.00	0	0.00	0.00
1.1	0.05	15	0.04	0.03
2.4	0.10	24	0.07	0.05
4.7	0.20	36	0.10	0.07
8.3	0.35	51	0.14	0.10
11.8	0.50	63	0.18	0.12
17.7	0.75	82	0.23	0.15
23.6	1.00	98	0.28	0.19
29.5	1.25	112	0.32	0.21
35.4	1.50	125	0.35	0.24
41.3	1.75	137	0.39	0.26
47.2	2.00	148	0.42	0.28
59	2.50	170	0.48	0.32
70.9	3.00	186	0.53	0.35
82.7	3.50	186	0.53	0.35
94.5	4.00	186	0.53	0.35
106.3	4.50	186	0.53	0.35
118.1	5.00	186	0.53	0.35
141.7	6.00	186	0.53	0.35
165.4	7.00	186	0.53	0.35
188.9	8.00	186	0.53	0.35
212.6	9.00	186	0.53	0.35
236.2	10.00	186	0.53	0.35
259.8	11.00	186	0.53	0.35
283.4	12.00	186	0.53	0.35

ATECS S.A.C.

[Signature]
Ing. Enrique Riveros Pariona
GERENTE GENERAL

[Signature]
Ing. Civil MARINO FERRA DUENAS
ASESOR EN MECÁNICA DE SUELOS
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS

ANEXO 4.

PANEL FOTOGRAFICO



FOTO 01. Chorrillos luego del terremoto de 1974 (Descargado de google imágenes).

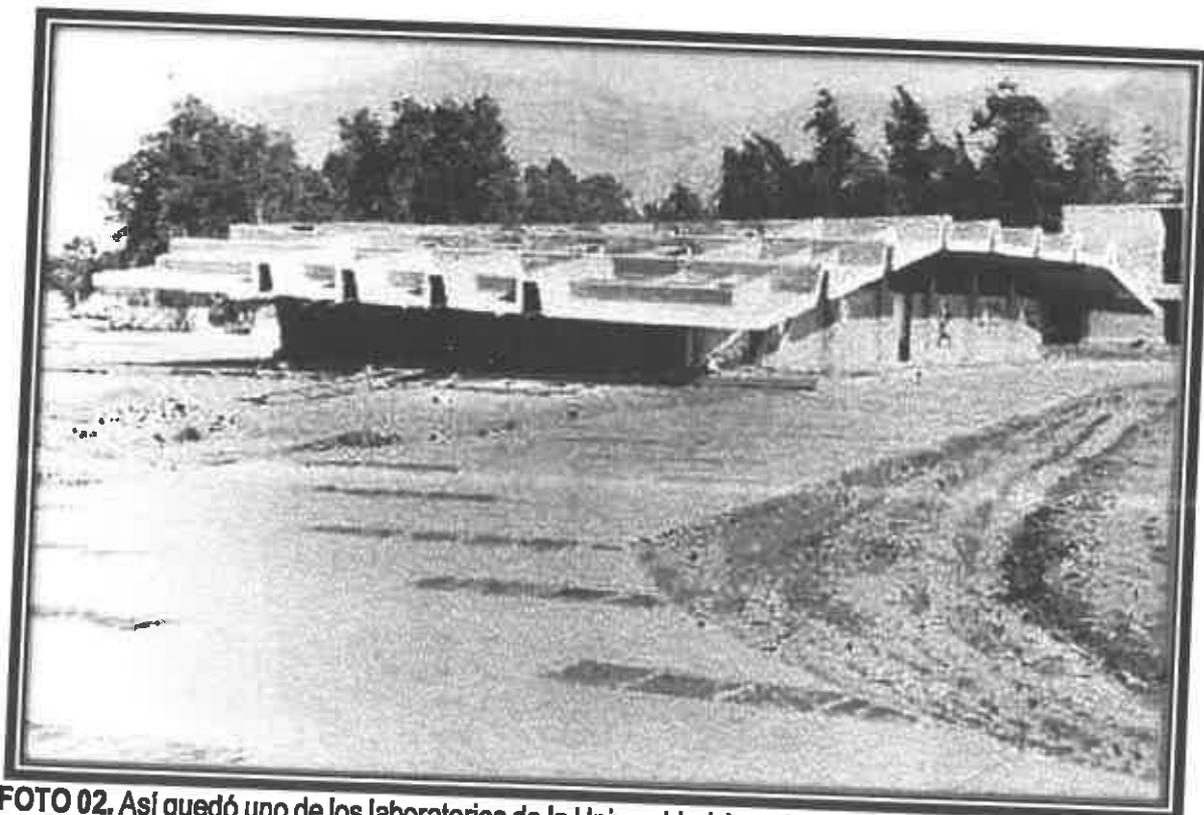


FOTO 02. Así quedó uno de los laboratorios de la Universidad Agraria de La Molina a raíz del terremoto de 1974 (Descargado de google imágenes).



FOTO 03. Este fue el desolador estado en que terminó la ciudad. Autos sepultados por paredes derrumbadas y miles de viviendas hechas trizas debido al terremoto (Descargado de google imágenes).

