

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingenieria en Ciencias de la Tierra

**“ESTUDIOS DE ESPECTROS INELÁSTICOS Y
FACTORES DE REDUCCIÓN PARA LA CIUDAD
DE GUAYAQUIL”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

LENIN MARCELO MONCAYO THEURER



GUAYAQUIL – ECUADOR

1999

AGRADECIMIENTO

Al ING. OTTÓN LARA
MONTIEL por las horas
de dedicación, su apoyo
constante y sus claras
directrices para la
realización de esta Tesis.
A mi hija GUISELLA
ISABEL y a mi esposa
por ser la inspiración de
este trabajo y mostrarme
diariamente su amor
incondicional.

DEDICATORIA

MI HIJA GUISELLA
ISABEL, MI ESPOSA
GUISELLA, MIS
HERMANOS HUGO Y
JUAN Y MIS PADRES
ISABEL Y HUGO.

TRIBUNAL DE GRADUACION

ING. MIGUEL ANGEL CHAVEZ
DECANO FICT

ING. OTTÓN LARA MONTIEL
DIRECTOR DE TESIS

ING. JULIO RODRIGUEZ
VOCAL

ING. JOSÉ MANCERO
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

MARCELO MONCAYO THEURER

RESUMEN

Este trabajo intenta ser un primer paso hacia la generación de normas de diseño sísmico para la ciudad de Guayaquil. Este genera, a partir de registros reales; espectros elásticos; inelásticos y factores de reducción, para los diferentes tipos de suelo que se presentan en la ciudad.

Este trabajo consta de una primera parte donde se desarrollan las bases teóricas que han servido para la determinación de los cálculos y análisis, como grados de libertad, esfuerzo, ley de Hooke, análisis plástico y elástico, factores de ductilidad, desarrollo de ecuaciones de movimiento.

La segunda parte consta del estudio y comprobación de un programa de computación creado en la universidad de California en Berkeley, que será el programa base para el cálculo de los espectros inelásticos. La primera parte describirá la forma de ingresar los datos y en la segunda se desarrolla un ejemplo para probar su efectividad, comprobando los resultados con un ejercicio, calculado por medio del método numérico llamado LUMPED IMPULSE.

En el tercer capítulo se desarrolla la metodología desarrollada que se utilizó para el análisis de los registros.

Todas las gráficas generadas se encuentran en el apéndice F y además los resultados propuestos como factores de reducción están en el anexo G.

Esta tesis prueba que es posible, desarrollar normas sísmicas para la ciudad de Guayaquil y propone espectros elásticos suavizados y sus correspondientes factores de reducción para los diferentes tipos de suelo.

INDICE DE GENERAL

CAP.

PAG.

RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE ABREVIATURA.....	XVI
INDICE DE FIGURAS.....	XVII
INDICE DE FORMULAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS.....	XVIII
INDICE DE SIMBOLOGÍA.....	XXIX
INTRODUCCIÓN.....	1

I. TEORÍA..... 4

1.1 CONCEPTOS BASICOS.....	4
1.1.1 GRADO DE LIBERTAD DINAMICOS.....	4
1.1.2 SUJECIONES (CONSTRAINTS).....	6
1.1.3 CLASIFICACION POR MEDIO DE GRADOS DE LIBERTAD.....	7

1.1.3.1	SISTEMAS DE UN SOLO GRADO.....	7
1.1.3.2	SISTEMA DE MULTIGRADOS DE LIBERTAD.....	9
1.2	CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO MECANICO.....	9
1.2.1	COMPORTAMIENTO ELASTICO.....	9
1.2.2	ESFUERZO.....	13
1.2.2.1	CLASES DE ESFUERZO.....	13
1.2.2.1.1	ESFUERZO AXIAL.....	13
1.2.2.1.2	ESFUERZO TANGENCIAL.....	13
1.2.2.1.3	ESFUERZO TORSION.....	14
1.2.2.1.4	ESFUERZO FLEXIÓN.....	14
1.2.2.1.5	ESFUERZO DE TENSIÓN.....	14
1.2.2.1.6	ESFUERZO DE COMPRESION.....	14
1.2.3	DEFORMACION UNITARIA.....	15
1.2.4	DIAGRAMA ESFUERZO–DEFORMACION UNITARIA.....	16
1.2.4.1	ANALISIS DE LA CURVA.....	16
1.2.4.1.1	ZONA ELASTICA.....	16
1.2.4.1.1.1	LEY DE HOOKE.....	17
1.2.4.1.1.2	LIMITE DE PROPORCIONALIDAD.....	18
1.2.4.1.1.3	LIMITE DE ELASTICIDAD.....	18
1.2.4.1.1.4	PUNTO DE FLUENCIA O DE CEDENCIA	18
1.2.4.1.1.5	ESFUERZO ULTIMO O L. DE RESISTENCIA....	18
1.2.4.1.1.6	PUNTO DE RUPTURA APARENTE.....	19
1.2.4.1.1.7	PUNTO DE RUPTURA REAL.....	20

1.2.5	RELACION DE POISSON.....	20
1.2.6	COMPORTAMIENTO PLASTICO.....	21
1.2.7	DUCTILIDAD.....	23
1.2.7.1	FACTOR DE DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO.....	23
1.2.7.2	FACTOR DE DUCTILIDAD CICLICO DE DESPLAZ.....	24
1.2.7.3	FACTOR DE DUCTILIDAD DE DESPLAZ.ACUMUL.....	26
1.3	TIPOS DE ANALISIS.....	28
1.3.1	ANALISIS ELASTICO.....	28
1.3.2	ANALISIS PLASTICO.....	29
1.3.3	TEORIA DEL DISEÑO AL LIMITE.....	30
1.3.3.1	MOMENTO DE FLUENCIA DE UNA SECCION.....	30
1.3.3.2	ARTICULACION PLASTICA.....	32
1.3.3.3	MOMENTO PLASTICO.....	32
1.4	DESARROLLO DE LAS ECUACIONES DE MOVIMIENTO.....	33
1.4.1	PRINCIPIO DE D'ALEMBERT.....	33
1.4.2	E. DE MOVIMIENTO PARA SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD.....	33
1.4.2.1	SISTEMAS EN VIBRACION LIBRE.....	34
1.4.2.1.1	E. DE MOVIMIENTO SIN AMORTIGUACION.....	34
1.4.2.1.1.1	FORMULACION.....	34
1.4.2.1.1.2	SOLUCION GENERAL DE LA ECUACION.....	34
1.4.2.1.2	E. DE MOVIMIENTO DE UN SISTEMA AMORTIGUADO.....	35
1.4.2.1.2.1	FORMULACION.....	35
1.4.2.1.2.2	SOLUCION GENERAL DE LA ECUACION.....	35

1.4.2.2	SISTEMAS DE VIBRACION FORZADA.....	36
1.4.2.2.1	E. DE MOVIMIENTO SIN AMORTIGUACION.....	36
1.4.2.2.1.1	FORMULACION.....	36
1.4.2.2.1.2	SOLUCION GENERAL DE LA ECUACION.....	36
1.4.2.2.2	E. DE MOVIMIENTO PARA UN SISTEMA AMORTIGUADO	35
1.4.2.2.2.1	FORMULACION.....	37
1.4.2.2.2.2	SOLUCION GENERAL DE LA ECUACION.....	37
1.4.2.3	ECUACION DE MOVIMIENTO PARA UN SISTEMA AMORTIGUADO, EXITADO POR UN MOVIMIENTO DE TIERRA.....	38
1.4.2.3.1	FORMULACION.....	38
1.5	ESPECTROS DE RESPUESTA	39
1.5.1	ESPECTROS ELASTICOS.....	39
1.5.2	ESPECTROS INELASTICOS.....	42
1.5.3	ESPECTRO DE FOURIER.....	43
1.6	ECUACION DE MOVIMIENTO PARA LA RESPUESTA INELASTICA.....	44

II. PROGRAMA NONSPEC.....50

2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA.....	50
2.1.1	CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROGRAMA.....	50
2.2	COMPROB. DE LOS RESULTADOS DEL PROGRAMA NONSPEC.....	53
2.2.1	INTRODUCCION.....	53

2.2.2	FASE I: CALCULO DE LA RESPUESTA DE UN SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD POR MEDIO DEL METODO NUMERICO “LUMPED IMPULSE”	54
2.2.2.1	PROPUESTA DEL PROBLEMA.....	54
2.2.2.2	ECUACIONES QUE GOBIERNAN EL MOVIMIENTO.....	56
2.2.2.3	CALCULOS DE LA RESPUESTA.....	58
2.2.2.4	RESPUESTA DEL SISTEMA PROPUESTO.....	58
2.2.3	FASE II: CALCULO DE LA RESPUESTA DE UN SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD POR MEDIO DEL PROGRAMA “NONSPEC”	61
2.2.3.1	DISEÑO DEL ARCHIVO DE ENTRADA	61
2.2.3.2	ARCHIVO DE ENTRADA.....	63
2.2.3.3	ARCHIVO DE SALIDA.....	63
2.2.4	FASE III: COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LA FASE I Y FASE II, PARA PROBAR LA CONVENIENCIA DE UTILIZAR EL PROGRAMA NONSPEC PARA LA REALIZACION DE LOS ESPECTROS INELASTICOS.....	64

III. METODOLOGÍA.....67

3.1	INTRODUCCION.....	67
3.2	METODOLOGIA DE ANALISIS DE ONDA.....	67
3.2.1	INTRODUCCION.....	67

3.2.2 ACELEROGRAFOS EN GUAYAQUIL.....	68
3.2.3 SISMICIDAD DE GUAYAQUIL.....	69
3.2.4 UBICACIONES.....	71
3.2.5 REGISTROS.....	72
3.2.6 CORRECCION DE LINEA BASE.....	73
3.2.7 ACELERACION ESPERADA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL	73
3.2.8 NORMALIZACION.....	74
3.2.9 PROGRAMA DEGTRA 95.....	74
3.2.10 ESPECTROS DE FOURIER.....	75
3.2.11 ESPECTROS ELASTICOS.....	77
3.2.12 ESPECTROS INELASTICOS.....	77
3.2.13 COEFICIENTE SISMICO.....	78
3.2.14 AMORTIGUADOR.....	79
3.2.15 COMPARACIÓN DE ESPECTRO ELASTICO CON ESPECTRO INELASTICOS.....	79
3.2.16 FACTORES DE REDUCCION.....	80
3.3. METODOLOGIA DE ANALISIS ESTADISTICO.....	80
3.3.1 INTRODUCCION.....	80
3.3.2 SELECCIÓN DE RANGOS CRITICOS.....	81
3.3.3 SUAVIZACION DE ESPECTROS ELASTICOS.....	81
3.3.4 COMPARACION DE CURVAS.....	83
3.3.5 ANALISIS DE CURVAS DE FACTORES DE REDUCCION.....	84

IV. RESULTADOS.....87

4.1. INTRODUCCION.....87

4.2 TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION PARA TODAS LAS
LOCALIZACIONES Y CANALES.....88

4.3 ESPECTROS ELASTICOS SUAVIZADOS.....91

4.4 ESPECTROS INELASTICOS.....91

4.5 FACTORES DE REDUCCION.....92

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....94

APENDICES.....102

A) MAPA DE PERIODOS DE SUELO DE GUAYAQUIL.....103

B) ARCHIVO DE ENTRADA DEL PROGRAMA NONSPEC.....105

C) ARCHIVO DE SALIDA DEL PROGRAMA NONSPEC.....107

D) ARCHIVO DE SALIDA DEL PROGRAMA SISPACK.....110

E) COMPATIBILIDAD DE UNIDADES ENTRE ESPECTROS ELÁSTICOS E
INELÁSTICOS.....113

F) GRAFICAS.....116

F.1) ACELEROGRAMAS ORIGINALES.....	117
F.2) ESPECTROS DE FOURIER.....	130
F.3) ACELEROGRAMAS NORMALIZADOS AL 7%g.....	143
F.4) ESPECTROS ELASTICOS.....	156
F.5) ESPECTRO INELASTICOS.....	169
F.6) COEFICIENTE SISMICO.....	182
F.7) ESPECTROS ELASTICOS SUAVIZADOS.....	195
F.8) CURVAS DE FACTORES DE REDUCCION.....	202
G) RESULTADOS.....	215
G.1) ESPECTROS ELASTICOS SUAVIZADOS PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO.....	216
G.2) TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO.....	220
 <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	 223

ABREVIATURAS

g.d.l. = Grados de libertad

E. = Espectro

COEF = Coeficiente

REG = Registro

Seg. = Segundos

m = metros

N = norte

S = Sur

E = Este

O = Oeste

INDICE DE FIGURAS

FIG.# PAG.

CAPITULO I

1.1	Sistema de un grado de libertad	4
1.2	Grados de libertad espaciales	5
1.3	Grados de libertad dimensionales.....	7
1.4	Diagrama de esfuerzo deformación	9
1.5	Factor de ductilidad de desplazamiento	24
1.6	Factor de ductilidad de cíclico de desplazamiento.....	25
1.7	Factor de ductilidad de acumulado de desplazamiento.....	27
1.8	Plastificación de una sección	31
1.9	Sistema de masa resorte sin amortiguación.....	34
1.10	Sistema de masa resorte con amortiguación.....	35
1.11	Sistema de masa forzado sin amortiguación.....	36
1.12	Sistema de masa forzado con amortiguación.....	37
1.13	Estructura de piso excitada por un movimiento de tierra.....	38
1.14	Espectro elástico graficado en hoja cuatro logarítmica.....	41
1.15	Espectro inelástico calculado con programa Nonspec.....	42

CAPITULO II

2.1	Fuerza Sísmica exitadora	45
2.2	Comparación de los resultados de la respuesta del ejer Cicio propuesto.....	45

CAPITULO III

3.1	Análisis estadístico de gráficas de factores de reducción.....	85
-----	--	----

APENDICE F.1

F.1.1	Registro original – Colegio de Ingenieros (N-S).....	118
F.1.2	Registro original – Colegio de Ingenieros (E-O).....	119
F.1.3	Registro original – Universidad Católica (N-S).....	120
F.1.4	Registro original – Universidad Católica (E-O).....	121
F.1.5	Registro original – Av. del Ejército (N-S).....	122
F.1.6	Registro original – Av. del Ejército (E-O).....	123
F.1.7	Registro original – Ciudad de Manta (N-S).....	124
F.1.8	Registro original – Ciudad de Manta (E-O).....	125
F.1.9	Registro original – Barrio del Centenario (N-S).....	126
F.1.10	Registro original – Barrio del Centenario (E-O).....	127
F.1.11	Registro original – Torres de la Merced (N-S).....	128

F.1.12 Registro original – Torres de la Merced (E-O).....	129
---	-----

APENDICE F.2

F.2.1 Transformada de Fourier – Colegio de Ingenieros (N-S).....	131
F.2.2 Transformada de Fourier – Colegio de Ingenieros (E-O).....	132
F.2.3 Transformada de Fourier – Universidad Católica (N-S).....	133
F.2.4 Transformada de Fourier – Universidad Católica (E-O).....	134
F.2.5 Transformada de Fourier – Av. del Ejército (N-S).....	135
F.2.6 Transformada de Fourier – Av. del Ejército (E-O).....	136
F.2.7 Transformada de Fourier – Ciudad de Manta (N-S).....	137
F.2.8 Transformada de Fourier – Ciudad de Manta (E-O).....	138
F.2.9 Transformada de Fourier – Barrio del Centenario (N-S).....	139
F.2.10 Transformada de Fourier – Barrio del Centenario (E-O).....	140
F.2.11 Transformada de Fourier – Torres de la Merced (N-S).....	141
F.2.12 Transformada de Fourier – Torres de la Merced (E-O).....	142

APENDICE F.3

F.3.1 E. normalizados al 7% – Colegio de Ingenieros (N-S).....	144
F.3.2 E. normalizados al 7% – Colegio de Ingenieros (E-O).....	145
F.3.3 E. normalizados al 7% – Universidad Católica (N-S).....	146
F.3.4 E. normalizados al 7% – Universidad Católica (E-O).....	147
F.3.5 E. normalizados al 7% – Av. del Ejército (N-S).....	148
F.3.6 E. normalizados al 7% – Av. del Ejército (E-O).....	149

F.3.7 E. normalizados al 7% – Ciudad de Manta (N-S).....	150
F.3.8 E. normalizados al 7% – Ciudad de Manta (E-O).....	151
F.3.9 E. normalizados al 7% – Barrio del Centenario (N-S).....	152
F.3.10 E. normalizados al 7% – Barrio del Centenario (E-O).....	153
F.3.11 E. normalizados al 7% – Torres de la Merced (N-S).....	154
F.3.12 E. normalizados al 7% – Torres de la Merced (E-O).....	155

APENDICE F.4

F.4.1 E. elásticos – Colegio de Ingenieros (N-S).....	157
F.4.2 E. elásticos – Colegio de Ingenieros (E-O).....	158
F.4.3 E. elásticos – Universidad Católica (N-S).....	159
F.4.4 E. elásticos – Universidad Católica (E-O).....	160
F.4.5 E. elásticos – Av. del Ejército (N-S).....	161
F.4.6 E. elásticos – Av. del Ejército (E-O).....	162
F.4.7 E. elásticos – Ciudad de Manta (N-S).....	163
F.4.8 E. elásticos – Ciudad de Manta (E-O).....	164
F.4.9 E. elásticos – Barrio del Centenario (N-S).....	165
F.4.10 E. elásticos – Barrio del Centenario (E-O).....	166
F.4.11 E. elásticos – Torres de la Merced (N-S).....	167
F.4.12 E. elásticos – Torres de la Merced (E-O).....	168

APENDICE F.5

F.5.1	E. inelásticos – Colegio de Ingenieros (N-S).....	170
F.5.2	E. inelásticos – Colegio de Ingenieros (E-O).....	171
F.5.3	E. inelásticos – Universidad Católica (N-S).....	172
F.5.4	E. inelásticos – Universidad Católica (E-O).....	173
F.5.5	E. inelásticos – Av. del Ejército (N-S).....	174
F.5.6	E. inelásticos – Av. del Ejército (E-O).....	175
F.5.7	E. inelásticos – Ciudad de Manta (N-S).....	176
F.5.8	E. inelásticos – Ciudad de Manta (E-O).....	177
F.5.9	E. inelásticos – Barrio del Centenario (N-S).....	178
F.5.10	E. inelásticos – Barrio del Centenario (E-O).....	179
F.5.11	E. inelásticos – Torres de la Merced (N-S).....	180
F.5.12	E. inelásticos – Torres de la Merced (E-O).....	181

APENDICE F.6

F.6.1	Gráficas de Coe. Sísmico – Colegio de Ingenieros (N-S).....	183
F.6.2	Gráficas de Coe. Sísmico – Colegio de Ingenieros (E-O).....	184
F.6.3	Gráficas de Coe. Sísmico – Universidad Católica (N-S).....	185
F.6.4	Gráficas de Coe. Sísmico – Universidad Católica (E-O).....	186
F.6.5	Gráficas de Coe. Sísmico – Av. del Ejército (N-S).....	187
F.6.6	Gráficas de Coe. Sísmico – Av. del Ejército (E-O).....	188
F.6.7	Gráficas de Coe. Sísmico – Ciudad de Manta (N-S).....	188
F.6.8	Gráficas de Coe. Sísmico – Ciudad de Manta (E-O).....	190

F.6.9	Gráficas de Coe. Sísmico – Barrio del Centenario (N-S).....	191
F.6.10	Gráficas de Coe. Sísmico – Barrio del Centenario (E-O).....	192
F.6.11	Gráficas de Coe. Sísmico – Torres de la Merced (N-S).....	193
F.6.12	Gráficas de Coe. Sísmico – Torres de la Merced (E-O).....	194

APENDICE F.7

F.7.1	E.elásticos suavizados – Colegio de Ingenieros	196
F.7.2	E.elásticos suavizados – Universidad Católica	197
F.7.3	E.elásticos suavizados – Av. del Ejército	198
F.7.4	E.elásticos suavizados – Ciudad de Manta	199
F.7.5	E.elásticos suavizados – Barrio del Centenario	200
F.7.6	E.elásticos suavizados – Torres de la Merced (N-S).....	201

APENDICE F.8

F.8.1	Curvas de Fact. Reducc. – Colegio de Ingenieros (N-S).....	203
F.8.2	Curvas de Fact. Reducc. – Colegio de Ingenieros (E-O).....	204
F.8.3	Curvas de Fact. Reducc. – Universidad Católica (N-S).....	205
F.8.4	Curvas de Fact. Reducc. – Universidad Católica (E-O).....	206
F.8.5	Curvas de Fact. Reducc. – Av. del Ejército (N-S).....	207
F.8.6	Curvas de Fact. Reducc. – Av. del Ejército (E-O).....	208
F.8.7	Curvas de Fact. Reducc. – Ciudad de Manta (N-S).....	209
F.8.8	Curvas de Fact. Reducc. – Ciudad de Manta (E-O).....	210

F.8.9	Curvas de Fact. Reducc. – Barrio del Centenario (N-S).....	211
F.8.10	Curvas de Fact. Reducc. – Barrio del Centenario (E-O).....	212
F.8.11	Curvas de Fact. Reducc. – Torres de la Merced (N-S).....	213
F.8.12	Curvas de Fact. Reducc. – Torres de la Merced (E-O).....	214

APENDICE G.1

G.1.1	E. Elásticos suavizados para suelo duro.....	217
G.1.2	E. Elásticos suavizados para suelo intermedio.....	218
G.1.3	E. Elásticos suavizados para suelo suave.....	219

INDICE DE FORMULAS

FORM.#	PAG.
CAPITULO I	
1.1 Esfuerzo	13
1.2 Deformación unitaria	15
1.3 Módulo elástico	17
1.4 Relación de Poisson	20
1.5 Ductilidad.....	23
1.6 Ductilidad Cíclico	24
1.7 Ductilidad acumulado	26
1.8 Momento plástico.....	32
1.9 Principio de D'ALEMBERT.....	33
1.10 Ecuación general sin amortiguación.....	34
1.11 Ecuación desarrollada sin amortiguación.....	34
1.12 Solución general sin amortiguación.....	34
1.13 Ecuación general con amortiguación.....	35
1.14 Ecuación desarrollada con amortiguación.....	36
1.15 Solución general con amortiguación.....	36
1.16 Ecuación general forzada sin amortiguación.....	36
1.17 Ecuación desarrollada forzada sin amortiguación.....	36

1.18 Solución general forzada sin amortiguación.....	37
1.19 Ecuación general forzado amortiguado.....	37
1.20 Ecuación desarrollada forzado amortiguado.....	37
1.21 Solución general forzado amortiguado.....	37
1.22 Ecuación amortiguado excitado sísmicamente.....	38
1.23 Ecuación de desplazamiento total.....	38
1.24 Pseudo velocidad.....	41
1.25 Pseudo aceleración.....	41
1.26 Ecuación de movimiento (Fuerza externa).....	44
1.27 Ecuación de movimiento (Sísmica).....	44
1.28 Ecuación normalizada (Fuerza externa).....	45
1.29 Ecuación normalizada (Sísmica).....	45
1.30 Frecuencia natural.....	45
1.31 Ecuación (Fuerza externa).....	46
1.32 Ecuación (Sísmica).....	46
1.33 a) Factor de ductilidad de desplazamiento.....	46
b) Factor de ductilidad de fuerza.....	46
1.34 Ecuación de movimiento (Sustitución).....	47
1.35 Ecuación de movimiento (Sustitución).....	47
1.36 Ecuación de movimiento (Sustitución).....	47
1.37 Ecuación de movimiento (Sustitución).....	47
1.38 Valores η	47
1.39 Coeficiente sísmico.....	48
1.40 Relación η y coeficiente sísmico.....	48

1.41 Ecuación final.....	48
--------------------------	----

CAPITULO II

2.1 Método numérico Lumped Impulse	55
2.2 Método numérico Lumped Impulse	55
2.3 Método numérico Lumped Impulse	55
2.4 Rigidez.....	56
2.5 Ecuación en rango elástico	56
2.6 Ecuación en rango elástico	56
2.7 Ecuación en rango elástico	56
2.8 Fuerza de cedencia.....	57
2.9 Desplazamiento cedencia.....	57
2.10 Ecuaciones en rango plástico.....	57
2.11 Ecuaciones en rango plástico.....	57
2.12 Ecuaciones en rango plástico.....	57
2.13 Ecuación de rebote elástico.....	58
2.14 Ecuación de rebote elástico.....	58
2.15 Ecuación de rebote elástico.....	58

CAPITULO III

3.1 Ley de atenuación	73
3.2 Relación C_y y η	78
3.3 Relación C_y y η	78
3.4 Relación C_y y η	78

INDICE DE TABLAS

TAB.#	PAG.
I. Ubicación de acelerograma en Guayaquil y Manta.....	71
II. Periodos naturales para cada ubicación	76
III. Coeficiente de polinomios de regresión	82
IV. Valores de tendencia central y desviación estandar.....	83
V. Factores de reducción para Colegio de Ingenieros.....	88
VI. Factores de reducción para U. Católica.....	88
VII. Factores de reducción para Av.del Ejército.....	89
VIII. Factores de reducción para Ciudad de Manta.....	89
IX. Factores de reducción para el Barrio de Centenario.....	90
X. Factores de reducción para Torres de la Merced.....	90
XI. Amplitudes máximas de espectros elásticos.....	96
XII. Factores de reducción de suelo duro.....	220
XIII. Factores de reducción de suelo intermedio.....	221
XIV. Factores de reducción de suelo suave.....	222
XV. Amplitud máxima de espectros elásticos.....	96

SIMBOLOGÍA

$U_x =$ Desplazamiento en x

$U_y =$ Desplazamiento en y

$U_z =$ Desplazamiento en z

$\theta U_x =$ Giro en x

$\theta U_y =$ Giro en y

$\theta U_z =$ Giro en z

$L =$ Longitud

$\delta L =$ Deformación diferencial

$\sigma =$ Esfuerzo

$F, P =$ Fuerza externa

$A =$ Area

$E =$ Modulo de elasticidad

$\epsilon =$ Deformación unitaria

$T =$ Periodo

η = Valores eta (Ecuación 1.40)

$\delta^{(S)}$ = Desplazamiento para s

$\delta^{(S-1)}$ = Desplazamiento del paso anterior a s

$\delta^{(S+1)}$ = Desplazamiento para después de s

Δt = Paso del tiempo

M = Masa

K = Rigidez

δ = Desplazamiento

δ' = Velocidad

δ'' = Aceleración

$\delta''^{(S)}$ = Aceleración para s

δ_Y = Desplazamiento de cedencia

$\delta''_{g \max}$ = Aceleración máxima del suelo

Rm = Fuerza remanente

μ = Factor de ductilidad de desplazamiento

ξ = Amortiguación

Fs = Fuerzas de resorte

F_i = Fuerzas de inercia

F_d = Fuerzas de amortiguación

$R(t)$ = Fuerza restauradora

S_d = Pseudo desplazamiento

S_v = Pseudo Velocidad

S_a = Pseudo aceleración

ρ = Factor de ductilidad de Fuerza

R_y = Fuerza de cedencia

C_y = Coeficiente sísmico

W = Peso

g = Gravedad

m = Magnitud richter

r = Distancia epicentral

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es un “estudio de espectros inelásticos y factores de reducción para la ciudad de Guayaquil, tiene por objeto proponer una norma de diseño para la ciudad de Guayaquil. Basándose en registros reales, se calcularán espectros elásticos y factores de reducción para Guayaquil. Estos espectros permitirán, de una forma rápida, darle la posibilidad al diseñador de seleccionar un coeficiente sísmico razonable.

Para el cálculo, se han utilizado datos de registros reales medidos en la ciudad de Guayaquil y Manta por medio de acelerógrafos localizados a lo largo de toda la ciudad y que fueron obtenidos gracias a la gentileza de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Guayaquil.

Las ondas originales han sido normalizadas al 7%g. Por las limitaciones que implica una tesis de grado, se ha propuesto la metodología completa para el análisis de ondas hasta determinar factores de reducción, en este caso se ha trabajado para el valor de 7%g, pero se deja a criterio de los autores la posibilidad de extender este trabajo para aceleraciones mayores.

De las ondas normalizadas se sacan los espectros elásticos e inelásticos de los cuales se calculan los factores de reducción.

Al final esta tesis propone espectros elásticos suavizados para suelo duro, intermedio y suave y además incluye los factores de reducción para diferentes valores de ductilidad de $\mu = 4$ y $\mu = 6$.

CAPÍTULO I

CONCEPTOS BÁSICOS

1.0 TEORIA

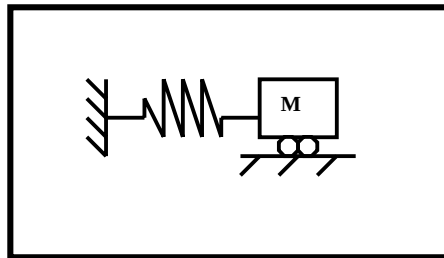
1.1 CONCEPTOS BASICOS

1.1.1 GRADO DE LIBERTAD DINAMICOS

Un grado de libertad dinámico define la dirección en la cual el sistema en estudio posee libertad de movimiento.

FIGURA 1.1

SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD



En un cuerpo rígido y homogéneo, cada partícula de masa posee 6 grados de libertad tridimensionales. Como el número de partículas es infinito, sería irracional enfocar el análisis para cada partícula. Por ello, el análisis y posterior cálculo se lo realiza considerando que todos los diferenciales de masa

existentes conforman un solo cuerpo, concentrando la masa en el centro geométrico del elemento, así, se puede tratar todo el cuerpo como un solo sistema de seis grados de libertad.

Los grados de libertad espaciales (1) de un cuerpo cualquiera se encuentran indicados en la Fig. No. 1.2 Estos seis grados de libertad son: tres grados de libertad traslacionales (u_x , u_y , u_z) y tres grados de libertad rotacionales (θ_x , θ_y , θ_z).

FIGURA No. 1.2

GRADOS DE LIBERTAD ESPACIALES

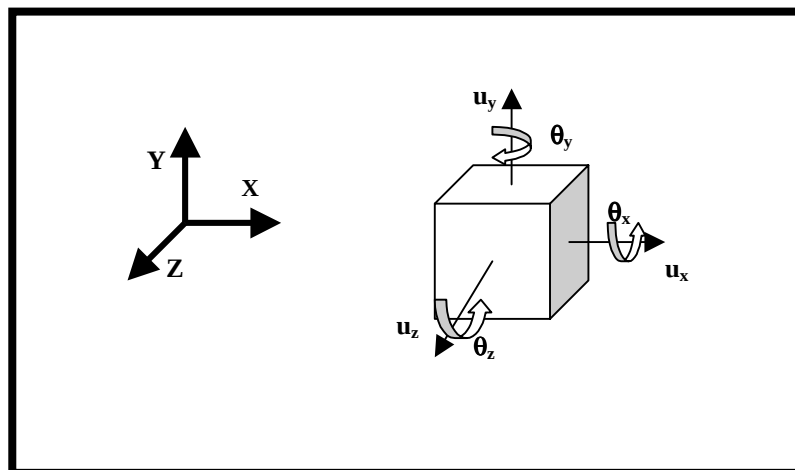


Fig. No. 1.2 .- Podemos observar los seis grados de libertad espaciales de un sistema cualquiera donde (u_x , u_y , u_z) son desplazamientos, y (θ_x , θ_y , θ_z) son rotaciones.

1.1.2 SUJECIONES (CONSTRAINTS)

Cuando las condiciones de borde de un problema lo permiten, se puede sujetar los grados de libertad. Como ya se indicó, los grados de libertad son las direcciones en las cuales el cuerpo puede moverse, la sujeción es la eliminación de la posibilidad de movimiento, en la dirección del grado de libertad que se está sujetando.

Luego de haber definido un cuerpo cualquiera y de haber localizado sus seis grados de libertad espaciales (Fig No. 1.2), definamos el mismo cuerpo y sus grados de libertad bidimensionalmente, en el plano X-Y. Para ello, se debe de aplicar sujeciones a los grados de libertad que quedan fuera del análisis.

Como podemos observar en la Fig. No. 1.3, el cuerpo analizado en dos dimensiones solo posee tres grados de libertad (u_x , u_y y θ_z), mientras que los otros tres grados de libertad han sido sujetos (δ_z , θ_x , θ_y).

De esta manera, de acuerdo a las condiciones del problema, los grados de libertad se deberán definir desde el principio del análisis, para simplificar al máximo el cálculo y también, para

darle un enfoque matemáticamente correcto a las características físicas del sistema.

FIGURA No. 1.3

GRADOS DE LIBERTAD BIDIMENSIONALES

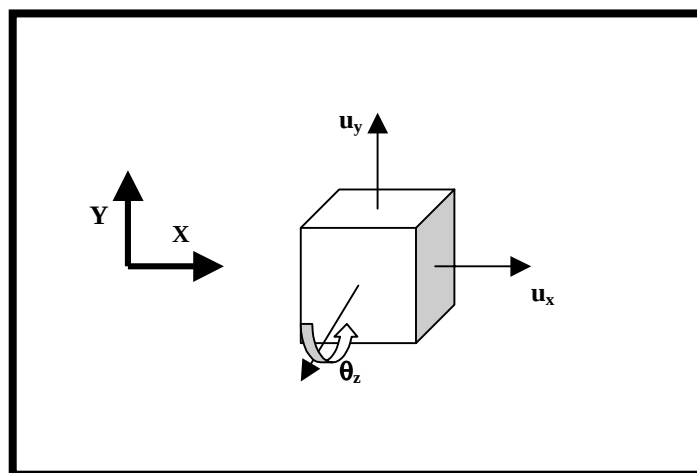


Fig. No. 1.3 .- Se observa los GDL para un análisis bidimensional donde (u_x , u_y) son desplazamientos y θ_z es Rotación.

1.1.3 CLASIFICACION POR MEDIO DE GRADOS DE LIBERTAD

1.1.3.1 SISTEMAS DE UN SOLO GRADO

Un sistema de un solo grado de libertad se encuentra definido en la Fig. No. 1.1, y está compuesto por una masa acumulada en un punto, la cual tiene una rigidez, definiéndose así un sistema Masa-Resorte.

Debido al complicado conjunto de eventos que se suscitan dentro de una estructura en movimiento, el analizar sistemas de un solo grado de libertad, es una ventaja bastante grande que nos permite profundizar más en criterios especializados, en lugar de gastar tiempo en desarrollos matemáticos repetitivos. Por esta razón se busca simplificar los cálculos llevando estructuras de varios grados de libertad a un sistema de un grado de libertad.

En este trabajo por ejemplo, se ha usado un programa para sacar espectros de respuesta inelásticos para sistemas de un grado de libertad, pues hacerlo para sistemas de mayor grado es una tarea demasiado larga, e infructuosa, pues no se obtiene ninguna ganancia en precisión, ni en calidad de trabajo, solo es una pérdida de tiempo.

Hoy en día, la orientación que se le ha dado a la investigación científica, a nivel de dinámica de estructuras y diseño sismoresistente, ha sido la de analizar estructuras de un solo grado de libertad. Aquellas que son de varios grados de libertad, se las analiza por medio de métodos que dividen el problema en varias estructuras de un solo grado de libertad.

1.1.3.2 SISTEMA DE MULTIGRADOS DE LIBERTAD

Las estructuras a las que nos enfrentamos diariamente no tienen un solo grado de libertad, son estructuras con múltiples grados de libertad, el cálculo de un sistema de multigrados de libertad se vuelve extenso debido a la gran cantidad de ecuaciones a utilizarse, por ello, se han desarrollado métodos que separan el problema en varios sistemas de un solo grado de libertad los cuales se resuelven simultáneamente por medio de matrices.

1.2 CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO MECANICO

1.2.1 COMPORTAMIENTO ELASTICO

La elasticidad es una característica mecánica de los materiales que se encuentran en la naturaleza y que comprende la capacidad del material que sometido a esfuerzo reacciona asimilándolo y deformándose temporalmente. Una vez que el material deja de ser sometido, al esfuerzo inicial, y entra en un estado de reposo mecánico, el mismo deja también de estar deformado y regresa a su forma de origen, sin sufrir ningún cambio de geometría, ni de características físicas.

Los materiales naturales y los creados por el hombre han sido estudiados hace muchos años, actualmente el método de análisis para ellos, es realizar pruebas de carga a la compresión por medio de un aparato especial.

Este aparato somete a los materiales a diferentes rangos y niveles de esfuerzo, también tiene la capacidad de medir las deformaciones producidas en el material. Los esfuerzos se van incrementando, lo que incrementa las deformaciones, desde el esfuerzo 0 hasta el que sea necesario para lograr la rotura final y falla del material.

Estas pruebas son realizadas en laboratorios especializados donde los técnicos toman nota, cada cierto tiempo, de los valores de esfuerzo al que se está sometiendo al material y la deformación producida en el mismo. Estos datos se organizan en una curva llama “ CURVA DE ESFUERZO – DEFORMACION DEL MATERIAL ”, esta curva encierra las características mecánicas más importantes del material estudiado, por lo que en este trabajo se estudia posteriormente esta curva (Cap. 1.2.4).

1.2.2 ESFUERZO

La primera etapa del estudio de la física convencional contempla el análisis de la relación de las fuerzas externas que afectan a un cuerpo, esto comprende los criterios de equilibrio, diagramas de cuerpo libre, las leyes de Newton, etc.

La segunda etapa de estudio en la física convencional habla, de los efectos que estas fuerzas externas provocan al interior de las partículas del cuerpo.

La segunda ley de Newton nos da la pauta de que (2) : “La Energía no se pierde , ni se destruye, sino se transforma”, esto indica que las fuerzas externas se van a transmitir íntegras a la estructura interior del cuerpo.

Las fuerzas externas se pueden fácilmente identificar en magnitud, dirección y punto de aplicación, pero en el caso de las fuerzas internas esta labor es un poco más complicada (1).

La pregunta que se presenta es, como se reparten las fuerzas externas en la estructura interna del cuerpo?. Acaso los esfuerzos se concentran en un punto?, O son repartidos iguales a cada partícula?.

Para resolver este enigma planteado, los científicos proponen la medida de esfuerzo, que define cuantitativamente la forma en que las fuerzas externas se reparten a las partículas internas del mismo, produciendo que estas partículas se deformen y adquieran un nivel de tensión.

Por sentido común se puede indicar que la forma en que se han repartido las fuerzas externas sobre las partículas internas del cuerpo, no es equitativa, pues donde la fuerza se aplique, habrá mayor concentración de tensiones y a medida que se aleje del punto de aplicación, el nivel de sometimiento debe ser menor.

Esto es real y no es discutible pero, para fines prácticos este enfoque no produce una diferencia substancial en precisión de resultados y en cambio, crea un aumento innecesario del tiempo de resolución, incrementando así los niveles de dificultad de trabajo y la posibilidad de que el proceso incluya errores. Por ello, es ampliamente aceptado por la comunidad científica que las fuerzas externas se reparten a las partículas internas de manera equitativa.

Por lo tanto, el esfuerzo es un promedio e indica como se reparte una fuerza externa sobre las partículas internas en un área determinada.

Las unidades en que se expresa el esfuerzo pueden ser: Kg/cm², Nt/m² = Pa, Mpa, Mt/mm², Kg/m², Lb/pie², Lb/plg², etc., se observa que las unidades son Fuerza / Area, por lo tanto matemáticamente ESFUERZO es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.1)$$

1.2.2.1 CLASES DE ESFUERZO

1.2.2.1.1 ESFUERZO AXIAL

Se define como esfuerzo axial, al que se transmite a las partículas internas del cuerpo por una fuerza perpendicular a la sección de análisis.

1.2.2.1.2 ESFUERZO TANGENCIAL

Se define como esfuerzo tangencial, al que se transmite a las partículas internas del cuerpo por una fuerza paralela a la sección de análisis.

1.2.2.1.3 ESFUERZO TORSION

Se define como esfuerzo de torsión, al que se transmite a las partículas internas del cuerpo por un momento cuyo vector es perpendicular a la sección de análisis.

1.2.2.1.4 ESFUERZO FLEXIÓN

Se define como esfuerzo de flexión, al que se transmite a las partículas internas del cuerpo por un momento cuyo vector es paralelo a la sección de análisis.

1.2.2.1.5 ESFUERZO DE TENSIÓN

Se define como esfuerzo de tensión, al que se transmite a las partículas internas del cuerpo causando un alargamiento de las mismas.

1.2.2.1.6 ESFUERZO DE COMPRESION

Se define como esfuerzo de compresión, al que se transmite a las partículas internas del cuerpo causando un acortamiento de las mismas.

1.2.3 DEFORMACION UNITARIA

Como ya se analizó, a medida que los esfuerzos van aumentando las deformaciones también aumentan. Las deformaciones producidas en un cuerpo con una Longitud “L1”, mayor que otro cuerpo con longitud “L2”, son mayores. Mientras sean más grandes las dimensiones de un cuerpo se producen mayores deformaciones con un mismo esfuerzo aplicado. Por ello, no es una medida comparable el valor de deformación.

Para poder evitar este error se define la deformación unitaria, que es una medida real y comparable de deformación. Esta se la calcula dividiendo la deformación absoluta del cuerpo, que es la diferencia entre la longitud inicial y la longitud esforzada, para la longitud inicial del cuerpo en la dirección de la deformación. Esta unidad da una medida adimensional que permite erradicar el problema propuesto anteriormente que dependía de unidades de medición.

Su definición matemática es la siguiente:

$$\epsilon = \frac{\delta_L}{L} \quad (1.2)$$

Donde:

δ_L = Deformación Absoluta del cuerpo
 L = Dimensión del cuerpo en la
dirección de la deformación δL

1.2.4 DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACION UNITARIA

1.2.4.1 ANALISIS DE LA CURVA

Esta curva ESFUERZO – DEFORMACION, muestra el comportamiento del material frente a los esfuerzos a que es solicitado, dentro de esta curva encontramos zonas plásticas y elásticas y debido a la importancia de esta, vamos a analizar sus puntos y áreas características.

1.2.4.1.1 ZONA ELASTICA

La zona elástica comprende los rangos de esfuerzos y deformaciones donde el material se comporta elásticamente, o sea que, dentro de este rango el material se deforma temporalmente y vuelve a su forma inicial al dejar de ser esforzado.

1.2.4.1.1.1 LEY DE HOOKE

La ley de Hooke es la que gobierna el comportamiento del material en la zona elástica. Robert Hooke en 1678, anunció la relación proporcional entre el esfuerzo y deformación, llamando a esta como **“MODULO DE ELASTICIDAD (E)”** .

El módulo de elasticidad es la pendiente de la recta que se encuentra al principio del diagrama Esfuerzo-Deformación, en el área elástica (Fig. No. 1.4) y por lo tanto es la relación entre el Esfuerzo y la Deformación.

Esta relación tiene unidades de Kg/cm² o Lb/plg².

Matemáticamente esta relación se la define así:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1.3)$$

1.2.4.1.1.2 LIMITE DE PROPORCIONALIDAD

Este es el punto en la curva a partir del cual la ley de Hooke pierde vigencia.

1.2.4.1.1.3 LIMITE DE ELASTICIDAD

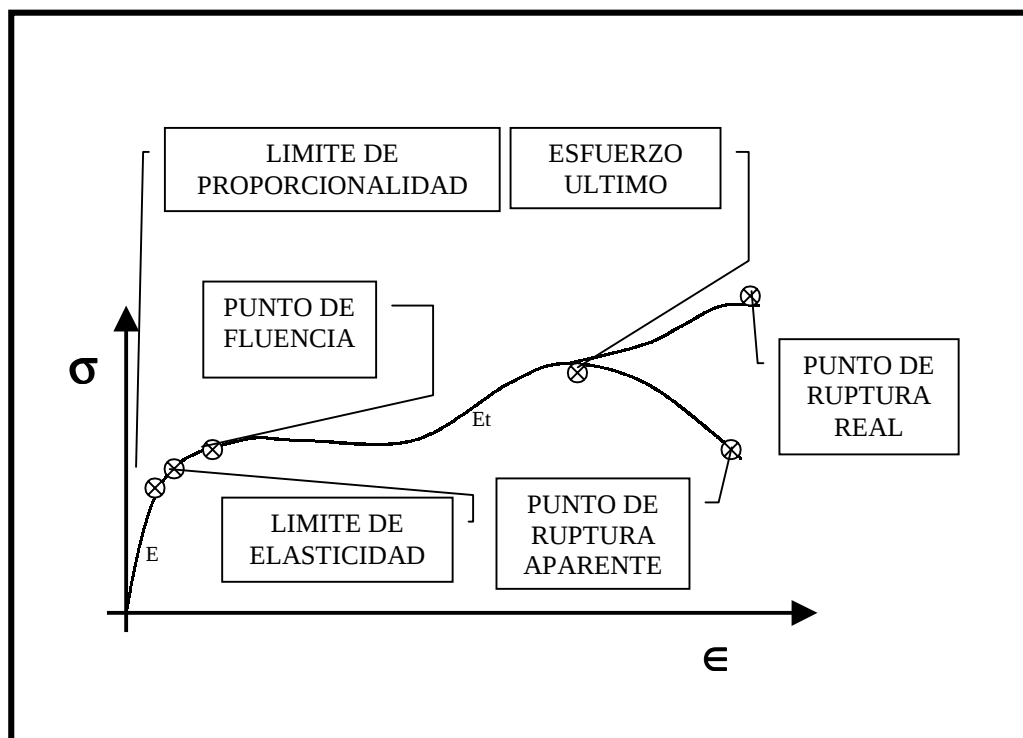
Se encuentra muy cercano al limite de proporcionalidad y define el límite de la zona elástica.

1.2.4.1.1.4 PUNTO DE FLUENCIA O PUNTO DE CEDENCIA

Este punto se encuentra muy cercano a los dos puntos anteriores, límites de proporcionalidad y limite elástico, y es el punto a partir del cual empieza la zona plástica (Cap. 1.2.6). A partir de este punto, empieza el material a fluir.

1.2.4.1.1.5 ESFUERZO ULTIMO O LIMITE DE RESISTENCIA

Este punto muestra el máximo esfuerzo resistido por el material, a partir de el cual empieza un proceso de rompimiento inminente.

FIGURA NO. 1.4**DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACION DE UN MATERIAL****1.2.4.1.1.6 PUNTO DE RUPTURA APARENTE**

El procedimiento rápido de ruptura termina con una pérdida aparente de resistencia, en este punto el material rompe. Para este punto se ha tomado en cuenta el esfuerzo aplicado dividido para el área original del elemento.

1.2.4.1.1.7 PUNTO DE RUPTURA REAL

El anterior punto se le llama aparente porque se toma en cuenta el esfuerzo y el área transversal original, pero en esta etapa, la sección transversal reduce sus dimensiones, por el alargamiento producido. Tomando en cuenta el Esfuerzo aplicado y dividirlo para el área real, reducida nos da el valor verdadero de ruptura.

1.2.5 RELACION DE POISSON

Dado que el someter a un cuerpo a esfuerzos provoca deformaciones en el sentido y dirección del esfuerzo, esta variación de magnitudes afecta a las dimensiones del cuerpo en las otras direcciones.

Matemáticamente esta relación se la expresa así:

$$\nu = - \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = - \frac{\epsilon_z}{\epsilon_x} \quad (1.4)$$

Donde:

ϵ_x = Deformación Unitaria en dirección X

ϵ_y = Deformación Unitaria en dirección Y

ϵ_z = Deformación Unitaria en dirección Z

ν = Coeficiente de Poisson

Esta relación, nombrada así por el estudioso que la descubrió (Poisson 1811), relaciona las deformaciones producidas por esfuerzos directos con deformaciones en las otras dos dimensiones del cuerpo.

1.2.6 COMPORTAMIENTO PLASTICO

Como se pudo observar en la Fig. No. 1.4 a partir de el límite de elasticidad, el material pierde el gobierno de la ley de Hooke y la curva toma una pendiente muy pequeña. En esta etapa, a pesar de mantener el esfuerzo constante, el material continúa deformándose y esa deformación es permanente, lo que hace que el cuerpo nunca regrese a tener la forma original.

Al desaparecer los esfuerzos aplicados al cuerpo este queda deformado.