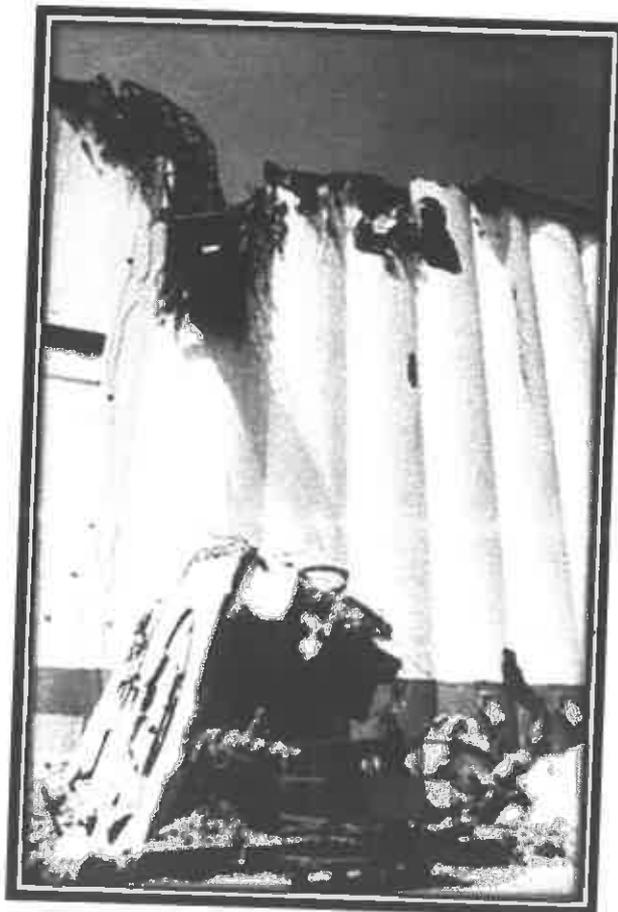
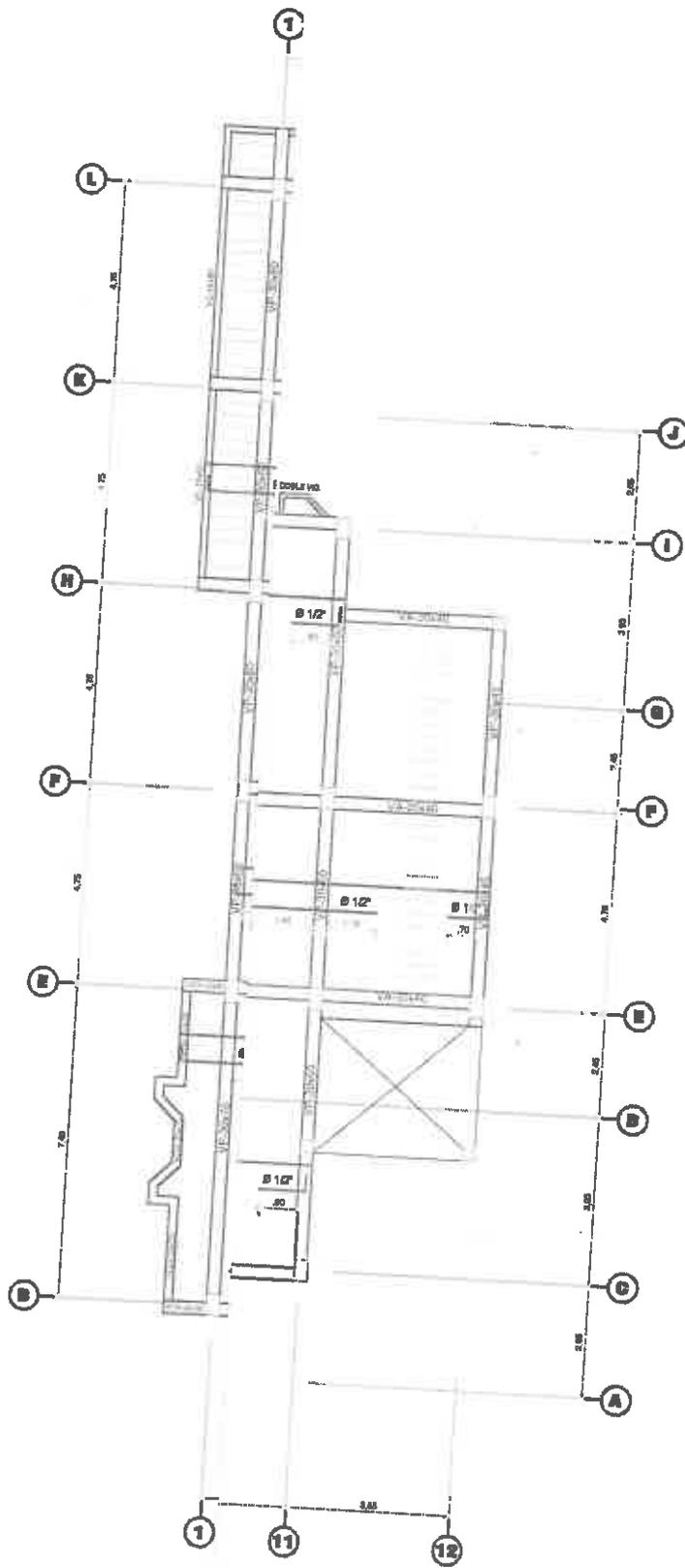


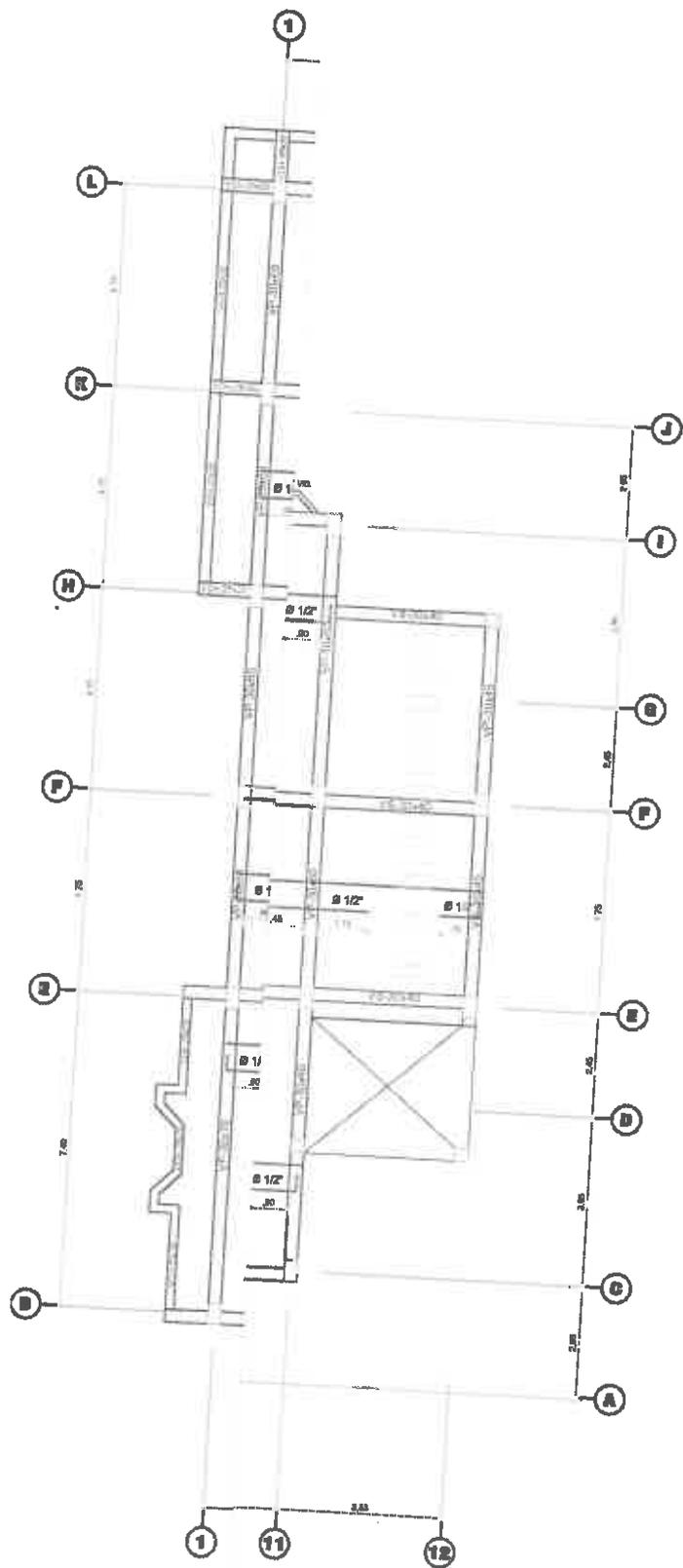
FOTO 04. Un silo fue fuertemente dañado en el Callao (Descargado de google imágenes).

ANEXO 5.

PLANOS



CONSTRUCCION FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES			
PROYECTO: FECHA: ESCALA: HOJA:	Estruct. - Techo TITULO: INSTITUCION:	PLAN: AUTORES: FECHA:	TAMAÑO: ESTADIO: E-03



CONSTRUCCION FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES			
U.S.G. Facultad de Ciencias Empresariales Av. 14 de Julio, No. 1000, P.O. Box 1000, San José, Costa Rica	Proyecto: Estruct. - Techo Dirección: Secretaría de Obras Públicas, U.S.G. Arquitecto: Ing. A. Solís Torres	Fecha: 1974 Revisión: 1	Lámina: DE APROBADA E-03

ANEXO 6.

NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR Y TESISISTA

NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR Y TESISISTA



Ing. LÓPEZ BARRANTES, Marco Antonio
Asesor de Investigación

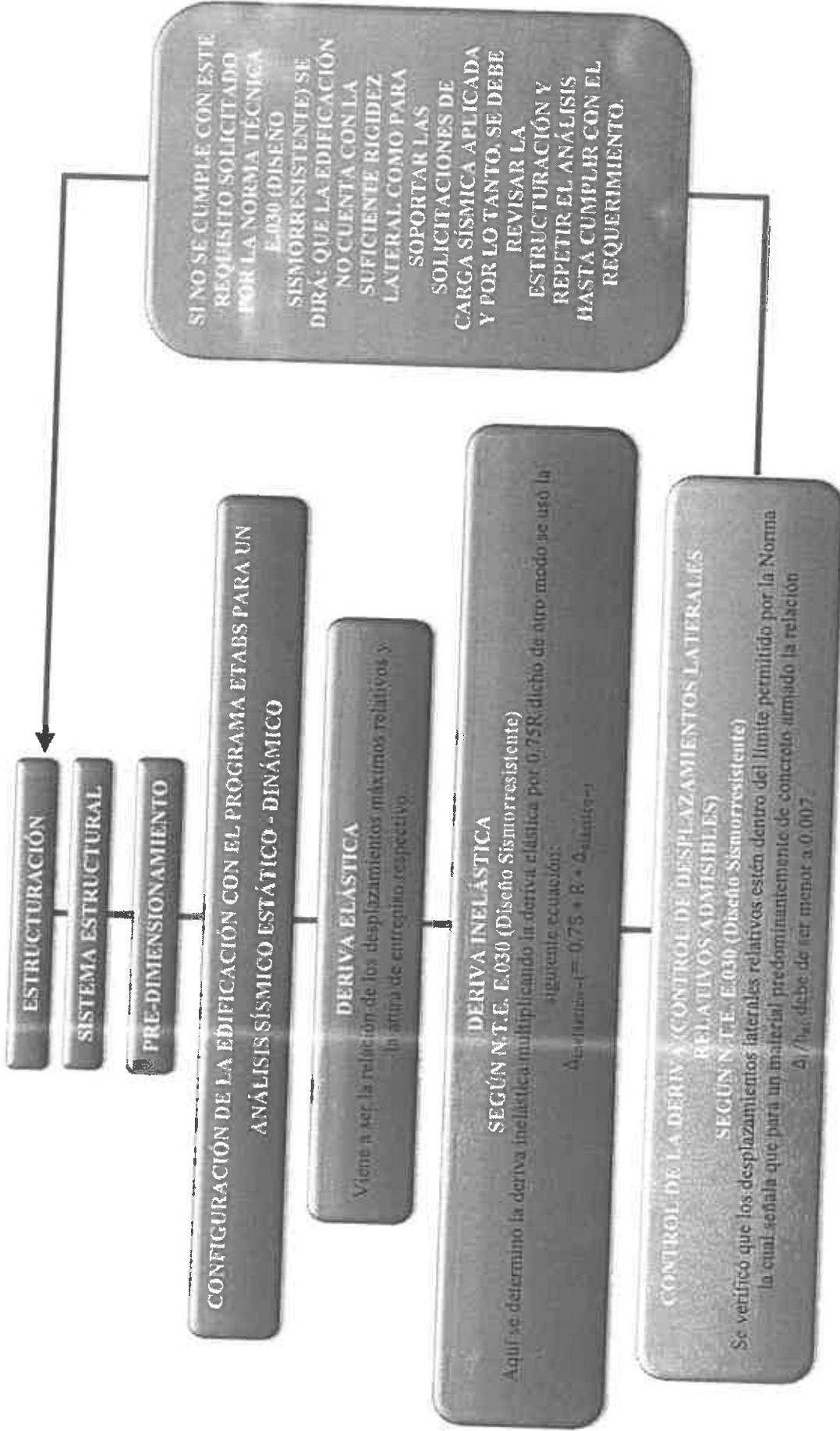


HUAYLLANI MATAMOROS, Milton
Investigador Responsable

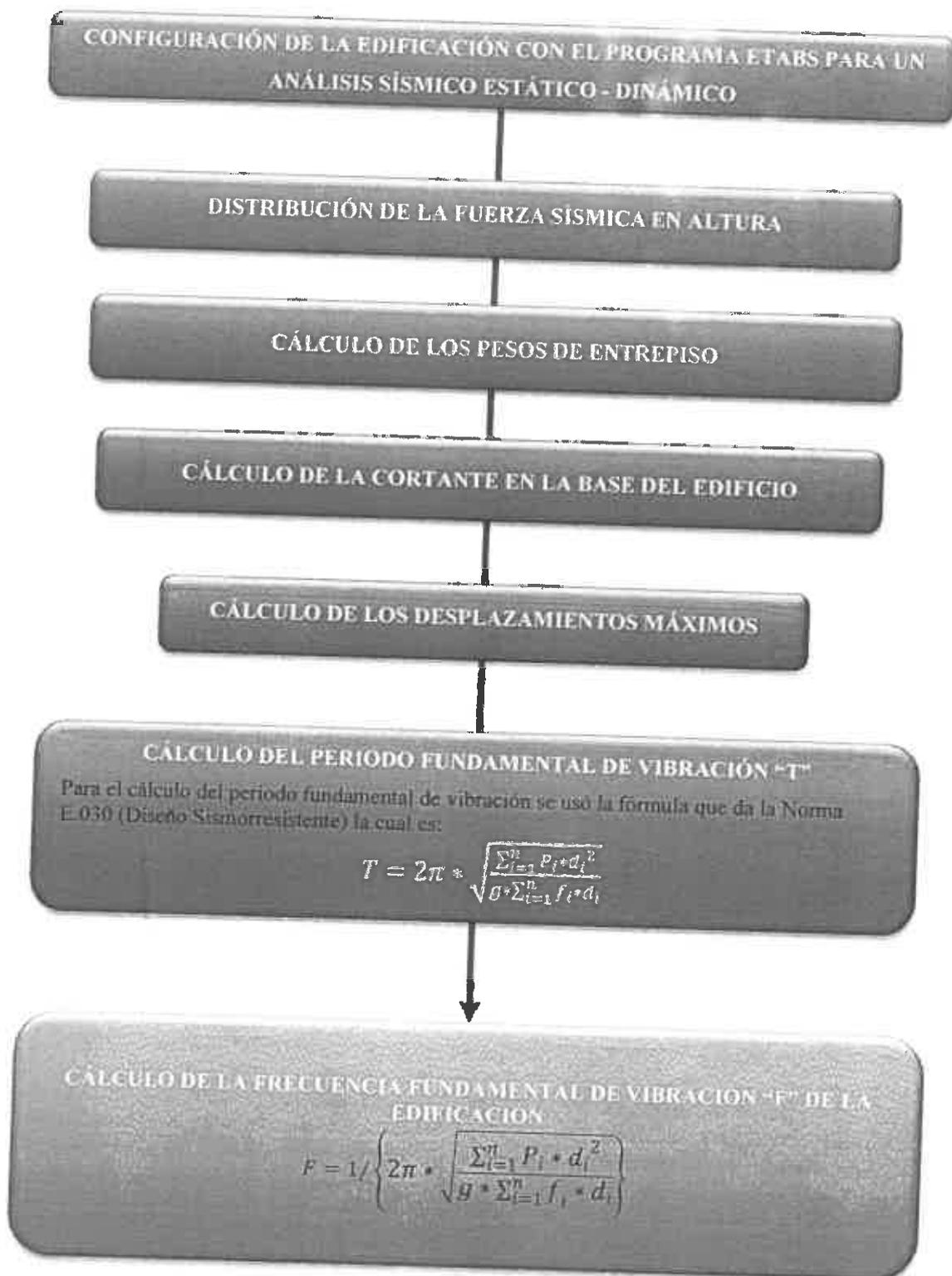
ANEXO 7.