En el área plástica los materiales, además de cambiar su geometría, cambian sus características mecánicas, esto se debe, a que ocurre un reordenamiento de las partículas internas que conforman el cuerpo.

El análisis plástico de estructuras ha tomado auge en los últimos años. Anteriormente la ingeniería solo se remitía a trabajar en la zona elástica, pero en los últimos años, después de interesantes investigaciones a cerca del tema se ha visto que las estructuras pueden manejarse en un rango plástico, hasta ciertos niveles, con un importante beneficio de ahorro. Las estructuras pueden involucrar a propósito en el diseño un nivel de ductilidad, el diseñador podrá buscar que su estructura entre en plastificación, así podrá diseñar una estructura más flexible, por lo tanto más económica y rápida.

Todas las normas inducen, indirectamente, el comportamiento plástico de los elementos estructurales a través de los llamados factores de ductilidad o de reducción de los máximos niveles de fuerzas dinámicas actuando sobre la estructura. De manera que toda estructura diseñada en una zona sísmica no es analizada para el máximo nivel de esfuerzos, sino para un nivel reducido y por lo tanto se está diseñando para un comportamiento plástico. Las excepciones son estructuras que no pueden sufrir daños durante sismos como : hospitales, escuelas, centrales nucleares, edificios principales de gobierno.

1.2.7 DUCTILIDAD

Se la define como la capacidad del material para deformarse en el rango plástico (3).

1.2.7.1 FACTOR DE DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO

Es un factor que relaciona la máxima deformación permisible y la deformación de cedencia como vemos en la Fig. No. 1.5.

Matemáticamente la relación se expresa así:

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y} \quad (1.5)$$

Donde :

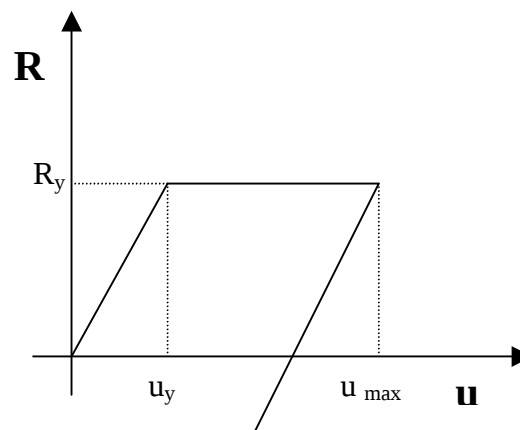
μ = Factor de ductilidad de desplazamiento

$u_{\max}$ = Deformación máxima permisible

u_y = Deformación de cedencia

FIGURA NO. 1.5

FACTOR DE DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO



Donde:

- R** = Fuerza externa en el sistema
- R_y** = Fuerza de cedencia del sistema
- u** = Deformación
- u_y** = Deformación de cedencia
- u_{max}** = Deformación Máxima permisible

1.2.7.2 FACTOR DE DUCTILIDAD CICLICO DE DESPLAZAMIENTO

Matemáticamente la relación se expresa así:

$$\mu_c = \frac{u_{c \max}}{u_y} \quad (1.6)$$

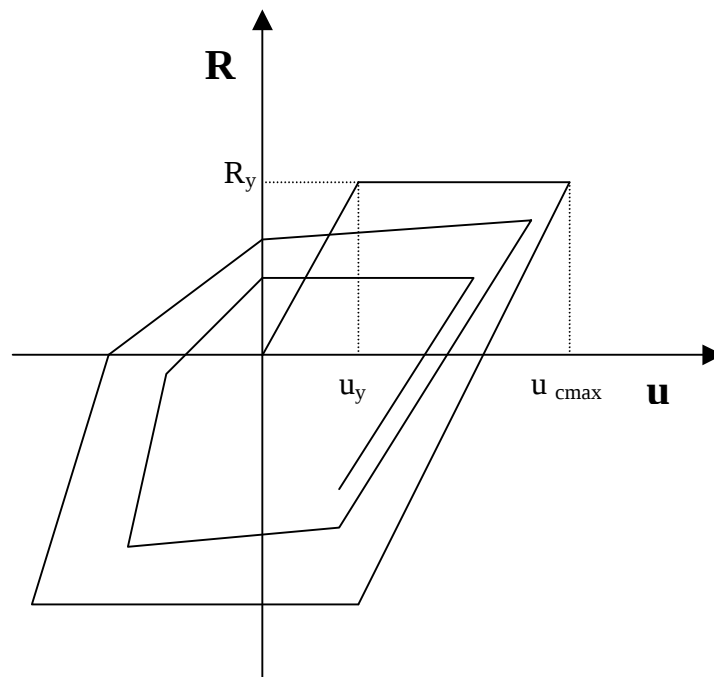
Donde :

μ_c = Factor de ductilidad de desplazamiento cíclico
 $u_{c \max}$ = Deformación cíclica máxima permisible
 u_y = Deformación de cedencia

Es un factor que relaciona la máxima incursión dúctil del comportamiento histerético normalizado y la deformación de cedencia como vemos en la Fig. No. 1.6

FIGURA NO. 1.6

FACTOR DE DUCTILIDAD CICLICO DE DESPLAZAMIENTO



Donde:

$\mathbf{R}$ = Fuerza externa en el sistema

$\mathbf{R}_y$ = Fuerza de cedencia del sistema

$\mathbf{u}$ = Deformación

$\mathbf{u}_y$ = Deformación de cedencia

$\mathbf{u}_{cmax}$ = Deformación cíclica Máxima

1.2.7.3 FACTOR DE DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO ACUMULADO

Es un factor que relaciona el acumulado de todos los máximos esfuerzos ductiles, ya sea en el proceso de plastificación como en el de rebote elástico y la deformación de cedencia como vemos en la Fig. No. 1.7.

Este valor es muy importante para analizar el efecto de los diferentes ciclos histereticos sobre la estructuras y su resistencia.

Matemáticamente la relación se expresa así:

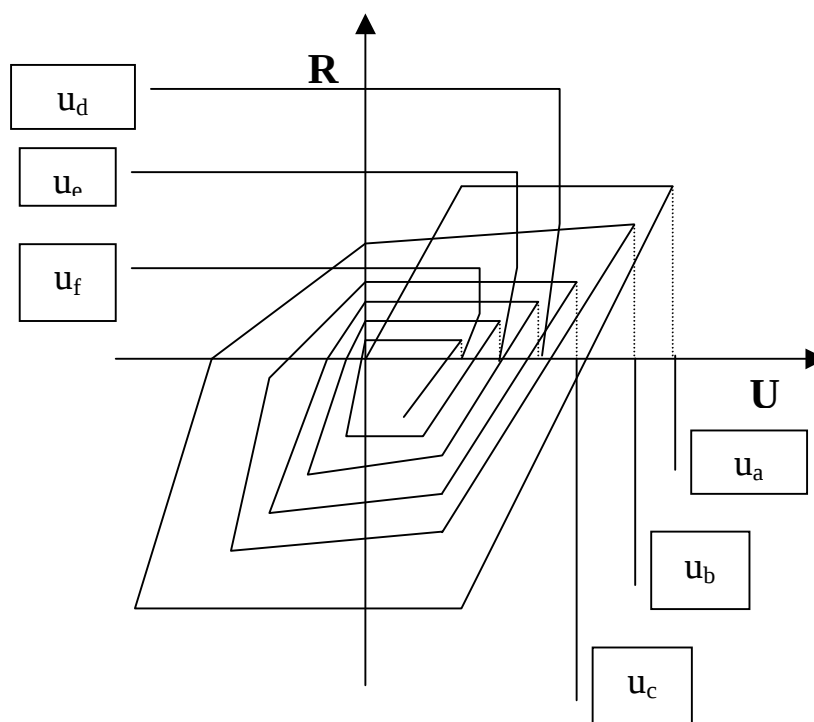
$$\mu_{acum} = \frac{\mathbf{u}_a + \mathbf{u}_b + \mathbf{u}_c + \mathbf{u}_d + \mathbf{u}_e + \mathbf{u}_f}{\mathbf{u}_y} \quad (1.7)$$

Donde :

- μ_{acum} = Factor de ductilidad acumulado de desplazamiento
- u_a = Deformación máxima en primer ciclo
- u_b = Deformación máxima en segundo ciclo
- u_c = Deformación máxima en tercer ciclo
- u_d = Deformación máxima en cuarto ciclo
- u_e = Deformación máxima en quinto ciclo
- u_f = Deformación máxima en sexto ciclo
- u_y = Deformación de cedencia

FIGURA NO. 1.7

FACTOR DE DUCTILIDAD ACUMULADO DE DESPLAZAMIENTO



Donde:

$\mathbf{R}$ = Fuerza externa en el sistema

$\mathbf{u}$ = Deformación

$\mathbf{u}_a$ = Deformación en primer ciclo

$\mathbf{u}_b$ = Deformación en segundo ciclo

$\mathbf{u}_c$ = Deformación en tercer ciclo

$\mathbf{u}_d$ = Deformación en cuarto ciclo

$\mathbf{u}_e$ = Deformación en quinto ciclo

$\mathbf{u}_f$ = Deformación en sexto ciclo

$\mathbf{u}_y$ = Deformación de cedencia

1.3 TIPOS DE ANALISIS

1.3.1 ANALISIS ELASTICO

El análisis elástico es el que estudia las estructuras dentro de la zona elástica. Se diseña para que la estructura no rebase el umbral elástico y se mantenga gobernado por la ley de Hooke. Esta forma de diseño se basa en calcular el valor máximo elástico y evitar que las secciones sobrepasen este máximo(4).

Dentro de un análisis elástico la resolución de problemas se lo hace con tres sistemas: la relación fuerzas- deformaciones; Los criterios de equilibrio entre fuerzas externas e internas y los criterios de compatibilidad geométrica, en el análisis plástico solo se utilizan las dos primeras ecuaciones, la compatibilidad geométrica no es aplicable.

1.3.2 ANALISIS PLASTICO

El análisis plástico es el enfoque moderno del comportamiento de materiales y estructuras, basado en la teoría diseño al límite. La ventaja de hacer un análisis de este tipo es lograr un ahorro importante en materiales y por lo tanto en costo de obra.

La estructura no se limita a estar dentro del rango elástico, pues puede sobrepasarlo, causando en algunas secciones de la estructura la plastificación de partículas. Como ya se dijo este proceso produce un reordenamiento de las mismas y por ello cambia sus características físicas y geométricas.

En 1914 el doctor GABOR KAZINISCZY (Hungría) descubrió el reordenamiento de esfuerzo en el proceso de plastificación cuando se sobrecargan las estructuras indeterminadas. También en EEUU el profesor J.A. Van Den Broek , presentó su teoría de diseño al limite (4).

Para este análisis es mejor una estructura indeterminada que una determinada, pues la indeterminada permite una mejor redistribución de los esfuerzos.

1.3.3 TEORIA DEL DISEÑO AL LIMITE

La teoría de diseño al límite indica que a partir del momento en que las estructuras pasan el umbral elástico, ciertas partículas, entran en plastificación, las primeras partículas que se plastifican son las más exteriores de la sección.

Cuando una partícula alcanza su plastificación se dice que no puede resistir más esfuerzos, por ello, el esfuerzo remanente se reparte hacia la partículas contiguas, hacia el centro de la sección.

Cuando las partículas de la sección se encuentran todas plastificadas, desde la fibra exterior hasta la central, se dice que se ha formado un rótula plástica.

1.3.3.1 MOMENTO DE FLUENCIA DE UNA SECCION

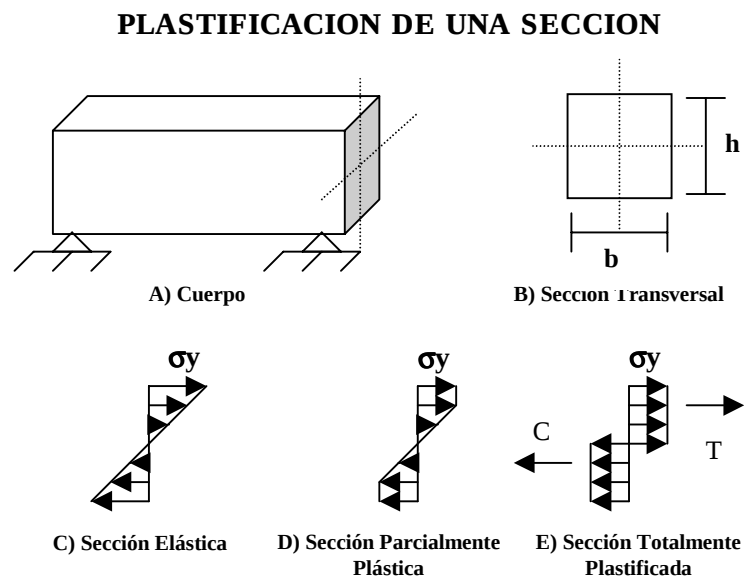
Teniendo un cuerpo cualquiera sometido a un esfuerzo (Fig. No. 1.8.a), con una sección transversal indicada en la Fig. No. 1.8.b. Los esfuerzos axiales repartidos a lo largo de la sección transversal se la observa en la Fig No. 1.8.c, en esta figura muestra que los esfuerzos se mantienen en la zona elástica.

En la Fig. No.1.8.d los esfuerzos han alcanzado la plastificación del material en las partículas más exteriores de la sección.

Las fibras plastificadas no resisten más tensión por lo que los esfuerzos remanentes se transmiten hacia las fibras contiguas, hacia el interior de la sección.

Hasta que todas las fibras de la sección entran en un proceso de plastificación (Fig No. 1.8.e), en ese momento se dice que se ha formado una articulación plástica.

FIGURA 1.8



1.3.3.2 ARTICULACION PLASTICA

La articulación plástica se produce en el momento en el que todas las fibras de las secciones se han plastificado (Fig. No. 1.8.e).

1.3.3.3 MOMENTO PLASTICO

Es el momento que produce en la sección la formación de una articulación plástica.

$$M_p = (F_y * b * h/2) * h/2 \quad (1.8)$$

1.4 DESARROLLO DE LAS ECUACIONES DE MOVIMIENTO

1.4.1 PRINCIPIO DE D'ALEMBERT

El principio de D'Alembert nos muestra que si analizamos una masa que es parte de un sistema de masas interconectadas y si esta se encuentra en reposo la sumatoria de fuerzas externas e internas son iguales a 0.

$$\sum_{J=1}^6 F_j = 0 \quad (1.9)$$

1.4.2 ECUACIONES DE MOVIMIENTO PARA SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD.

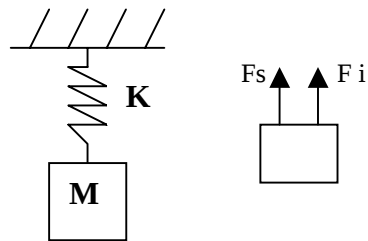
Debido a la importancia del desarrollo matemático del tema, en este trabajo se presentan las ecuaciones diferenciales de movimiento para el cálculo de las respuestas de sistemas de un grado de libertad, además se analiza por separado los sistemas de vibración libre y forzado con amortiguación y sin amortiguación.

1.4.2.1 SISTEMAS EN VIBRACION LIBRE

1.4.2.1.1 ECUACION DE MOVIMIENTO SIN AMORTIGUACION

FIGURA 1.9

SISTEMA MASA – RESORTE



1.4.2.1.1.1 FORMULACION

$$F_s + F_i = 0 \quad (1.10)$$

F_s = Fuerzas de Resorte = $K * \delta(t)$

F_i = Fuerzas Inerciales = $M * \delta''(t)$

$$K * \delta(t) + M * \delta''(t) = 0 \quad (1.11)$$

K = Constante del resorte

M = Masa del sistema

$\delta(t)$ = Desplazamiento de masa

$\delta'(t)$ = Velocidad de masa

$\delta''(t)$ = Aceleración de masa

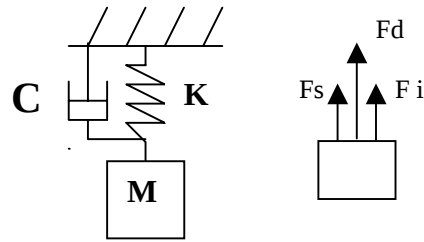
1.4.2.1.1.2 SOLUCION GENERAL DE LA ECUACION

$$\delta(t) = \delta(0) * \cos(w * t) + \delta(0)/w * \sen(w * t) \quad (1.12)$$

1.4.2.1.2 ECUACION DE MOVIMIENTO DE UN SISTEMA AMORTIGUADO

FIGURA 1.10

SISTEMA MASA – RESORTE



1.4.2.1.2.1 FORMULACION

$$F_s + F_i + F_d = 0 \quad (1.13)$$

F_s = Fuerzas de Resorte = $K * \delta(t)$

F_i = Fuerzas Inerciales = $M * \delta''(t)$

F_d = Fuerzas de Amortiguación = $C * \delta'(t)$

$$K * \delta(t) + C * \delta'(t) + M * \delta''(t) = 0 \quad (1.14)$$

β = $C/2M$

K = Constante del resorte

M = Masa del sistema

C = Coeficiente de amortiguación

$\delta(t)$ = Desplazamiento de masa

$\delta'(t)$ = Velocidad de masa

$\delta''(t)$ = Aceleración de masa

1.4.2.1.2.2 SOLUCION GENERAL DE LA ECUACION

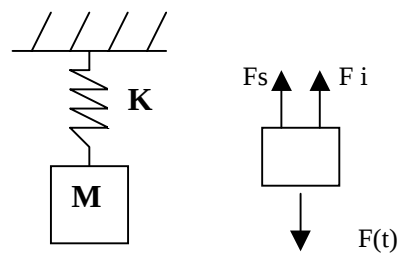
$$\delta(t) = e^{-\beta t} * (C1 * \text{SENO}(w * t) + C2 * \text{COSENO}(w * t)) \quad (1.15)$$

1.4.2.2 SISTEMAS DE VIBRACION FORZADA

1.4.2.2.1 ECUACION DE MOVIMIENTO SIN AMORTIGUACION

FIGURA 1.11

SISTEMA MASA – RESORTE



1.4.2.2.1.1 FORMULACION

$$F_s + F_i - F(t) = 0 \quad (1.16)$$

F_s = Fuerzas de Resorte = $K * \delta(t)$
 F_i = Fuerzas Inerciales = $M * \delta''(t)$
 $F(t)$ = Fuerza externa

$$K * \delta(t) + M * \delta''(t) - F(t) = 0 \quad (1.17)$$

K = Constante del resorte
 M = Masa del sistema
 $\delta(t)$ = Desplazamiento de masa
 $\delta'(t)$ = Velocidad de masa
 $\delta''(t)$ = Aceleración de masa

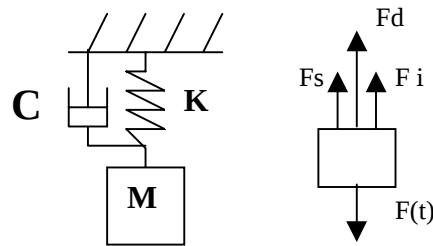
1.4.2.2.1.2 SOLUCION GENERAL DE LA ECUACION

$$\delta(t) = \delta(0) * \text{COSENO}(w * t) + \delta(0)/w * \text{SENO}(w * t) + \delta^{st} * w * f(t) * \text{seno}(w(t-T)) dt \quad (1.18)$$

1.4.2.2.2 ECUACION DE MOVIMIENTO PARA UN SISTEMA AMORTIGUADO

FIGURA 1.12

SISTEMA MASA – RESORTE



1.4.2.2.2.1 FORMULACION

$$F_s + F_i + F_d - F(t) = 0 \quad (1.19)$$

F_s = Fuerzas de Resorte = $K * \delta(t)$
 F_i = Fuerzas Inerciales = $M * \delta''(t)$
 F_d = Fuerzas de Amortiguación = $C * \delta'(t)$
 $F(t)$ = Fuerza externa

$$K * \delta(t) + C * \delta'(t) + M * \delta''(t) - F(t) = 0 \quad (1.20)$$

K = Constante del resorte
 M = Masa del sistema
 C = Coeficiente de amortiguación
 $\delta(t)$ = Desplazamiento de masa
 $\delta'(t)$ = Velocidad de masa
 $\delta''(t)$ = Aceleración de masa

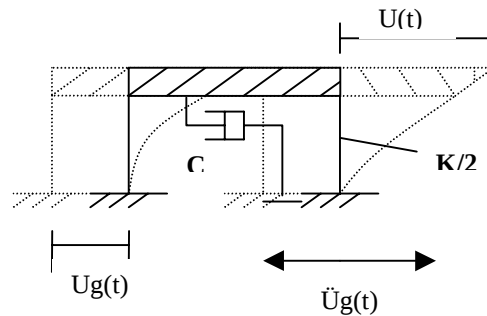
1.4.2.2.2.2 SOLUCION GENERAL DE LA ECUACION

$$\delta(t) = F(t)/k * (1 - \coseno(w * t)) \quad (1.21)$$

1.4.2.3 ECUACION DE MOVIMIENTO PARA UN SISTEMA AMORTIGUADO, EXITADO POR UN MOVIMIENTO DE TIERRA

FIGURA 1.13

ESTRUCTURA DE PISO EXITADA POR UN MOVIMIENTO DE TIERRA



$U(t)$ = Deformación de la Estructura

$U_g(t)$ = Desplazamiento del suelo

$\ddot{U}_g(t)$ = Aceleración del suelo

1.4.2.3.1 FORMULACION

$$K * \delta(t) + C * \delta'(t) + M * \delta''(t) - F(t) = 0 \quad (1.22)$$

K = Constante del resorte

M = Masa del sistema

C = Coeficiente de amortiguación

$\delta(t)$ = Desplazamiento de masa

$\delta'(t)$ = Velocidad de masa

$\delta''(t)$ = Aceleración de masa

El desplazamiento total $\delta(t)$ es la suma de el desplazamiento de la tierra $U_g(t)$ y la deformación de la estructura $U(t)$.

$$\delta(t) = U(t) + U_g(t) \quad (1.23)$$

1.5 ESPECTROS DE RESPUESTA

1.5.1 ESPECTROS ELASTICOS

Hace algunos años, la investigación de los efectos de sismos sobre estructuras, había definido como características principales de un sismo; su máxima aceleración; su magnitud y la distancia epicentral.

En la actualidad se conoce que la característica más importante de un sismo es su contenido de frecuencia que puede ser observada en un espectro elástico.

El espectro elástico es un gráfico que relaciona los puntos máximos de respuestas de sistemas elásticos con estructuras de diferentes períodos, con un amortiguamiento definido y sometidos a una misma excitación.

Esta respuesta máxima puede ser de desplazamiento, velocidad o aceleración. Se grafica en la ordenada las máximas respuestas y en la abscisa el período.

Este gráfico nos permite calcular las máximas respuestas de un sistema de un grado de libertad, sujeto a una excitación, solamente conociendo el periodo natural y el amortiguamiento del sistema .

Dentro de un espectro de respuesta existe un rango de períodos en que las aceleraciones (Apéndice F.4), velocidades y desplazamientos de respuesta máxima del suelo se amplifican. Este fenómeno se produce debido a que ciertos ciclos de la onda sísmica poseen períodos cercanos a los períodos naturales del suelo, lo que provoca el fenómeno de amplificación de onda conocido como resonancia. En estructuras con períodos dentro de estos rangos, los parámetros de diseños tendrán que ser más elevados.

Por ello, la gráfica del espectro elástico se la construye sometiendo a estructuras de diferentes períodos, a una misma onda sísmica o excitación terrestre, posteriormente estos valores de máxima respuesta y período son graficados en: hojas normales; log – normal; y log – log. En este trabajo se presentan los espectros en hojas normales (Apéndice F.4).

Adicionalmente los espectros elásticos se los puede graficar en hojas conocidas como cuatro logarítmicas (Fig. No. 1.14), las que cuentan con cuatro escalas en el mismo gráfico, Ordenadas: velocidad, Abcisas: Períodos, Escala a 45° : Desplazamiento, Escala a 135° : Aceleración.

La relación matemática que existe entre el desplazamiento, velocidad y aceleración es lineal, la palabra “ Pseudo “ se usa para referir

respuesta máxima , por ello, podemos definir al Pseudo desplazamiento como “ S_d ”, a la Pseudo velocidad como “ S_v ” y a la Pseudo aceleración como “ S_a ”., entonces las relaciones entre ellas son:

S_d = Desplazamiento Maximo

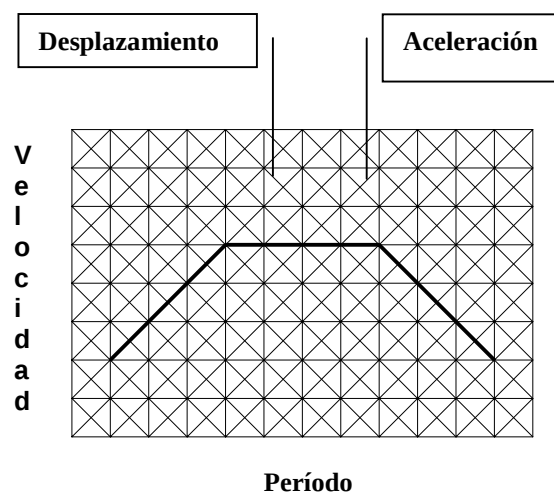
$$S_v = \omega * S_d \quad (1.24)$$

$$S_a = \omega * S_v = \omega^2 * S_d \quad (1.25)$$

Las cuatro escalas que contiene esta gráfica, nos permite tener, en una sola curva los 3 valores; desplazamiento; velocidad; y aceleración (Fig. No. 1.14).

FIGURA 1.14

ESPECTRO ELASTICO GRAFICADO EN HOJA CUATRO LOGARITMICA



1.5.2 ESPECTROS INELASTICOS

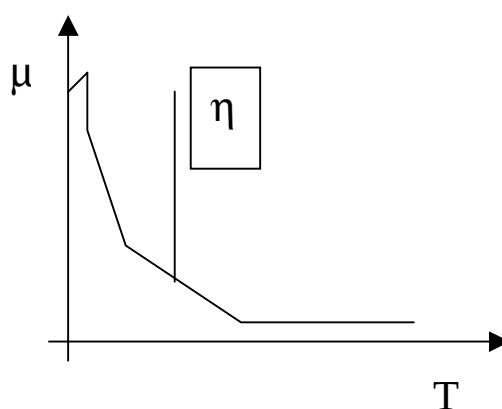
Tomando en cuenta los efectos de la plasticidad en las estructuras, se puede lograr ahorros en el diseño ya sea en secciones, refuerzos, confinamientos, etc. (Ver Cap. 1.3.2), debido a la ductilidad de los materiales que la conforman.

En el espectro inelástico se grafica el factor de ductilidad de desplazamiento (Ver Cap. 1.2.7.1), versus el periodo del sistema (Fig. No. 1.15).

Esta gráfica se la expresa usualmente en hoja Log – Log.

FIGURA No. 1.15

ESPECTRO INELASTICO CALCULADO CON PROGRAMA NONSPEC



1.5.3 ESPECTRO DE FOURIER

El espectro de fourier es un espectro generado a partir de aplicar la transformada de fourier a la onda original. La respuesta máxima de esta onda se gráfica contra la frecuencia del sistema en hojas LOG – LOG.

Este gráfico es utilizado para conocer el contenido de frecuencia del suelo que se encuentra en los rangos de frecuencia donde se producen las mayores amplitudes.

Para determinar el período natural de los diferentes tipos de suelo se han realizado los espectros de Fourier para cada localización y para cada canal. El número de registros analizados en este trabajo es muy poco para la determinación del periodo natural del suelo por medio de los espectros de Fourier. Además, en algunas gráficas de Fourier (apéndice F.2) se encontraron más de un pico, fenómeno que se debe a la interferencia de: la onda sísmica excitadora ; las estructuras vibrantes del sector .

Por esto, para evitar errores en la determinación de lo períodos naturales del suelo se utilizó como apoyo el mapa de periodos de suelo para la ciudad de Guayaquil (5) en el que se zonificó Guayaquil con curvas de igual períodos. Este plano se encuentra en el apéndice

A, donde se determinaron las ubicaciones de los diferentes acelerografos, determinando el periodo de suelo en el sitio.

1.6 ECUACION DE MOVIMIENTO PARA LA RESPUESTA INELASTICA

Como ya se dijo la ecuación que gobierna el movimiento de un sistema de un grado de libertad, y sometida a una fuerza exterior $F(t)$ (Ver Cap. 1.4.2.2.2) es:

$$\mathbf{M} * \delta''(t) + \mathbf{C} * \delta'(t) + \mathbf{R}(t) = \mathbf{F}(t) \quad (1.26)$$

En cambio, si la fuerza excitadora es un movimiento dinámico, que sacude la tierra horizontalmente, la ecuación aplicable es la siguiente:

$$\mathbf{M} * \delta''(t) + \mathbf{C} * \delta'(t) + \mathbf{R}(t) = -\mathbf{M} * \delta_g''(t) \quad (1.27)$$

Donde:

$\mathbf{K}$ = Rigidez

$\mathbf{M}$ = Masa del sistema.

$\mathbf{C}$ = Coeficiente de amortiguación.

$\mathbf{R}(t)$ = Fuerza restauradora o Fuerza de resistencia = $\mathbf{K} * \delta(t)$.

$\mathbf{F}(t)$ = Carga externa.

$\delta(t)$ = Desplazamiento del sistema.

$\delta'(t)$ = Velocidad del sistema.

$\delta''(t)$ = Aceleración del sistema.

$\delta_g(t)$ = Desplazamiento de la tierra.

$\delta_g''(t)$ = Aceleración de la tierra.

La normalización de la ecuación de movimiento, que consiste en dividir la ecuación para la masa del sistema “ M “, permite observar ciertos parámetros que influyen en la respuesta y avanzar en el estudio matemático de la ecuación, por lo tanto, las ecuaciones (1.26) y (1.27) normalizadas son:

$$\delta''(t) + 2 * \omega * \xi * \delta'(t) + R(t)/M = F(t)/M \quad (1.28)$$

$$\delta''(t) + 2 * \omega * \xi * \delta'(t) + R(t)/M = - \delta_g''(t) \quad (1.29)$$

Donde :

- ω = Frecuencia natural circular
- ω^2 = K/M
- ξ = Radio de amortiguación viscosa
- K = Rigidez
- $R(t)$ = K * $\delta(t)$, caso elástico
- M = Masa del sistema
- $\delta(t)$ = Desplazamiento del sistema
- $\delta'(t)$ = Velocidad del sistema
- $\delta''(t)$ = Aceleración del sistema
- $\delta_g''(t)$ = Aceleración del suelo

La relación entre la frecuencia natural del sistema ω , la masa M y la Rigidez K, es la siguiente :

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (1.30)$$

Aplicando esta relación a las ecuaciones 1.28 y 1.29 se transforman en:

$$\delta''(t) + 2 * \omega * \xi * \delta'(t) + \omega^2 * \delta(t) = F(t)/M \quad (1.31)$$

$$\delta''(t) + 2 * \omega * \xi * \delta'(t) + \omega^2 * \delta(t) = - \delta_g''(t) \quad (1.32)$$

Desde este momento solo se analiza la ecuación de movimiento para cuando la excitación es sísmica, para ello se sugiere que se normalice el ciclo histerético como sigue:

$$\mu(t) = \frac{\delta(t)}{\delta_y} \quad \text{a) y} \quad \rho(t) = \frac{R(t)}{R_y} \quad \text{b)} \quad (1.33)$$

Donde:

$\delta(t)$ = Desplazamiento
 $\mu(t)$ = Factor de ductilidad
 δ_y = Desplazamiento de Cedencia
 $R(t)$ = Fuerza Interna
 $\rho(t)$ = Factor de Fuerza
 R_y = Fuerza de Cedencia

Utilizando las igualdades propuestas en (1.33 a y b) aplicándola a la ecuación 1.29 para el caso de movimientos sísmicos el resultado es el siguiente:

$$\frac{\delta''(t)}{\delta_y} + 2\omega \xi \frac{\delta'(t)}{\delta_y} + \frac{R(t)}{M \delta_y} = - \frac{\delta''_g(t)}{\delta_y} \quad (1.34)$$

Buscamos hacer una substitución de variables:

$$\frac{R(t)}{M \delta_y} = \frac{K * R(t)}{M * K * \delta_y} = \frac{\omega^2 * R(t)}{R_y} = \omega^2 * \rho(t) \quad (1.35)$$

$$\frac{\delta''_g(t)}{\delta_y} = \frac{K * \delta''_g(t)}{K * \delta_y} = \frac{\omega^2 * M * \delta''_g(t)}{R_y} \quad (1.36)$$

Por ello estas se transforman en :

$$\mu''(t) + 2 * \omega * \xi * \mu'(t) + \omega^2 * \rho(t) = - \omega^2 * \frac{M}{R_y} * \delta g''(t) \quad (1.37)$$

Es importante definir un parámetro no-dimensional, “ η “ para simplificar el lado derecho de la ecuación 1.37, así que:

$$\eta = \frac{R_y}{M * \delta''_{g \max}} \quad (1.38)$$

Este parámetro η , describe la relación entre el esfuerzo de cedencia y la máxima fuerza de inercia provocada por el sismo.

También podemos definir este parámetro por medio del coeficiente sísmico.

$$R_y = C_y * W = C_y * M * g \quad (1.39)$$

Entonces:

$$\eta = \frac{C_y}{\delta''_{g \max}/g} \quad (1.40)$$

De esta forma η muestra ser la fuerza de cedencia del sistema dividido para la aceleración terrestre pico en función de la gravedad, o sea, η es una medida de la resistencia del sistema.

De esta manera la ecuación 1.37 queda :

$$\mu''(t) + 2 * \omega * \xi * \mu'(t) + \omega^2 * \rho(t) = - \frac{\omega^2 * \delta''_g(t)}{\eta * \delta''_{g \max}} \quad (1.41)$$

Por ello, en un sistema dúctil con la misma frecuencia “ ω “ , la misma características histeréticas y la misma fuerza de inercia y el mismo amortiguador, la respuesta de desplazamiento dúctil es el mismo.

CAPÍTULO II

PROGRAMA NONSPEC

2.0 PROGRAMA NONSPEC

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

2.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROGRAMA

Dentro de este trabajo, cuyo objetivo es la realización de espectros inelásticos, se ha utilizado el programa NONSPEC. El nombre completo del programa es: Construction of inelastic response spectra for single-degree-of-freedom system. (NONSPEC) y por tanto permite calcular los espectros de respuesta inelásticos para estructuras de un grado de libertad.

El NONSPEC es un software creado en la Universidad de California en Berkeley, por los profesores S.A. Mahin y J. Lin. Este programa tiene más de 30 años de uso en análisis de estructuras inelásticas, ya que el director de esta tesis participó en la creación de las primeras versiones del mismo .

El NONSPEC permite calcular la respuesta de desplazamiento, velocidad y aceleración de sistemas inelásticos de 1 grado de libertad, mostrando como resultado la historia de tiempo de las respuestas. También analiza, para una misma excitación, diferentes casos de periodos “ T ” y valores “ η ” o hace el analisis para valores de rigideces y desplazamientos de cedencia y todas las posibles combinaciones.

El programa recopila, las máximas respuestas, en una tabla que nos permite generar el espectro de respuesta inelástico. De la misma tabla se puede generar otros espectros como los espectros de los diferentes factores de ductilidad.

El NONSPEC necesita la generación de un archivo de ingreso, los datos a ingresar, en el archivo de ingreso, están desarrollados en el Cap. 2.1.2 dentro de los cuales se encuentran datos como: la masa del sistema; el tipo de la curva histerética; el paso del tiempo; en parejas se ingresa los periodos vs valores “ η ” o rigidez vs desplazamiento de cedencia; los valores de amortiguamiento; la excitación, sea por aceleración de tierra o por fuerzas externas.

Para correr el programa NONSPEC, se escribe la palabra “NONSPEC”, después de esto el programa pide el nombre del archivo creado de ingreso, este archivo se aconseja lleve una extensión **.dat**. Luego el programa pide el nombre de un archivo de salida, donde se escriben todos los resultados, se recomienda que este archivo tenga la extensión **.out**

Adicionalmente, el programa NONSPEC genera archivos auxiliares, llamados JTAPE 1 y JTAPE 7, donde se recopilan los

valores principales para cada sistema, por ejemplo, valores máximos de respuesta.

El archivo temporal “ JTAPE 1 ” es creado para recopilar todos las respuestas máximas para los diferentes casos analizados.

El archivo temporal “ JTAPE 7 “ es creado para recopilar, en una tabla, con los valores de respuestas máximas y factores de ductilidad que es la que vamos a utilizar para generar las gráficas de espectros inelásticas.

2.1.2 DATOS DE INGRESO PARA EL PROGRAMA

colum.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	Presentación									
B	DATOS DEL SISTEMA Y ANALISIS									
B1	XMASS	PK	DELTAT	XOUT	TCONV					
B2	NSTIFF	NUYP	NDAMP	ITYPE	IENG	IPUNCH	JTAPE	IHED	JPUNCH	JPRINT
B3	Valores de Amortiguacion									
B4	Rigidez o Período									
B5	Desplazamiento de Cedencia, Valores ETA.									
C	DATOS DE LA CARGA									
C1	KOUNT	IND	DT	FACTOR	FMT					
C2	Datos de excitacion (Tantas lineas como se necesiten)									
D	Terminar 3 lineas en blanco o puede introducirse otro ejercicio desde A - B (C no se ingresa)									

A	Presentación del programa (Encabezado)		
B	DATOS DEL SISTEMA Y ANALISIS		
B1	XMASS	column. .1-10 c.	MASA DEL SISTEMA ; Signo (+) significa que se van a considerar las combinaciones entre las líneas B4 y B5; Signo (-) Significa que los valores ingresados en B4yB5 están en pares.
	PK	column. .11-20 c.	RADIO DE DEFORMACION PLASTICA ; Es una fracción de la rigidez inicial o plastica del sistema y ocurre a partir del punto de cedencia,Valor (0) caso elasto perfectamente plástico.
	DELTAT	column. .21-30c.	MAXIMO INCREMENTO DE TIEMPO; El programa busca valores menores si es necesario para que corresponda a el intervalo de carga.
	XOUT	column. .31-40 c.	MULTIPLICADOR PARA EL INTERVALO DE SALIDA; La impresión en los archivos de salida será hecha con un tiempo basado en el DELTAT * XOUT . Para eliminar la salida de la historia de tiempo el XOUT se lo debe elegir bastante grande.
	TCONV	column. .41-50 c.	TOLERANCIA DE LA CONVERGENCIA ; Controla la cantidad de distorsión o sobredimensionamiento de la curva histerética , Por omisión TCON = 0,01
B2	NSTIFF	column. .1-5 c.	NUMERO DE VALORES EN B4 ; Signo (+) Significa que se escribirán Rigideces en B4. Signo (-) Significa que se ingresarán periodos en B4.
	NUYP	column. .6-10 c.	NUMERO DE VALORES EN B5 ;Signo (+) Significa que se escribirán Desplazamientos de Cedencia en B4; Signo (-) Significa que se escribirán valores "η" (ETA).
	NDAMP	.11-15 c.	NUMERO DE VALORES DE AMORTIGUAMIENTO; Ingresados en B3
	ITYPE	column. .16-20 c.	TIPO DE MODELO DE DEGRADACION; (1) Bilineal, Modelo elasto perfectamente plastico (2) Modelo con degradación.
	IENG	column. .21-25 c.	CALCULO DE ENERGIA ; (0) Se realizará el cálculo de Energía, (1) No se calculará la energía.
	IPUNCH	column. .26-30 c.	Salida de programa (1) No habrá salida de historia de tiempo. (2) La respuesta de desplazamiento, las fuerzas de resistencia y puestas en JTAPE 1 según JTAPE. (3) El desplazamiento de respuesta, la fuerza de resistencia, la energía de ductilidad y ductilidad residual. (4) Desplazamiento de respuesta, velocidad, aceleración, fuerzas resistentes, ingreso de energías, energía kinetica, energía de deformación recorable, energía hysterética, energía de amortiguamiento, energía de ductilidad, ductilidad residual son grabados en el archivo de salida y en JTAPE.
	JTAPE	.31-35 c.	(1) Cuando salida va a un archivo de salida (2) Cuando se va a escribir a JTAPE.
	IHED	column. .36-40 c.	ENCABEZADO; (0) La información del ecabezado aparece en cada hoja ; <0 aparece solo al principio.
	JPUNCH	.41-45 c.	(+) Se coloca el espectro en tarjetas perforadas. (-) El espectro será solo impreso.
	JPRINT	column. .46-50 c.	(0) El espectro se escribirá en el archivo de salida; <0 el espectro será escrito en el archivo de salida y en JTAPE 7. Esta es una forma de construir un espectro rápidamente.
B3	Valores de amortiguamiento tantos como diga NDAMP.		
B4	Si NSTIFF (+), se ingresa Rigideces, (-) valores de Periodos tantos como NSTIFF diga.		
B5	Si NUYP (+), se ingresa Desplazamientos de Cedencia, (-) valores ETAS.		

C	DATOS DE LAS CARGAS Y ACELERACIONES		
C1	KOUNT	.1-5 c.	NÚMERO DE ACELERACIONES O CARGAS; (0) Se lee el registro anterior.
	IND	.6-10 c.	TIPO DE CARGA; (0) Datos de aceleraciones de Tierra (1) Cargas Externas.
	DT	column.	PASO DEL TIEMPO DE LAS FUERZAS DE INGRESO , si este es un valor constante. DT=0
		.11-20 c.	se esperan valores de tiempo - aceleración.
	FACTOR	.21-30 c.	FACTOR DE ESCALA de la excitación.
	FMT	.31-80 c.	FORMATO DE INGRESO de FORTRAN.
C2	VALORES DE ACELERACIONES Y FUERZAS EXTERNAS		
D	TERMINACION; 3 Líneas para terminar el ejercicio, o sino continuar con el siguiente ejercicio.		
	Desde la carta A hasta la B solamente v se usará la aceleración anterior.		

2.2 COMPROBACION DE LOS RESULTADOS DEL PROGRAMA NONSPEC

2.2.1 INTRODUCCION

FASE I

Se ha comprobado los resultados del programa tanto con respecto a su funcionamiento, como con respecto a su utilización correcta.

Esta comprobación se ha hecho calculando por un método numérico un ejercicio y posteriormente calcularlo con el programa. Pues si ambas respuestas son iguales, el programa quedará comprobado como una herramienta valida para el diseño de los espectros inelásticos.

En la parte del análisis numérico, se propondrá primero las ecuaciones que gobernarán el movimiento en las diferentes etapas histeréticas del movimiento. Se realizará el cálculo por un método de numérico, utilizando una hoja electrónica. El objetivo será hallar la respuesta del sistema, la cual, se comprobará con una corrida del sistema.

FASE II

Se calculará el ejercicio realizado en la FASE I con el programa NONSPEC.

Para la corrida del NONSPEC se diseñará un archivo de ingreso, con la misma excitación, que se utilizó en la FASE I, luego se correrá el programa para determinar la respuesta de plástica del sistema.

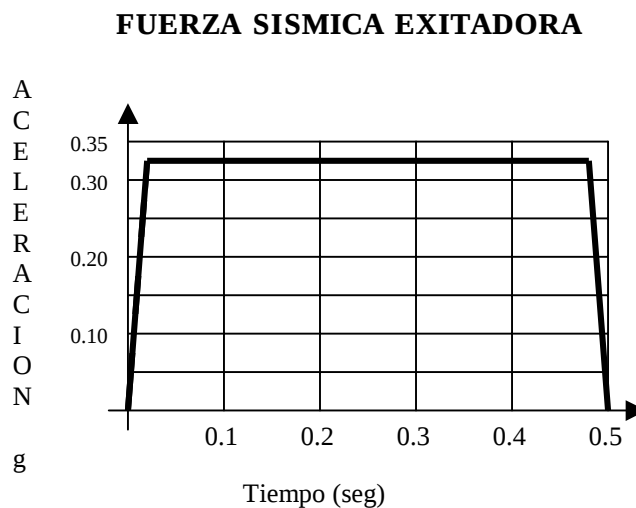
FASE III

En esta fase se comparan los resultados de la FASE I y FASE II, sacando como conclusión la conveniencia de utilizar el programa NONSPEC para el cálculo de espectros inelásticos.

2.2.2 FASE I: CALCULO DE LA RESPUESTA DE UN SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD POR MEDIO DEL METODO NUMERICO "LUMPED IMPULSE".

2.2.1.1 PROPUESTA DEL PROBLEMA

Se propone un sistema de un grado de libertad con período natural $T = 0.8$ seg, valor $\eta = 0.2$, $\Delta t = 0.01$ sometido a una excitación externa como la mostrada en la Fig. No. 2.1

FIGURA No.2.1

Una vez propuesto el problema, se buscó un método numérico para el cálculo de la respuesta de desplazamiento. Se utilizó un método de Integración Numérica llamado “lumped impulse”, impulso acumulado. El objetivo de este trabajo no es entrar en detalles de demostraciones sobre este método, por ello, nos remitimos a enumerar las siguientes ecuaciones (6).

$$\delta(s) = 2 * \delta(s) - \delta(s-1) + \delta''(s) * \Delta t^2 \quad (2.1)$$

$$\delta(1) = 1/2 * \delta''(0) * \Delta t^2 \quad (2.2)$$

$$\delta(1) = 1 / 6 * (2 * \delta''(0) + \delta''(1)) \quad (2.3)$$

2.2.1.2 ECUACIONES QUE GOBIERNAN EL MOVIMIENTO

El sistema excitado entra en varias etapas características como: etapa elástica, etapa plástica, rebote elástico. En cada etapa hay diferentes ecuaciones que gobiernan el movimiento. Como dato previo, $M = 1$, normalizada.

$$M=1$$

$$T = 2 * \pi * \sqrt{M/K} \quad T = \frac{2 * \pi}{\sqrt{K}} \quad K = \frac{4 * \pi^2}{T^2}$$

$$K = \frac{4 * 3.14159^2}{0.8^2} = 61.68 \frac{\text{Kg} * \text{m}^2}{\text{s}^2} \quad (2.4)$$

La primera etapa del movimiento es cuando el sistema se mantiene en el rango elástico, la ecuación que la gobierna es la siguiente:

$$M * \delta'' + K * \delta - F(t) = 0 \quad (2.5)$$

$$\delta'' + 61.68 * \delta - F(t) = 0 \quad (2.6)$$

$$\delta'' = F(t) - 61.68 * \delta \quad (2.7)$$

La rigidez “K” es: $K = F/\delta$, De la curva histerética en su parte elástica podemos determinar el desplazamiento de cedencia como (Ver Cap. 1.6), ecuación 1.40:

$$\eta = \frac{R_y}{M * \delta'' g_{\max}} \quad (2.8)$$

$$R_y = \eta * \delta'' g_{\max}$$

$$R_y = (0.2 * 0.333 * g) = 0.65268$$

Donde :

R_y = Fuerza interna

M = Masa del sistema = 1

η = 0.2

g = gravedad

δ'' g_{max} = aceleración máxima del suelo

$$\delta_y(t) = \frac{F_y}{K} = \frac{0.65268}{61.68} = 0.01059 \quad (2.9)$$

La segunda etapa es cuando el sistema pasa el nivel de fluencia y llega a la zona plástica, la ecuación que la gobierna es la siguiente:

$$M * \delta'' + R_m - F(t) = 0 \quad (2.10)$$

$$\delta'' + 0.65268 - F(t) = 0 \quad (2.11)$$

$$\delta'' = F(t) - 0.65268 \quad (2.12)$$

sistema pasa la deformación máxima y entra en el proceso de reducción de sus deformaciones debido a que el esfuerzo aplicado ha desaparecido, a pesar que la deformación nunca regresará a ser 0, manteniéndose una deformación llamada “ residual ” .

$$M * \delta'' + R_m - K * (\delta_m - \delta) - F(t) = 0 \quad (2.13)$$

$$\delta'' + 0.652 - 61.68 * (0.32 - \delta) - F(t) = 0 \quad (2.14)$$

$$\delta'' = F(t) - 19.08 - 61.68 * \delta \quad (2.15)$$

R_m = deformación inelástica residual y permanente

2.2.1.3 CALCULOS DE LA RESPUESTA

En el numeral 2.2.2.4 vemos el cálculo de la respuesta por medio de método “lumped impulse” (6), que ha sido desarrollado en una hoja electrónica

En la primera parte podemos observar los datos que se ingresaron: el amortiguamiento $\xi = 0$, el periodo $T = 0.8$, $\eta = 0.2$, la rigidez calculada en base del periodo (ver ecuación 2.4) $K = 61.69$, la máxima aceleración de la tierra $\delta'' g_{\max} = 0.333 * g = 3.2495$ (ver Fig. 2.1).

Se ingresa también el paso del tiempo y se alimenta la hoja con los datos del eje de tiempo. La columna de $F(t)$ de fuerza externa se la llena de la Fig. 2.1.

La tercera columna es el miembro que acompaña a $F(t)$ en las ecuaciones 2.7 y 2.12, estas ecuaciones son el

resultado de la simplificación de las ecuaciones elástica e inelástica respectivamente.

Como se observa en las ecuaciones 2.7 y 2.12 de estas se obtiene la aceleración del sistema restando la columna 2, " $F(t)$ ", y la columna 3, el miembro adicional, este valor es anotado en la columna 4.

La columna 5 es la multiplicación de la columna 4, (δ'') por el valor de la primera columna, " ΔT ", al cuadrado. La sexta columna se la calcula por medio de las ecuaciones (Ec. 2.1-2.3) de método numérico. Las ecuaciones (Ec. 2.2 y 2.3) son utilizadas para el primer valor, la ecuación (Ec. 2.1) se utiliza en todo el resto. La " s " indica el valor que estamos calculando, " $s-1$ " es el anterior valor y " $s+1$ " es el valor siguiente. El valor de " s " se empieza a contar desde 0. La ecuación elástica (Ec. 2.7) domina el cálculo hasta $\Delta t = 0.09$ seg, luego de este valor la ecuación que gobierna es la plástica (Ec. 2.12).

2.2.2.4 RESPUESTA DEL SISTEMA PROPUESTO

DATOS		$\delta''_{g \max}$	3.24951
ξ	0.00	η	0.20
T	0.80	K	61.69

Δt	F(t)	61.68 o 0.65	δ''	$\delta'' \cdot \Delta t^2$	δ
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00000	0.00000
0.01	1.31	0.000	1.310	0.00013	0.00002
0.02	2.61	0.001	2.609	0.00026	0.00017
0.03	3.26	0.010	3.250	0.00032	0.00058
0.04	3.26	0.036	3.224	0.00032	0.00131
0.05	3.26	0.081	3.179	0.00032	0.00236
0.06	3.26	0.146	3.114	0.00031	0.00373
0.07	3.26	0.230	3.030	0.00030	0.00541
0.08	3.26	0.334	2.926	0.00029	0.00739
0.09	3.26	0.456	2.804	0.00028	0.00966
0.10	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.01221
0.11	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.01502
0.12	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.01809
0.13	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.02142
0.14	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.02501
0.15	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.02886
0.16	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.03297
0.17	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.03734
0.18	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.04197
0.19	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.04686
0.20	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.05201
0.21	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.05742
0.22	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.06309
0.23	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.06902
0.24	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.07521
0.25	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.08166
0.26	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.08837
0.27	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.09534
0.28	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.10257
0.29	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.11006
0.30	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.11781
0.31	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.12582
0.32	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.13409
0.33	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.14262
0.34	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.15141
0.35	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.16046
0.36	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.16977
0.37	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.17934
0.38	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.18917
0.39	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.19926
0.40	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.20961
0.41	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.22022
0.42	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.23109
0.43	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.24222
0.44	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.25361
0.45	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.26526
0.46	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.27717
0.47	3.26	0.653	2.607	0.00026	0.28934
0.48	2.61	0.653	1.957	0.00020	0.30177
0.49	1.31	0.653	0.657	0.00007	0.31440
0.50	0.00	0.653	-0.653	-0.00007	0.32710
aceleracion maxima			3.250		

2.2.3 FASE II: CALCULO DE LA RESPUESTA DE UN SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD POR MEDIO DEL PROGRAMA “NONSPEC”.

2.2.3.1 DISEÑO DEL ARCHIVO DE ENTRADA

Se ha desarrollado el archivo de entrada en el cual se encuentran todos los datos del sistema que el programa NONSPEC va a utilizar para hacer sus cálculos (Cap.2.1.2). El archivo de entrada fue llamado “pru-non.dat”

El archivo pru-non.dat fue desarrollado con los siguientes criterios:

LINEA 2

El problema propuesto tiene una masa normalizada $M=1$, la masa lleva el signo negativo debido a que los datos de las líneas B4 y B5 serán ingresados en parejas. Se tratará de un ejemplo elasto perfectamente plástico.

Se utilizó un paso del tiempo $\Delta t = 0.01$ con un multiplicador de salida de 1. Un valor de tolerancia por omisión de 0.01

LINEA 3

Se indica que solo habrá un valor en B4, el signo es negativo porque en esta línea se colocaran valores de periodos “ T ”. También se indica que se colocará un valor en la linea B5 y tiene signo negativo lo que indica que se ingresaran valores “ η ”.

Se indica un solo valor en la línea B3 de amortiguación. El tipo de modelo de degradación es bilineal. No se realizará cálculo de energía. La salida será con todos los valores posibles.

LINEA 4

Existirá solo un valor de amortiguación y es igual a 0

LINEA 5

Existirá solo un valor de Período “ T ” es igual a 0.8

LINEA 6

Existirá solo un valor de “ η ” y es igual a 0.2

LINEA 7

En esta línea se coloca el número de valores que tiene la onda excitadora. También se indica que la excitación pertenecen al tipo de movimientos de la tierra. El paso del tiempo de la excitación $\Delta t = 0.01$. El multiplicador de la excitación $g = 9.8$. El formato de número para lenguaje FORTRAN.

2.2.3.2 ARCHIVO DE ENTRADA

El archivo de entrada que ya fue definido en su estructura en el Cap. 2.1.2, y que ha sido explicado en (Cap.2.2.3.1), se encuentra en el apéndice B.

2.2.3.3 ARCHIVO DE SALIDA

El archivo de salida se encuentra en el apéndice C.

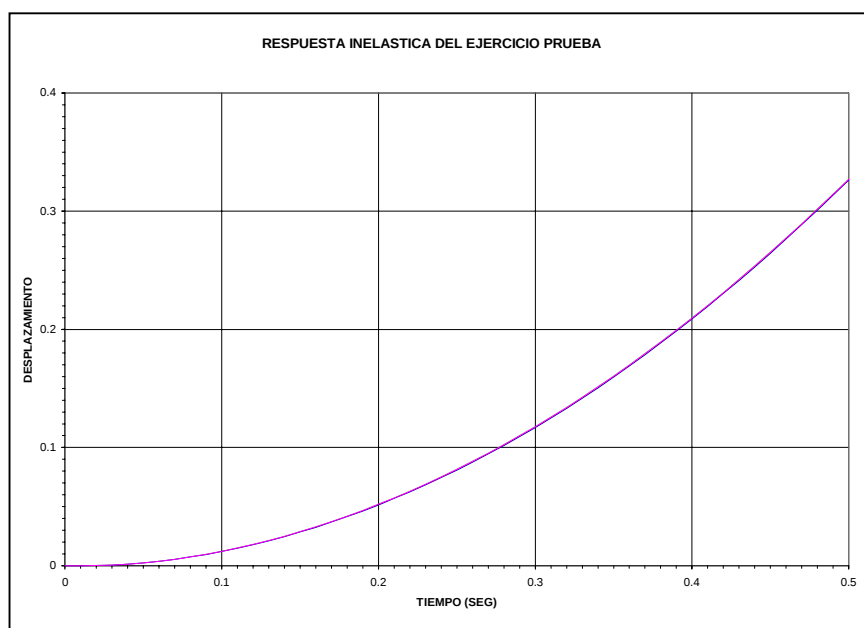
2.2.4 FASE III: COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LA FASE I Y FASE II, PARA PROBAR LA CONVENIENCIA DE UTILIZAR EL PROGRAMA NONSPEC PARA LA REALIZACION DE LOS ESPECTROS INELASTICOS.

Después de haber realizado en la Fase I el cálculo numérico de la respuesta del sistema propuesto y en la fase II el cálculo de la respuesta de mismo sistema por medio del programa NONSPEC, podemos comparar ambos resultados.

En la figura No. 2.2 podemos observar la gráfica de respuestas de las dos Fases calculadas. Se observa que los valores graficados son muy parecidos lo que comprueba que el programa se convierte en una herramienta eficiente para la realización de espectros inelásticos.

Adicionalmente, se han comprobado los valores, calculados anteriormente (Cap. 2.2.2.2). Estos valores según el programa son:

- “K” RIGIDEZ = 61.68
- “ δ_y ” Desplazamiento de Cedencia = 0.010591
- “ ω ” Frecuencia Natural = 7.85
- “Fy” Fuerza de Cedencia = 0.65333

FIGURA 2.2**COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LA RESPUESTA DEL
EJERCICIO PROPUESTO.**

Los valores calculados en ambas fases son iguales, lo cual comprueba la efectividad del programa, por lo utilizaremos como herramienta para la generación de espectros inelásticos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.0 METODOLOGIA

3.1 INTRODUCCION

En este capítulo se explican los procedimientos y metodologías con que se analizaron las ondas de este estudio.

La metodología esta dividida en dos, la primera parte es la metodología de análisis de las ondas desde el punto de vista inelástico y la segunda es desde el punto de vista estadístico, que sirve para suavizar las curvas y proponer tablas finales.

3.2 METODOLOGIA DE ANALISIS DE ONDA

3.2.1 INTRODUCCION

La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Guayaquil tuvo la gentileza de proveer los registros de acelerogramas de la ciudad de Guayaquil a la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Estos registros de acelerogramas que han sido utilizados para generar esta investigación, fueron medidos en diferentes partes

de Guayaquil y de la ciudad de Manta. Hemos utilizado los acelerogramas del suelo de Manta pues, al final de nuestra investigación propondremos en forma general características para suelo suave, intermedio y duro, siendo Manta un suelo arenoso de características intermedias.

3.2.2 ACELEROGRAFOS EN GUAYAQUIL

Un acelerógrafo es un aparato que registra las aceleraciones del suelo en una zona determinada, cuando esta siendo sacudida por un sismo. Estas aceleraciones sirven para calcular los espectros característicos elásticos e inelásticos y que son la base de este estudio.

En la ciudad de Guayaquil existen muy pocos acelerógrafos a pesar de ser una zona donde las estructuras se someten a severos y periódicos esfuerzos sísmicos. La ciudad de Guayaquil se encuentra asentada en su gran mayoría sobre suelo suave, este tipo de suelo amplifica las señales sísmicas, que llegan por movimientos tectónicos lejanos, y somete a las estructuras a mayores esfuerzos que en suelo duro.

3.2.3 SISMICIDAD DE GUAYAQUIL

La ciudad de Guayaquil se encuentra cerca a fallas, que provocan movimientos sísmicos periódicos de baja intensidad.

Sin embargo, los movimientos más representativos se producen a lo largo de la zona de subducción, zona en la que la Placa Tectónica Nazca se incrusta debajo de la placa Sudamericana en el Océano.

Estos sismos de considerable magnitud se producen a unos 200 Km de distancia de la ciudad.

La ciudad recuerda los efectos algunos sismos importante como:

El que hubo en 1942 donde se desplomaron 3 edificios, que era el 60% de las estructuras elevadas de ese tiempo, este sismo fue de magnitud 8.1 y su epicentro estuvo localizado a una distancia de 250 Km de la ciudad.

La costa Ecuatoriana, por su proximidad a la falla de subducción, es la zona donde se producen los más fuertes sismos, podemos recordar hace poco tiempo, el sismo de Bahía

de Caráquez donde se desplomó un edificio en la ciudad de Bahía, provincia de Manabí, siendo este sismo de magnitud 7.1 y localizado a una distancia 300 Km de Guayaquil.

Además debemos recordar que el sismo más fuerte que se ha registrado en el mundo se lo localizó en las costas de Esmeraldas y fue de magnitud 8.9 en la escala de Richter, se produjo en el año de 1906 y estuvo a una distancia de 500 Km de Guayaquil aproximadamente.

Estos tres ejemplos y cientos eventos sísmicos importantes producidos en la cercanías indican que esta zona es sísmicamente muy activa y que deben tomarse las precauciones del caso.

A pesar de que los epicentros han estado hasta ahora, a unos 200 Km de distancia, no se puede eliminar la posibilidad de que el próximo sismo se produzca en la zona de subducción frente a las costas del Golfo de Guayaquil.

Esto se convertiría en un evento de impredecibles consecuencias, debido a que en Guayaquil existe actualmente más de 2'500.000 de habitantes, entre permanentes y temporales.

Este trabajo pone en consideración la necesidad de tomar medidas de prevención, propone la necesidad de crear entidades de control sísmico y busca dar el primer paso hacia la generación de normas sísmicas.

TABLA I
UBICACIÓN DE ACELEROGRAFOS EN GUAYAQUIL Y MANTA

	ESTACION	UBICACIÓN GENERAL
1	UNIVERSIDAD CATOLICA	Oeste de la Ciudad
2	AVENIDA DEL EJERCITO	Centro de la Ciudad
3	COLEGIO DE INGENIEROS	Norte de la Ciudad
4	TORRES DE LA MERCED	Centro de la Ciudad
5	BARRIO DEL CENTENARIO	Sur de la Ciudad
6	CIUDAD DE MANTA	N.N.

3.2.4 UBICACIONES

La tabla I contiene las ubicaciones de los acelerógrafos utilizados para medir los registros, que han sido la base de este trabajo.

3.2.5 REGISTROS

Los acelerogramas utilizados en este trabajo son una recopilación de las muestras tomadas por los acelerógrafos nombrados en la tabla I.

Estos registros corresponden a diferentes sitios y diferentes tiempos. Los registros cubren la zona norte, sur y centro de la ciudad de Guayaquil, la longitud de los registros es de 15 hasta 35 seg (apéndice F.1).

Todas las ondas analizadas tiene registrados tres canales: canal norte – sur ; canal este – oeste y canal vertical, se han analizado solo los dos canales horizontales.

3.2.6 CORRECIÓN DE LÍNEA BASE

Todos los registros han sido corregidos de su línea base, esta corrección es necesaria para eliminar los errores de calibración de los acelerógrafos, logrando que el punto central de los datos medidos, sea el cero.

Los registros fueron corregidos por medio del programa TRAPI, el cual, es el programa que maneja la red de acelerógrafos de la Universidad Católica de Guayaquil.

3.2.7 ACELERACIÓN ESPERADA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Para el cálculo de la aceleración esperada en Guayaquil se hizo algunas corridas del programa SISPAC. Este programa utiliza la siguiente ley de atenuación (7):

$$\ln \delta'' = 0.63 * m + 6.1 - 1.31 * \ln (r + 25) \quad (3.1)$$

Donde :

δ'' = aceleración esperada en suelo duro
 m = magnitud en la escala Richter
 r = distancia epicentral

La ley de atenuación permite calcular la aceleración esperada en un sitio, conociendo la distancia a la falla y la magnitud en escala Richter del sismo.

Por medio de este programa se ha determinado que la aceleración esperada para roca en Guayaquil es del 7%g (Ver Apéndice D), por ello, los registros estudiados se han normalizado al 7%.

Este trabajo es un primer paso hacia la generación de normas sísmicas para Guayaquil, por lo que se deja a criterio del lector y de los autores la posibilidad de extenderlo para otras aceleraciones, especialmente para suelos intermedios y suaves, donde existen procesos de amplificación de señal que elevan las aceleraciones esperadas.

3.2.8 NORMALIZACION

Todos los registros han sido normalizados al 7%g, pues es la aceleración máxima esperada en la zona de Guayaquil (Ver apéndice F.3).

3.2.9 PROGRAMA DEGTRA 95

Los registros son ingresados en un programa auxiliar, el cual, vamos a utilizar para la generación de espectros elásticos y espectros de Fourier. Este programa es muy conocido y utilizado en México, tiene gráficos bastante avanzados. Por no

ser el objetivo de este trabajo y por ser un programa muy reconocido en México, se ha obviado cualquier tipo de demostración.

3.2.10 ESPECTROS DE FOURIER.

El espectro de Fourier es utilizado para ubicar los contenidos de frecuencia principales en un onda (Ver Cap. 1.5.3), pero para tener validez deben sacarse los espectros de fourier de un conjunto de registros, en este caso, se ha trabajado con pocos registros. Además, se espera un pico en el contenido de frecuencia natural del suelo, pero como ya se indicó en algunos espectros aparecen varios picos, los que se producen por interferencia de estructuras cercanas y la vibración misma onda (Ver apéndice F.2).

Por estas razones se ha tomado como referencia el plano de periodos de suelo de la ciudad de Guayaquil que se encuentra en el apéndice A (5).

Ubicando los acelerógrafos en el mapa se ha podido identificar los periodos naturales de suelo para cada sitio y lo hemos corroborado con los resultados de las gráficas de Fourier.

Por medio de este prodedimiento se han determinado los siguientes periodos para los diferentes ubicación:

TABLA II

PERIODOS NATURALES DE SUELO PARA CADA UBICACIÓN

UBICACIÓN	PERIODO NATURAL (seg)
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DEL GUAYAS	0.16
UNIVESIDAD CATOLICA DE GUAYAQUIL	0.25
AV. DEL EJERCITO	0.4
CIUDAD DE MANTA	0.4
BARRIO DEL CENTENARIO	0.8
TORRES DE LA MERCED	1.7

3.2.11 ESPECTROS ELASTICOS

El cálculo de los espectros elásticos no fue un objetivo inicial de este trabajo. Dentro del análisis se advirtió que no existían espectros elásticos diseñados para la ciudad de Guayaquil por lo que se debió extender el trabajo hasta identificar espectros elásticos (Ver apéndice F.4), luego estos espectros se suavizan y basándose en ellos se designan los factores de reducción.

3.2.12 ESPECTROS INELASTICOS

Los espectros inelásticos se han calculado por medio del programa mencionado, para cada canal y localización.

Se ha creado archivos de ingreso analizando sistemas con períodos desde 0.01 hasta 3.0 seg con paso de 0.1 seg y valores de " η " (Ec. 1.38 y 1.40) desde 0.1 hasta 1 con paso de 0.1.

Se tuvo que generar aproximadamente 80 archivos de ingreso para cubrir todas las ubicaciones y los rangos deseados. No se pudieron incluir todas las posibilidades en pocos archivos pues, el programa utiliza como base el sistema DOS y está escrito en lenguaje Fortran, por ello, se crea un error, en la

corrida, por falta de memoria cuando el archivo de entrada es muy grande.

Los resultados de las corridas se recopilaron en gráficas de Factor de ductilidad de desplazamiento “ μ ” versus período, estas curvas se las gráfica para diferentes valores de “ η ” (Ver apéndice F.5).

3.2.13 COEFICIENTE SISMICO

Los valores “ η ” y su relación con el coeficiente sísmico fue explicado en el capítulo 1.6 en la ecuación 1.40.

Conociendo que la máxima aceleración de la tierra es 0.07g, se calcula el coeficiente sísmico multiplicando los valores “ η ” por 0.07.

$$\eta = \frac{C_y}{\delta''g_{\max} / g} \quad (3.2)$$

$$C_y = \eta * \delta''g_{\max} / g$$

$$\delta''g_{\max} / g = 0.07 \quad (3.3)$$

$$C_y = \eta * 0.07 \quad (3.4)$$

Esto se debe a que se trazan dos líneas rectas en las gráficas de los espectros inelásticos (apéndice F.5), una en $\mu = 4$ y la otra en $\mu = 6$, se lee el valor “ η ” y el periodo en los puntos de intersección de estas rectas con las curvas de espectros inelásticos, luego se multiplica los valores “ η ” por 0.07. Estos datos de coeficiente sísmico y períodos son graficados. Se han utilizado valores de “ μ ” iguales a 4 o 6 debido a ser los recomendados para ductilidades manejables que producen importantes ahorros en secciones manteniendo niveles de ductilidad asimilables por cualquier material (por Bertero y otros autores (8)).

3.2.14 AMORTIGUADOR

El amortiguador utilizado es de 5%. Se propone la realización posterior de este análisis para varios valores de amortiguación.

3.2.15 COMPARACION DE ESPECTRO ELASTICO CON ESPECTROS INELASTICOS CON $\mu = 4$ y $\mu = 6$.

Se grafican los espectros elásticos en la misma curva con los espectros de coeficiente sísmicos calculados con el programa propuesto, la compatibilidad entre ambos está demostrada en

el apéndice E, al haber normalizado la masa, se puede observar que ambas escalas son correspondientes.

3.2.16 FACTORES DE REDUCCION

A partir de las gráficas de comparación de espectros, se dividen los espectros elásticos para los inelásticos de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Espectro Elastico}}{\text{Espectro } \mu = 4} \qquad \frac{\text{Espectro Elastico}}{\text{Espectro } \mu = 6}$$

Como resultado de la división de estas curvas se muestran las curvas de factores de reducción (apéndice F.8) las que serán utilizadas, por medios estadísticos, para calcular los valores característicos de factores de reducción que se propondrán al final de este trabajo.

3.3 METODOLOGIA DE ANALISIS ESTADISTICO

3.3.1 INTRODUCCION

Las curvas de espectros elásticos y las de factores de reducción son tratadas estadísticamente por medio de cálculos de regresión y calculo de valores de tendencia central para

calcular los valores característicos en los diferentes rangos seleccionados.

3.3.2 SELECCIÓN DE RANGOS CRÍTICOS

El análisis estadístico se lo va a realizar por partes, seleccionando rangos para las diferentes curvas, para cada localización, estos rangos determinan áreas bajo la curva donde las características de amplificación son parecidas.

3.3.3 SUAVIZACIÓN DE ESPECTROS ELÁSTICOS

Luego de empezado este trabajo se pudo identificar la falta de espectros elásticos para la ciudad de Guayaquil. Por ello, se realizó el cálculo de estos espectros para las diferentes localizaciones, para poder diseñar una norma .

Como es conocido, el espectro tiene una forma específica, lo que no permite entrar en mayores análisis estadísticos. Por ello, se han conservado las rectas de inicio y finalización de los espectros elásticos, y en los rangos centrales se ha calculado valores de tendencia central lo que forman la zona de meseta y también se ha calculado desviaciones estándar y curvas de regresión para cada una de ellas.

Hasta este momento para cada localización se habían utilizado dos canales: norte - sur y este – oeste. Se ha seleccionado de entre los dos canales, el que tenga mayores amplificaciones. Se suavizarán solamente los canales escogidos.

También se calcularon polinómios de regresión para los canales escogidos, se han utilizado polinomios de sexto grado, los que procedemos a detallar en la tabla III.

TABLA III

COEFICIENTES DE POLINOMIOS DE REGRESION

SITIO	X^6	X^5	X^4	X^3	X^2	X	INDEP.	R^2
EJ	40.836	-142.8	189.3	-115.5	30.35	-2.28	0.12	0.9715
UC	-0.3475	2.2085	-5.331	5.981	-2.923	0.2888	0.136	0.8636
CI	-29.563	107.89	-154.98	109.75	-38.591	5.552	-0.0558	0.9176
CN	-0.3395	2.078	-4.925	5.768	-3.5147	0.9465	0.051	0.8422
MA	-0.3577	2.3	-5.7184	6.77	-3.74	.635	.1272	0.8771
TS	0.002	-0.0306	0.1694	-0.4042	0.341	0.0024	0.0989	0.866

Además se han calculado valores medios en los rangos escogidos, dentro del este intervalo central el valor de meseta será determinado por el valor de tendencia central.

TABLA IV

VALORES DE TENDENCIA CENTRAL Y DESVIACIONES ESTANDAR

SITIO	MEDIA	SIGMA
EJ	0.2	0.068
UC	0.177	0.046
CI	0.2	0.047
CN	0.11	0.034
MA	0.116	0.054
TS	0.164	0.024

3.3.4 COMPARACION DE CURVAS

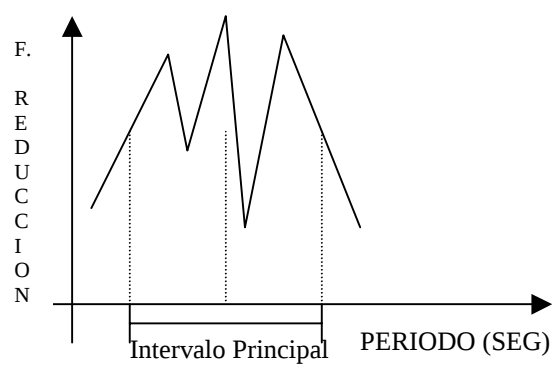
Se compara los espectros elásticos suavizados por cada localización, según sus características. En este trabajo se escogieron dos localizaciones como suelo duro que fueron: Universidad católica y Colegio de Ingenieros, suelo intermedio fueron; Av. Del Ejercito y ciudad de Manta, Suelo suave fueron: Barrio del Centenario y Torres de la Merced. Estos registros son comparados para sacar un registro suavizado de características para los diferentes tipos de suelo.

Se ha considerado el registro de la ciudad de Manta porque se está buscando ejecutar una norma para un tipo generar de suelo y este suelo de Manta se observa tiene características de período natural parecidas al registro de Av. Del Ejercito.

3.3.5 ANALISIS DE CURVAS DE FACTORES DE REDUCCION

Para las curvas de reducción se han utilizado algunos rangos característicos dentro de la misma curva. Un tipo de suelo puede tener un solo rango y hasta tres subrangos característicos especialmente los de suelo intermedio y suave, por ello, se ha buscado un método de regresión lineal por partes. Después de tener las rectas de regresión se busca la intersección de esta con el punto central del rango seleccionado esta valor será el valor característico del rango definido y se convertirá en el factor de reducción para ese rango de períodos.

Una vez conocidos los valores característicos para los diferentes rangos en las localizaciones tratadas, se selecciona de entre las ondas de cada tipo de suelo los factores de reducción más bajos, pues los menores serán los más conservadores.

FIGURA 3.1**ANALISIS ESTADISTICO DE GRAFICAS DE FACTORES DE
REDUCCION**

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.0 RESULTADOS

4.1 INTRODUCCION

Los resultados de este trabajo se circunscriben a los espectros inelásticos presentados en el apéndice F.5 y la definición de factores de reducción se encuentran en el apéndice G.2. Adicionalmente, se han desarrollado espectros elásticos suavizados para suelo suave intermedio y duro que también se encuentran en el apéndice G.1.

Los resultados obtenidos han sido recopilados en función del tipo de suelo por ello, el objetivo de esta tesis ha sido desarrollar espectros elásticos suavizados para suelo tipo duro, intermedio y suave, los espectros inelásticos que han sido una herramienta para llegar a la definición de los factores de reducción han sido determinados para cada localización y por cada canal.

4.2 TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION PARA TODAS LAS LOCALIZACIONES Y CANALES

TABLA V

TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION DEL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES (SUELO DURO)

CANAL N-S			CANAL E-O		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$	T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.3	1.8	2.0	0 - 0.22	1.74	1.9
> 0.3	1.0	1.0	> 0.22	1.0	1.0

TABLA VI

TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION DEL UNIVERSIDAD CATOLICA (SUELO DURO)

CANAL N-S			CANAL E-O		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$	T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.4	1.60	1.80	0 - 0.3	2.0	2.44
> 0.4	1.0	1.0	> 0.3	1.0	1.0

TABLA VII

**TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION PARA EL SECTOR DE LA
CALLE AV. DEL EJERCITO (SUELO INTERMEDIO)**

CANAL N-S			CANAL E-O		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$	T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.6	2.1	2.5	0 - 0.5	1.75	2.0
> 0.6	1	1	> 0.5	1.0	1.0

TABLA VIII

**TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION PARA LA CIUDAD DE MANTA
(SUELO INTERMEDIO)**

CANAL N-S			CANAL E-O		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$	T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.3	1.44	1.62	0 - 0.3	1.5	1.70
0.3 – 0.50	1.1	1.30	0.3 – 0.60	1.4	1.60
> 0.50	1.0	1.0	> 0.60	1.0	1.0

TABLA IX

**TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION DEL BARRIO DEL
CENTENARIO (SUELO SUAVE)**

CANAL N-S			CANAL E-O		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$	T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.30	1.45	1.65	0 - 0.30	1.5	1.70
0.30– 0.90	1.30	1.45	0.3 – 0.9	1.3	1.50
> 0.90	1.0	1.0	> 0.9	1.0	1.0

TABLA X

**TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION DEL SECTOR DE TORRES DE
LA MERCED (SUELO SUAVE)**

CANAL N-S			CANAL E-O		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$	T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.8	1.90	2.20	0 – 0.8	1.55	1.85
0.8 – 2	2.80	3.20	0.8 – 2.2	2.00	2.50
2 - 3	1.80	2.00	2.2 – 3	2.20	2.20

Estas tablas son analizadas buscando los intervalos y valores más representativos y conservativos para desarrollar un diseño más seguro, por ello, se escogen los valores menores de factores de reducción.

4.3 ESPECTROS ELASTICOS SUAVIZADOS

Este trabajo propone espectros elásticos para la ciudad de Guayaquil, obtenidos de espectros reales de la ciudad. Los espectros fueron calculados para cada canal y cada localización y se encuentran en el apéndice F.4, los espectros suavizados por cada localización se los encuentra en el apéndice F. 7. Pero los espectros elásticos suavizados propuestos para la ciudad de Guayaquil por cada tipo de suelo están en el apéndice G.1.

Se han definido tres espectros para suelo duro, intermedio y suave, los registros reales fueron normalizados al 7%g.

4.4 ESPECTROS INELASTICOS

Hemos desarrollado los espectros inelásticos para la ciudad de Guayaquil y una localización en ciudad de Manta.

Se han desarrollado los dos canales por separado, para cada ubicación cubriendo así, norte, sur y centro de Guayaquil.

Los espectros inelásticos se encuentran en el apéndice F.5, o se puede encontrar valores de C_y en las gráficas del apéndice F.6.

los requerimientos de ductilidad considerados como razonable han sido valores de ductilidad entre 4 y 6.

4.5 FACTORES DE REDUCCION

Las curvas de factores de reducción que fueron halladas de la relación entre los espectros elásticos y los espectros dúctiles se encuentran en el apéndice F.8, luego de un proceso estadístico de selección se han determinado tablas de factores de reducción para cada tipo de suelo y se encuentran en el apéndice G.2. Allí se encuentran los factores de reducción para suelo duro, intermedio y suave en las tablas XII – XIV. Estos factores se utilizarán con los espectros elásticos propuestos en apéndice G.1.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda la colocación de un mayor número de acelerógrafos en la ciudad de Guayaquil y su renovación. Siendo esta una ciudad periódicamente afectada por sismos de consideración, no cuenta con suficientes aparatos y estos necesitan mantenimiento. Personalmente uno de los inconvenientes que tuve al iniciar este trabajo , fue el conseguir los registros. También traté de conseguir la información del sismo más reciente e importante; el *sismo de Bahía de Caráquez*, pero no se han registrado los acelerogramas cercanos por fallas en los acelerógrafos existentes.
- 2) Proponer a la M.I. Municipalidad de Guayaquil la creación de un ente que monitore los eventos sísmicos y sus efectos en Guayaquil, ya que las probabilidades que se produzca un sismo severo es bastante alta y los daños materiales y de vidas humanas que se producirían serían catastróficos; además podría paralizar la actividad comercial de la ciudad.
- 3) La aceleración esperada en Guayaquil, para un sismo de recurrencia de 10 años según el programa SISPAC, ha sido determinada en el 7%g (Apéndice D). En esta corrida se puede observar que se puede extender este trabajo, hacia la generación de espectros y factores de reducción para años de recurrencia mayores, diferentes vidas útiles y probabilidades de ocurrencia diferentes, por ejemplo para 50 años de recurrencia se debe utilizar 12%g, para 100 años se debe usar 15%g y para 500 años se debe usar 24%g.

- 4) Los periodos de los suelos han sido determinados por medio de un plano de periodos de suelo para Guayaquil (5), desarrollado por el Ing, Ottón Lara, director de Tesis (Apéndice A) , donde se han encontrado las ubicaciones de las diferentes estaciones y determinado el espectro de suelo, este espectro de suelo ha sido corroborado por espectros de Fourier, realizados para cada canal. En algunos espectros de Fourier se presentaron varios picos, esto es atribuible a la interferencia de estructuras de la zona y a la posible interferencia de la misma onda sísmica. Los periodos de suelo se encuentra en la tabla II.
- 5) Los valores de “ η ” son la relación entre los esfuerzos que la estructura es capaz de resistir sin pasar el umbral de cedencia frente a los esfuerzos a la que está sometida (Ec. 1.40). Los valores de “ μ ” son la relación entre la máxima deformación permitida por el sistema dividida para la deformación de cedencia (Ec. 1.5).
- 6) En este trabajo hemos clasificado los registros con que contamos en tres categorías que son: Suelo duro, suelo intermedio y suelo suave. Dentro de la clasificación de suelo duro, debido a las características observadas, está Colegio de Ingenieros Civiles y Universidad Católica. Dentro de la clasificación de suelo intermedio está Av. del Ejercito, Ciudad de Manta y Barrio del Centenario y como suelo suave el registro de Torres de la Merced.
- 7) Teniendo ya las gráficas normalizadas al 7%g se calcularon espectros elásticos de donde se pudieron observar amplificaciones máximas que se encuentran en

la tabla XI donde se observa que la máxima aceleración esperada es cuatro veces la aceleración del suelo, que es 0.07g.

TABLA XI

AMPLITUDES MAXIMAS DE LOS ESPECTROS ELASTICOS

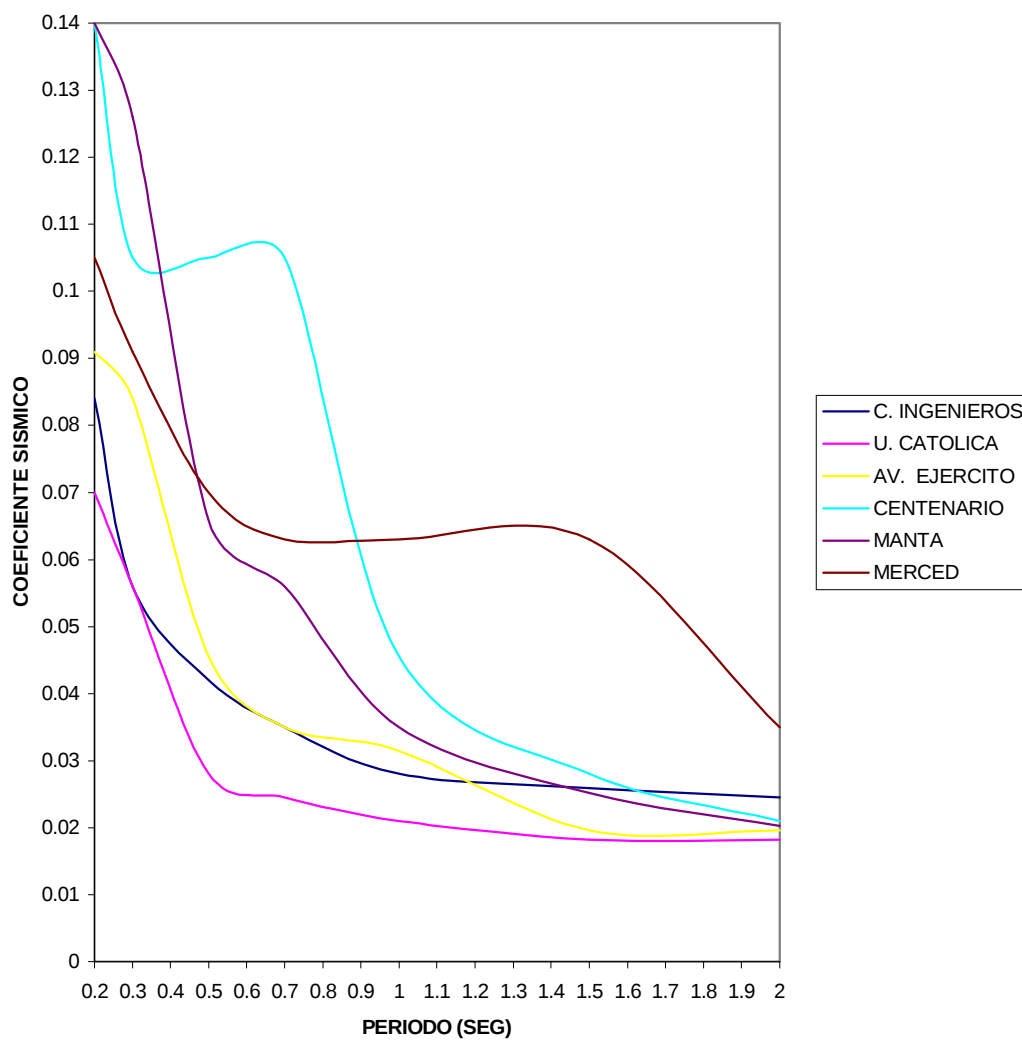
ESTACION	AMPLITUD MAXIMA DE ESPECTRO ELASTICO
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES	0.36
UNIVERSIDAD CATOLICA	0.25
AV. DEL EJERCITO	0.29
CIUDAD DE MANTA	0.27
BARRIO DEL CENTENARIO	0.29
TORRES DE LA MERCED	0.23
PROMEDIO	0.28

- 8) Como podemos observar en las gráficas de espectros inelásticos, (Apéndice F.5), cuando “ η ” tiene valores cercanos a 0.1 y 0.2 los factores de ductilidad demasiado altos debido a que en estos rangos la estructura tiene un nivel de cedencia muy inferior a los esfuerzos externos, por lo tanto, estos esfuerzos externos hacen que la estructura alcance teóricamente valores de deformación máxima demasiado altos con respecto a los valores cedencia, por ello, el factor de ductilidad de desplazamiento crece, a valores no aplicables.

- 9) Los valores de ductilidad razonable son de $\mu = 4$ y $\mu = 6$ (8) los cuales permiten tener ahorros importantes de secciones y a la vez permite tener deformaciones razonables para que el material lo pueda resistir
- 10) Como se pueden ver en las gráficas (Apéndice F.5) , (Fig. F.5.1 – F.5.10), en los espectros inelásticos de suelo duro e intermedio y en la figura 5.1, los requerimientos de ductilidad, y por ende el coeficiente sísmico, va decreciendo al aumentar el periodo, esto se debe a que al aumentar el periodo la estructura se vuelve mas flexible, al ser mas flexible quiere decir que su rigidez disminuye. Para un mismo valor de deformación máxima permisible el caso de una estructura muy flexible tiene la curva de rigidez “K” más recostada y si es más rígida la curva “K” es mas levantada. Al ser más levantada la curva “K” la relación entre la deformación máxima y la deformación de cedencia crece, por ello a menor periodo los valores de ductilidad crecen.
- 11) En el caso de suelo duro podemos observar que el coeficiente sísmico cae rápidamente y en 0.5 seg. el coeficiente se podría considerar estabilizado, en el suelo intermedio el valor de coeficiente sísmico se estabiliza aproximadamente a partir de 1 seg. Podemos observar al final del gráfico que todas las gráficas de suelo duro e intermedio se estabilizan en un valor promedio de 0.03.
- 12) En el caso de suelo suave en el apéndice F.5 en la Fig. F.5.11 – F.5.12 y Fig. 5.1 podemos observar que para estructuras de 0.5 seg. de periodo hasta 1.6 de periodo el coeficiente de diseño es igual a la aceleración máxima esperada. En

este caso se observa que el comportamiento del suelo suave es diferente a los otros dos tipos, este tipo de suelo mantiene el coeficiente sísmico casi al mismo nivel de la aceleración máxima hasta 1.6 seg.

FIGURA 5.1
COEFICIENTE SISMICO



- 13) De las gráfica de espectros inelásticos (Apéndice F.5, Fig. F.5.1 F.5.12) se puede observar que las gráficas se desplazan hacia la derecha a medida que el suelo se va haciendo más suave.
- 14) De las gráfica de espectros inelásticos (Apéndice F.5, Fig. F.5.1 F.5.12), podemos observar que para un suelo duro, se pueden alcanzar valores de ductilidad razonables para estructuras de periodo mayor a 0.3, para suelo intermedio para estructuras de periodo de 0.4 y para suelos suaves desde 0.4.
- 15) Podemos indicar con satisfacción que después de haber hecho este análisis con un grupo de mas de 5 programas los resultados de curvas inelásticos corresponden en su forma al calculado espectro elástico (Apéndice F.6.1 – F.6.12).
- 16) De las curvas de coeficiente sísmico (Fig. F.6.1 – F.6.12) que se realizaron se pudo observar que los espectros elásticos tienen mayores amplitudes que los plásticos en la zona de frecuencias naturales de sistema, esta la llamamos critica y de mayor amplificación. Una vez que se pasa este rango, entrando a la zona no critica, los dos espectros tienen aproximadamente los mismos valores.
- 17) En algunas gráficas, el espectro inelástico (Fig. F.5.1 – F.5.12) supera al elástico en la zona no crítica, esto se debe a que en estas zonas los esfuerzos externos producen respuestas elásticas muy pequeñas, mientras para el cálculo inelástico se definió un valor de deformación máxima que corresponde al máximo valor de respuesta calculado inelásticamente, por ello, el espectro inelástico va por

encima del elástico pues es calculado en base de esa deformación máxima y relacionado por medio de los valores “ η ” a sus niveles de cendencia. Este resultado indica que la estructura está sometida a esfuerzos muy pequeños como para plastificarla, por ello, no cabe el análisis inelástico realizado. Por eso los resultados de la zona no critica no se toman en cuenta en el análisis, se estima que en la zona no critica se debe diseñar elásticamente.

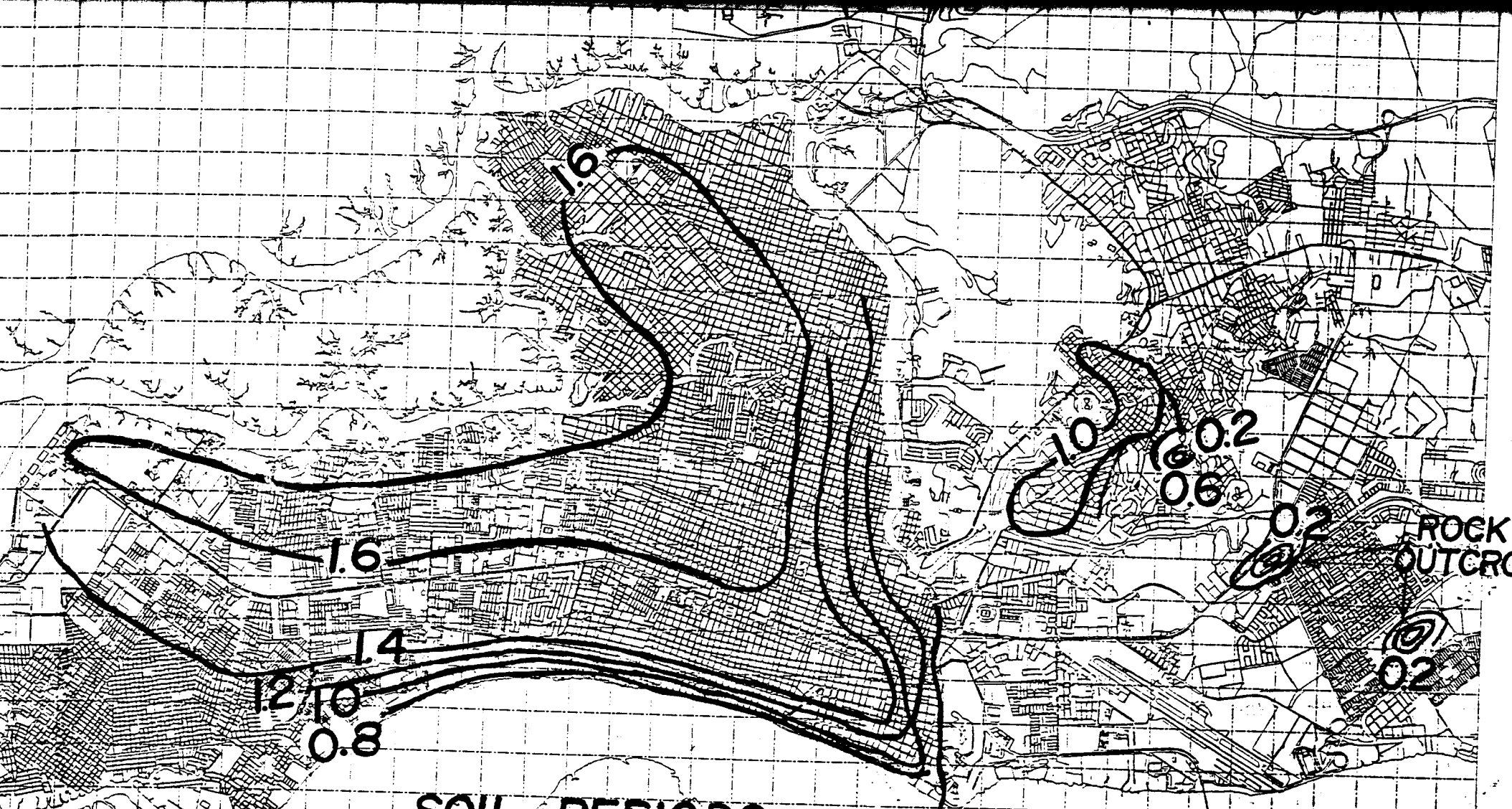
- 18) Se desarrollaron las curvas de espectros elásticos por cada canal y localización. De estas se deducen las curvas suavizadas para suelo duro, intermedio y suave (FIG. F.7.1 – F.7.3). Estas curvas son los espectros elásticos a utilizarse como norma para los diferentes tipos de suelo en Guayaquil.
- 19) Después de suavizar los espectros elásticos se comparan los que corresponden al mismo tipo de suelo para luego proponer un solo espectro para cada tipo de suelo (Apéndice G.1).
- 20) Dentro de los espectros elásticos suavizados podemos identificar los rangos principales donde se producen las mayores amplitudes dependiendo del tipo de suelo, por ejemplo para suelo duro, las amplitudes mayores se presentan hasta periodos de 0.3 seg; para suelo intermedio, las amplificaciones se producen hasta 0.5 seg. ; en suelo suave las principales frecuencias se encuentran entre 0.3 seg y 1.8 seg (Apéndice F.7).

- 21) En las curvas de factores de reducción (Apéndice F.8) se puede observar que los rangos determinados principales también se mantienen. En suelo duro se encuentra un solo rango, en suelos intermedio, el rango principal se encuentra dividido en dos rangos principales y en suelo suave, hasta tres rangos.
- 22) En las tablas XII – XIV en el apéndice G.2 se propone tablas de factores de reducción, una para cada tipo de suelo, aplicables a los espectros elásticos propuestos.
- 23) De todos los sitios analizados con sus canales fueron seleccionados los que dieron menores factores de reducción por ser esta una forma conservativa de diseño.

APÉNDICES

APÉNDICE A

MAPA DE PERIODOS DE SUELO DE GUAYAQUIL



SOIL PERIODS
FOR THE CITY OF GUAYAQUIL

FIG. 6

APÉNDICE B

ARCHIVO DE ENTRADA AL
PROGRAMA NONSPEC

APENDICE B

ARCHIVO DE ENTRADA PARA EL PROGRAMA NONSPEC

- Ejercicio de Prueba del Programa NONSPEC, con un pulso.
- 1.0 0. 0.01 1. 0.
- 1 -1 1 1 0 4 0 0 -1 1
- 0.
- 0.8
- 0.2
- 21 0 0.025 9.8 (3F9.6)
- .000000 .333333 .333333
- .333333 .333333 .333333
- .333333 .333333 .333333
- .333333 .333333 .333333
- .333333 .333333 .333333
- .333333 .333333 .333333

APÉNDICE C

ARCHIVO DE SALIDA

DEL PROGRAMA

NONSPEC

APENDICE C

ARCHIVO DE SALIDA DE PROGRAMA NONSPEC

RESULTADOS DE LA CORRIDA DEL NONSPEC

.....