ESQUEMAS METODOLÓGICOS

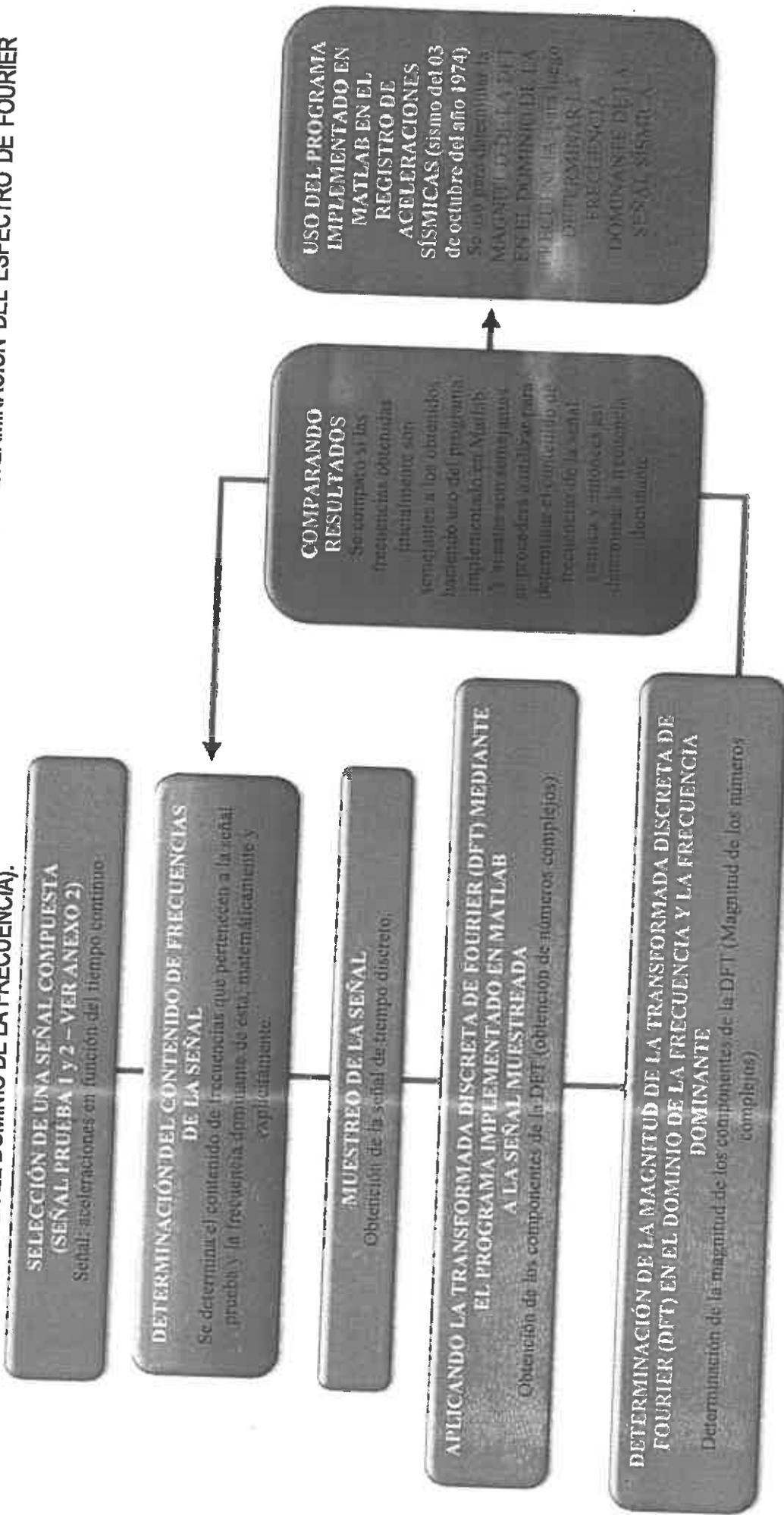
ESQUEMA METODOLÓGICO: CONTROL DE LA DERIVA Ó CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES RELATIVOS ADMISIBLES SEGÚN N.T. E.030 (DISEÑO SISMORRESISTENTE) EN LA EDIFICACIÓN FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES.



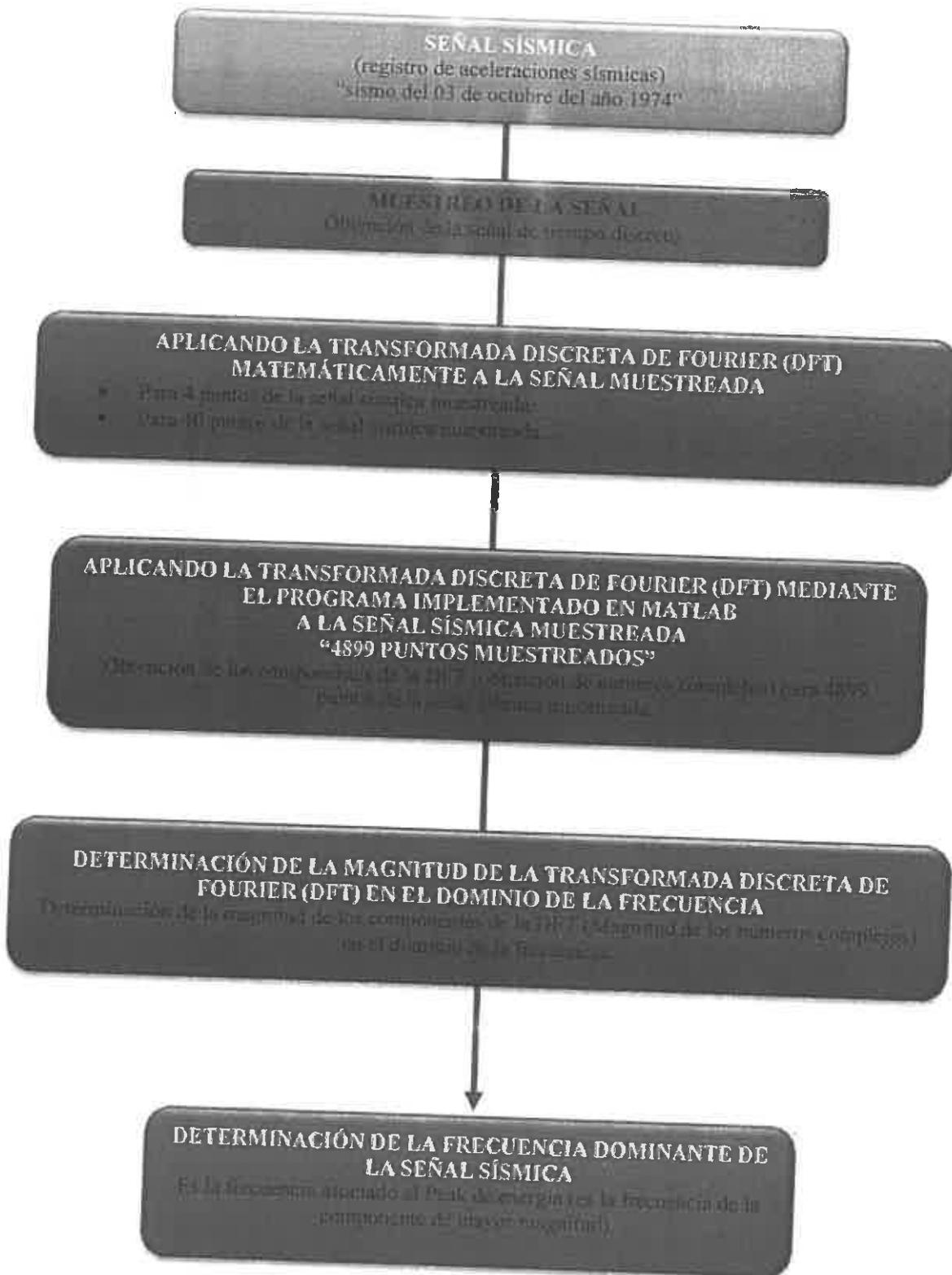
ESQUEMA METODOLÓGICO: CARACTERIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA) A TRAVÉS DE SU FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN.