DYNAMIC RESPONSE OF SINGLE DEGREE OF FREEDOM SYSTEMS:

Ejercicio de Prueba del Programa NONSPEC, con un pulso.

SYSTEM DESCRIPTION:

Mass	= .100000E+01	Stiffness.....= .616850E+02
Strain Hardening Ratio ...	= .000000E+00	Yield Displacement= .105914E-01
*Yield Shear	= .653333E+00	Natural Frequency= .785398E+01
*Period	= .800000E+00	Damping Ratio.....= .000000E+00
HYSTERESIS MODEL= Bilinear		

SOLUTION SPECIFICATIONS:

Analysis Time Step	= .100000E-02	Output Time Step	= .100000E-01
Converging Tolerance ...=	.100000E-01		
** Required Size of Blank COMMON = 478 ***			

LOADING HISTORY:

Load Factor * (-1)	= -.980000E+01	Loading Duration	= .500000E+00
Maximum Value	= .333333E+00	Minimum Value	= .000000E+00

Ejercicio de Prueba del Programa NONSPEC, con un pulso.

RESPONSE TIME HISTORY

Time	Displacement	Velocity	Acceleration	Resistance
.00000	.0000	.0000	.0000	.0000
.01000	.0000	-.0065	-1.3053	-.0013
.02000	-.0002	-.0261	-2.6026	-.0107
.03000	-.0006	-.0569	-3.2307	-.0360
.04000	-.0013	-.0890	-3.1856	-.0810
.05000	-.0024	-.1205	-3.1210	-.1457
.06000	-.0037	-.1513	-3.0371	-.2296
.07000	-.0054	-.1812	-2.9345	-.3322
.08000	-.0073	-.2100	-2.8137	-.4529
.09000	-.0096	-.2374	-2.6757	-.5910
.10000	-.0121	-.2637	-2.6133	-.6533
.11000	-.0149	-.2898	-2.6133	-.6533
.12000	-.0179	-.3160	-2.6133	-.6533
.13000	-.0212	-.3421	-2.6133	-.6533
.14000	-.0247	-.3682	-2.6133	-.6533
.15000	-.0285	-.3944	-2.6133	-.6533
.16000	-.0326	-.4205	-2.6133	-.6533
.17000	-.0369	-.4466	-2.6133	-.6533
.18000	-.0415	-.4728	-2.6133	-.6533
.19000	-.0464	-.4989	-2.6133	-.6533
.20000	-.0515	-.5250	-2.6133	-.6533
.21000	-.0569	-.5512	-2.6133	-.6533

.22000	-.0625	-.5773	-2.6133	-.6533
.23000	-.0685	-.6034	-2.6133	-.6533
.24000	-.0746	-.6296	-2.6133	-.6533
.25000	-.0810	-.6557	-2.6133	-.6533
.26000	-.0877	-.6818	-2.6133	-.6533
.27000	-.0947	-.7080	-2.6133	-.6533
.28000	-.1019	-.7341	-2.6133	-.6533
.29000	-.1094	-.7602	-2.6133	-.6533
.30000	-.1171	-.7864	-2.6133	-.6533
.31000	-.1251	-.8125	-2.6133	-.6533
.32000	-.1333	-.8386	-2.6133	-.6533
.33000	-.1419	-.8648	-2.6133	-.6533
.34000	-.1506	-.8909	-2.6133	-.6533
.35000	-.1597	-.9170	-2.6133	-.6533
.36000	-.1690	-.9432	-2.6133	-.6533
.37000	-.1785	-.9693	-2.6133	-.6533
.38000	-.1884	-.9954	-2.6133	-.6533
.39000	-.1985	-1.0216	-2.6133	-.6533
.40000	-.2088	-1.0477	-2.6133	-.6533
.41000	-.2194	-1.0738	-2.6133	-.6533
.42000	-.2303	-1.1000	-2.6133	-.6533
.43000	-.2414	-1.1261	-2.6133	-.6533
.44000	-.2528	-1.1522	-2.6133	-.6533
.45000	-.2644	-1.1784	-2.6133	-.6533
.46000	-.2764	-1.2045	-2.6133	-.6533
.47000	-.2885	-1.2306	-2.6133	-.6533
.48000	-.3010	-1.2551	-1.9600	-.6533
.49000	-.3136	-1.2682	-.6533	-.6533

Maximum	.0000E+00	.0000E+00	.6533E+00	.0000E+00
Time	.0000	.0000	.5000	.0000

Minimum	-.3263E+00	-.1270E+01	-.3246E+01	-.6539E+00
Time	.5000	.4950	.0250	.0942

Ejercicio de Prueba del Programa NONSPEC, con un pulso.

SYSTEM COEFFICIENT: (Yield Shear) / (Mass * Max. Accel.) = .2000

DUCTILITY ENVELOPES:

 Max. Pos. Ductility Ratio = .0000 Max. Neg. Ductility Ratio = -30.8073
 Cyclic Ductility Ratio = 30.8073 Accumulative Ductility Ratio = 30.8064
 Normalized Hysteretic Energy = 30.8064

RESPONSE ENVELOPES:

 No. of Positive Yield Excursions = 0 No. of Negative Yield Excursions = 1
 No. of Yield Reversals = 0 No. of Zero Crossings = 0
 Residual Displacement = -.3157E+00

ABSOLUTE RESPONSE ENVELOPES:

	Maximum	Time	Minimum	Time
Acceleration	= .6539E+00	.0942	.0000E+00	.0000
Velocity	= .2835E+00	.5000	.0000E+00	.0000
Displacement	= .6162E-01	.5000	.0000E+00	.0000

 ***** End of case *****

APÉNDICE D

ARCHIVO DE SALIDA
DEL PROGRAMA SISPACK

APENDICE D

CORRIDA DEL PROGRAMA SISPACK

```
*****
* PROGRAMA PARA EL CALCULO DE MAGNITUDES, *
* ACELERACIONES, VELOCIDADES Y DESPLAZAMIE- *
* TOS. *
* DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDADES PARA VALO *
* RES EXTREMOS DE GUMBEL TIPOS I Y II *
* PROGRAMACION: A. VILLACRES FEB/91 *
*****
```

Entrada de datos :

SISMOS DESDE :

Area FUENTE # : 1

Numero total de datos

todas las fuentes : 148

Coord. Y: 2.00 Coord. X: 80.00

Sitio : CIUDAD DE GUAYAQUIL

MAXIMAS ACELERACIONES ANUALES

EVENTO	MAG.	PROF.	D-EPI.	D-HIP.	(A)	(MES)	(AN)
1.	6.2	0.0	17876.5	17876.5	0.073	10.	1933.
2.	6.4	0.0	17762.2	17762.2	0.084	9.	1937.
3.	7.0	25.0	17929.1	17929.1	0.122	5.	1942.
4.	6.2	0.0	17928.6	17928.6	0.073	7.	1943.
5.	6.2	0.0	17816.3	17816.3	0.073	10.	1944.
6.	6.5	0.0	17817.7	17817.7	0.089	1.	1956.
7.	5.7	0.0	17876.5	17876.5	0.053	8.	1957.
8.	6.7	60.0	17686.9	17687.0	0.102	1.	1958.
9.	6.3	0.0	17818.6	17818.6	0.078	2.	1959.
10.	6.2	0.0	17816.3	17816.3	0.073	4.	1960.
11.	6.2	56.0	17806.4	17806.5	0.074	10.	1961.
12.	6.2	74.0	17774.0	17774.2	0.074	5.	1962.
13.	4.6	90.0	17853.3	17853.5	0.026	5.	1963.
14.	5.7	34.0	17795.0	17795.0	0.053	5.	1964.
15.	4.6	21.0	17931.6	17931.6	0.026	1.	1965.
16.	4.4	98.0	17831.0	17831.3	0.023	12.	1966.
17.	4.6	40.0	17872.0	17872.0	0.026	11.	1967.

18.	4.3	59.0	17798.7	17798.8	0.022	4.	1968.
19.	4.3	61.0	17807.5	17807.6	0.022	5.	1969.
20.	5.3	34.0	17852.7	17852.7	0.041	12.	1970.
21.	4.6	62.0	17842.6	17842.7	0.026	1.	1971.
22.	4.8	36.0	17797.1	17797.1	0.030	1.	1972.
23.	4.9	27.0	17767.3	17767.3	0.032	1.	1973.
24.	5.2	53.0	17762.0	17762.1	0.039	3.	1974.
25.	5.0	47.0	17847.4	17847.4	0.034	11.	1975.
26.	6.0	19.0	17719.4	17719.4	0.065	4.	1976.
27.	5.1	10.0	17890.2	17890.2	0.036	5.	1977.
28.	4.7	33.0	17872.0	17872.0	0.028	9.	1978.
29.	5.6	12.0	17771.8	17771.8	0.050	3.	1979.
30.	4.1	33.0	17742.7	17742.8	0.019	3.	1980.
31.	5.8	36.0	17875.2	17875.2	0.057	5.	1981.
32.	6.2	39.0	17737.5	17737.5	0.074	11.	1983.
33.	4.7	107.0	17808.1	17808.4	0.028	2.	1984.
34.	5.0	55.0	17863.2	17863.3	0.034	12.	1985.
35.	4.9	50.0	17754.0	17754.1	0.032	1.	1986.
36.	4.0	33.0	17862.8	17862.8	0.018	4.	1987.

MAXIMAS MAGNITUDES ANUALES

(AN)	MAGNITUD
1933	6.2
1937	6.4
1942	7.0
1943	6.2
1944	6.2
1956	6.5
1957	5.7
1958	6.7
1959	6.3
1960	6.2
1961	6.2
1962	6.2
1963	4.6
1964	5.7
1965	4.6
1966	4.4
1967	4.6
1968	4.3
1969	4.3
1970	5.3
1971	4.6
1972	4.8
1973	4.9
1974	5.2
1975	5.0
1976	6.0
1977	5.1
1978	4.7
1979	5.6

1980	4.1
1981	5.8
1983	6.2
1984	4.7
1985	5.0
1986	4.9
1987	4.0

Promedios calculados para A, V y D
A-BARRA V-BARRA D-BARRA
0.05 1.07 0.01

promedio de los cuadrados calculados para A, V y D
U2(A) U2(V) U2(D)
0.00 1.68 0.00

Desviaciones tipicas y varianzas calculadas para A, V y D
SG(A) SG*SG(A) SG(V) SG*SG(V) SG(D) SG*SG(D)
0.03 0.00 0.73 0.53 0.00 0.00

APLICACION DE MODELO TIPO GUMBEL I PARA MAGNITUDES

Mbarra = 5.3944
Sigma = 0.8236
Varianza= 0.6783
Moda U = 5.0238
Beta = 1.5566

PERIODO	MAGNITUD
1.11	4.49
1.25	4.72
1.43	4.91
1.66	5.08
2.00	5.26
2.50	5.46
3.33	5.69
5.00	5.99
10.00	6.47
25.00	7.08
50.00	7.53
100.00	7.98
200.00	8.43
500.00	9.02

APLICACION DE MODELO TIPO GUMBEL II PARA A, V Y D

Coeficientes V para parametros sismicos:
V(A) V(V) V(D)
0.523 0.680 0.723

Coeficientes K calculados

K(A)	K(V)	K(D)
3.455	3.049	2.945

Modas calculadas

U(A)	U(V)	U(D)
0.039	0.798	0.004

PERIODO	ACELERACION	VELOCIDAD	DESPLAZAMIENTO
1.11	0.031	0.607	0.003
1.25	0.034	0.683	0.003
1.43	0.037	0.752	0.004
1.66	0.040	0.820	0.004
2.00	0.044	0.900	0.004
2.50	0.048	0.995	0.005
3.33	0.053	1.119	0.005
5.00	0.061	1.306	0.006
10.00	0.075	1.670	0.008
25.00	0.099	2.279	0.011
50.00	0.122	2.871	0.014
100.00	0.149	3.610	0.018
200.00	0.182	4.535	0.023
500.00	0.238	6.128	0.031

APÉNDICE E

DEMOSTRACIÓN DE COMPATIBILIDAD
ENTRE ESPECTROS ELÁSTICOS E
INELÁSTICOS

APENDICE E

COMPATIBILIDAD DE LOS ESPECTROS ELASTICOS Y EL COEFICIENTE SISMICO CALCULADO POR ANALISIS INELASTICO.

Según la segunda ley de Newton sabemos que la fuerza es igual a:

$$F = M * A \quad (E.1)$$

El coeficiente sísmico se relaciona con las fuerzas horizontales aplicadas de la siguiente forma:

$$F = C_y * W = C_y * M * g \quad (E.2)$$

Todos los análisis han sido normalizados, la masa es unitaria.

$$M = 1$$

Las dos fórmulas E1 y E2 se las iguala y aplicando la normalización:

$$F = F_H$$

$$F = A = C_y * g \quad (E.3)$$

Por lo tanto, podemos inferir que:

En las gráficas de espectros elásticos normalizados al 7%g (apéndice F.4) la aceleración está graficada en función de “ g “ o gravedad, por lo que podemos decir que es compatible esta escala con el coeficiente sísmico.

APÉNDICE F

GRÁFICAS

APÉNDICE F.1

ACELEROGRAMAS

ORIGINALES

FIGURA F.1.1
REGISTRO ORIGINAL - COLEGIO DE INGENIEROS (N-S)

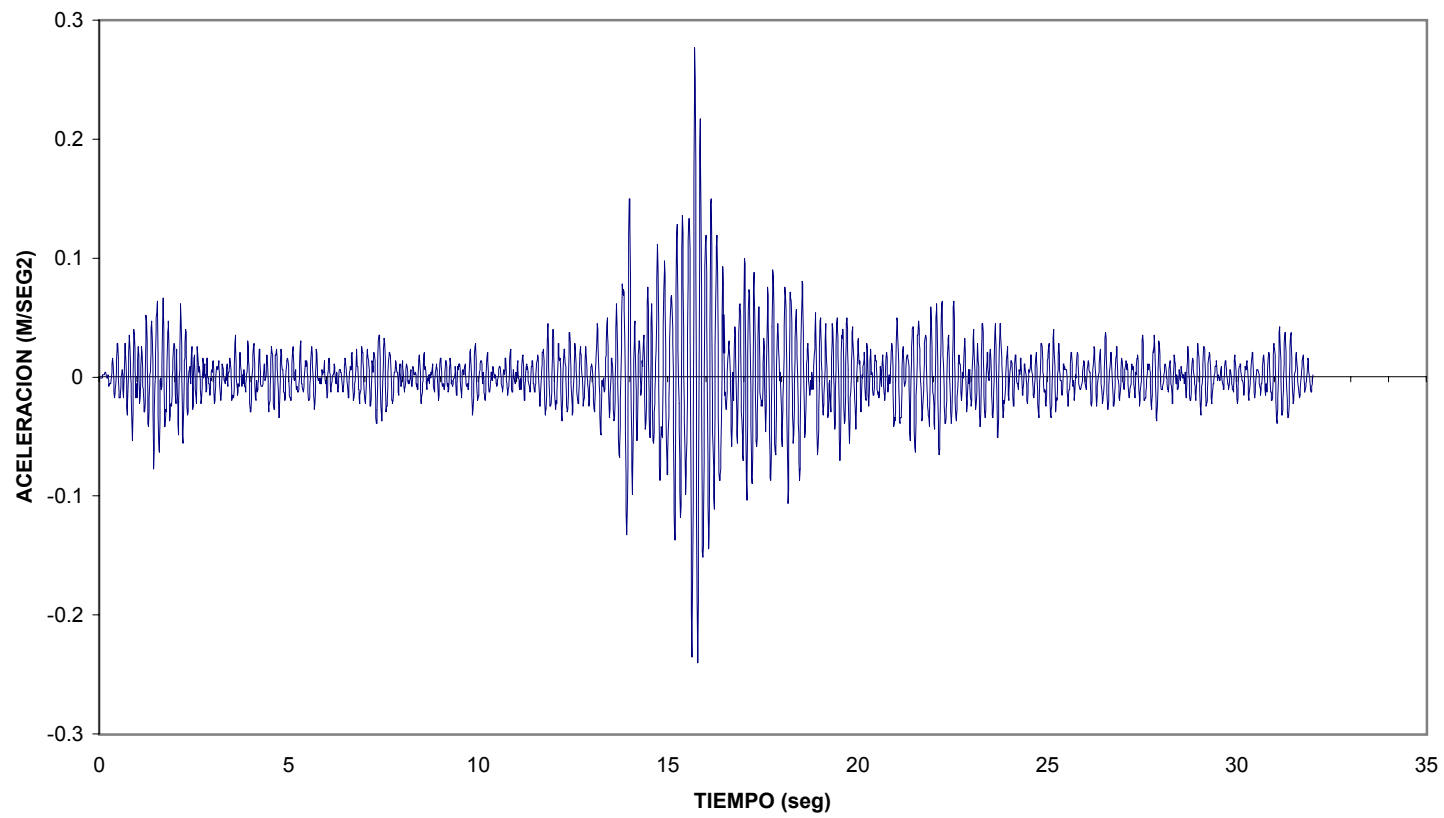


FIGURA F.1.2
REGISTRO ORIGINAL - COLEGIO DE INGENIEROS (E-O)

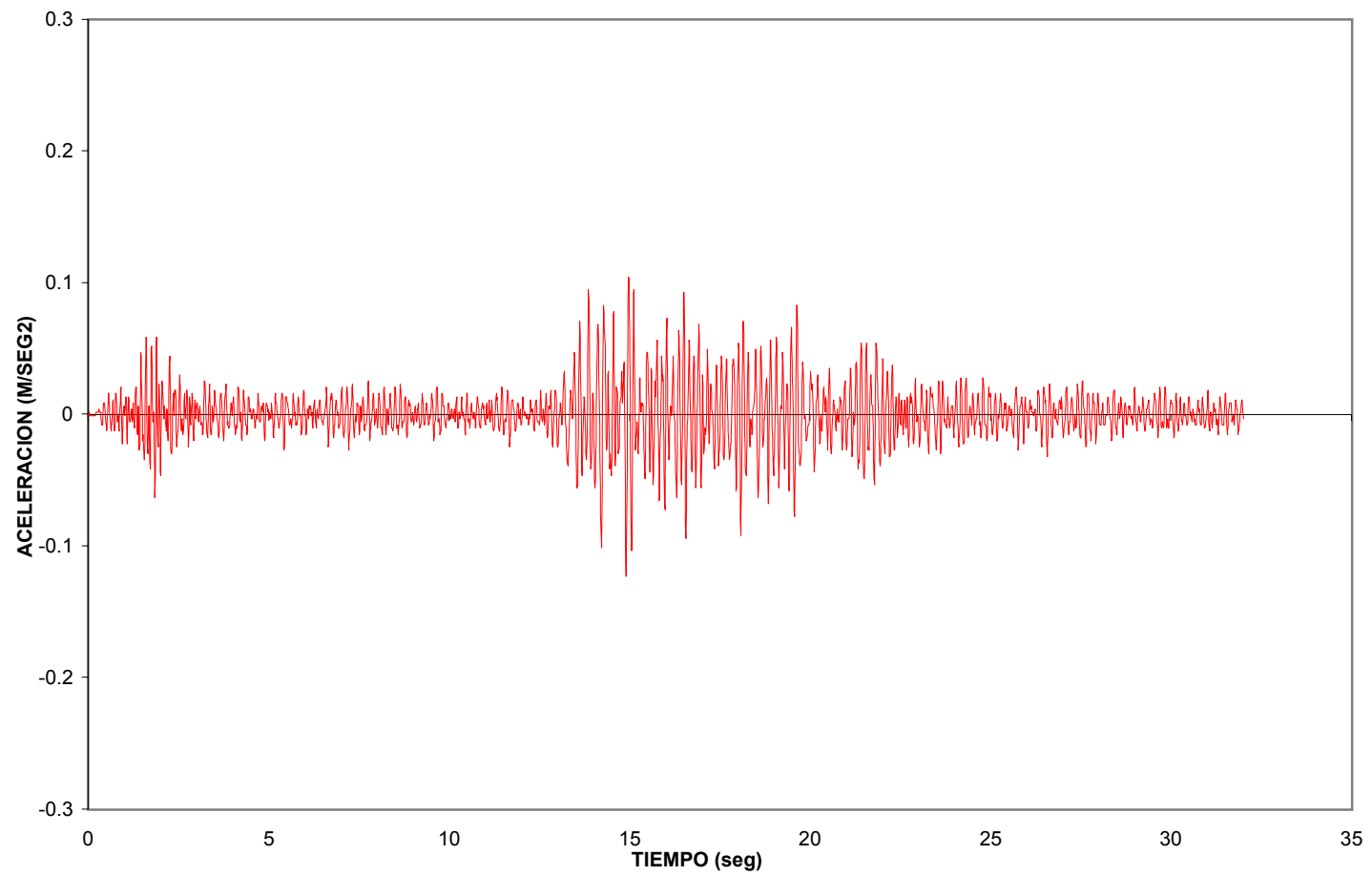


FIGURA F.1.3
REGISTRO ORIGINAL - U. CATOLICA (N-S)

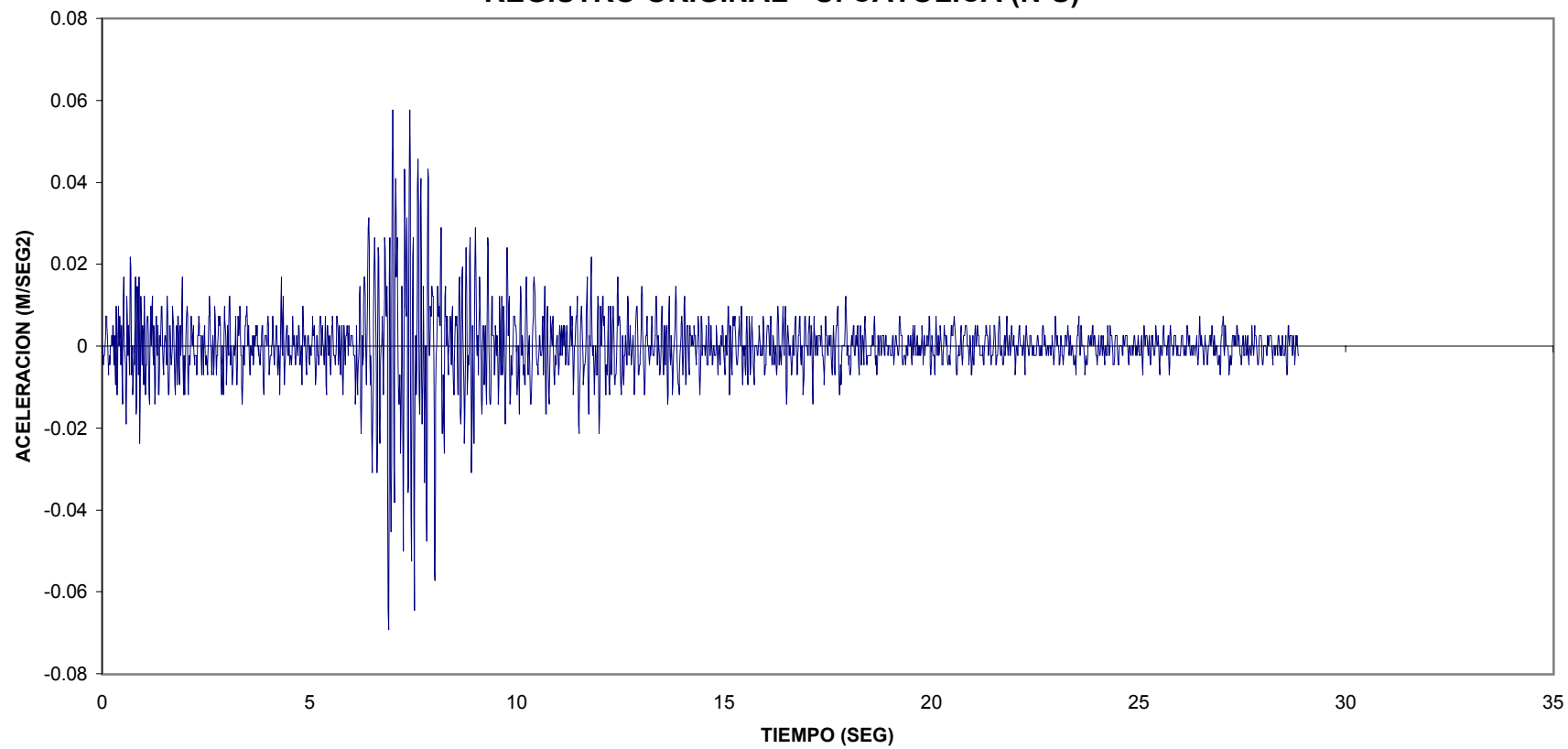


FIGURA F.1.4
REGISTRO ORIGINAL - U. CATOLICA (E-O)

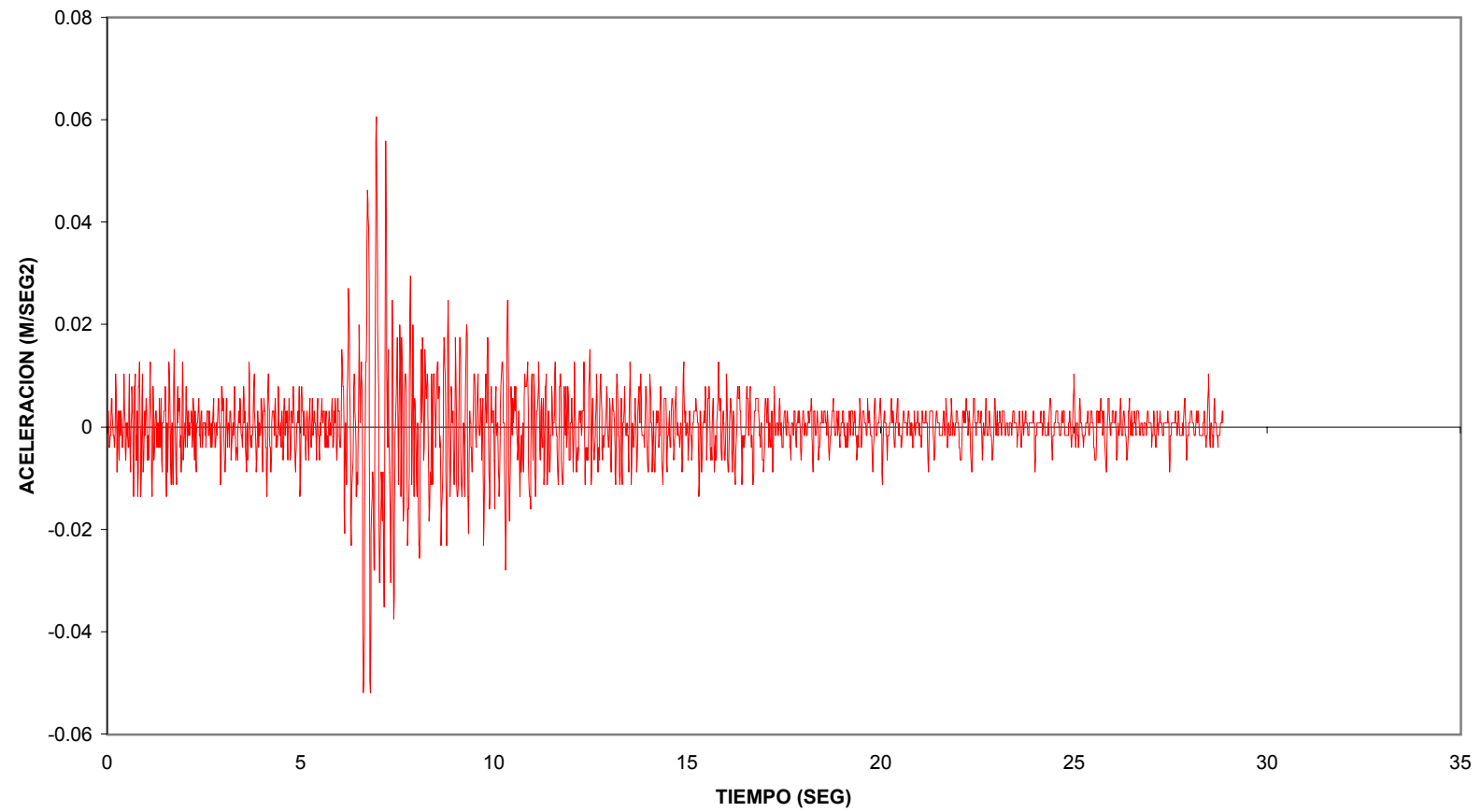


FIGURA F.1.5
REGISTRO ORIGINAL - AV. DEL EJERCITO (N - S)

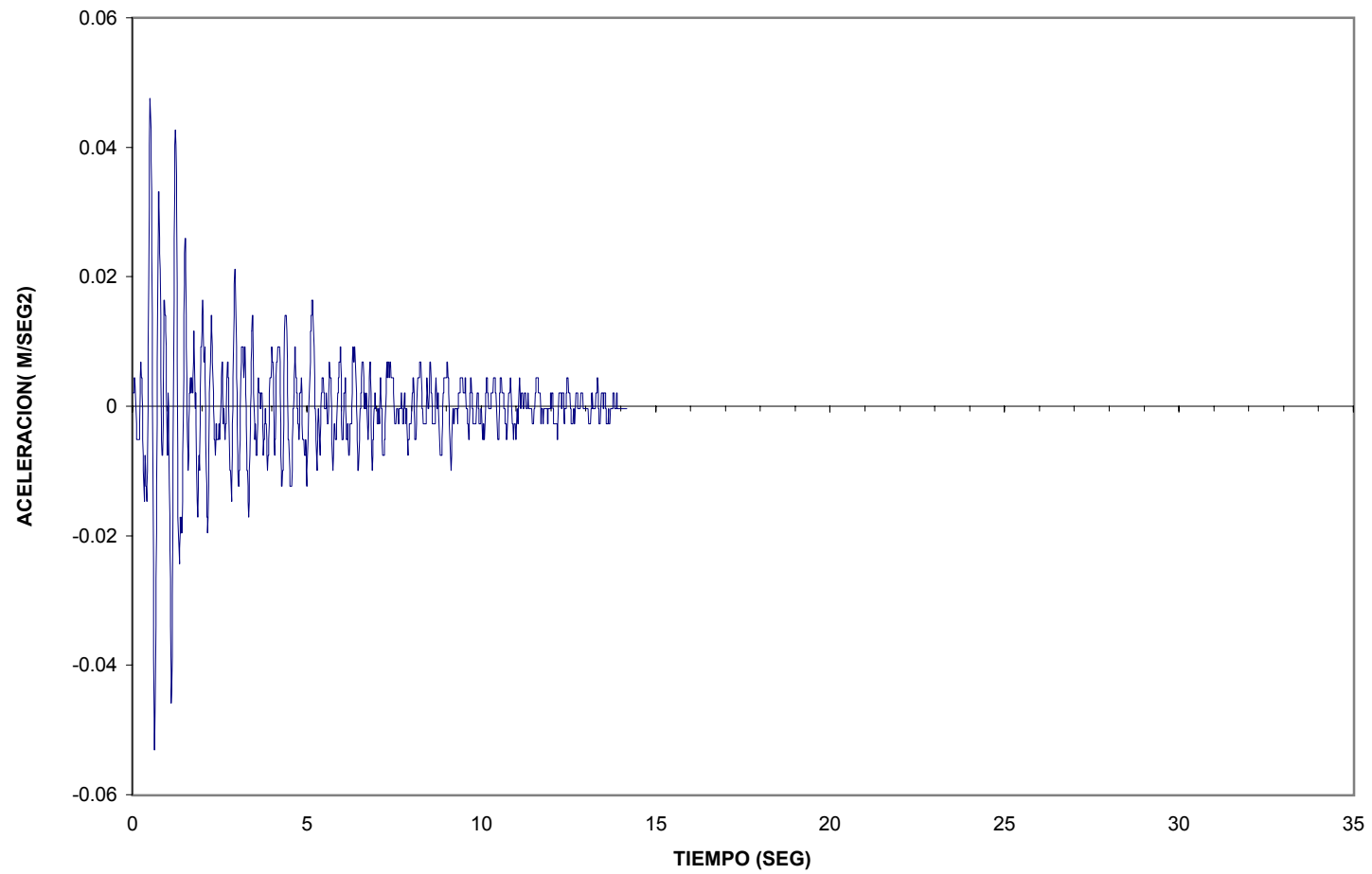


FIGURA F.1.6
REGISTRO ORIGINAL - AV. DEL EJERCITO (E - O)

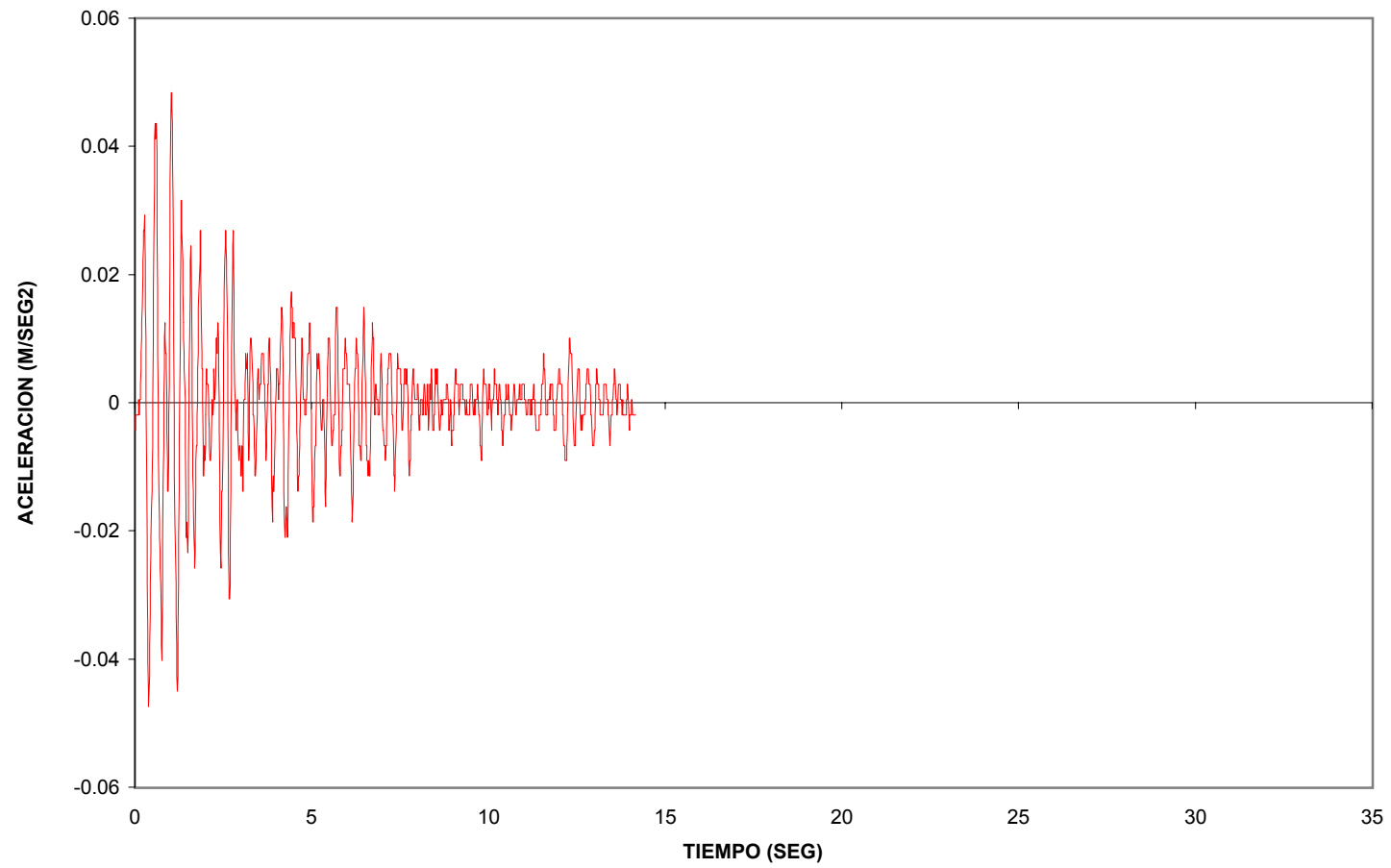


FIGURA F.1.7
REGISTRO ORIGINAL - CIUDAD DE MANTA (N - S)

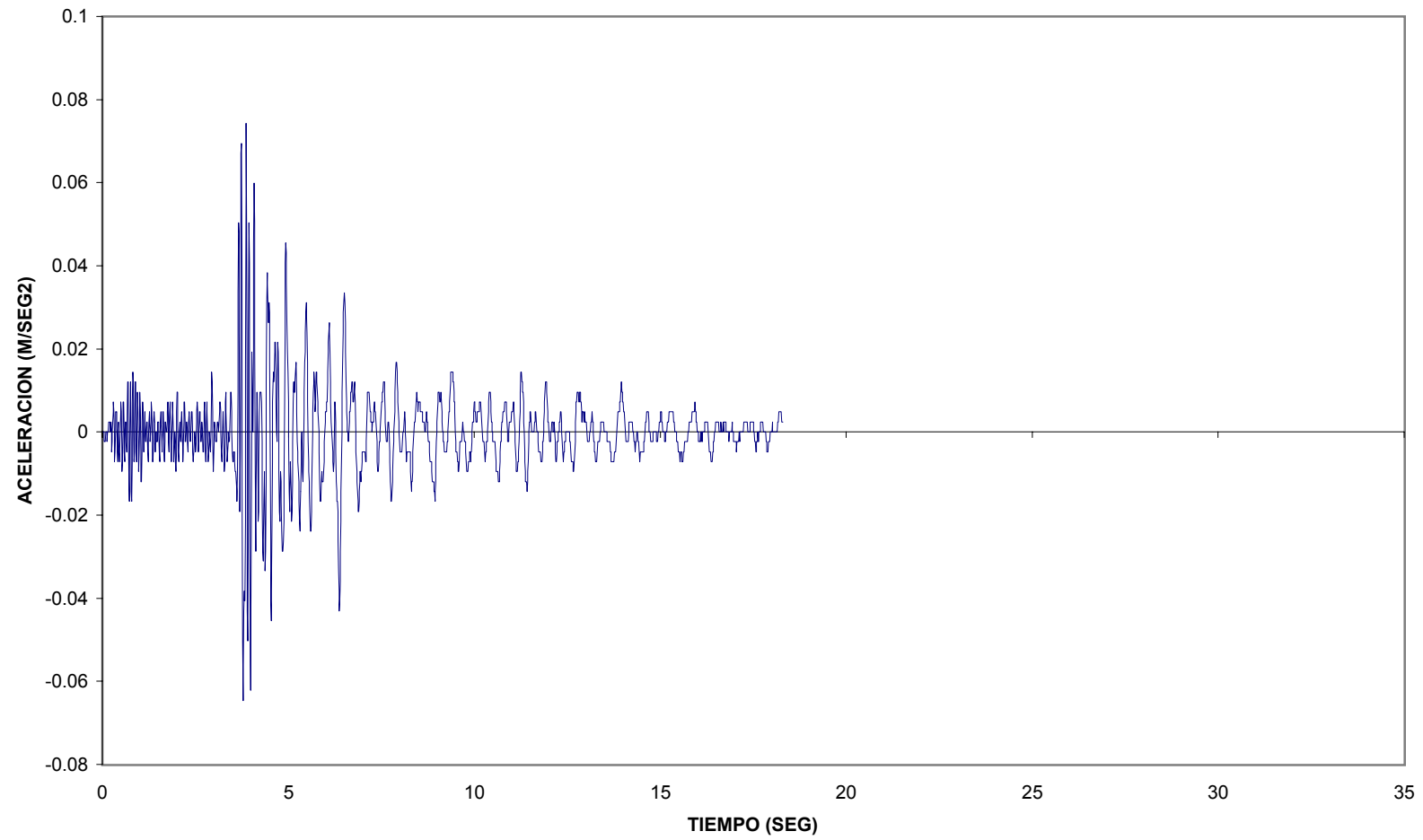


FIGURA F.1.8
REGISTRO ORIGINAL - CIUDAD DE MANTA (E - O)

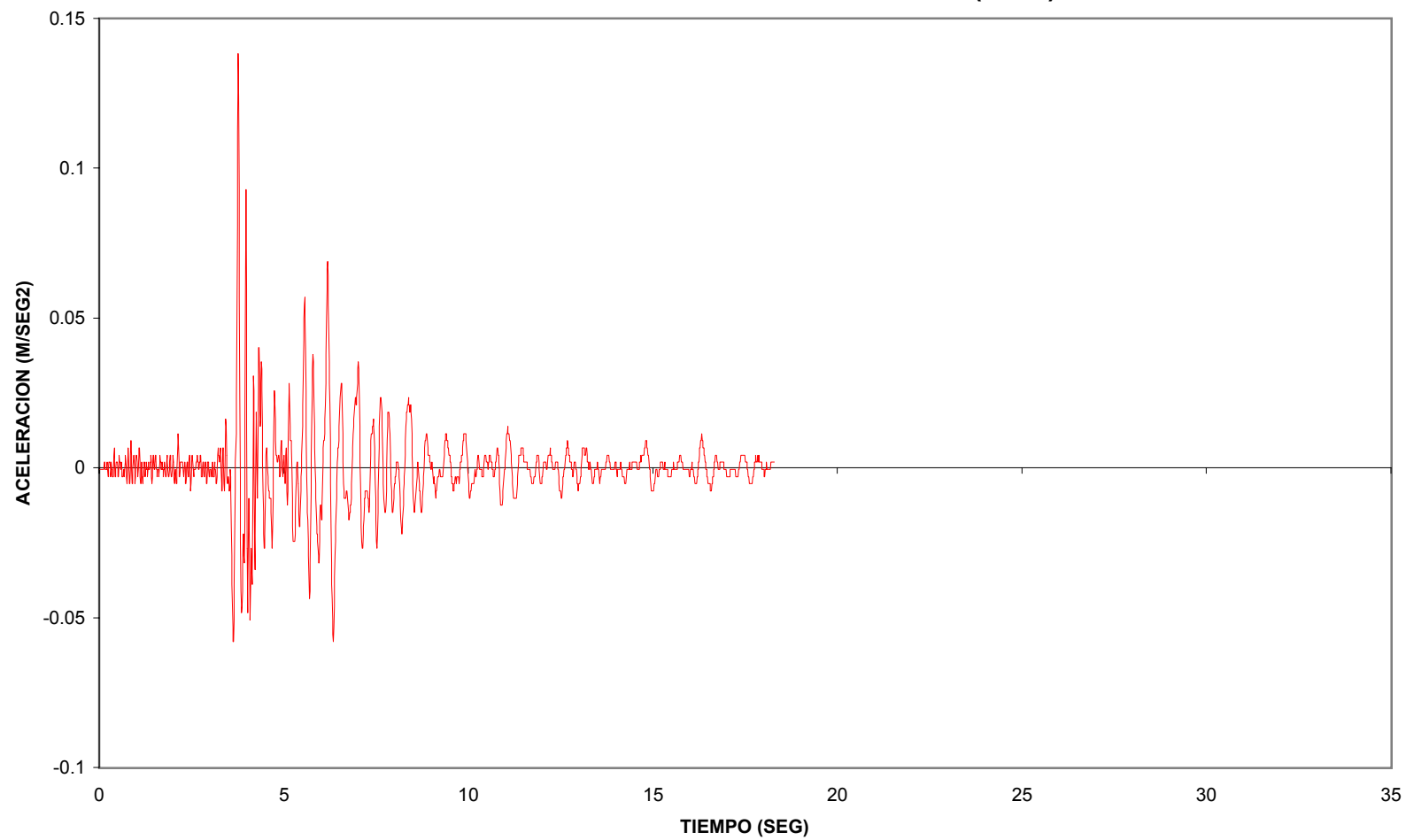


FIGURA F.1.9
REGISTRO ORIGINAL - BARRIO DEL CENTENARIO (N - S)

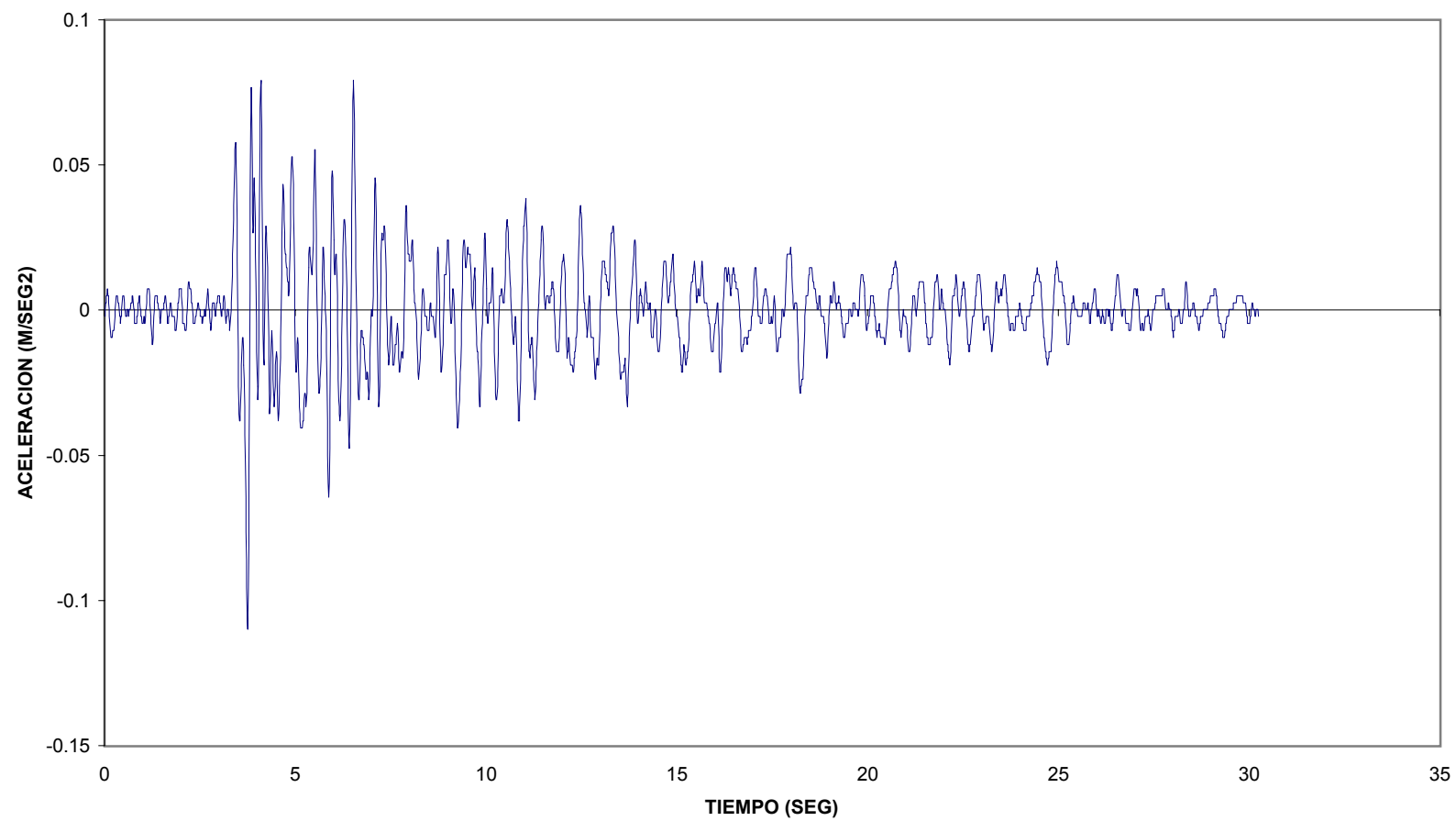


FIGURA F.1.10
REGISTRO ORIGINAL - BARRIO DEL CENTENARIO (E - O)

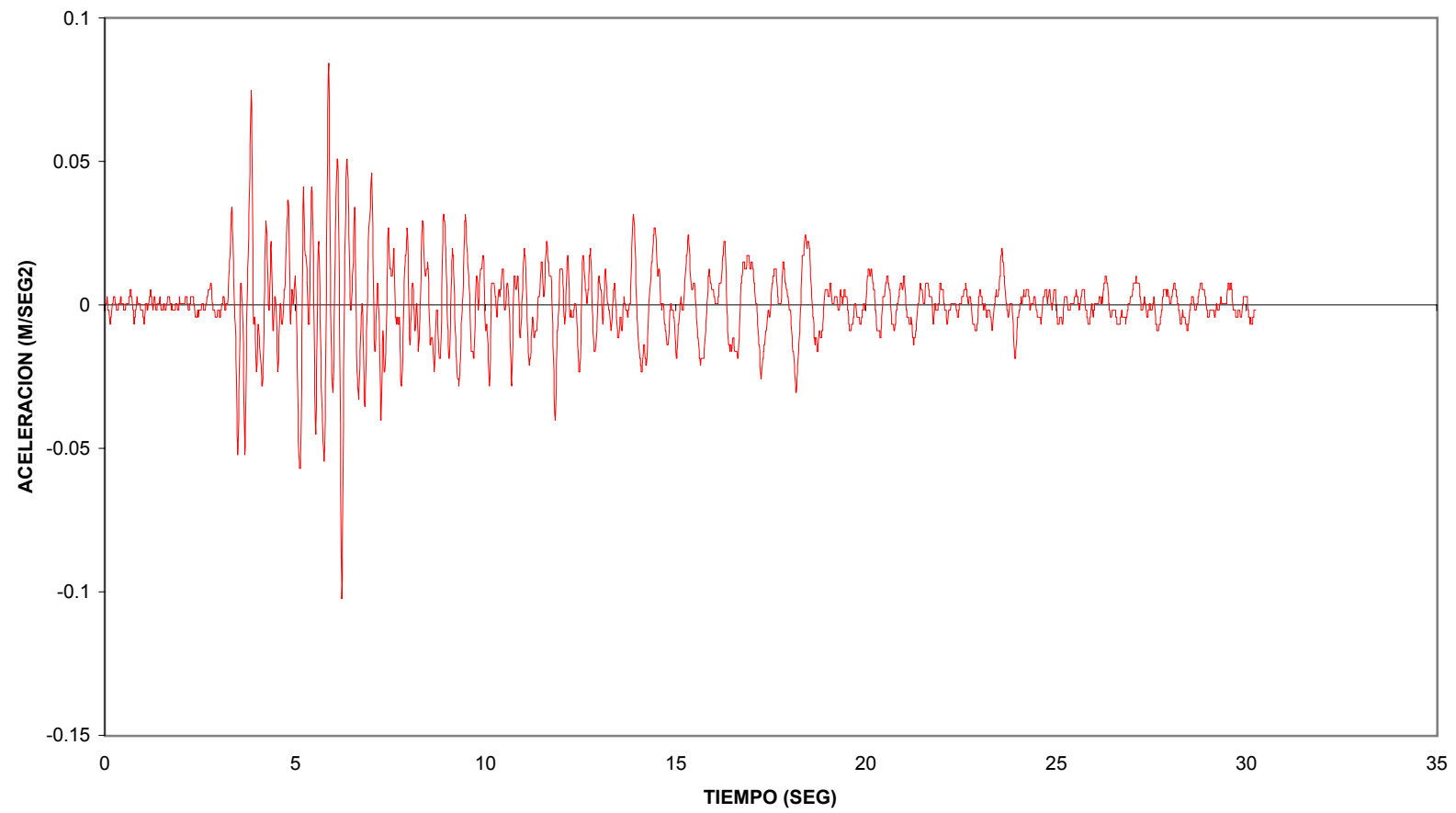


FIGURA F.1.11
REGISTRO ORIGINAL - TORRES DE LA MERCED (N - S)

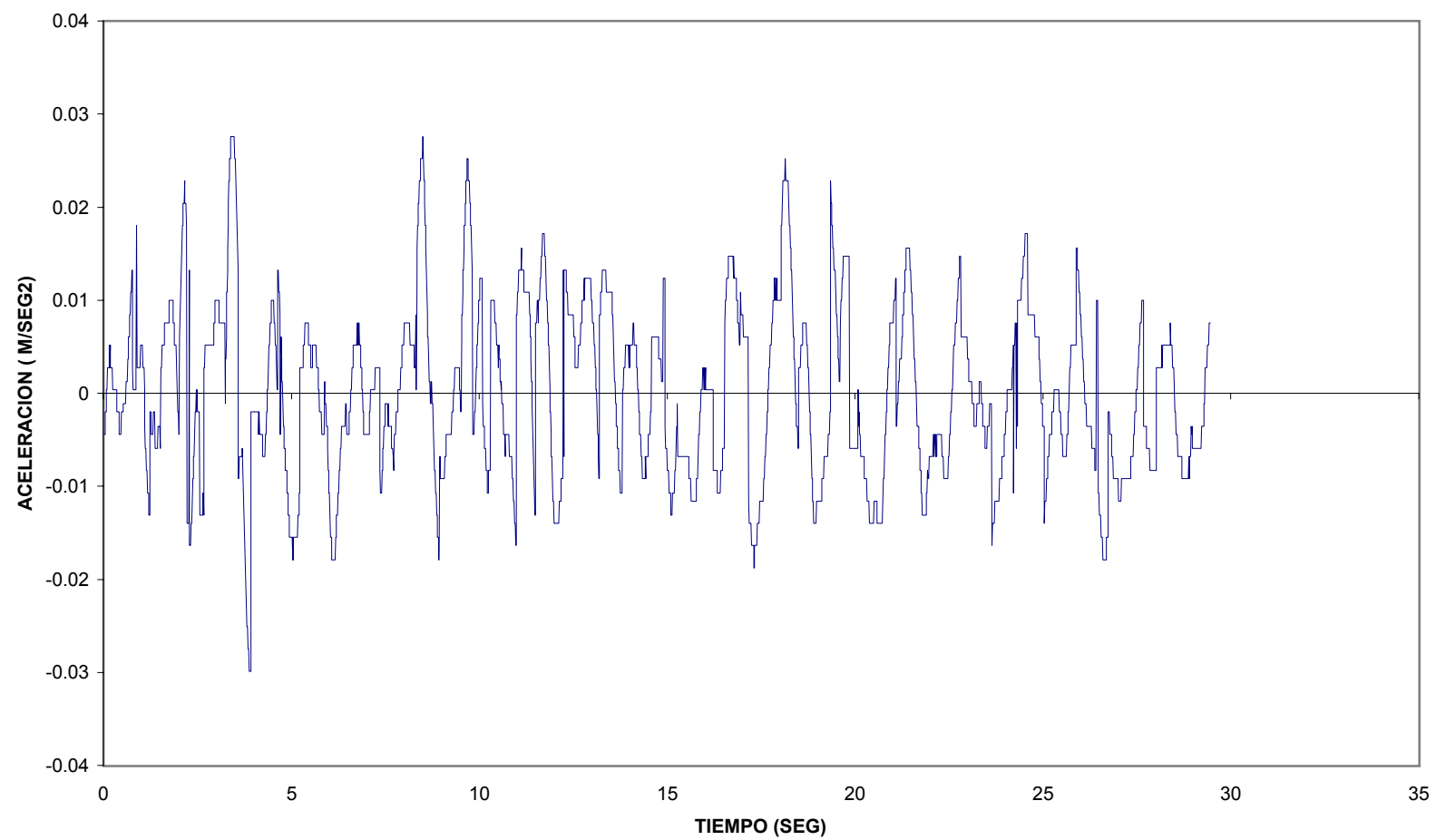
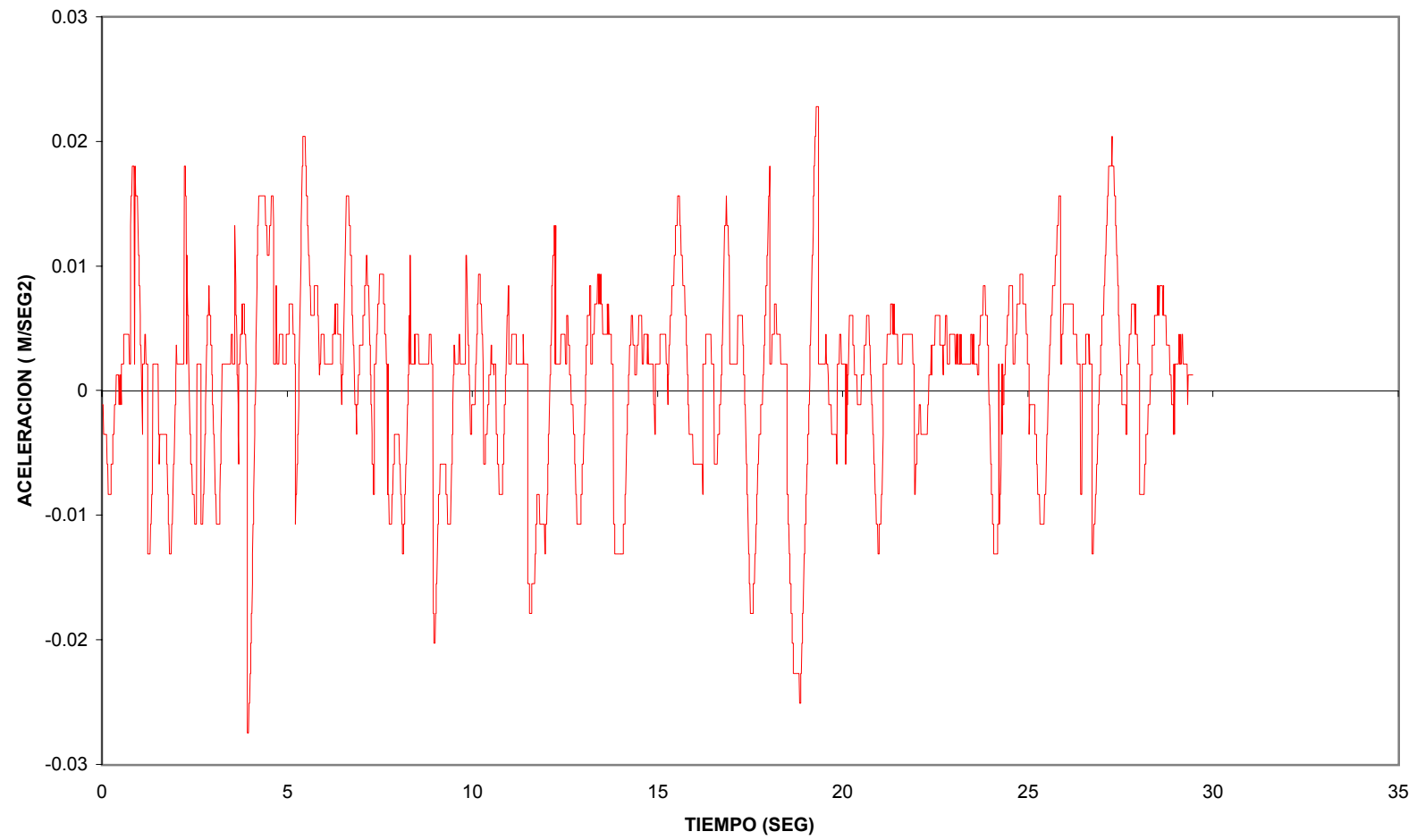


FIGURA F.1.12
REGISTRO ORIGINAL - TORRES DE LA MERCED (E - O)



APÉNDICE F.2

ESPECTROS DE FOURIER

FIGURA F.2.1
TRANSFORMADA DE FOURIER - COLEGIO DE INGENIEROS (N - S)

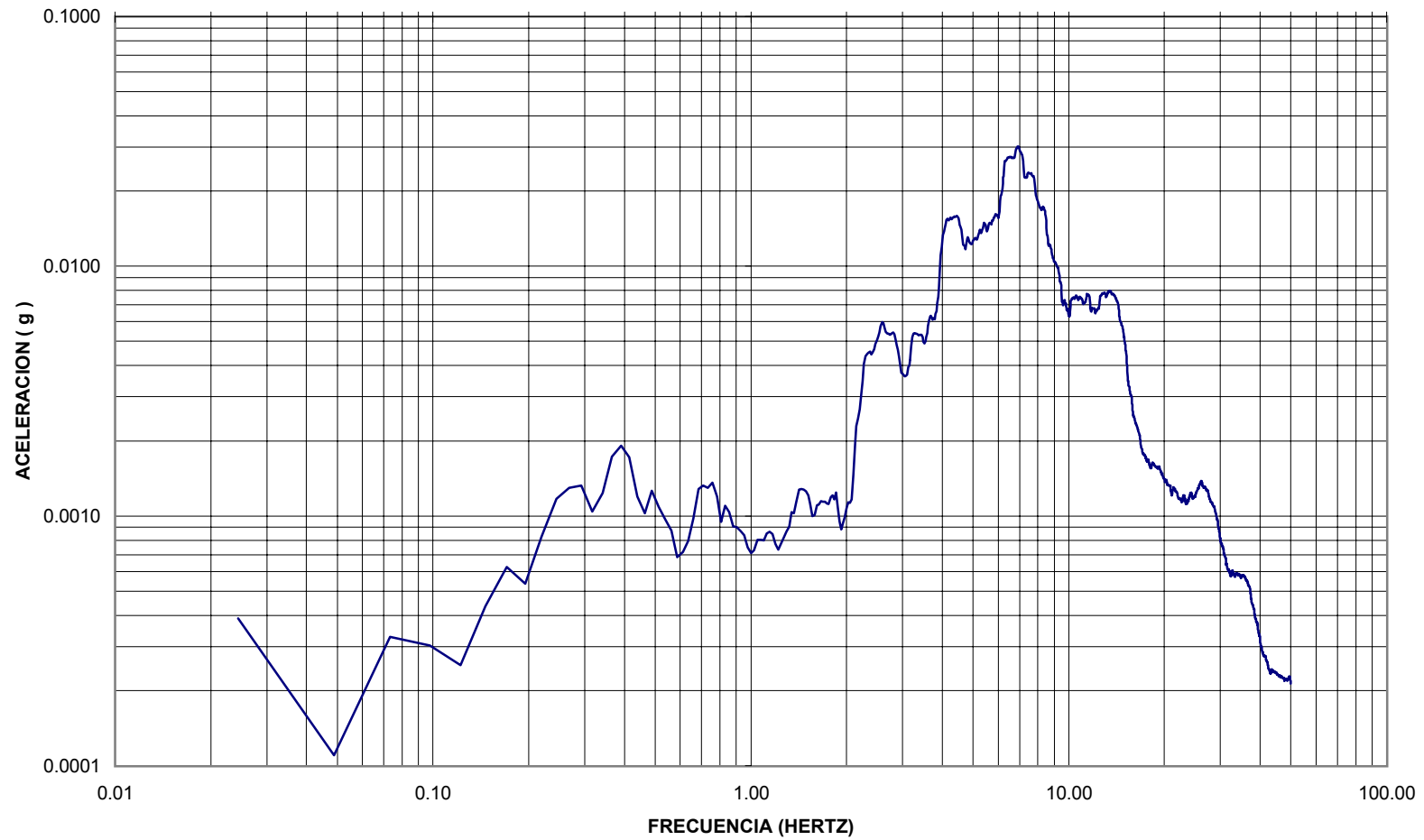


FIGURA F.2.2
TRANSFORMADA DE FOURIER - COLEGIO DE INGENIEROS (E - O)

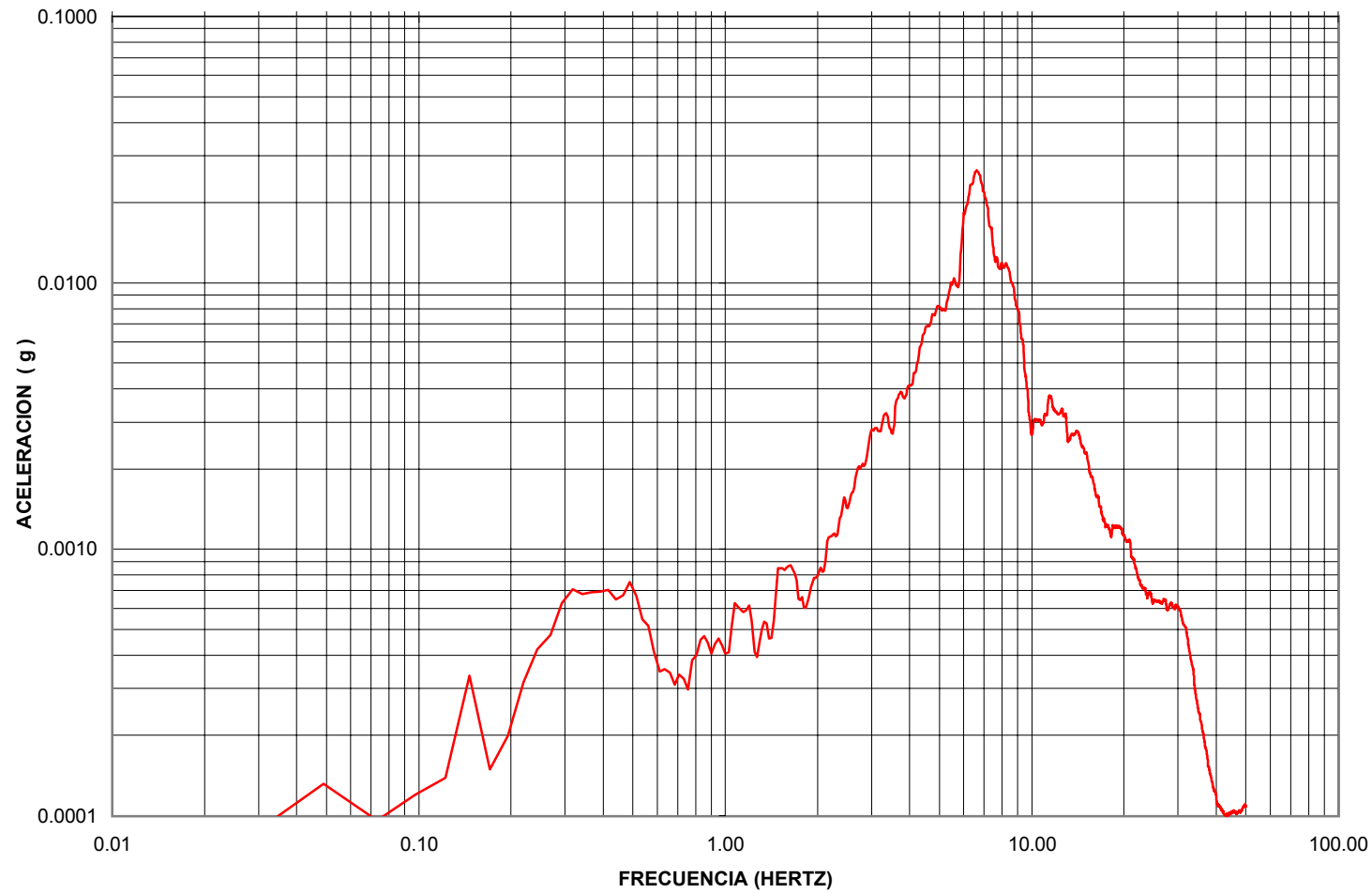


FIGURA F.2.3
TRANSFORMADA DE FOURIER - U. CATOLICA (N-S)

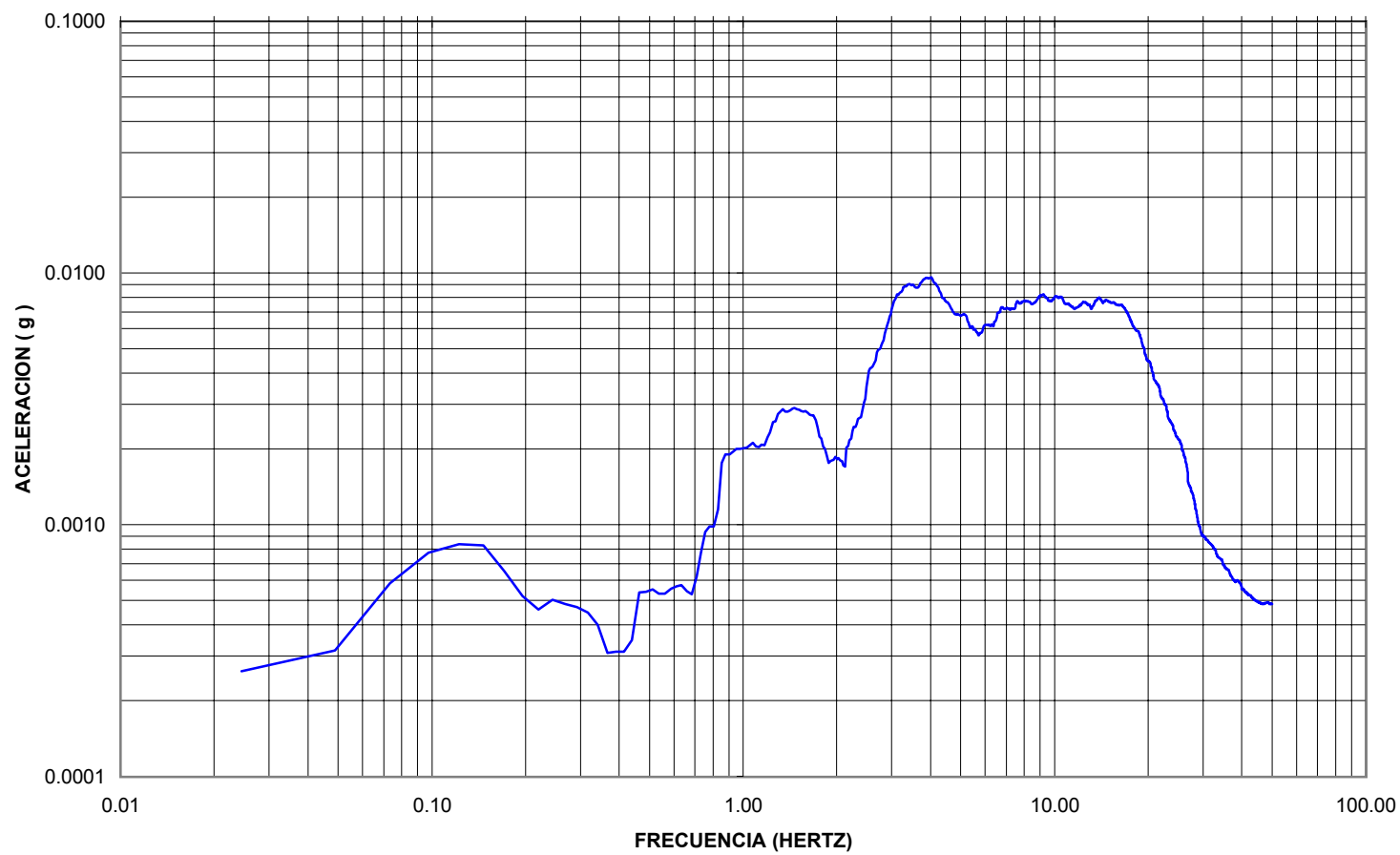


FIGURA F.2.4
TRANSFORMADA DE FOURIER - U. CATOLICA (E-O)

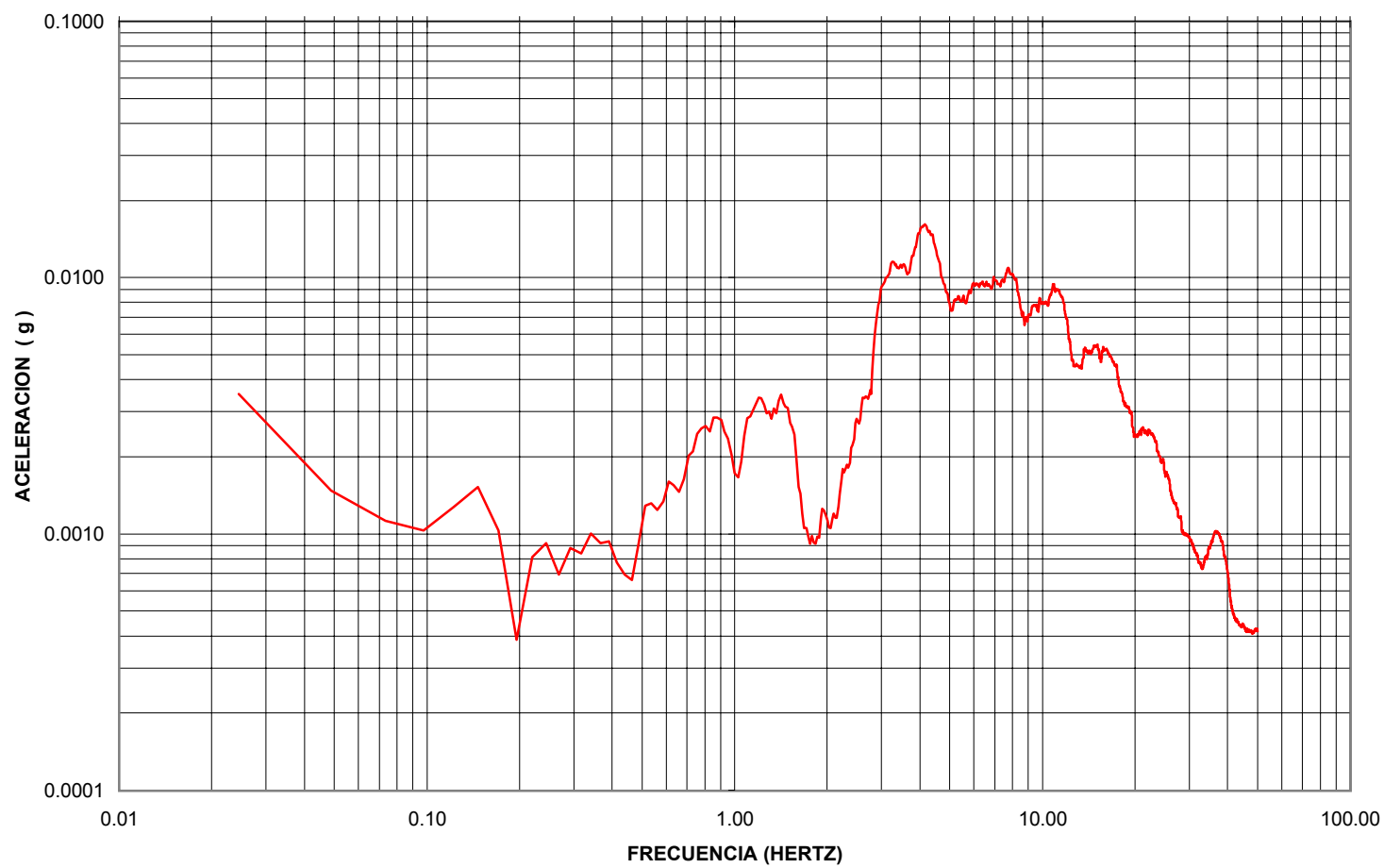


FIGURA F.2.5
TRANSFORMADA DE FOURIER - AV. DEL EJERCITO (N-S)

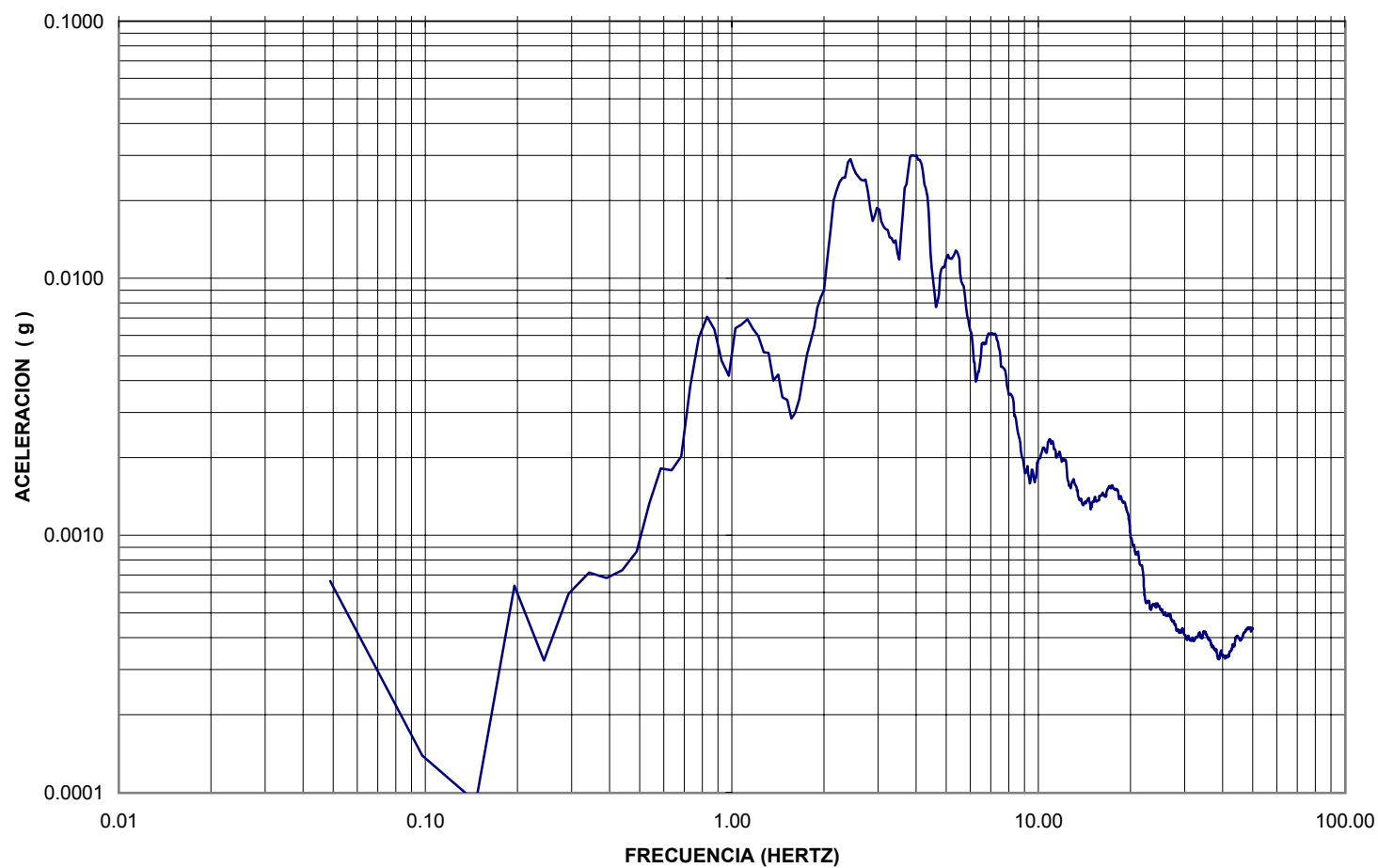


FIGURA F.2.6
TRANSFORMADA DE FOURIER - AV. DEL EJERCITO (E-O)

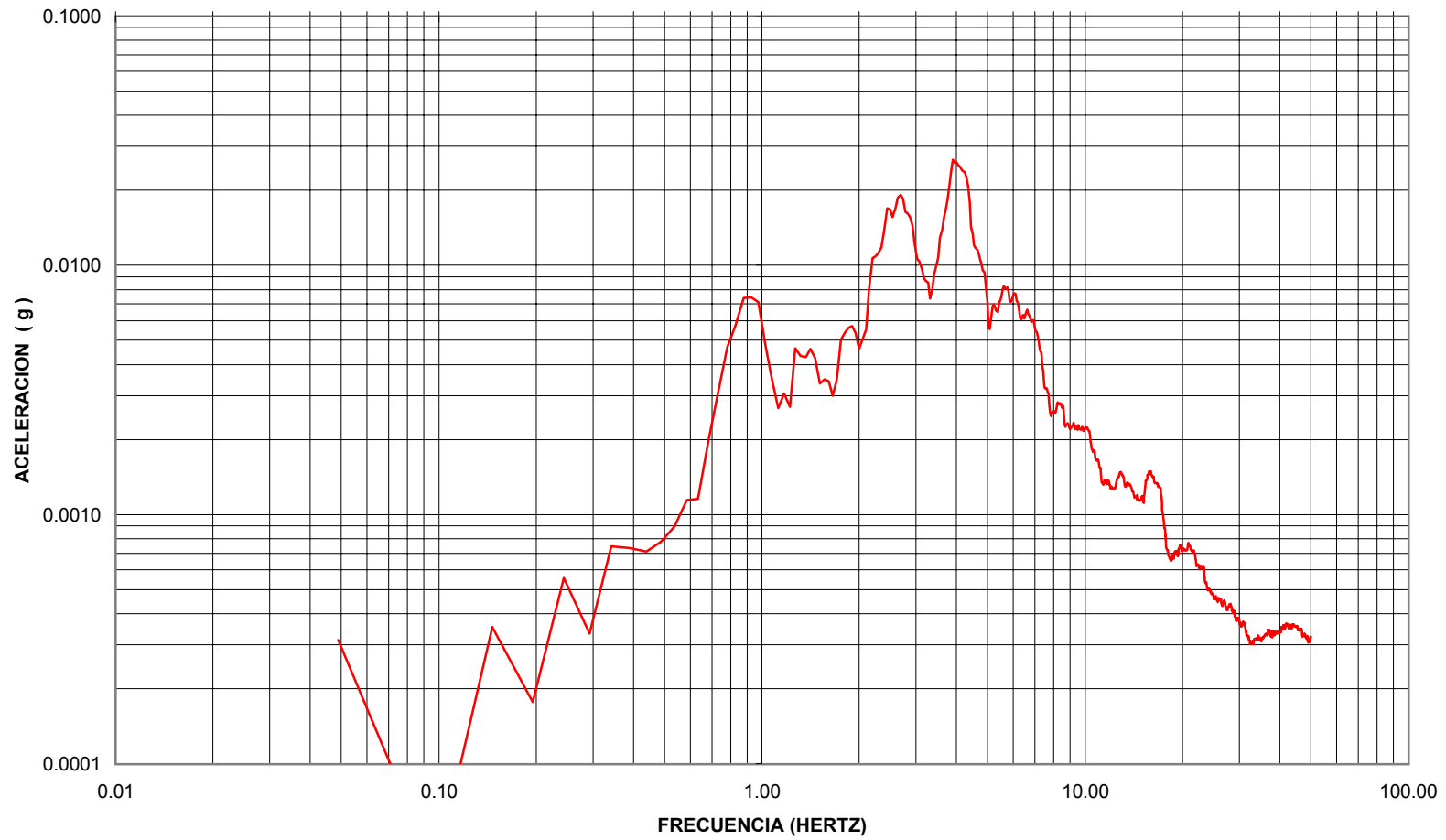


FIGURA F.2.7
TRANSFORMADA DE FOURIER - CIUDAD DE MANTA (N-S)

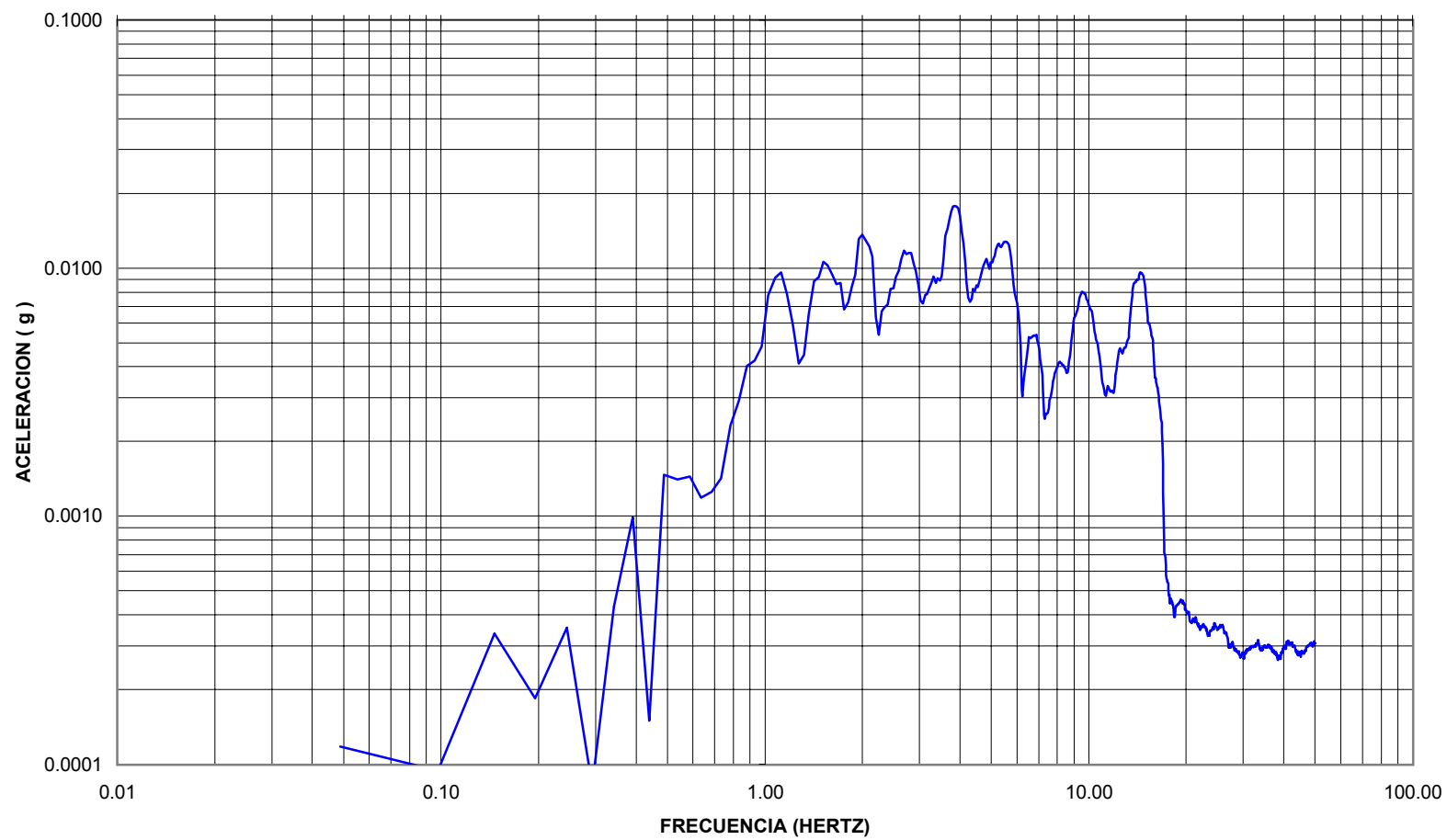


FIGURA F.2.8
TRANSFORMADA DE FOURIER - CIUDAD DE MANTA (E-O)

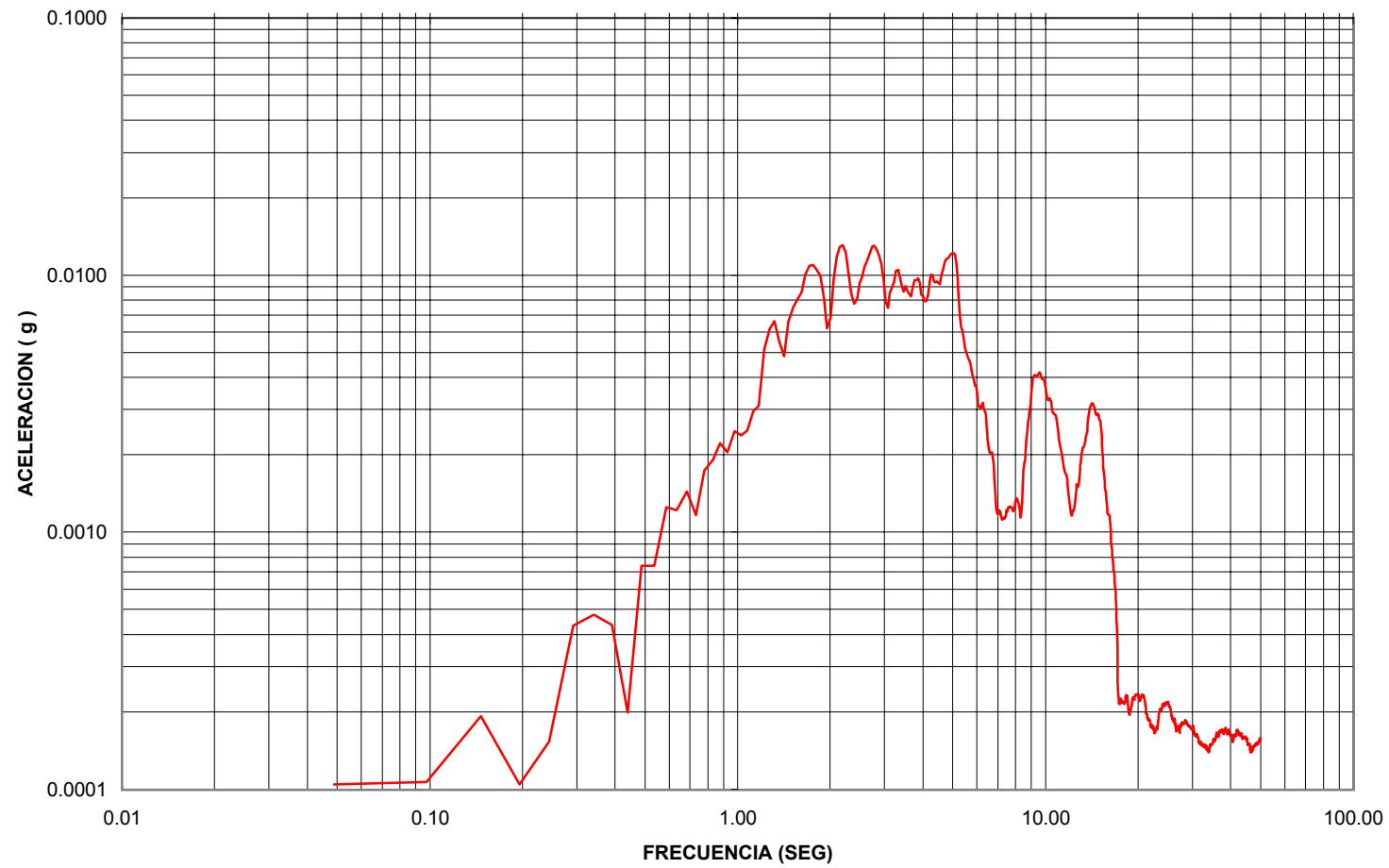


FIGURA F.2.9
TRANSFORMADA DE FOURIER BARRIO CENTENARIO (N-S)

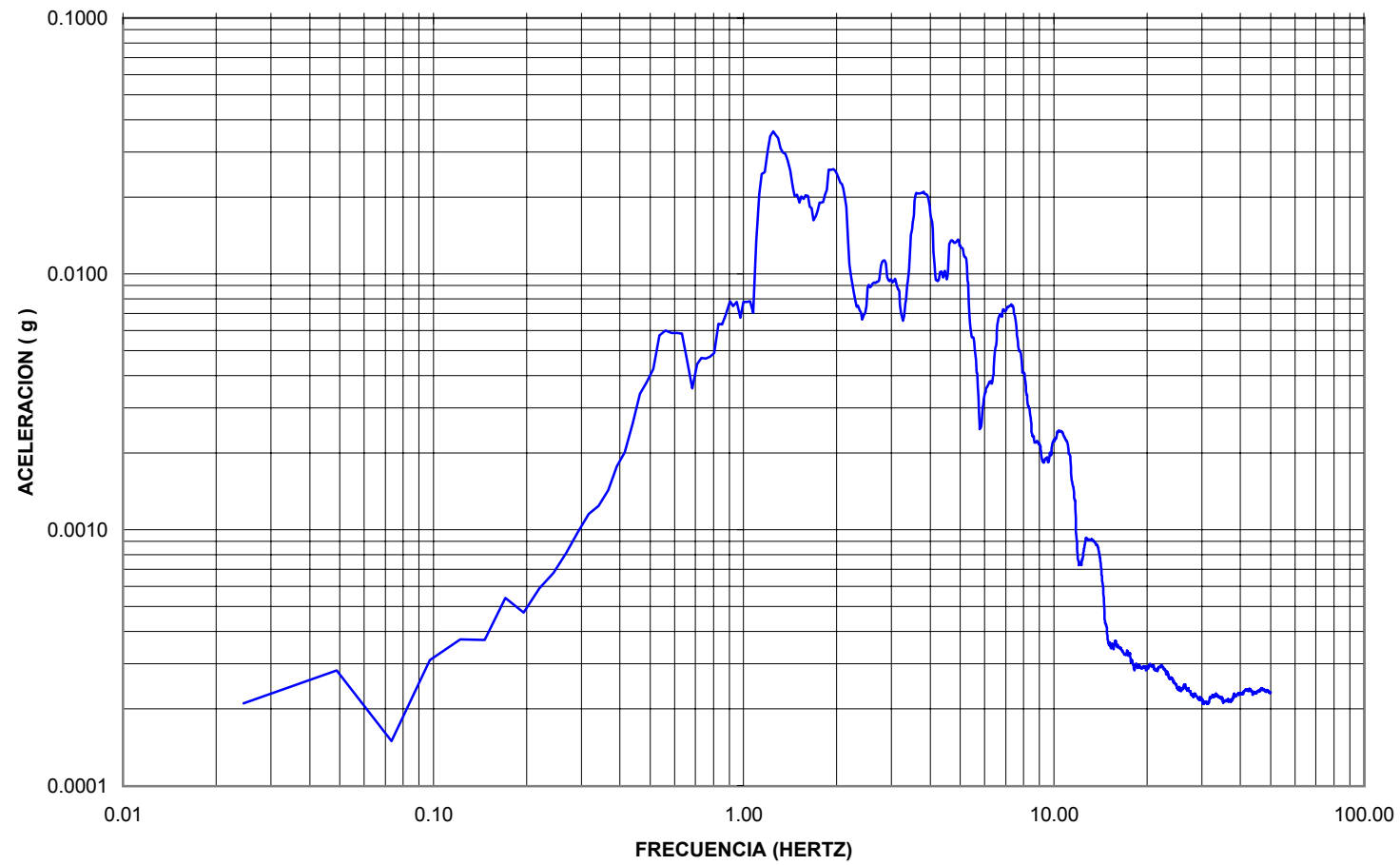


FIGURA F.2.10
TRANSFORMADA DE FOURIER - BARRIO CENTENARIO (E-O)

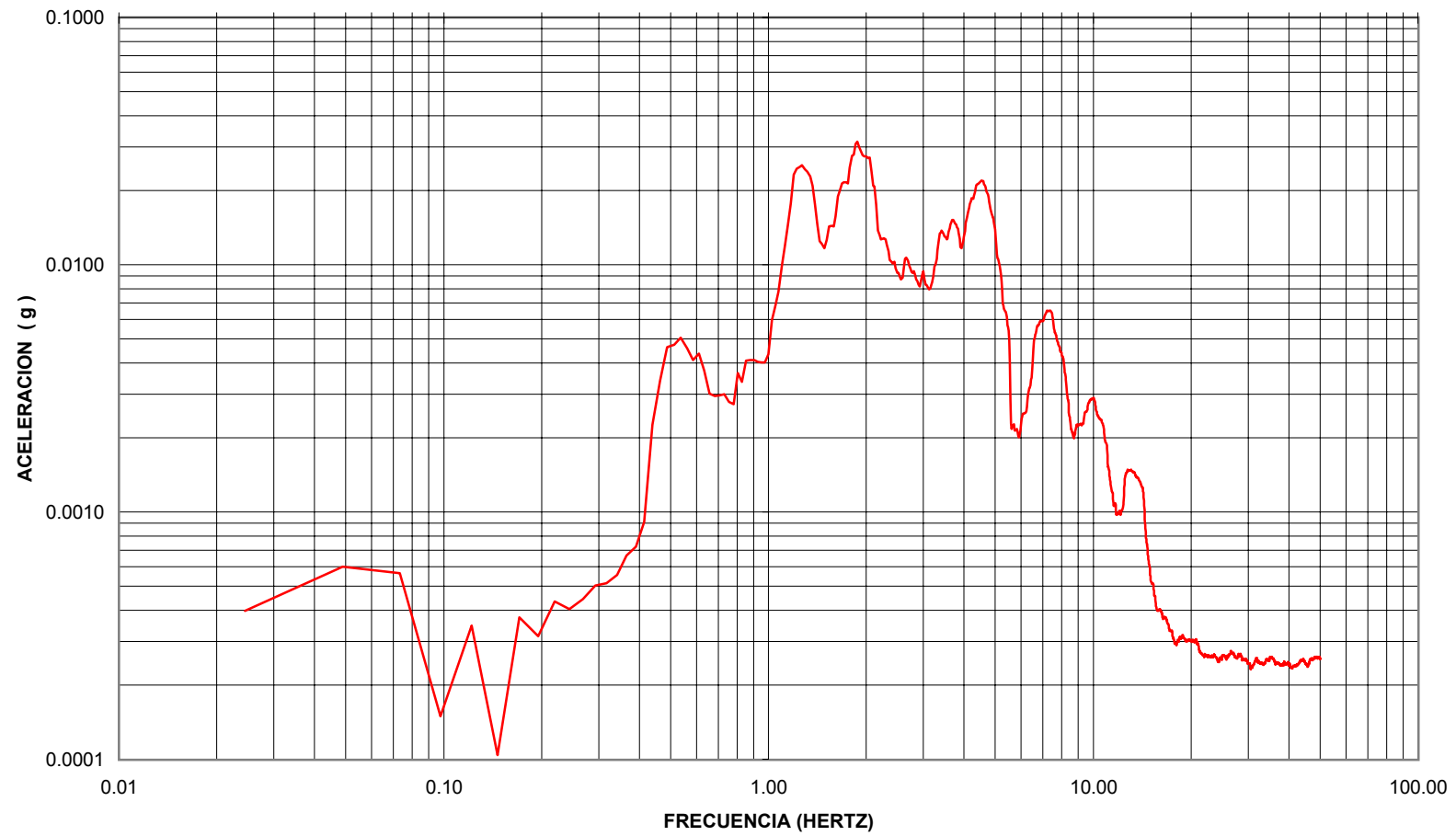


FIGURA F.2.11
TRANSFORMADA DE FOURIER - SECTOR TORRES DE LA MERCED (N-S)