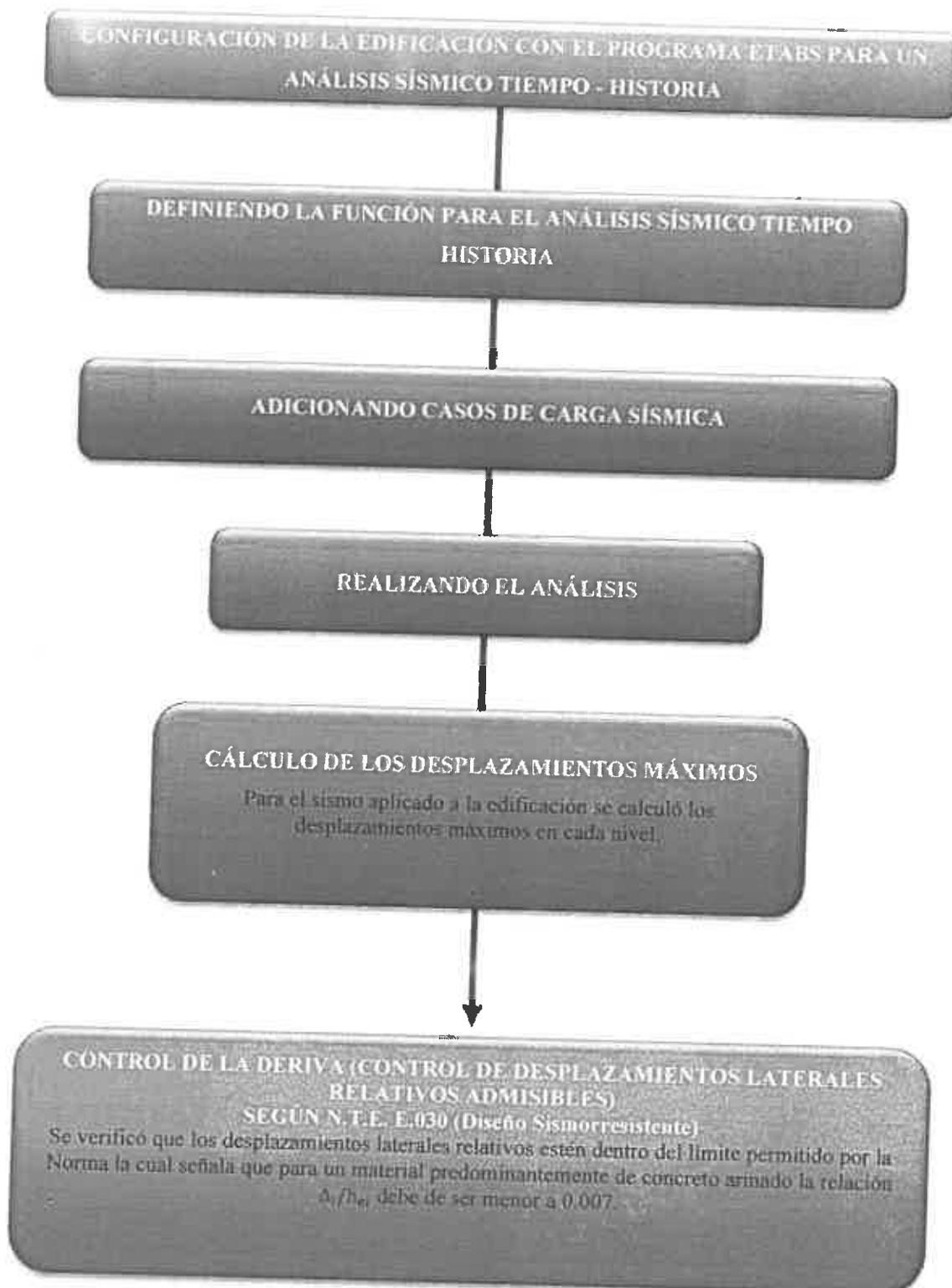
ESQUEMA METODOLÓGICO: PRUEBA DEL PROGRAMA IMPLEMENTADO EN MATLAB PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESPECTRO DE FOURIER (MAGNITUD DE LA DFT EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA).