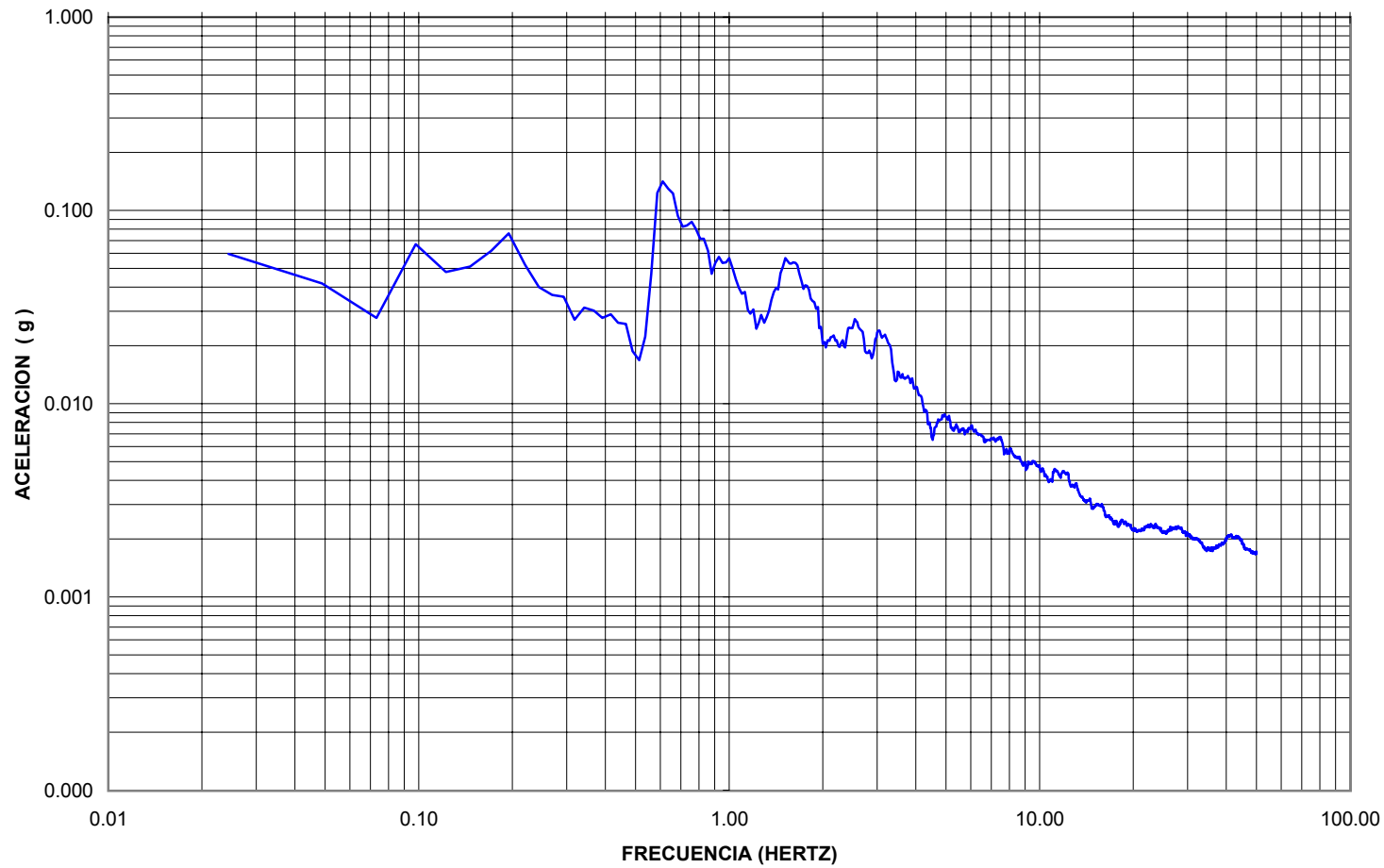
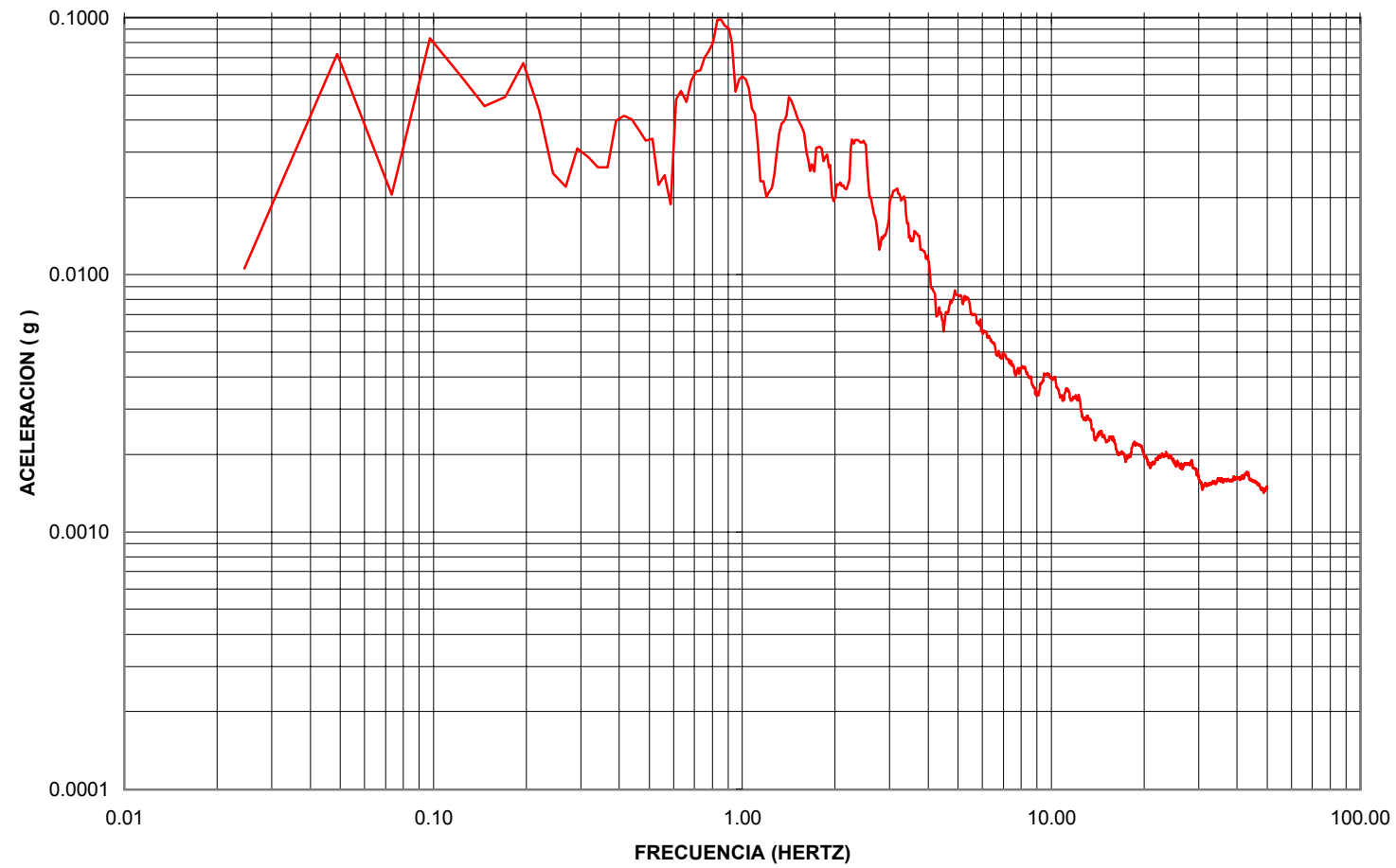


FIGURA F.2.12
TRANSFORMADA DE FOURIER - SECTOR TORRES DE LA MERCED (E-0)



APÉNDICE F.3

ESPECTROS NORMALIZADOS

AL 7%g

FIGURA F.3.1
REG. NORMALIZADO AL 7% g - COLEGIO DE INGENIEROS (N-S)

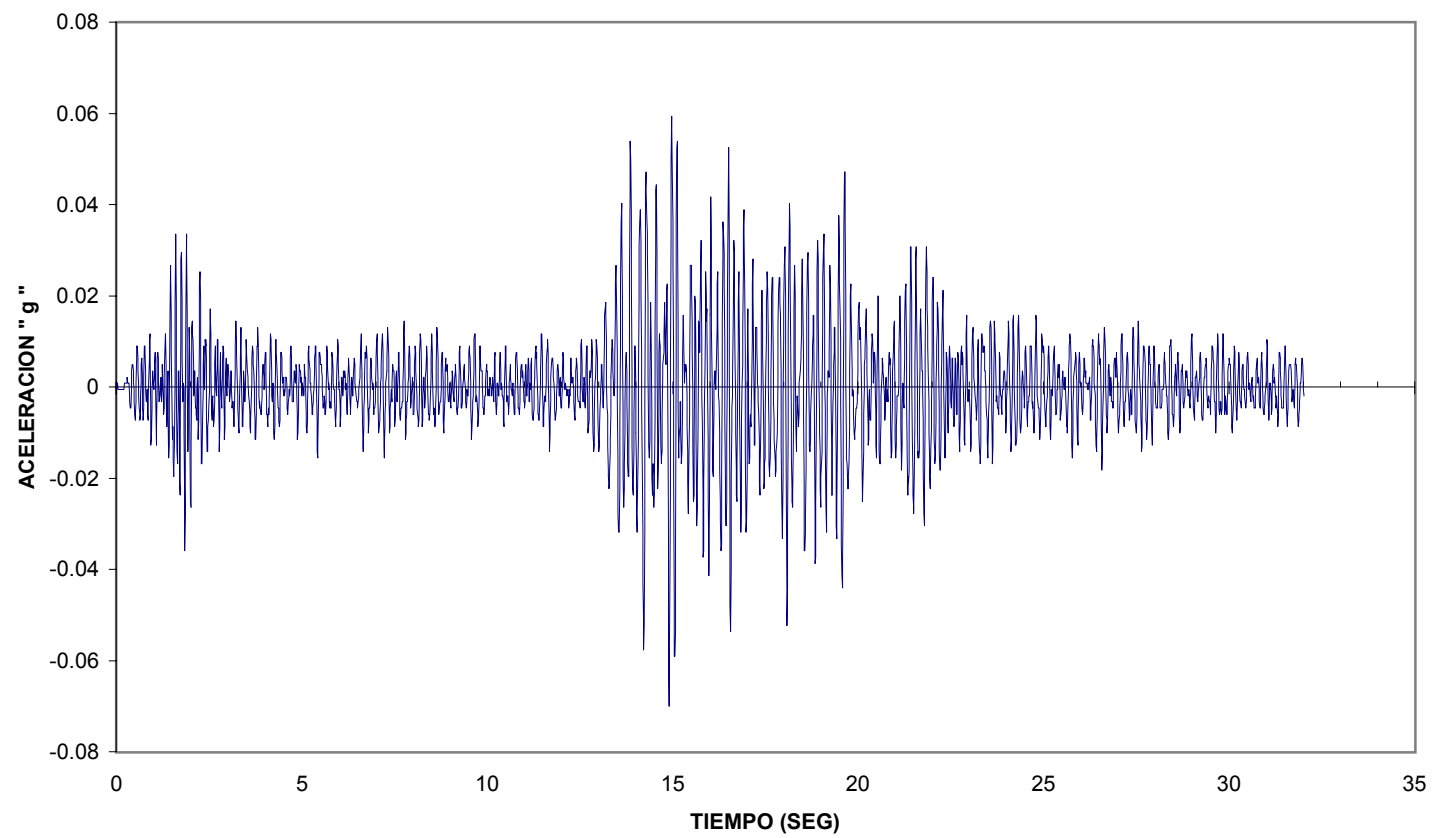


FIGURA F.3.2

REG. NORMALIZADO AL 7% g - COLEGIO DE INGENIEROS (E-O)

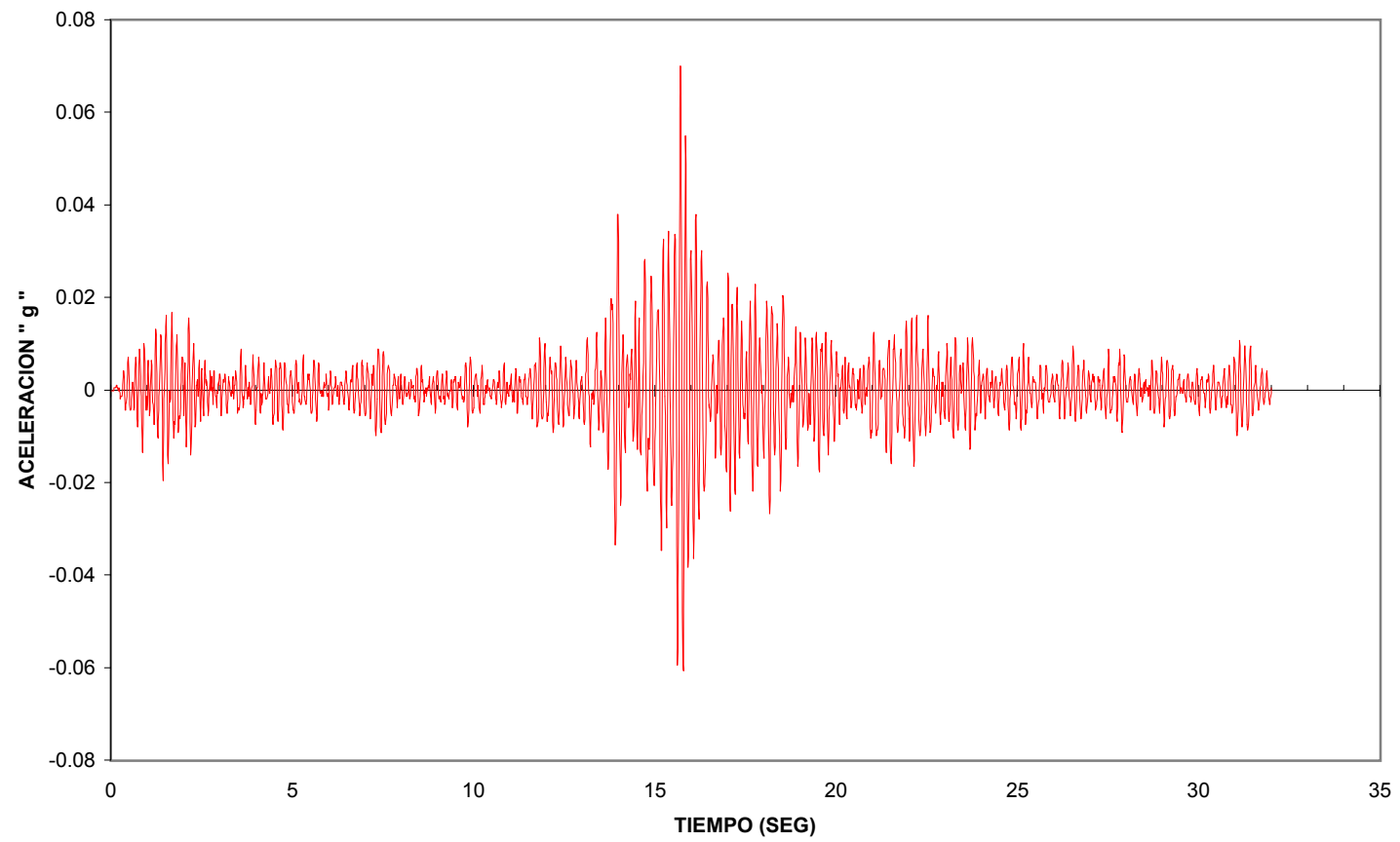


FIGURA F.3.3
REG. NORMALIZADO AL 7%g - U. CATOLICA (N-S)

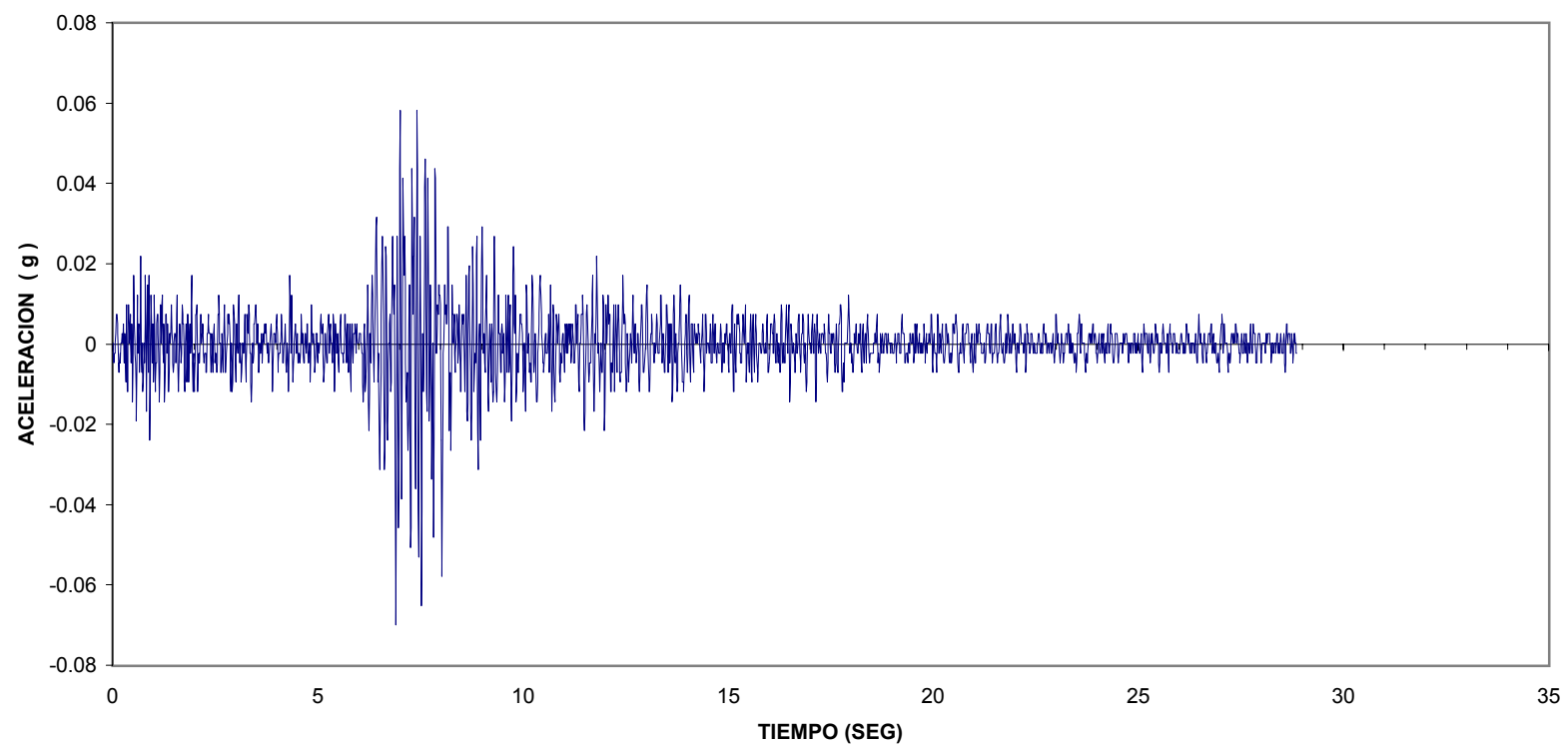


FIGURA F.3.4
REG. NORMALIZADO AL 7%g - U. CATOLICA (E-O)

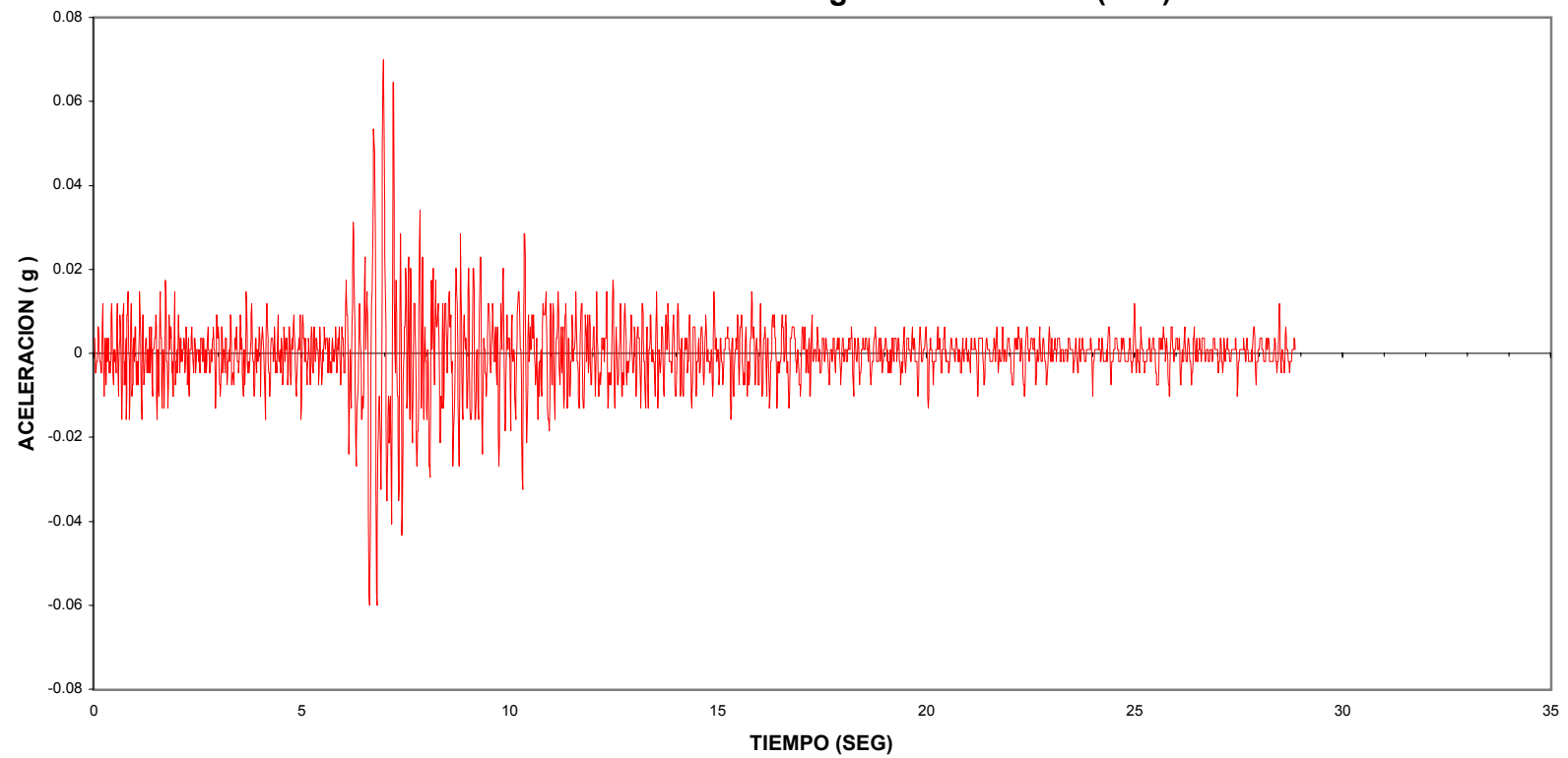


FIGURA F.3.5
REG. NORMALIZADO AL 7% g - AV. DEL EJERCITO (N - S)

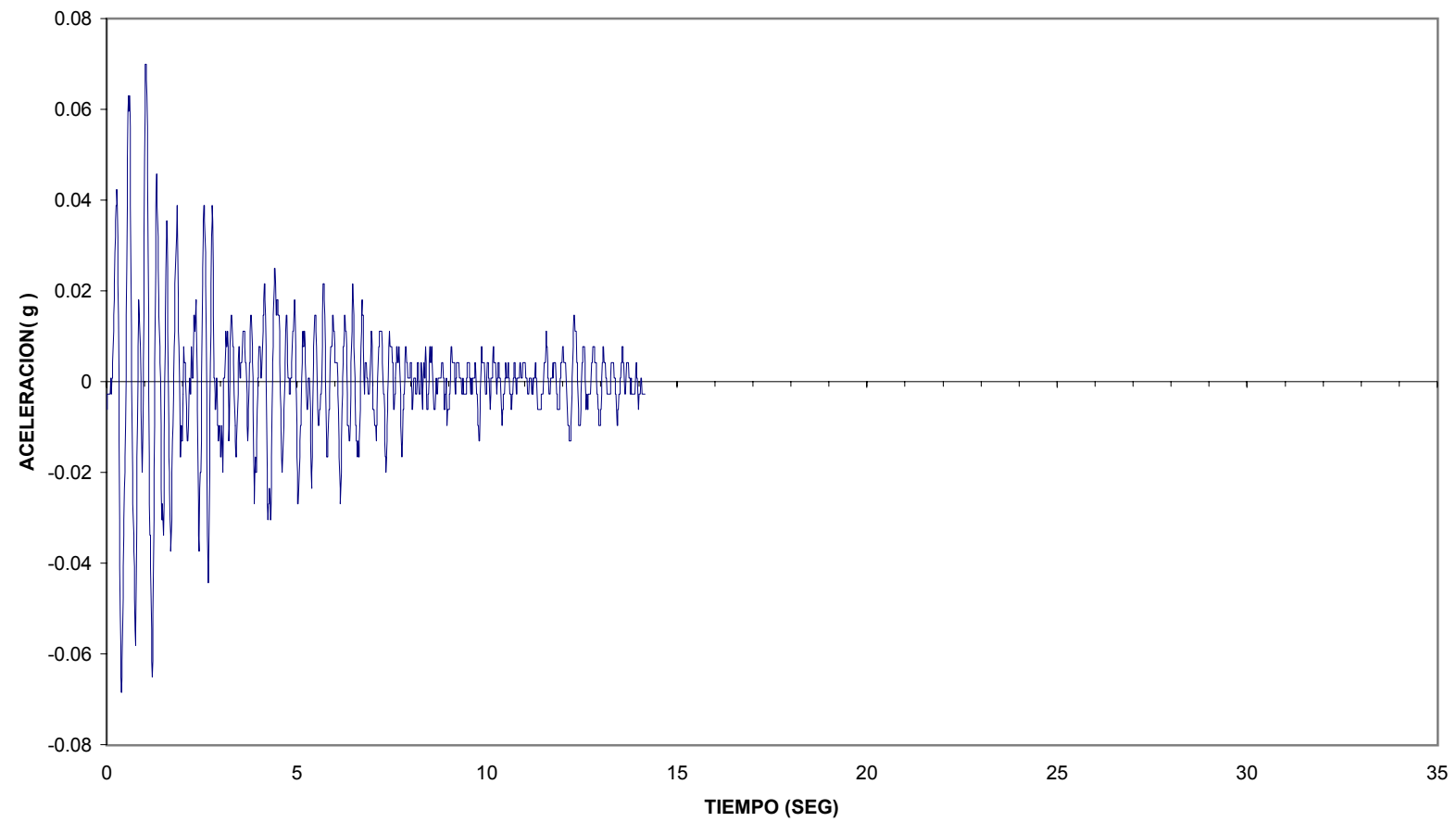


FIGURA F.3.6

REG. NORMALIZADO AL 7% g - AV. DEL EJERCITO (E - O)

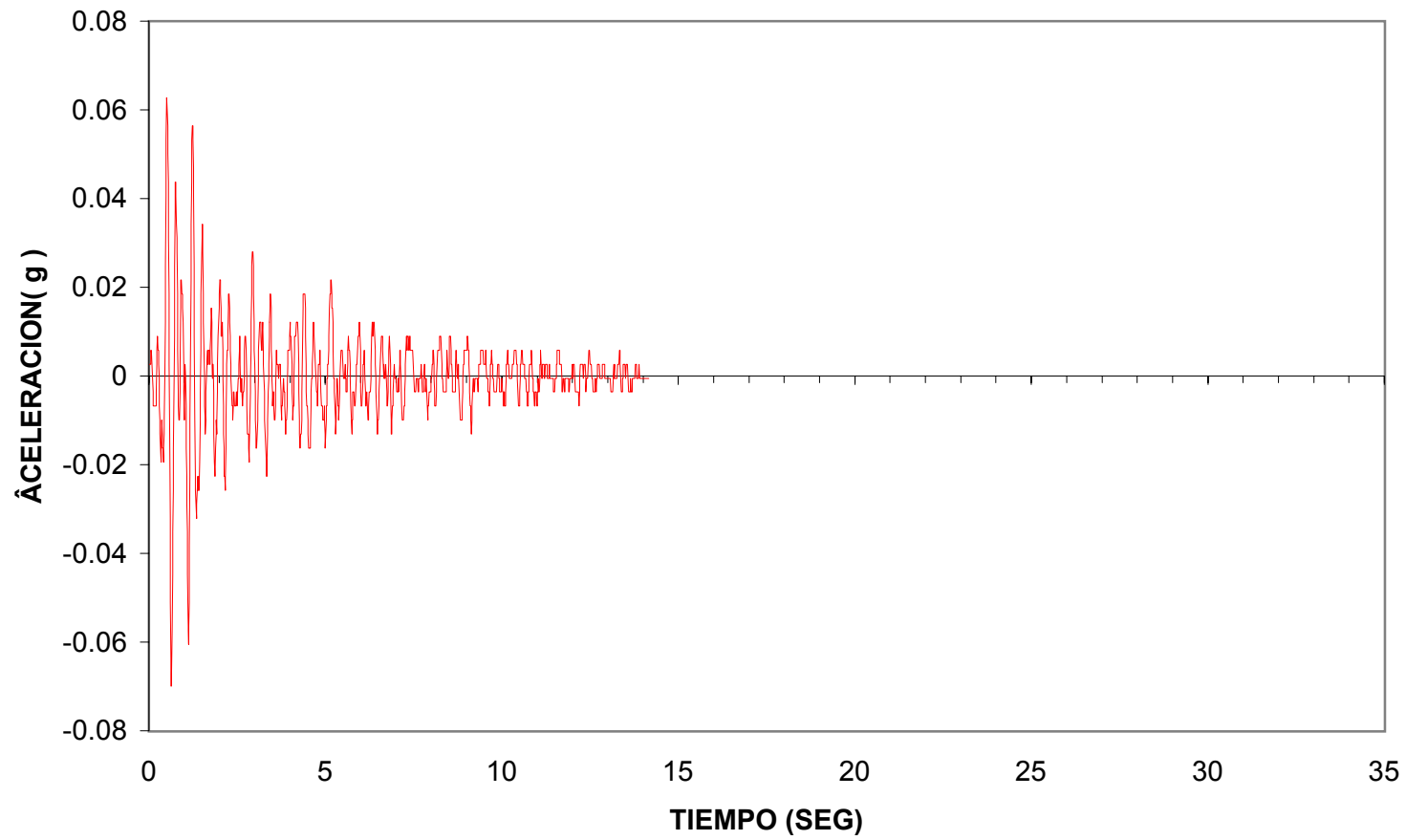


FIGURA F.3.7
REG. NORMALIZADO AL 7%g - CIUDAD DE MANTA (N - S)

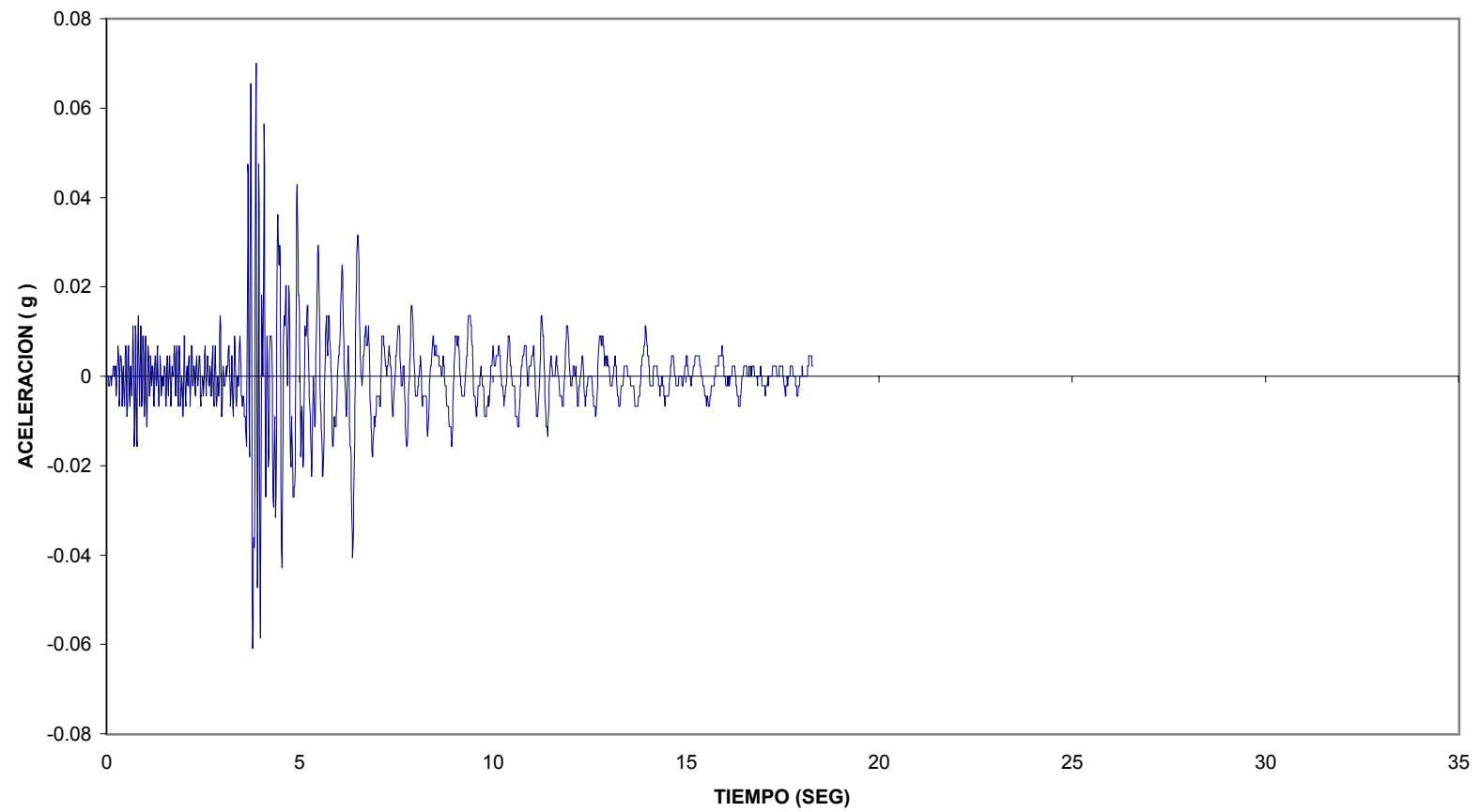


FIGURA F.3.8
REG. NORMALIZADO AL 7%g - CIUDAD DE MANTA (E - O)

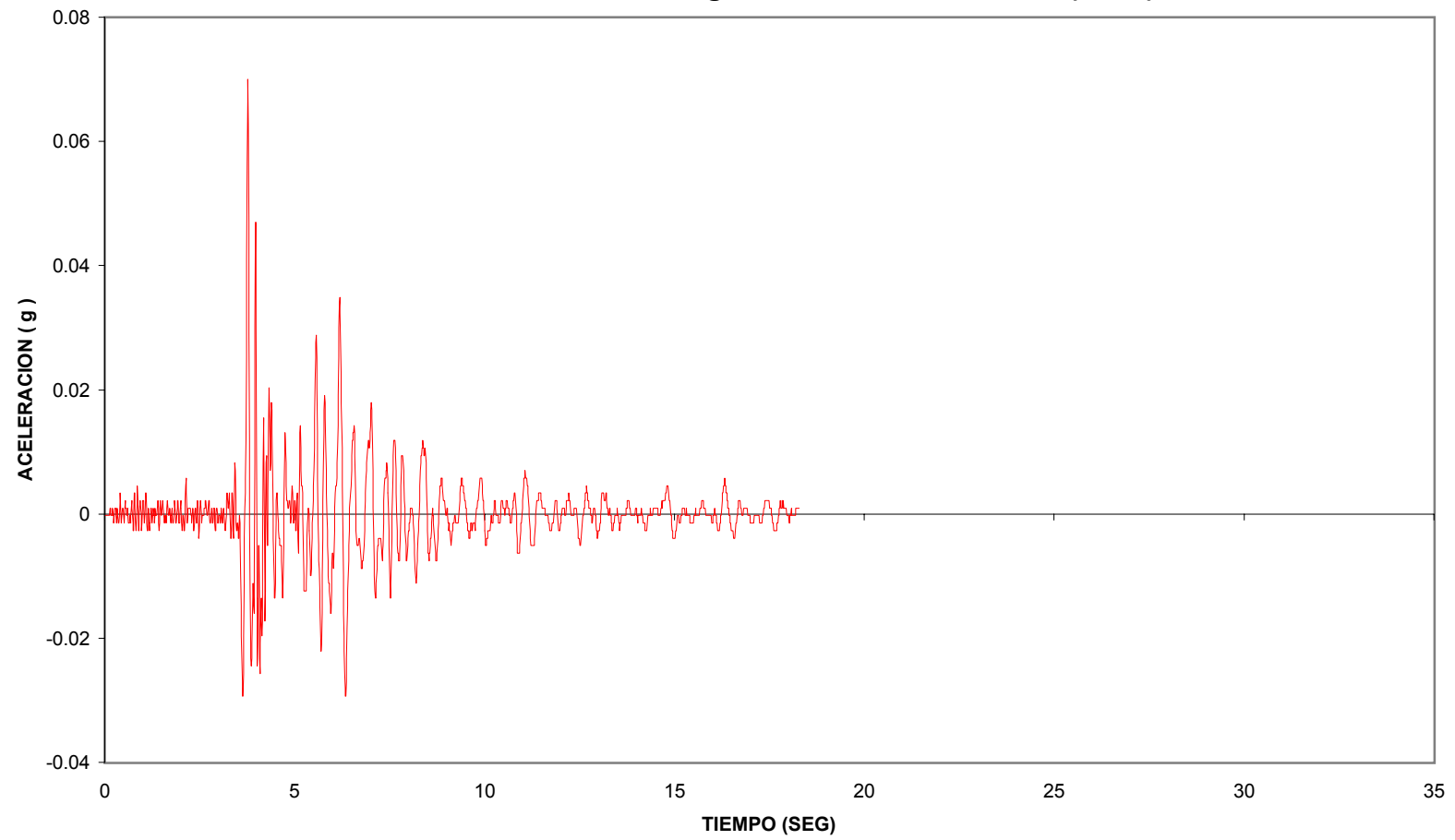


FIGURA F.3.9
REG. NORMALIZADO AL 7%g - BARRIO DEL CENTENARIO (N - S)

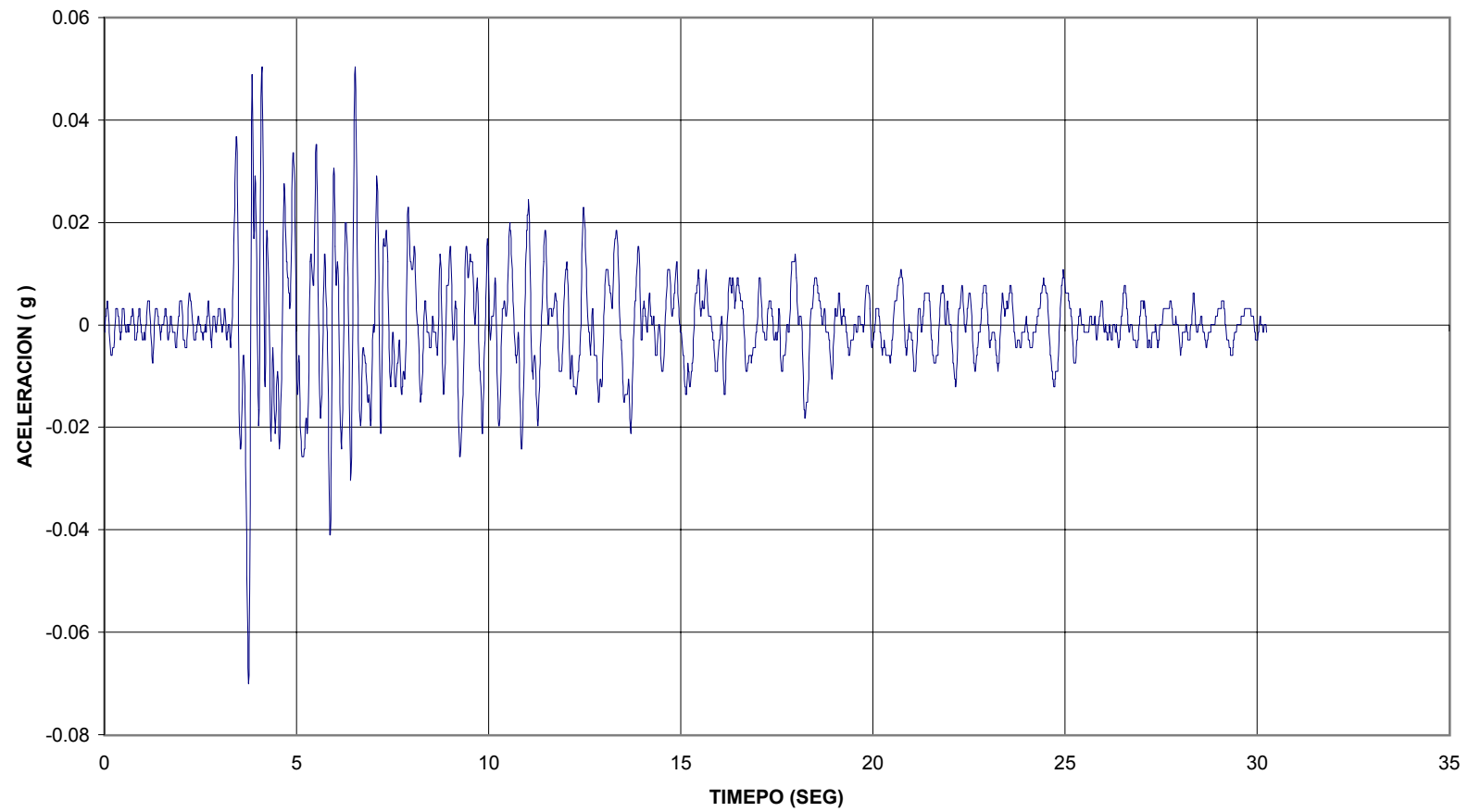


FIGURA F.3.10
REG. NORMALIZADO AL 7%g - BARRIO DEL CENTENARIO (E - O)

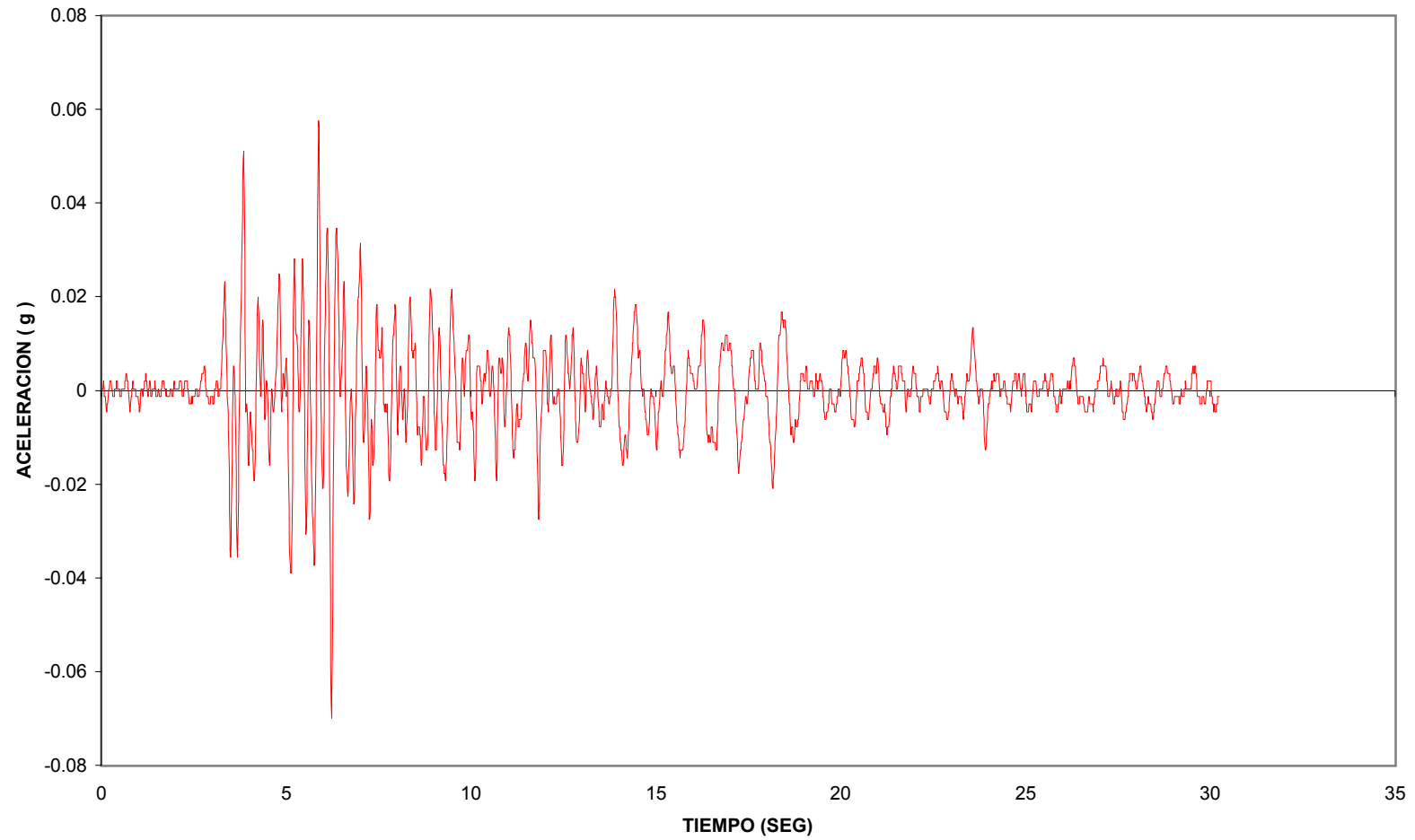


FIGURA F.3.11
REG. NORMALIZADO 7%g - TORRES DE LA MERCED (N - S)

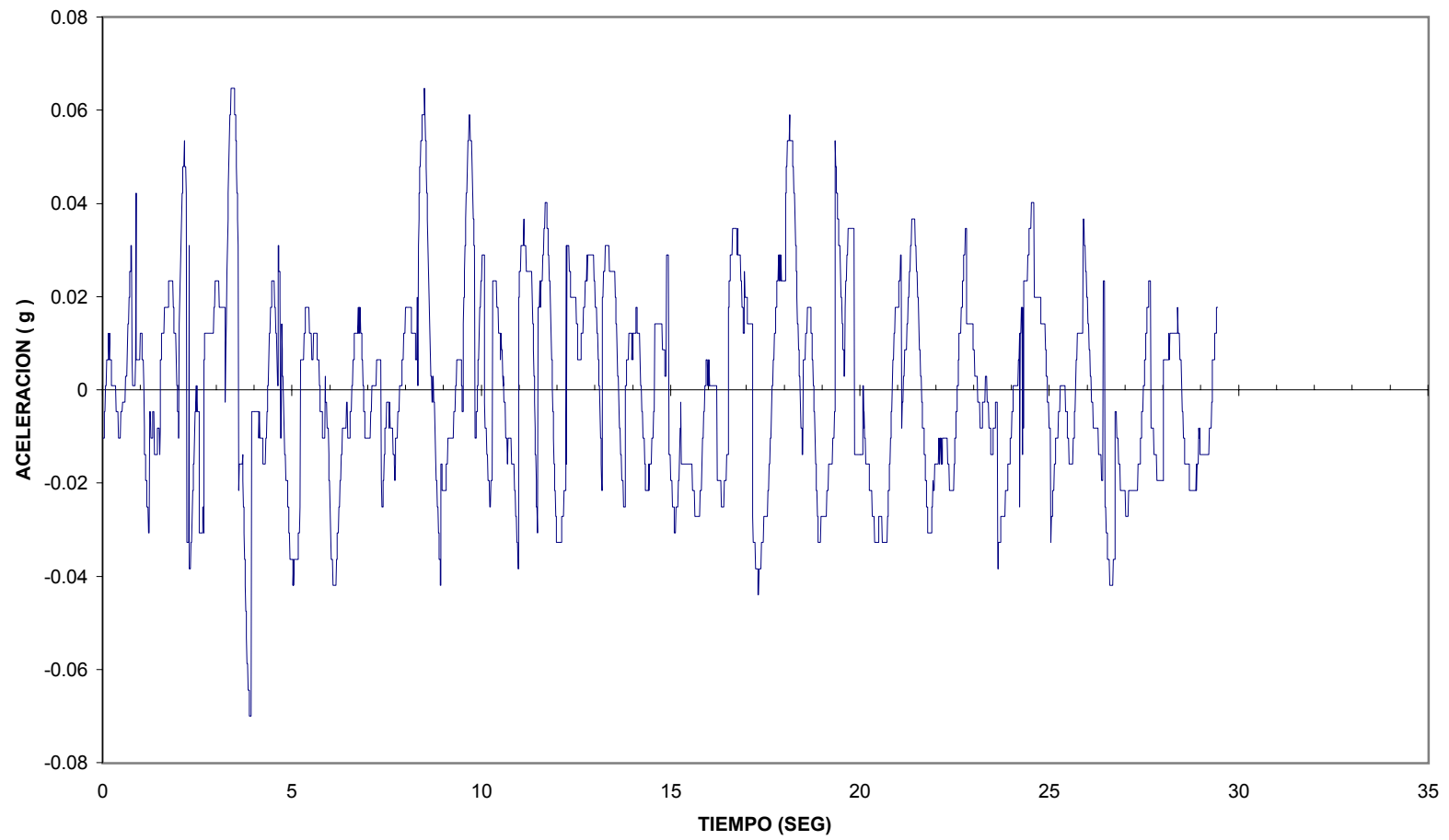
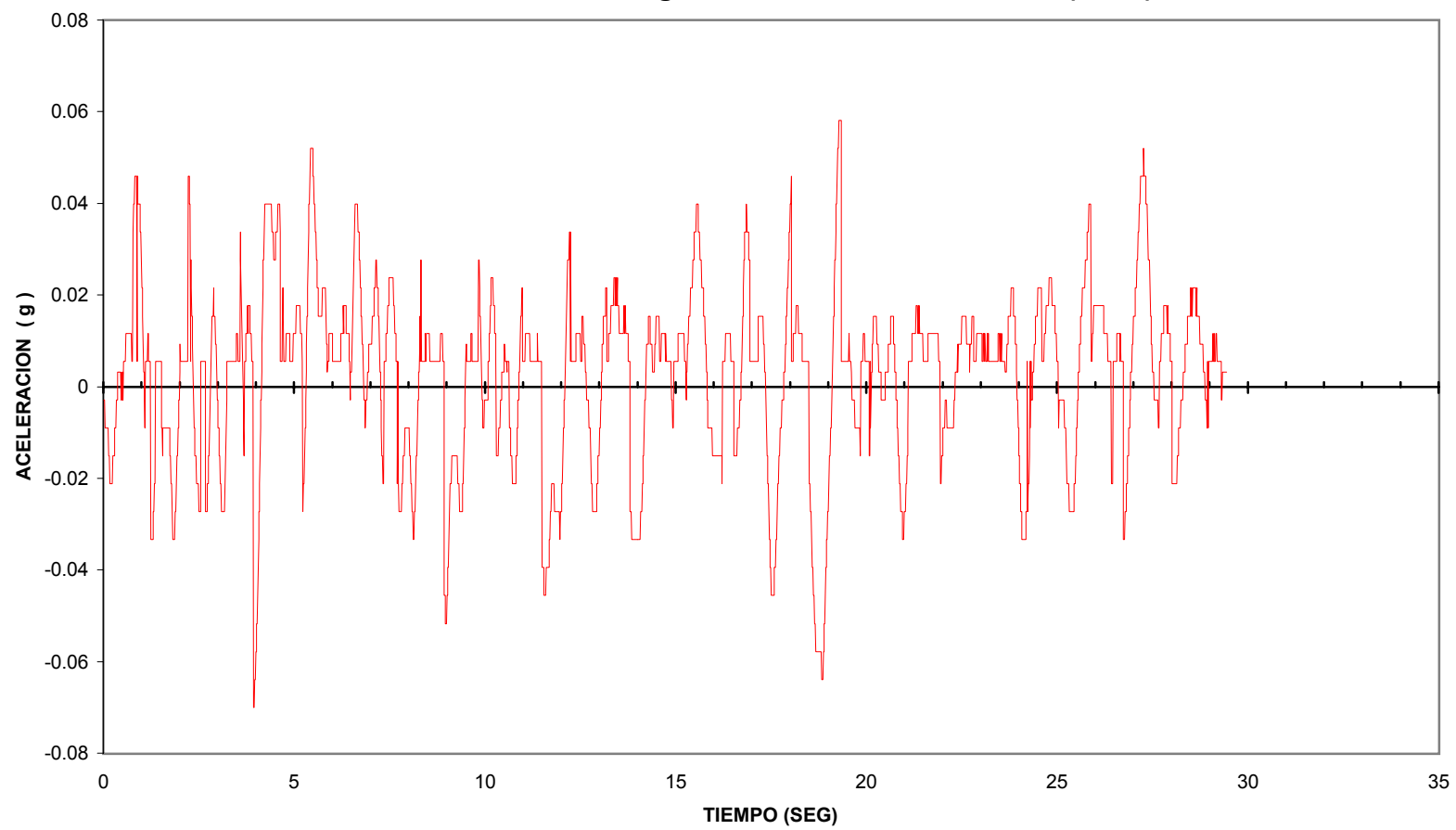


FIGURA F.3.12
REG. NORMALIZADO 7% g - TORRES DE LA MERCED (E - O)



APÉNDICE F.4

ESPECTROS ELÁSTICOS

FIGURA F.4.1
ESPECTRO ELASTICO - COLEGIO DE INGENIEROS (N - S)

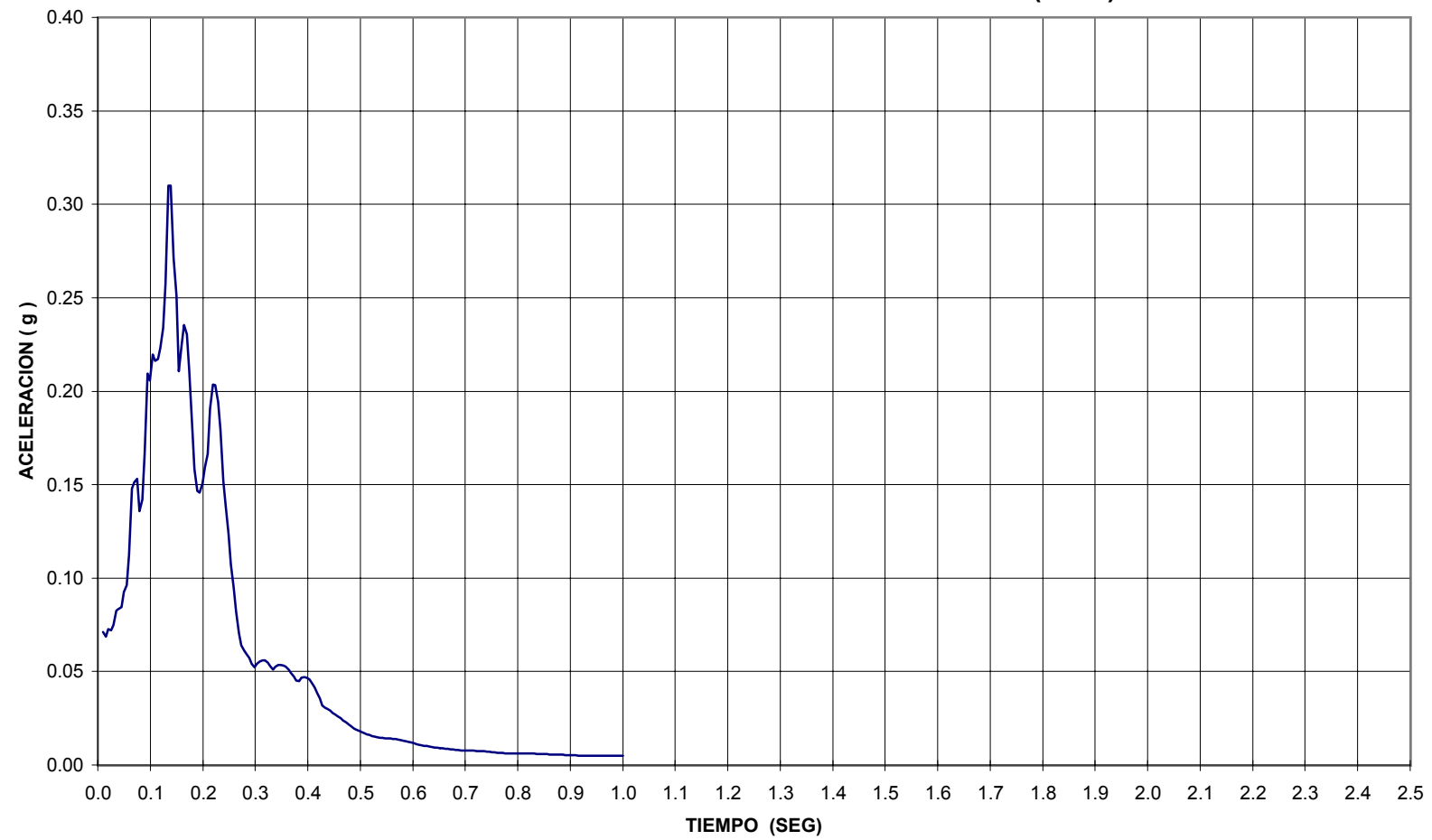


FIGURA F.4.2
ESPECTRO ELASTICO - COLEGIO DE INGENIEROS (E - O)

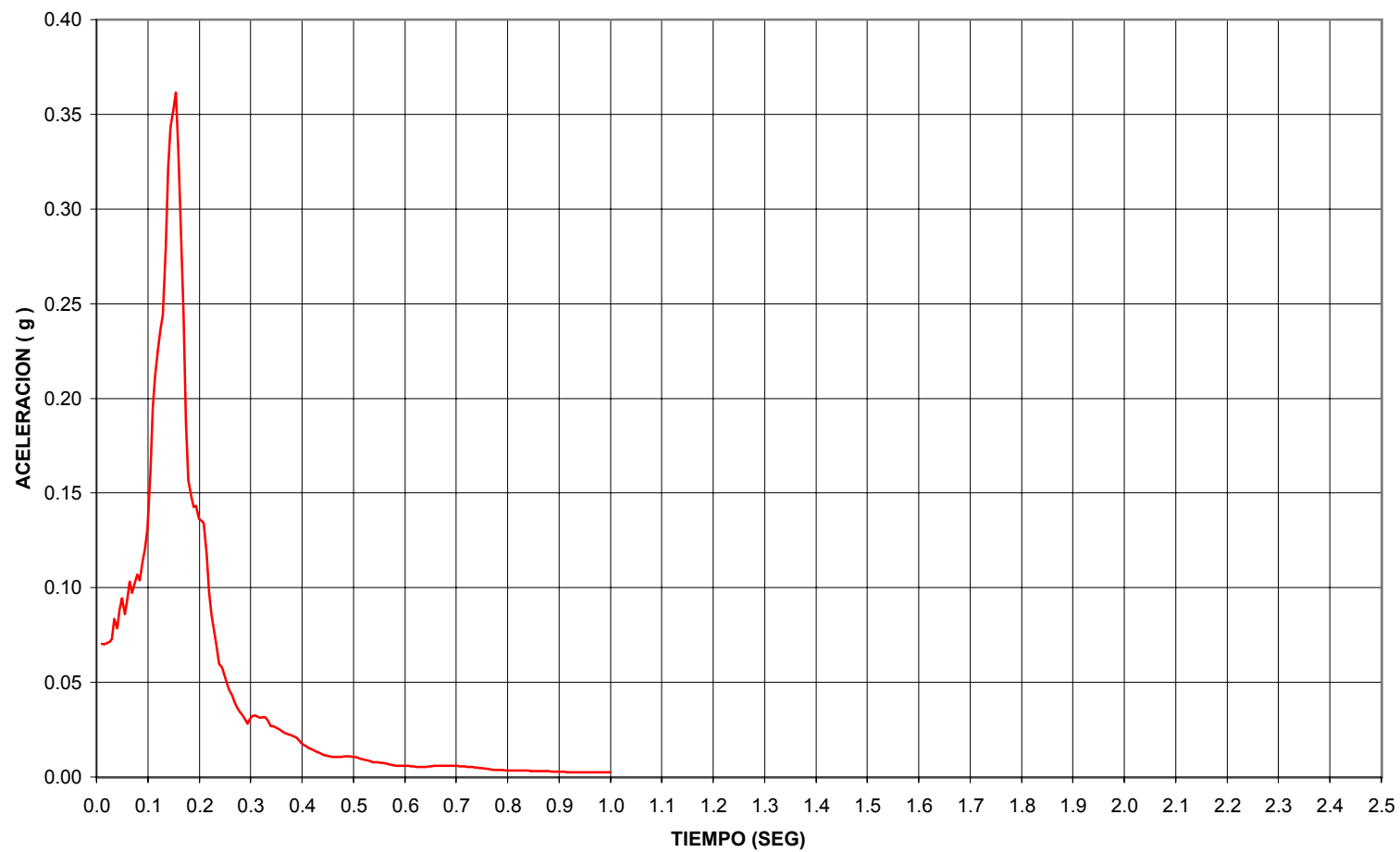


FIGURA F.4.3
ESPECTRO ELASTICO - U. CATOLICA (N-S)

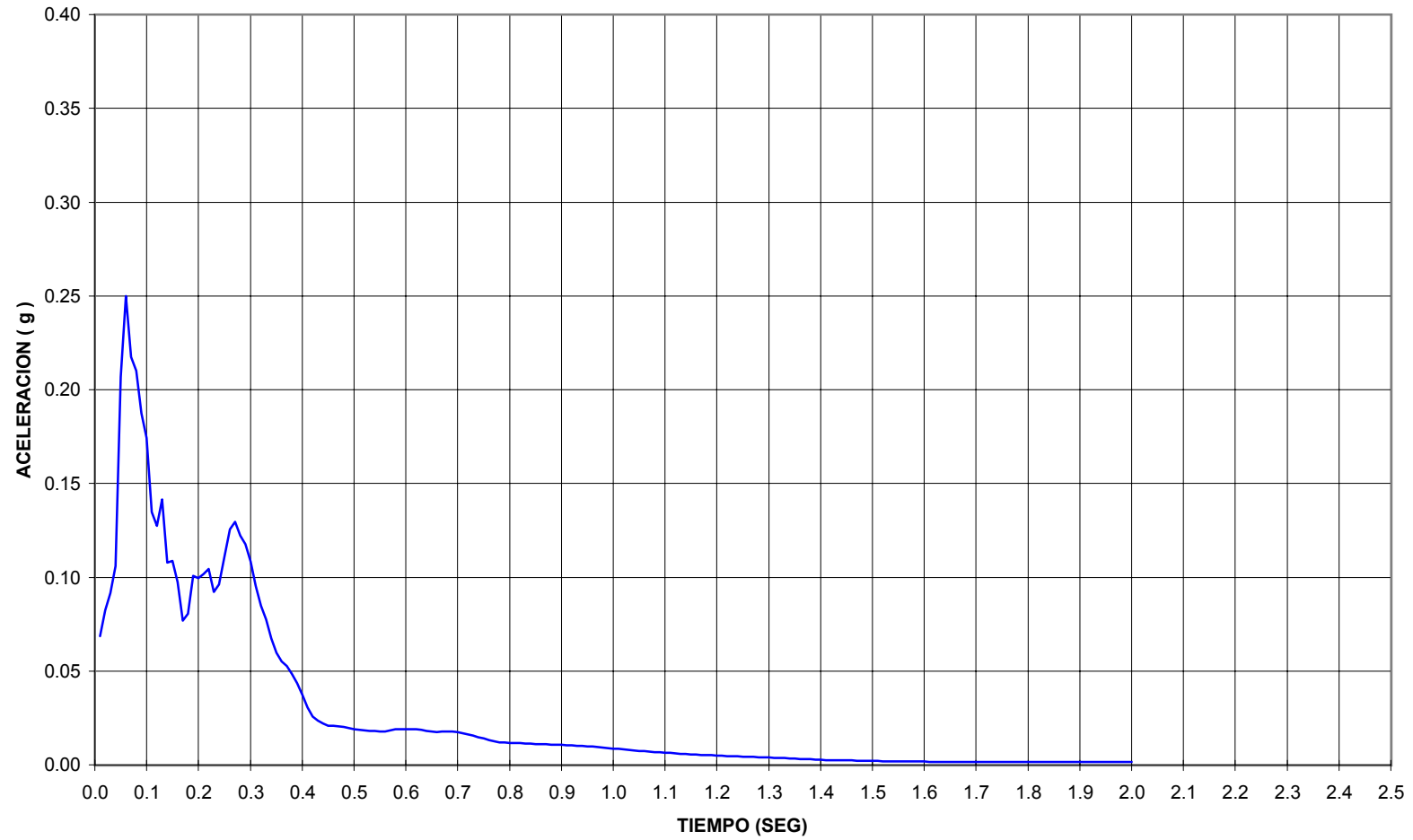


FIGURA F.4.4
ESPECTRO ELASTICO - U. CATOLICA (E-O)

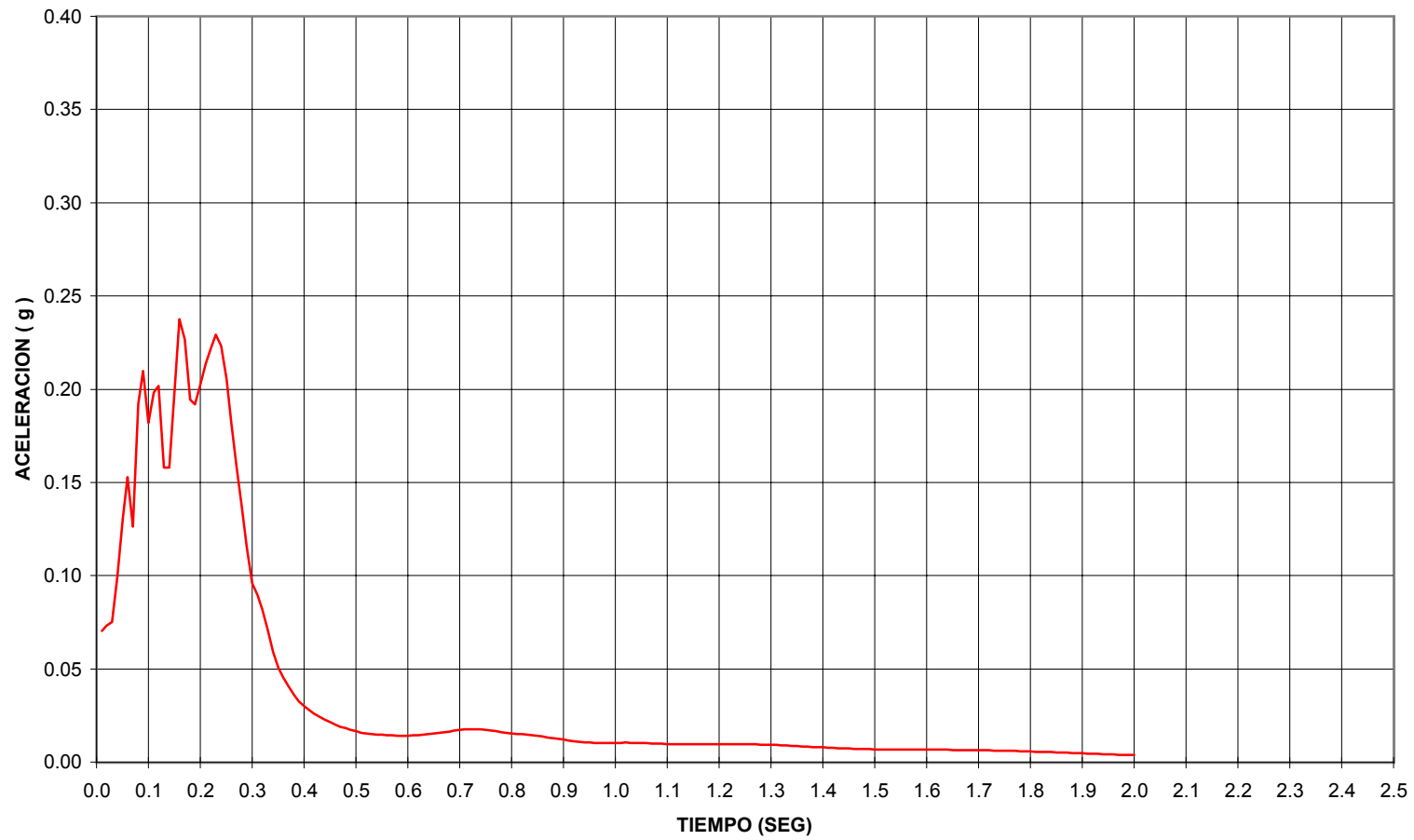


FIGURA F.4.5
ESPECTRO ELASTICO - AV. DEL EJERCITO (N-S)

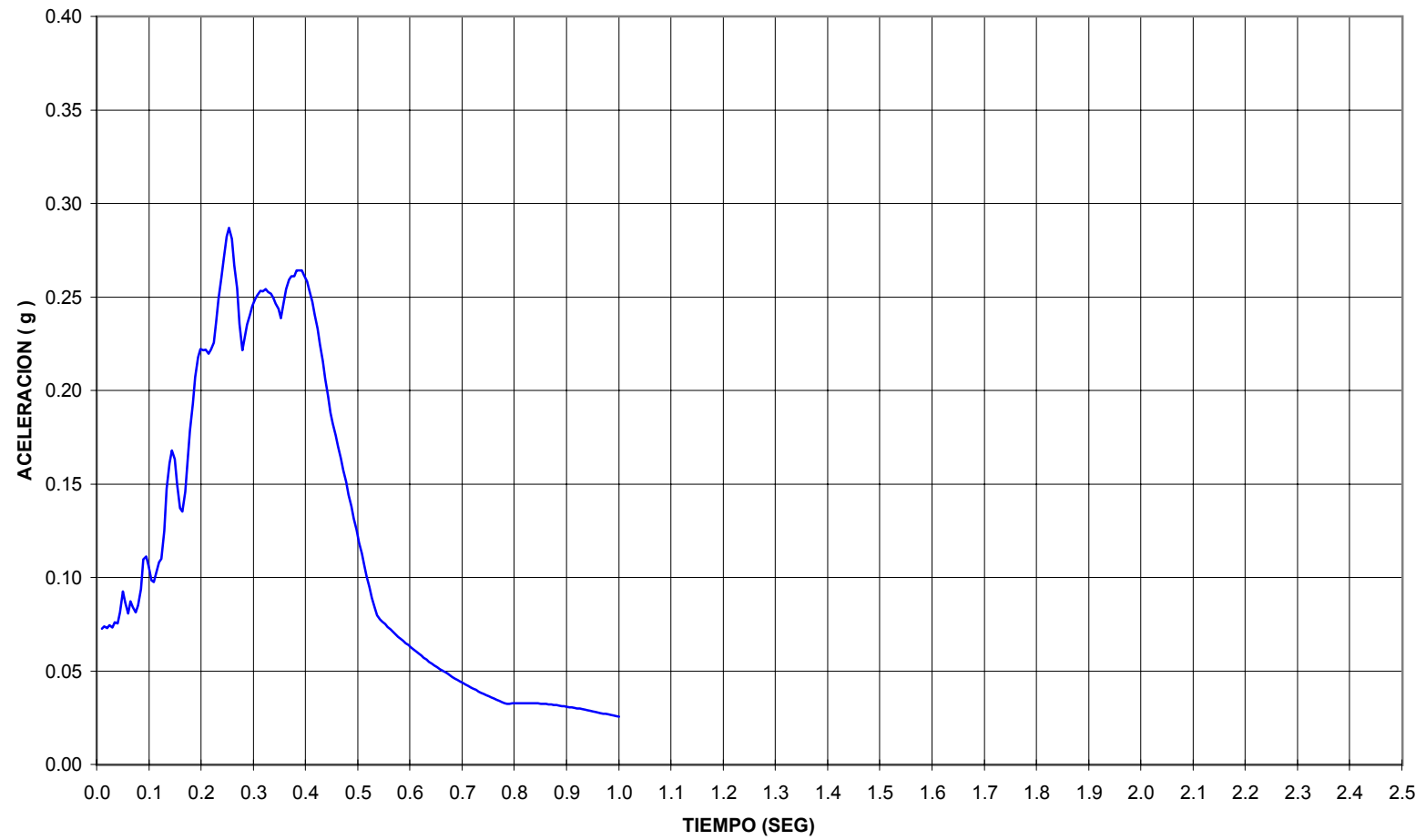


FIGURA F.4.6
ESPECTRO ELASTICO - AV. DEL EJERCITO (E-O)

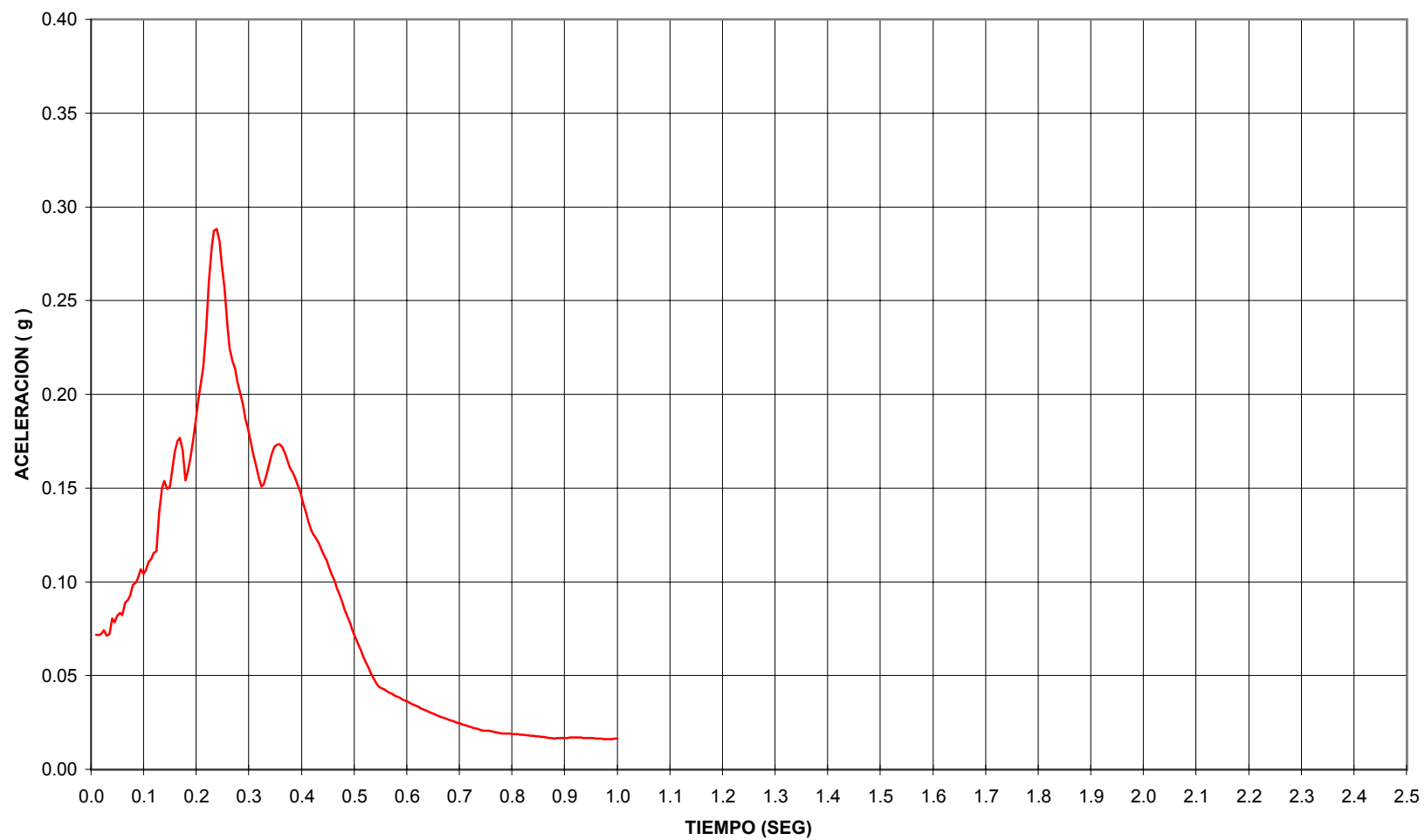


FIGURA F.4.7
ESPECTRO ELASTICO - CIUDAD DE MANTA (N-S)

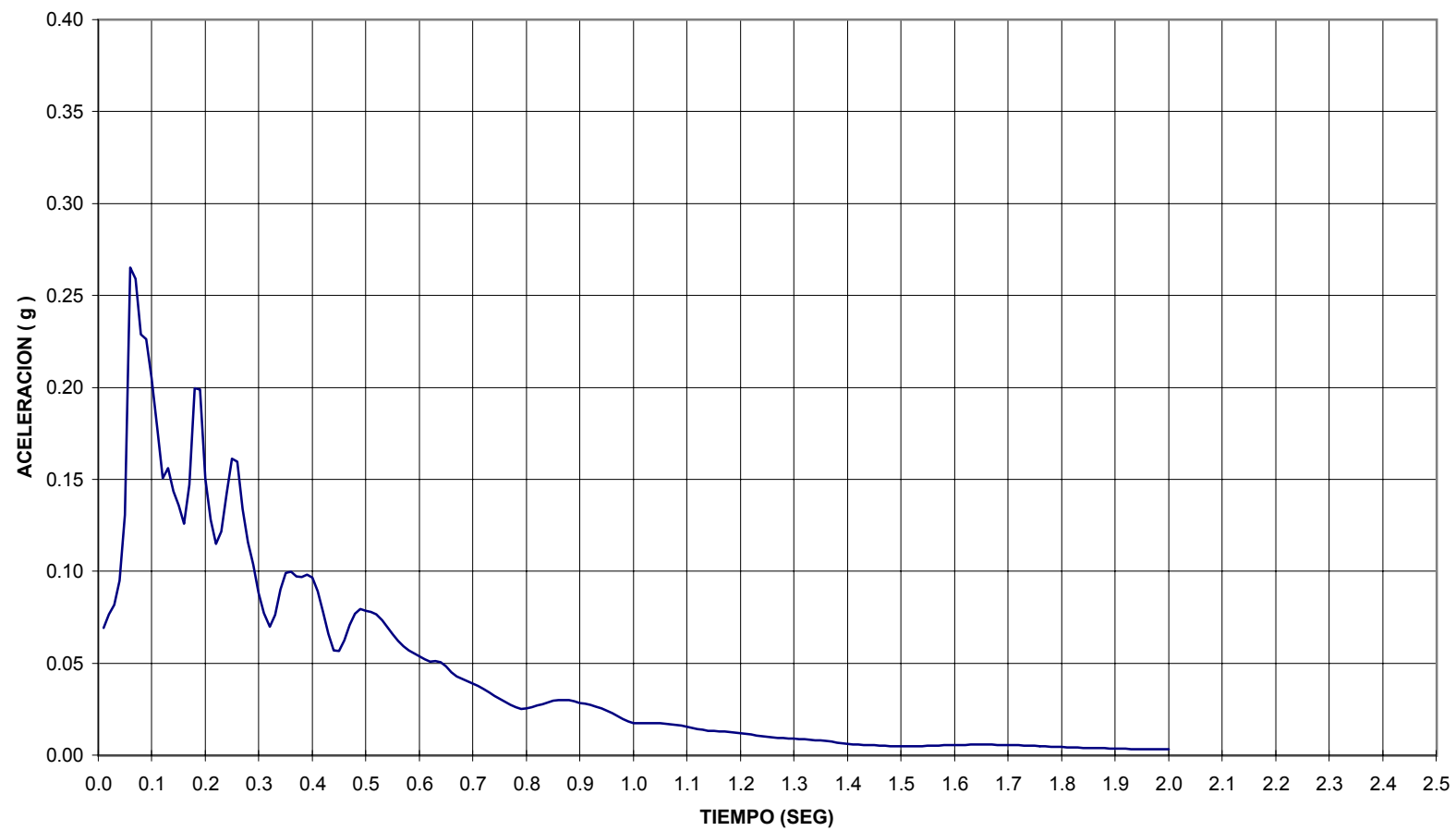


FIGURA F.4.8
ESPECTRO ELASTICO - CIUDAD DE MANTA (E-O)

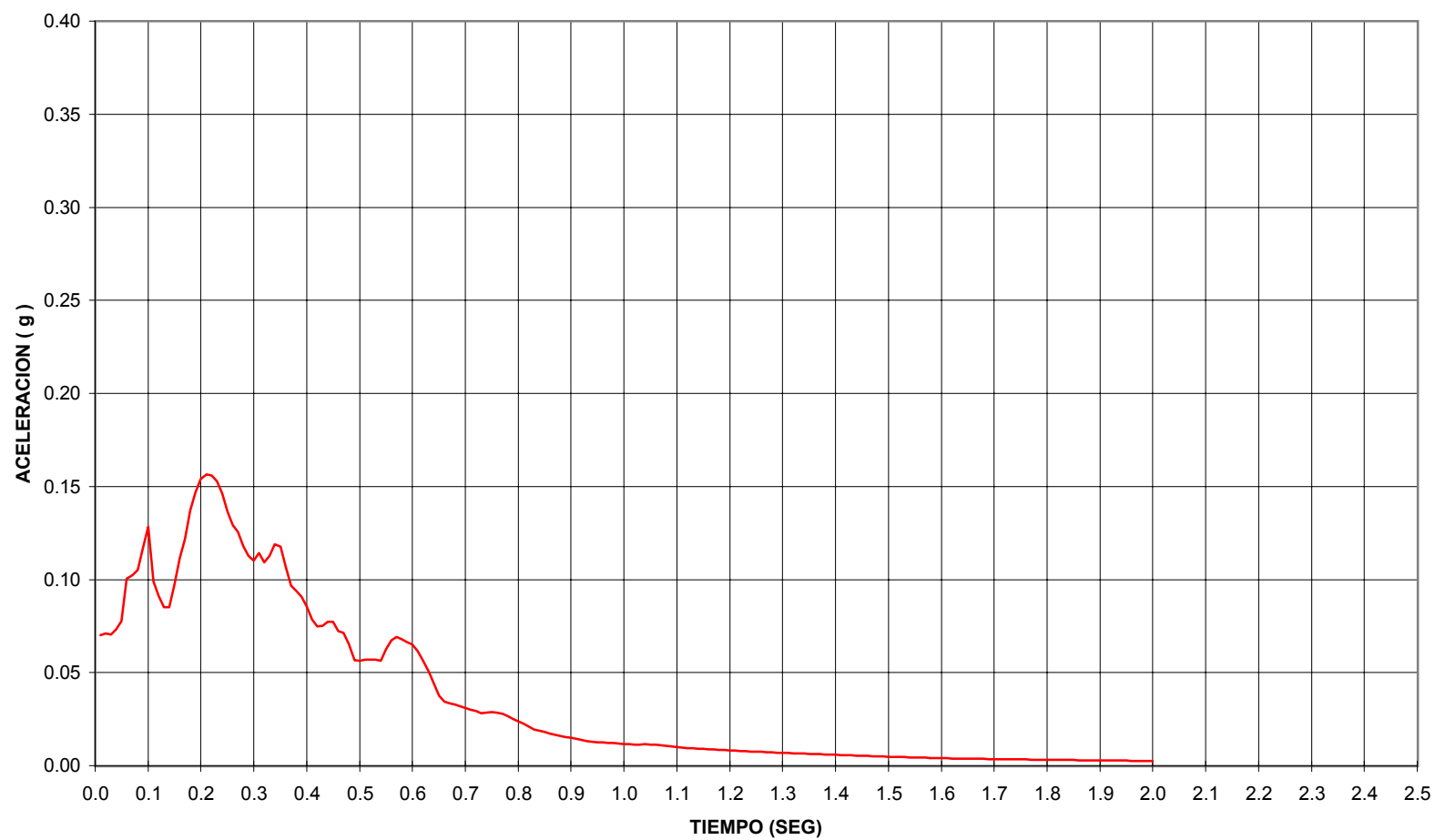


FIGURA F.4.9
ESPECTRO ELASTICO - BARRIO CENTENARIO (N-S)

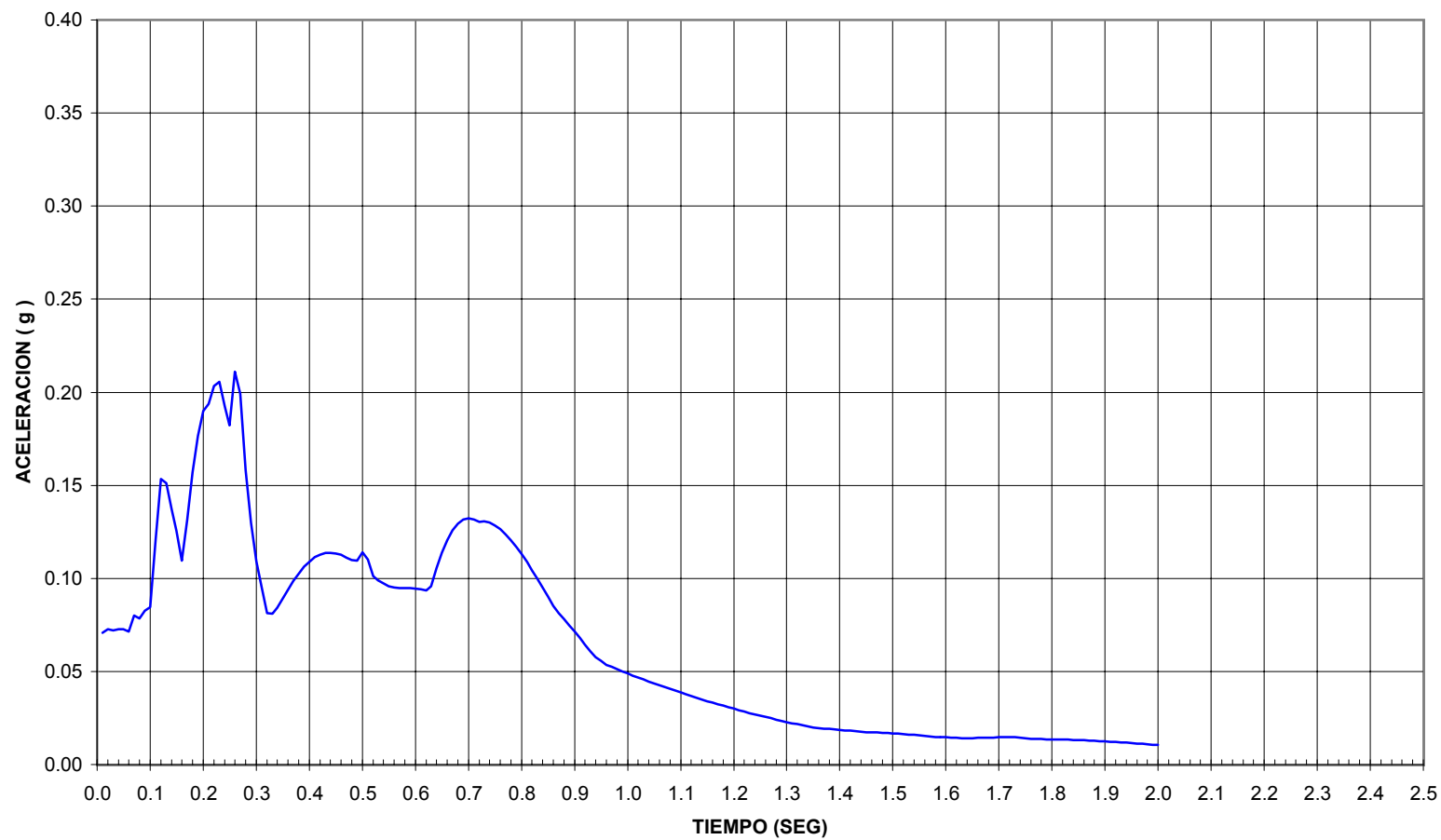


FIGURA F.4.10
ESPECTRO ELASTICO - BARRIO CENTENARIO (E-O)

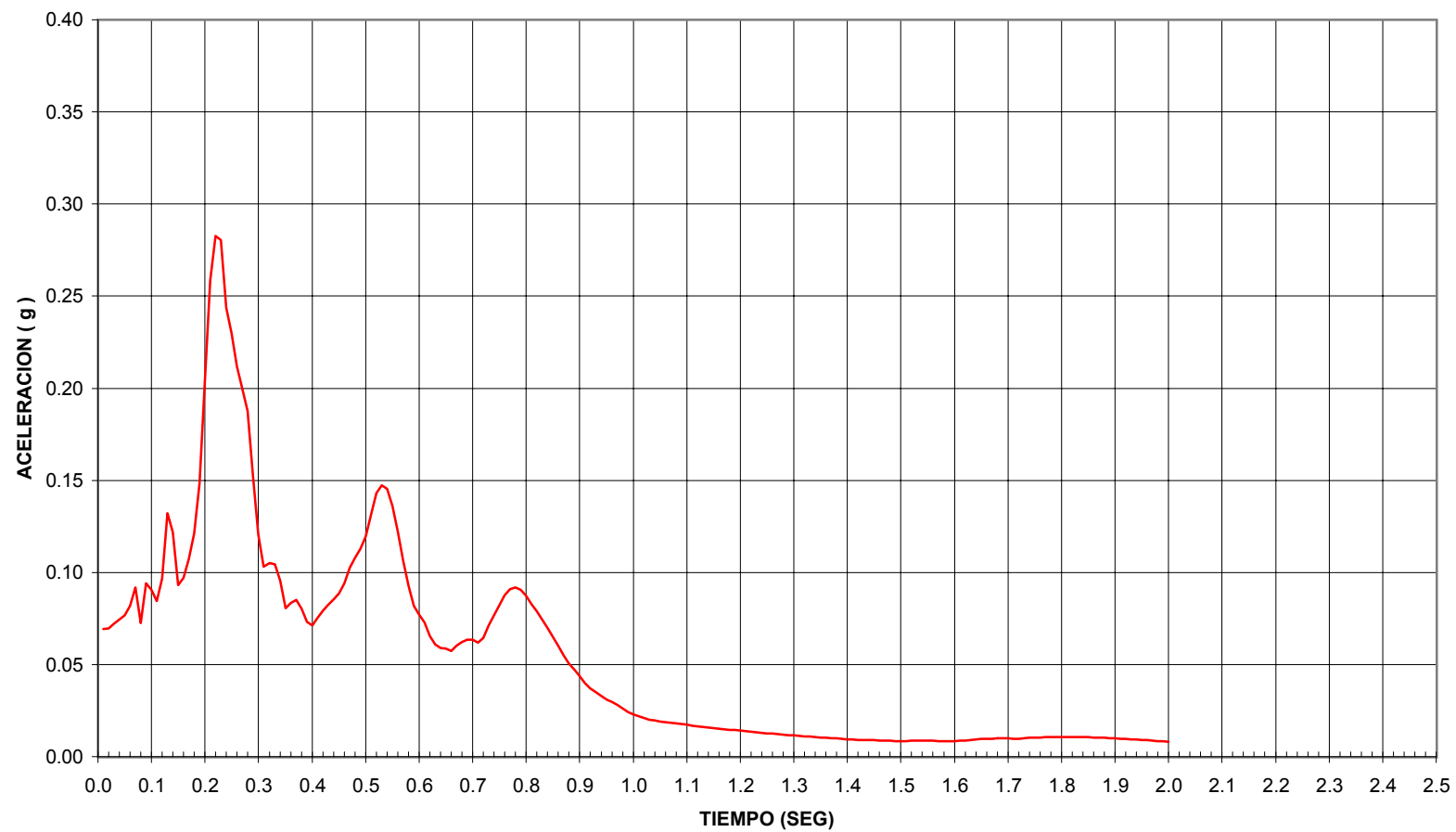


FIGURA F.4.11
ESPECTRO ELASTICO - SECTOR TORRES DE LA MERCED (N-S)