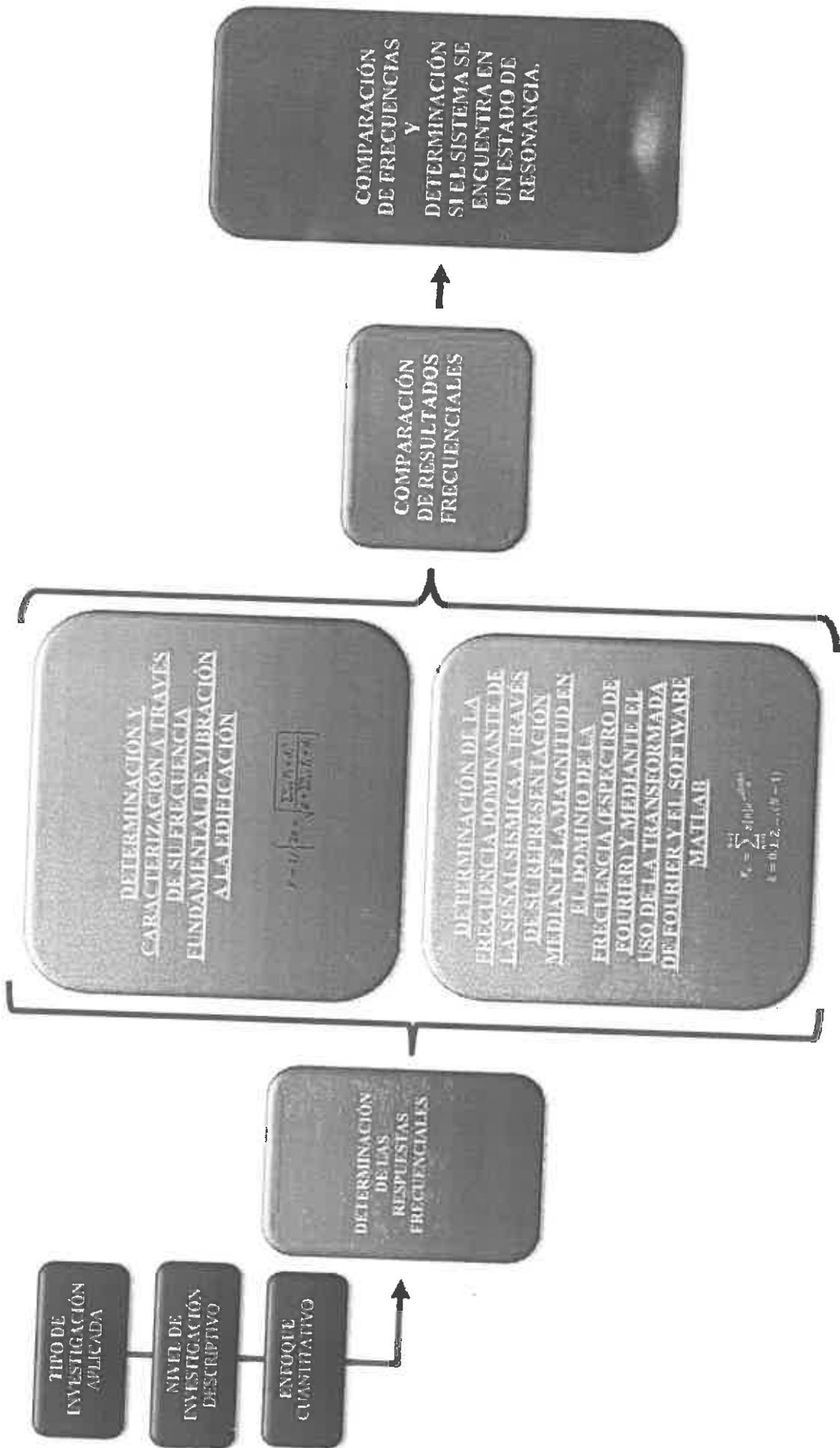
ESQUEMA METODOLÓGICO: DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DOMINANTE DE LA SEÑAL SÍSMICA (REGISTRO DE ACELERACIONES SÍSMICAS "SISMO DEL 03 DE OCTUBRE DEL AÑO 1974") MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA IMPLEMENTADO EN MATLAB.



ESQUEMA METODOLÓGICO: ANÁLISIS SÍSMICO TIEMPO - HISTORIA A LA EDIFICACIÓN (FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA).



ESQUEMA METODOLÓGICO GENERAL: DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y LA FRECUENCIA DOMINANTE DEL SISMO EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA EN UNA ESTRUCTURA SOMETIDA A SISMOS MEDIANTE EL USO DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y EL SOFTWARE MATLAB, PARA LUEGO REALIZAR UNA COMPARACIÓN DE FRECUENCIAS Y DETERMINAR SI EL SISTEMA SE ENCUENTRA EN UN ESTADO DE RESONANCIA.



ANEXO 8.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LA RESPUESTA EN EL DOMINIO DE FRECUENCIAS EN UNA ESTRUCTURA SOMETIDA A SISMOS UTILIZANDO LA TRANSFORMADA DE FOURIER

TEMA	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES DE ESTUDIO	INDICADORES	METODOLOGÍA, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>TÍTULO:</p> <p>“Determinación de la respuesta en el dominio de frecuencias en una estructura sometida a sismos utilizando la Transformada de Fourier”.</p>	<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo es la determinación de la frecuencia fundamental de vibración de la estructura y la frecuencia dominante del sismo en el dominio de la frecuencia en una estructura sometida a sismos mediante el uso de la Transformada de Fourier y el software Matlab, para luego realizar una comparación de frecuencias y determinar si el sistema se encuentra en un estado de resonancia?</p> <p>PROBLEMA ESPECÍFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se obtiene la caracterización, determinación de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelca) a través de su frecuencia fundamental de vibración, mediante la utilización de la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente) y el programa Etabs? 	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinación de la frecuencia fundamental de vibración de la estructura y la frecuencia dominante del sismo en el dominio de la frecuencia en una estructura sometida a sismos mediante el uso de la Transformada de Fourier y el software Matlab, para luego realizar una comparación de frecuencias y determinar si el sistema se encuentra en un estado de resonancia.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar la caracterización, determinación de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelca) a través de su frecuencia fundamental de vibración, mediante la utilización de la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente) y el programa Etabs. 	<p>ANTECEDENTES</p> <p>Martínez [4], realizó la tesis: “Metodologías de descomposición espectral aplicadas al procesamiento de datos sísmicos”, en la Universidad Industrial de Santander, Colombia. En este proyecto se aborda tres técnicas de descomposición espectral aplicadas en el procesamiento de datos e imágenes sísmicas.</p> <p>Echeverría [2], realizó la tesis: “Evaluación de parámetros dinámicos en estructuras en movimiento y registro sísmico utilizando la Transformada de Wavelet”, en la Universidad Austral de Chile, Chile. En este proyecto se muestra un método Espectral-Frecuencial, basado en el uso de la Transformada de Fourier, Transformada Wavelet y el Software Matlab, para la determinación de frecuencias de vibración de señales en general.</p> <p>Torres [5], realizó la tesis: “Análisis, descripción y comparación de los métodos de Fourier y Wavelet aplicados a la identificación de características dinámicas en estructuras”, en la Universidad Industrial de Santander, Maicao. Esta tesis tiene como objetivo principal analizar, describir y comparar los métodos de Fourier y Wavelet aplicados a la caracterización dinámica de una viga simplemente apoyada.</p>	<p>H0: La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación conduce a la determinación de la frecuencia fundamental de vibración de la estructura y la frecuencia dominante del sismo en el dominio de la frecuencia en una estructura sometida a sismos mediante el uso de la Transformada de Fourier y el software Matlab, para luego realizar una comparación de frecuencias y determinar si el sistema se encuentra en un estado de resonancia.</p> <p>H1: La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación conduce a la caracterización, determinación de la estructura (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelca) a través de su frecuencia fundamental de vibración, mediante la utilización de la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente) y el programa Etabs.</p> <p>H2: La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación conduce a la determinación de la frecuencia dominante de la señal</p>	<p>VARIABLES INDEPENDIENTES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de análisis sísmico para las direcciones X e Y. • Señal muestreada del registro de aceleraciones sísmicas. ✓ Registro sísmico muestreado del 03 de octubre de 1974 en la dirección EW. ✓ Registro sísmico muestreado del 03 de octubre de 1974 en la dirección NS. <p>VARIABLES DEPENDIENTES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales) en la dirección X e Y. • Frecuencia dominante de la señal (registro de aceleraciones sísmicas). ✓ Frecuencia dominante de la señal en la dirección X. ✓ Frecuencia dominante de la señal en la dirección Y. 	<p>V. Independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registro sísmico del 03 de octubre de 1974 en la dirección Este - Oeste en mm/s². • Registro sísmico del 03 de octubre de 1974 en la dirección Norte - Sur en mm/s². <p>V. Dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia dominante de la señal (registro de aceleraciones sísmicas). • Frecuencia dominante de la señal sísmica en la dirección X en Hertz (Hz). • Frecuencia dominante de la señal sísmica en la dirección Y en Hertz (Hz). 	<p>Publicación: Cuidad Universitaria Patupampa - Huancavelca.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Muestra: (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelca). • Muestreo: Mediante el método Analítico-Descriptivo. • Tipo de investigación: Aplicada. • Nivel de investigación: Descriptivo. • Técnicas: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pruebas. • Equipos: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Computadora. ✓ Laptop. ✓ GPS. • Software de análisis y diseño: <ul style="list-style-type: none"> ✓ ETABS. ✓ Matlab.

<p>• ¿Cómo se determina la frecuencia dominante de la señal sísmica en el dominio de la frecuencia, utilizando la Transformada de Fourier y el Software Matlab?</p> <p>• ¿Cómo se obtiene la comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) y la frecuencia dominante de la señal sísmica, y determinar para las frecuencias calculadas si el sistema está en un estado de resonancia?</p>	<p>• Determinar la frecuencia dominante de la señal sísmica en el dominio de la frecuencia, utilizando la Transformada de Fourier y el Software Matlab.</p> <p>• Comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) y la frecuencia dominante de la señal sísmica, y determinar para las frecuencias calculadas si el sistema está en un estado de resonancia.</p>	<p>Taboada [6], realizó la tesis: "Análisis y diseño de edificios esbisto por computadores", en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Esta tesis se ha desarrollado con la finalidad de servir como material didáctico a todas aquellas personas que pretenden realizar el uso de un programa para el análisis y diseño de edificios, para lo cual usa el programa ETABS.</p> <p>Suárez [7], realizó la tesis: "Aplicación del programa matlab para optimizar el tiempo y determinar en forma segura el análisis dinámico de una estructura", en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.</p> <p>En esta tesis de acuerdo al problema que generara la acción de los sismos sobre las estructuras, por la magnitud de los daños que ocasionan, las grandes pérdidas económicas, y sobre todo, por el gran número de víctimas humanas.</p> <p>Morazón [8], realizó la tesis: "Selección y adecuación de acelerogramas sísmicos para análisis de estructuras con ejemplos para el valle de Guatemala", en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. El trabajo muestra la metodología para poder seleccionar registros de acelerogramas sísmicos, para adecuarlos a la amenaza sísmica del lugar.</p>	<p>sísmica en el dominio de la frecuencia, utilizando la Transformada de Fourier y el Software Matlab.</p> <p>H3: La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación conduce a la comparación entre la frecuencia fundamental de vibración de la edificación (Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica) y la frecuencia dominante de la señal sísmica, y determinar para las frecuencias calculadas si el sistema está en un estado de resonancia.</p> <p>NOTA: SI H1, H2 y H3 son verdaderos entonces H0 es verdadero.</p>
--	--	---	---