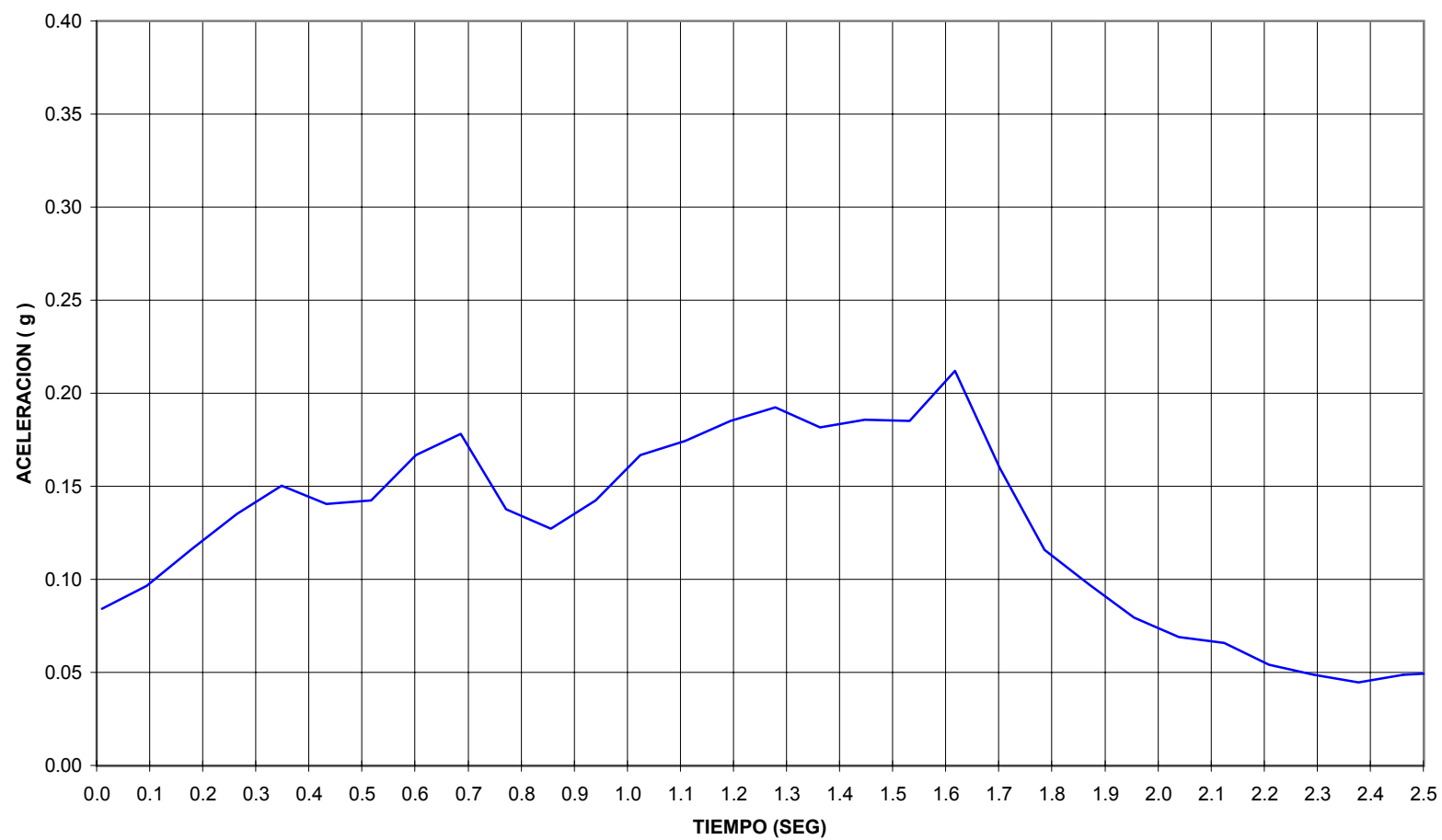
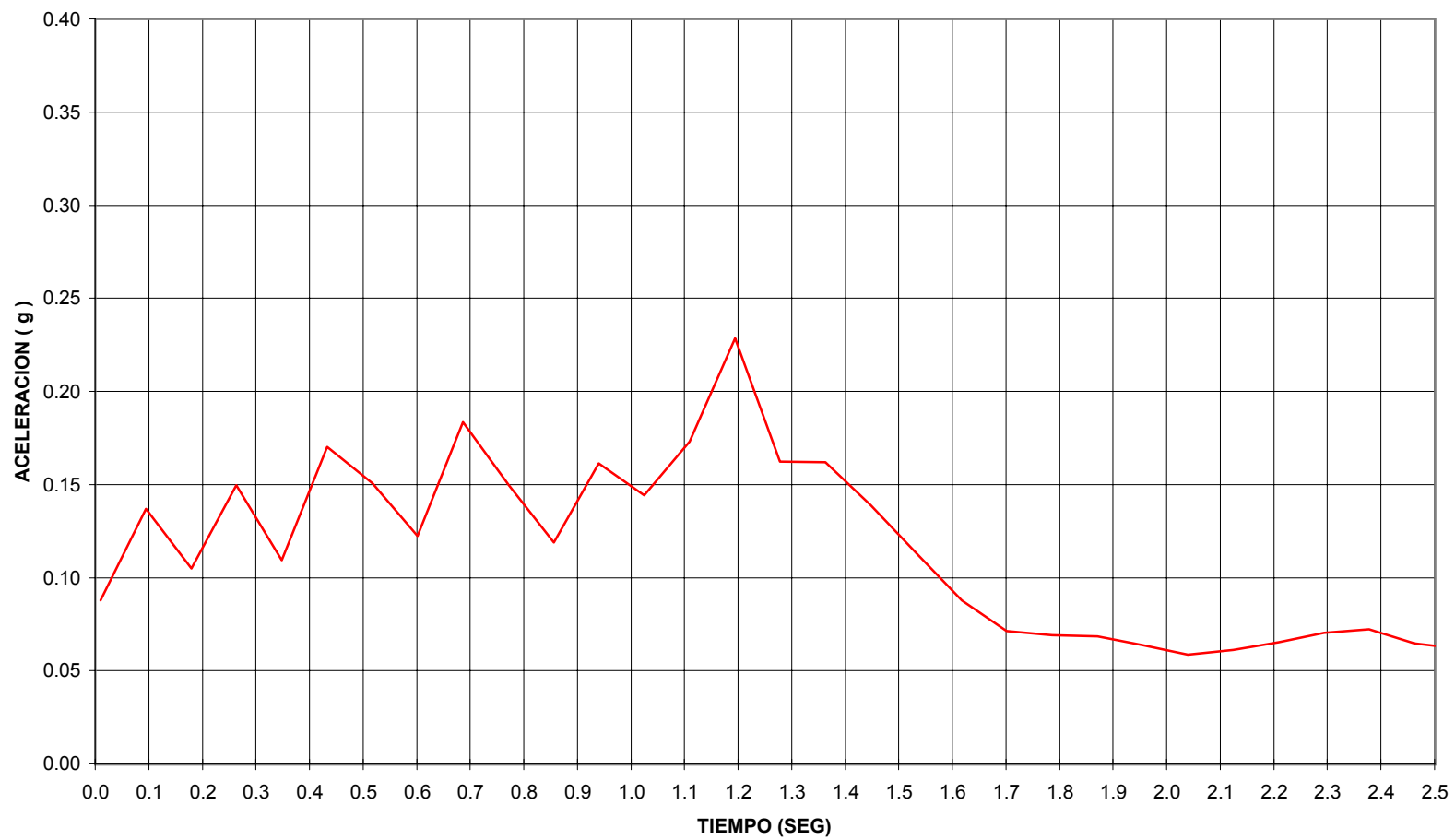


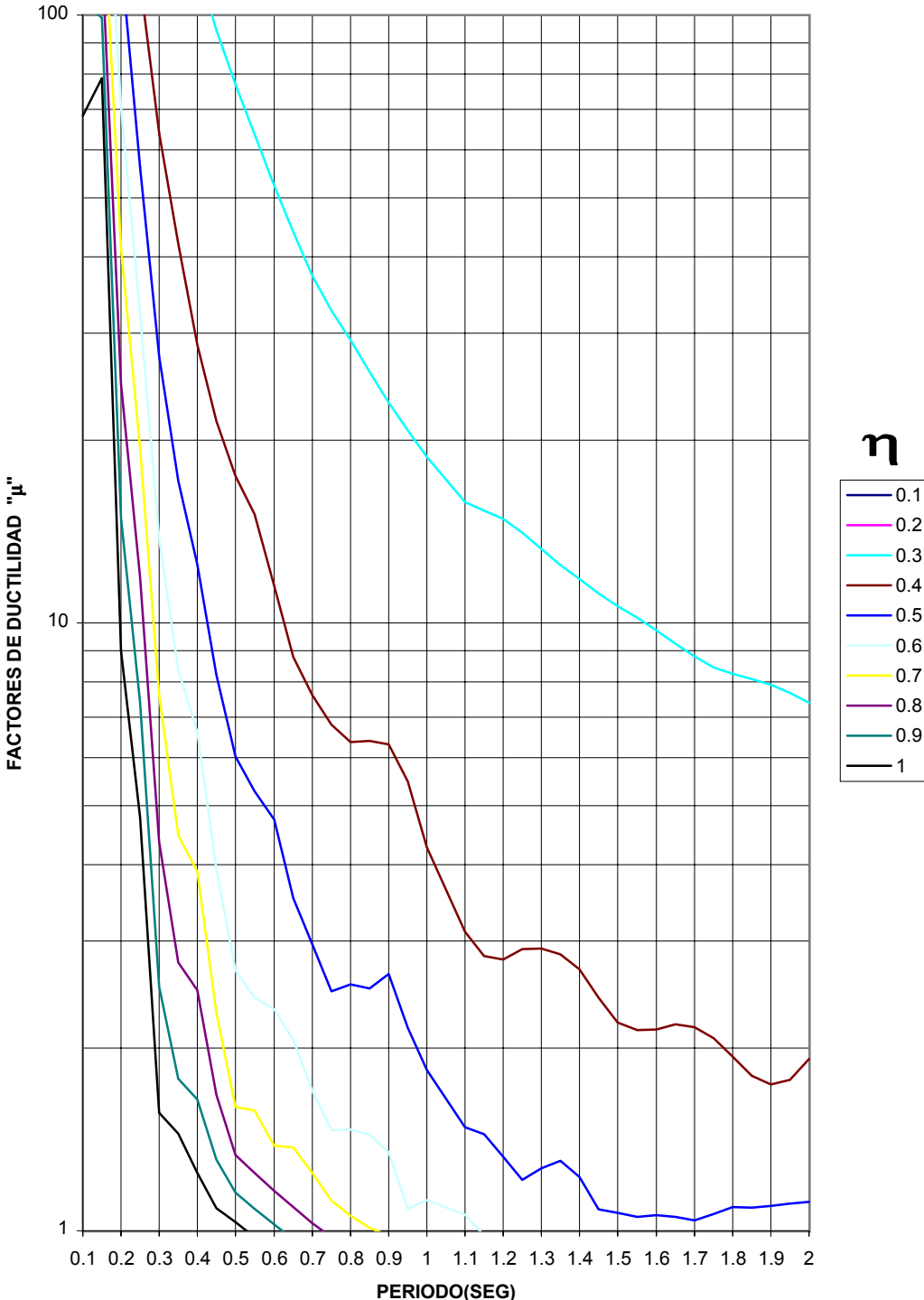
FIGURA F.4.12
ESPECDTRO ELASTICO - SECTOR TORRES DE LA MERCED (E-0)



APÉNDICE F.5

ESPECTROS INELÁSTICOS

E. INELASTICO - COLEGIO DE INGENIEROS (N-S)



E. INELASTICO - COLEGIO DE INGENIEROS (E-O)

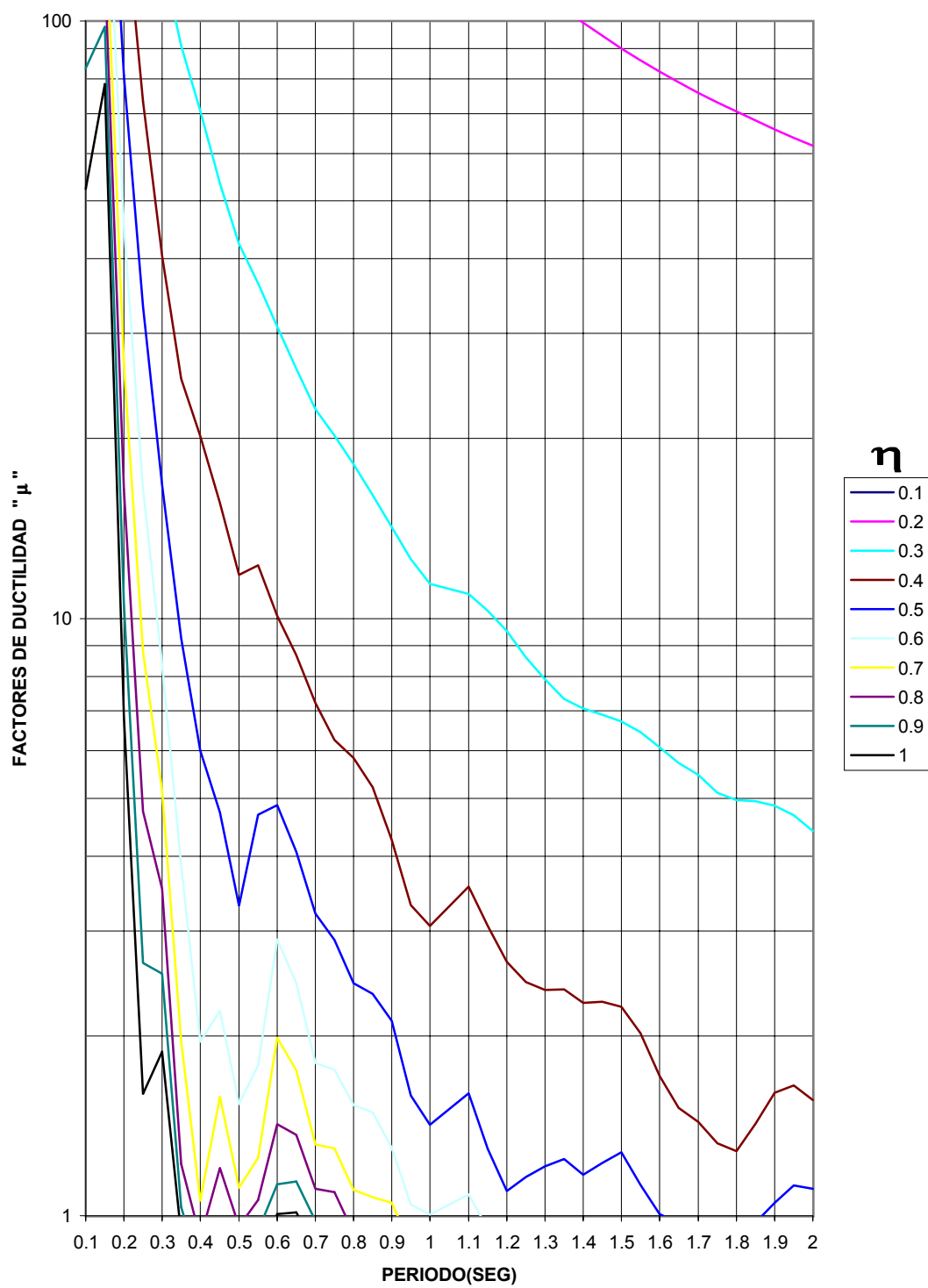


FIGURA F.5.3
E. INELASTICO - U. CATOLICA, (N-S)

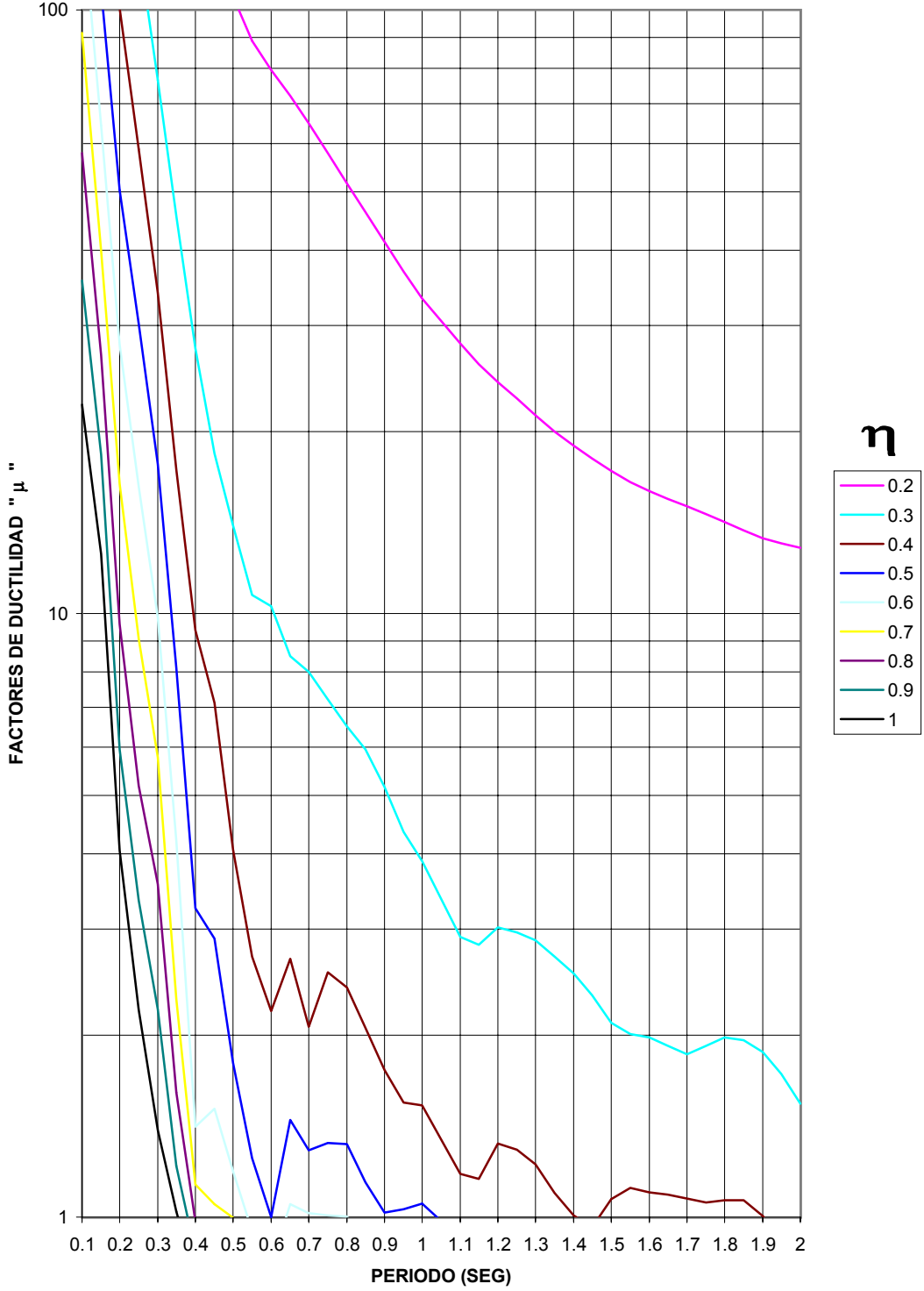


FIGURA F.5.4
E. INELASTICO - U. CATOLICA, (E-O)

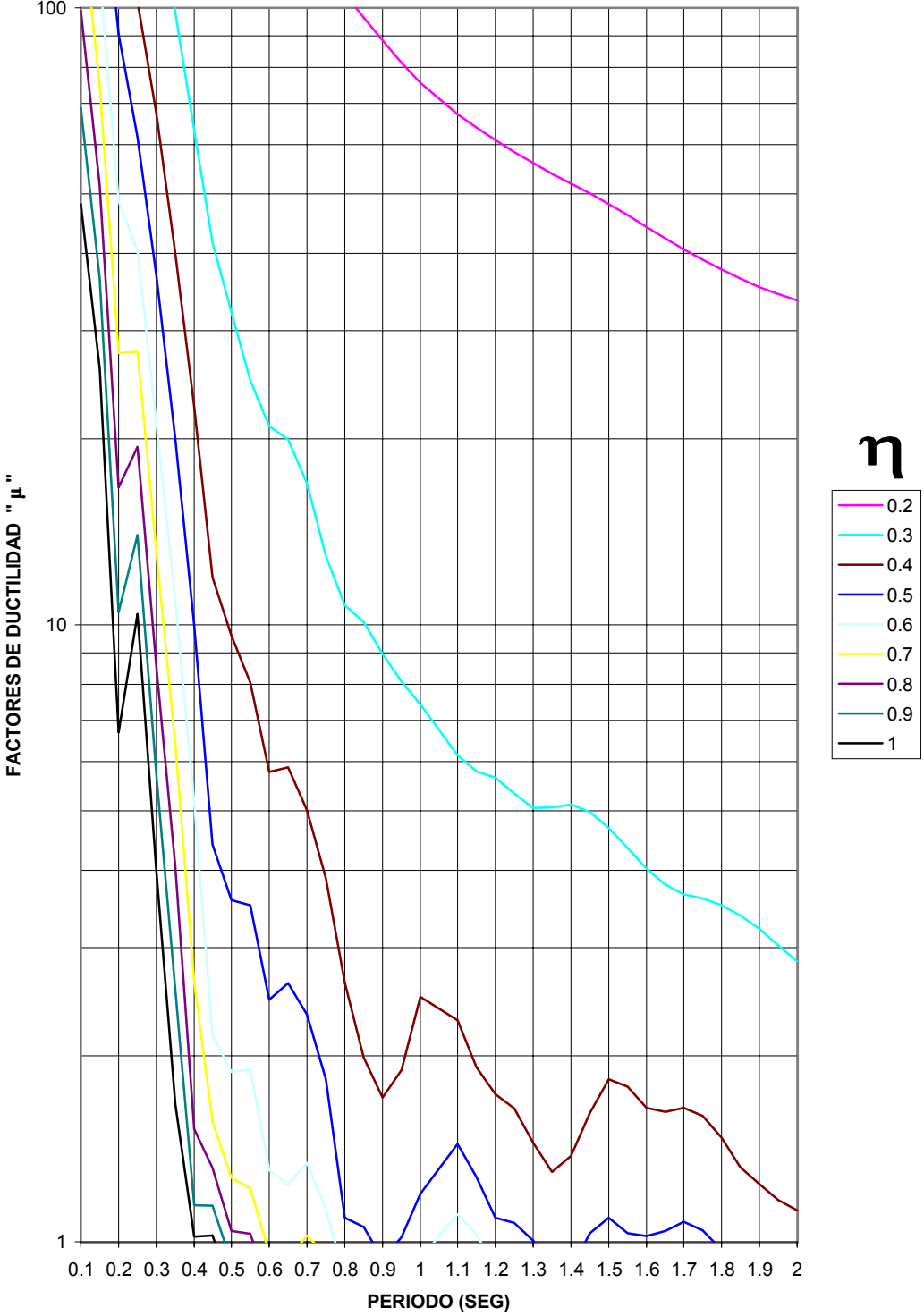


FIGURA F.5.5.
E. INELASTICO - Av. DEL EJERCITO (N-S)

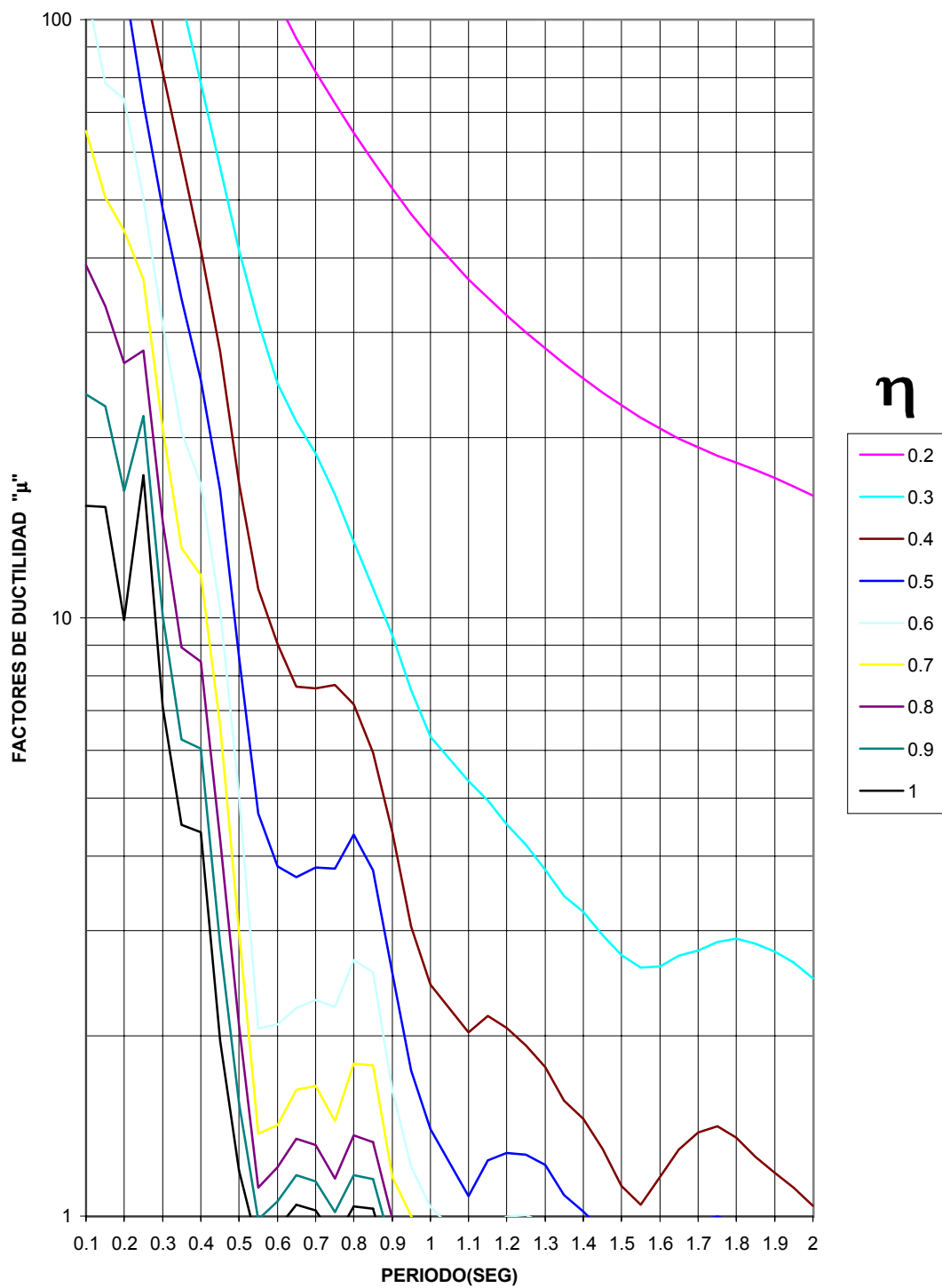


FIGURA F.5.6
E. INELASTICO - Av. DEL EJERCITO (E-O)

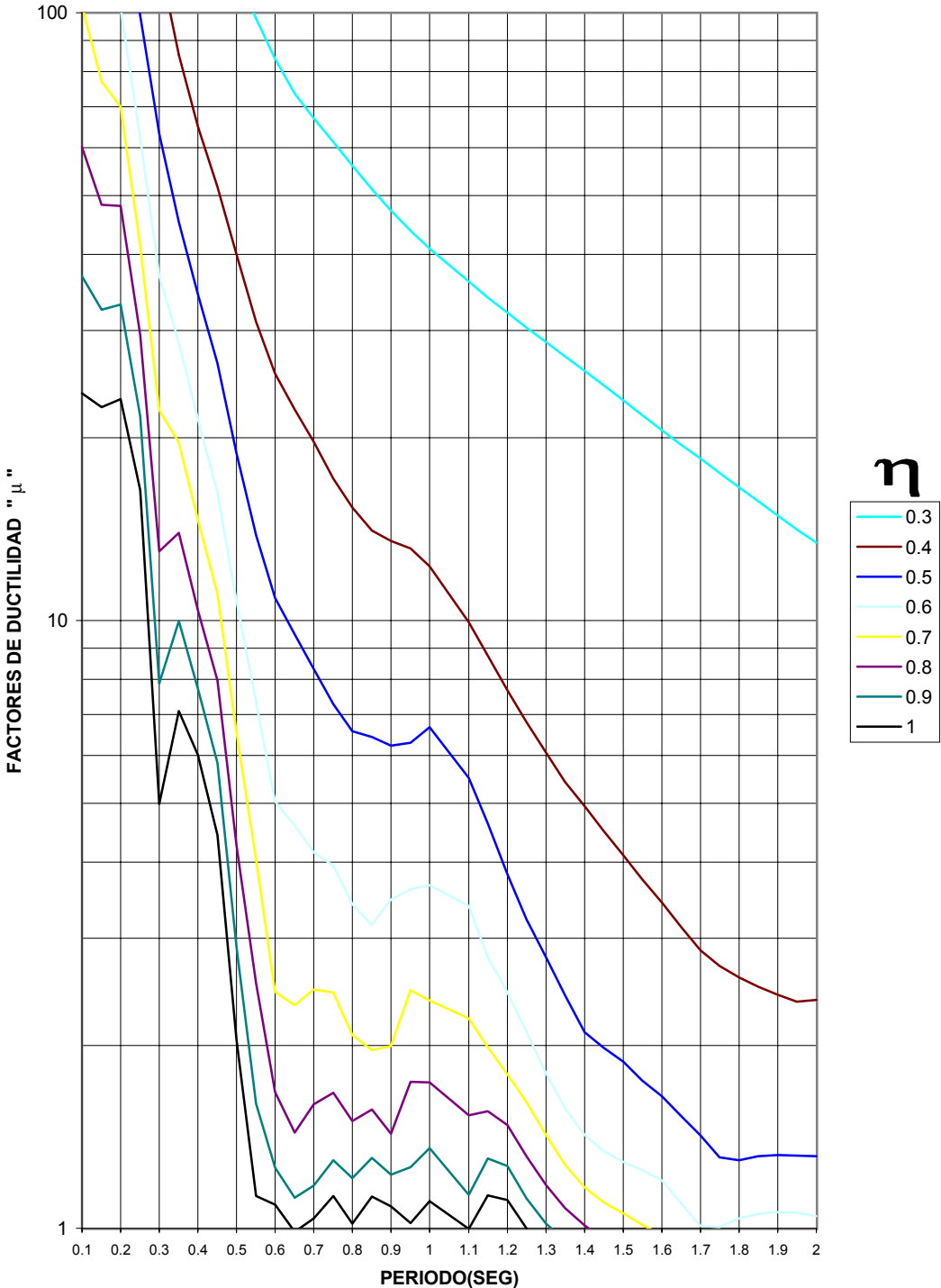


FIGURA F.5.7
E. INELASTICO - CIUDAD DE MANTA (N-S)

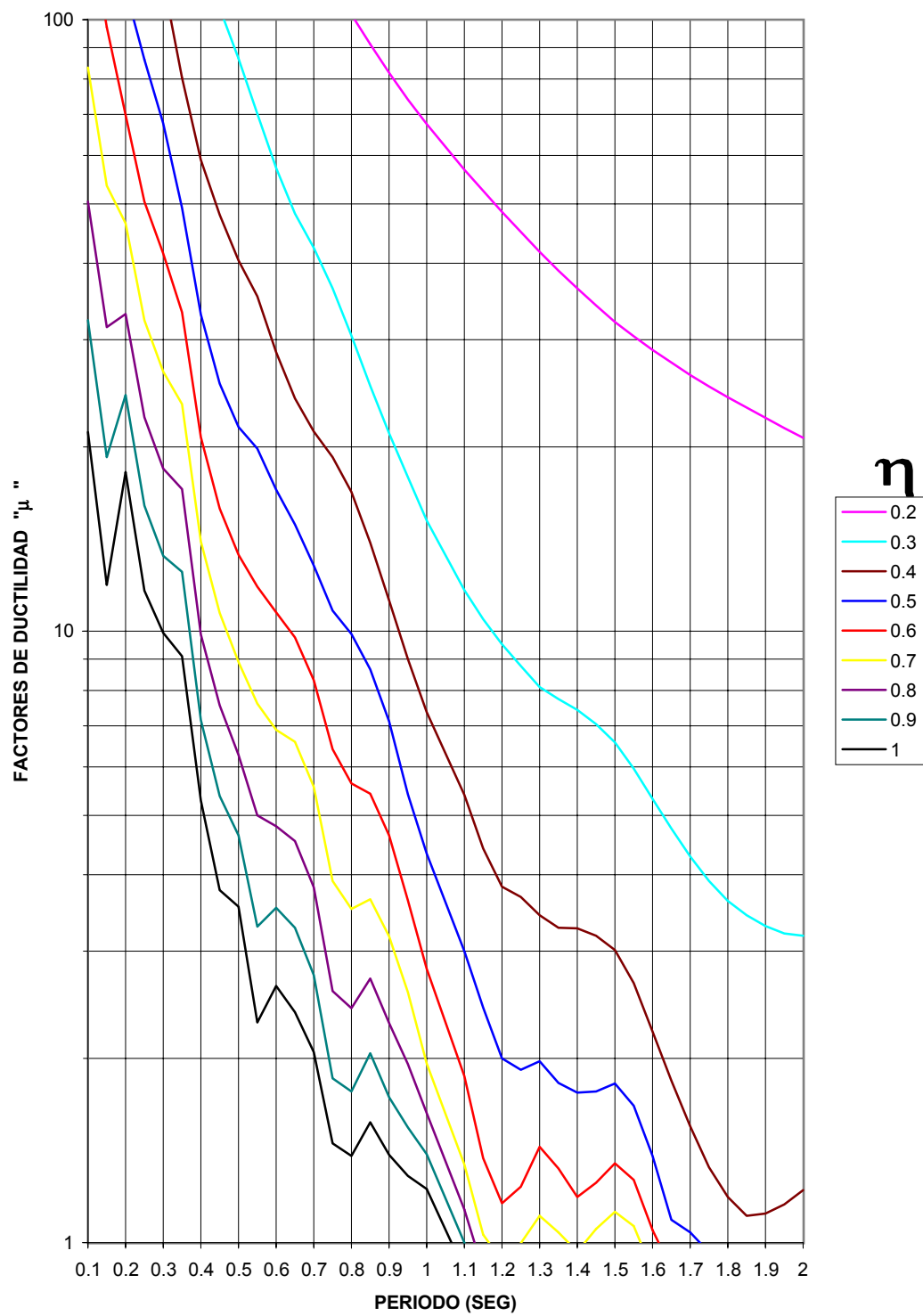
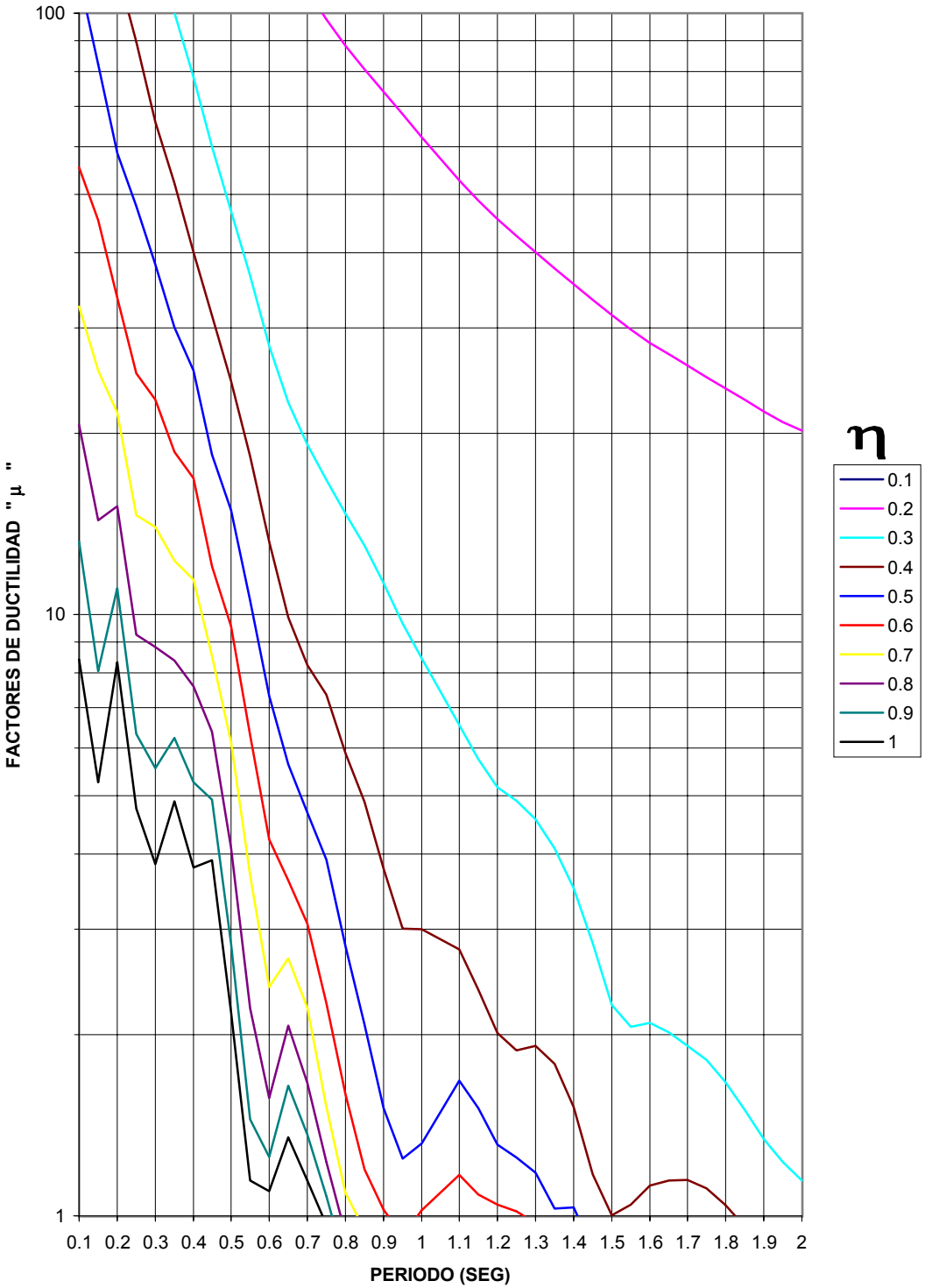


FIGURA F.5.8
E. INELASTICO - CIUDAD DE MANTA (E-0)



E. INELASTICO - BARRIO DEL CENTENARIO (N-S)

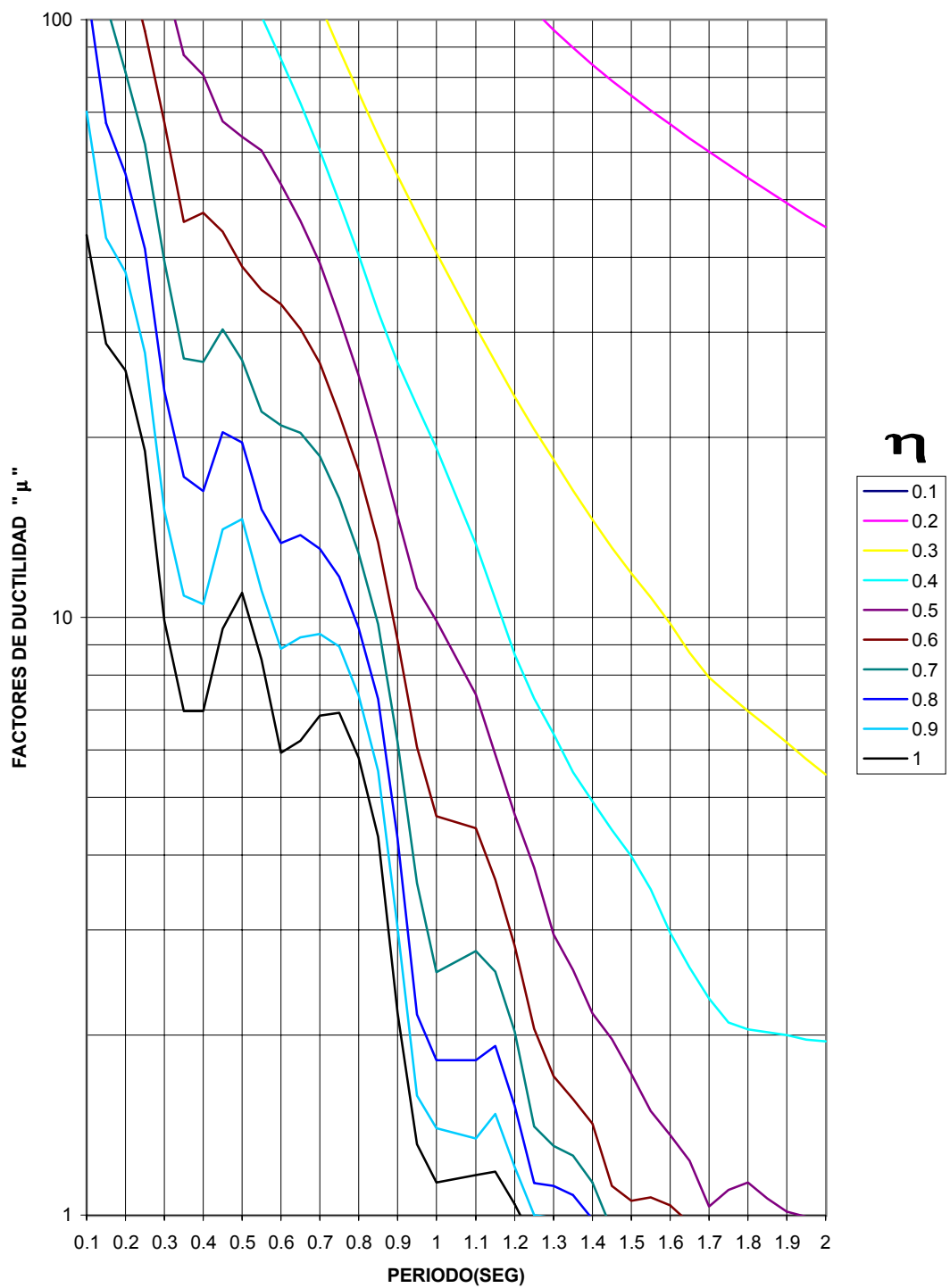


FIGURA F.5.10
E. INELASTICO - BARRIO DEL CENTENARIO (E-O)

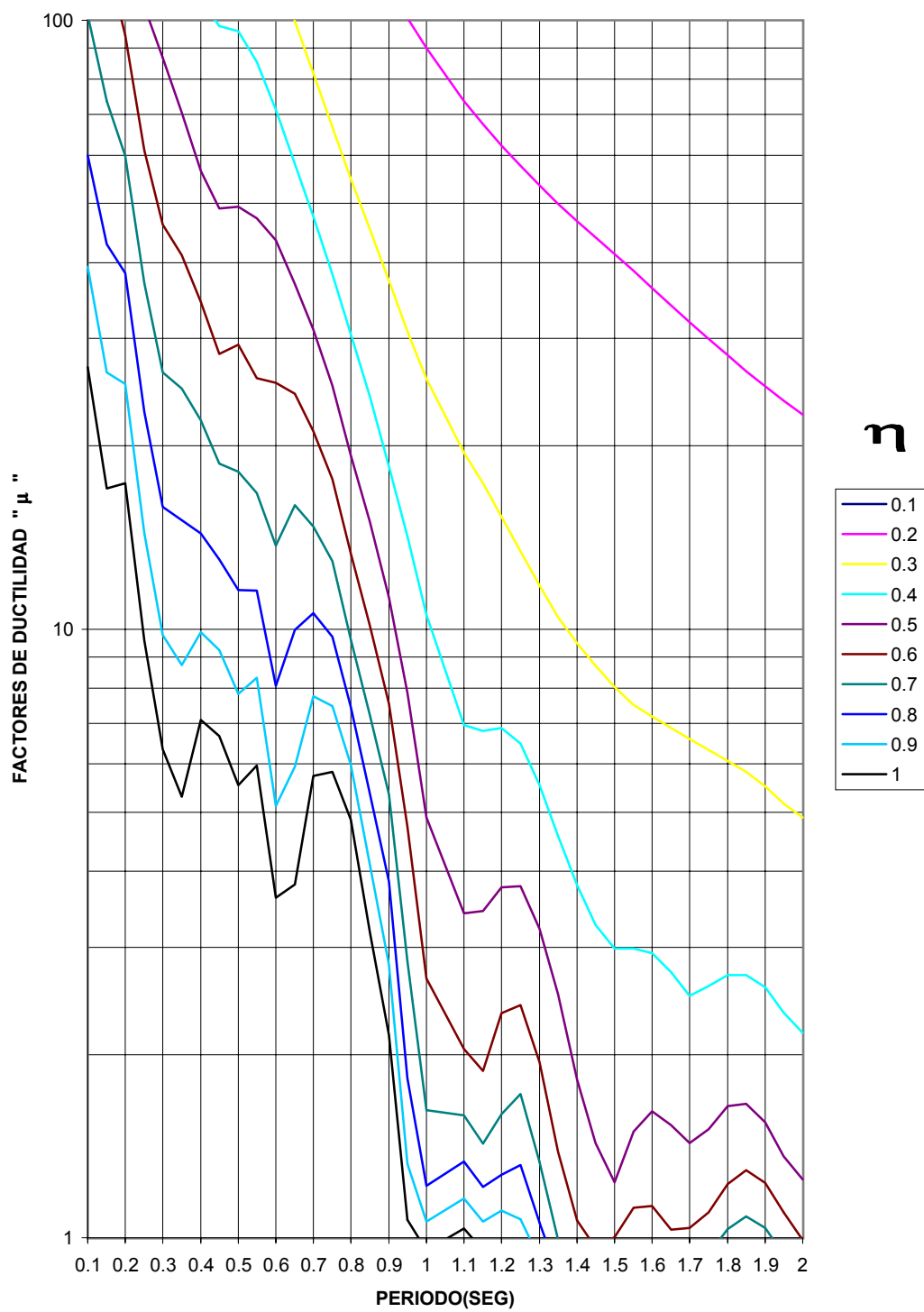


FIGURA F.5.11
E. INELASTICO - S. TORRES DE LA MERCED (N-S)

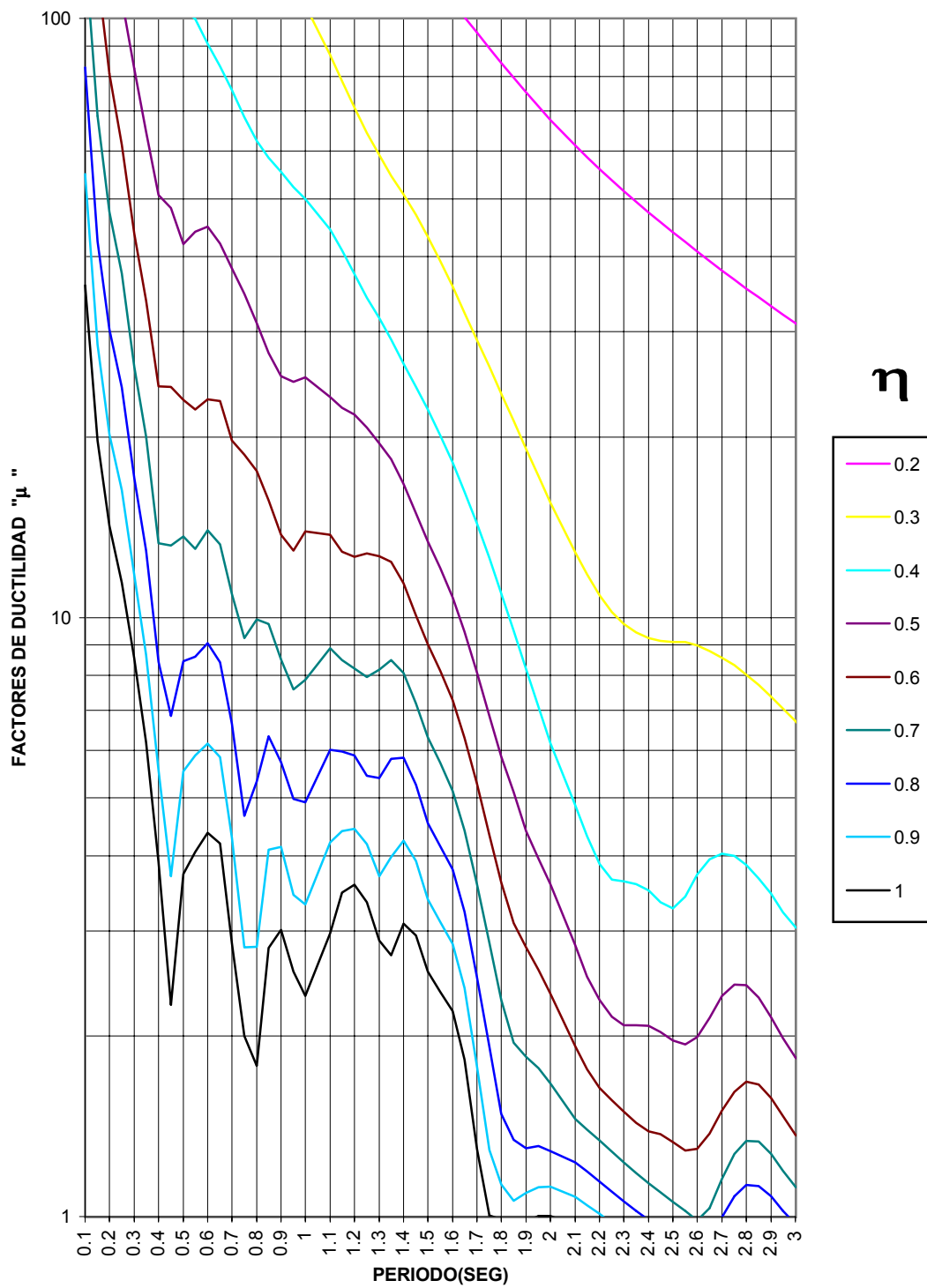
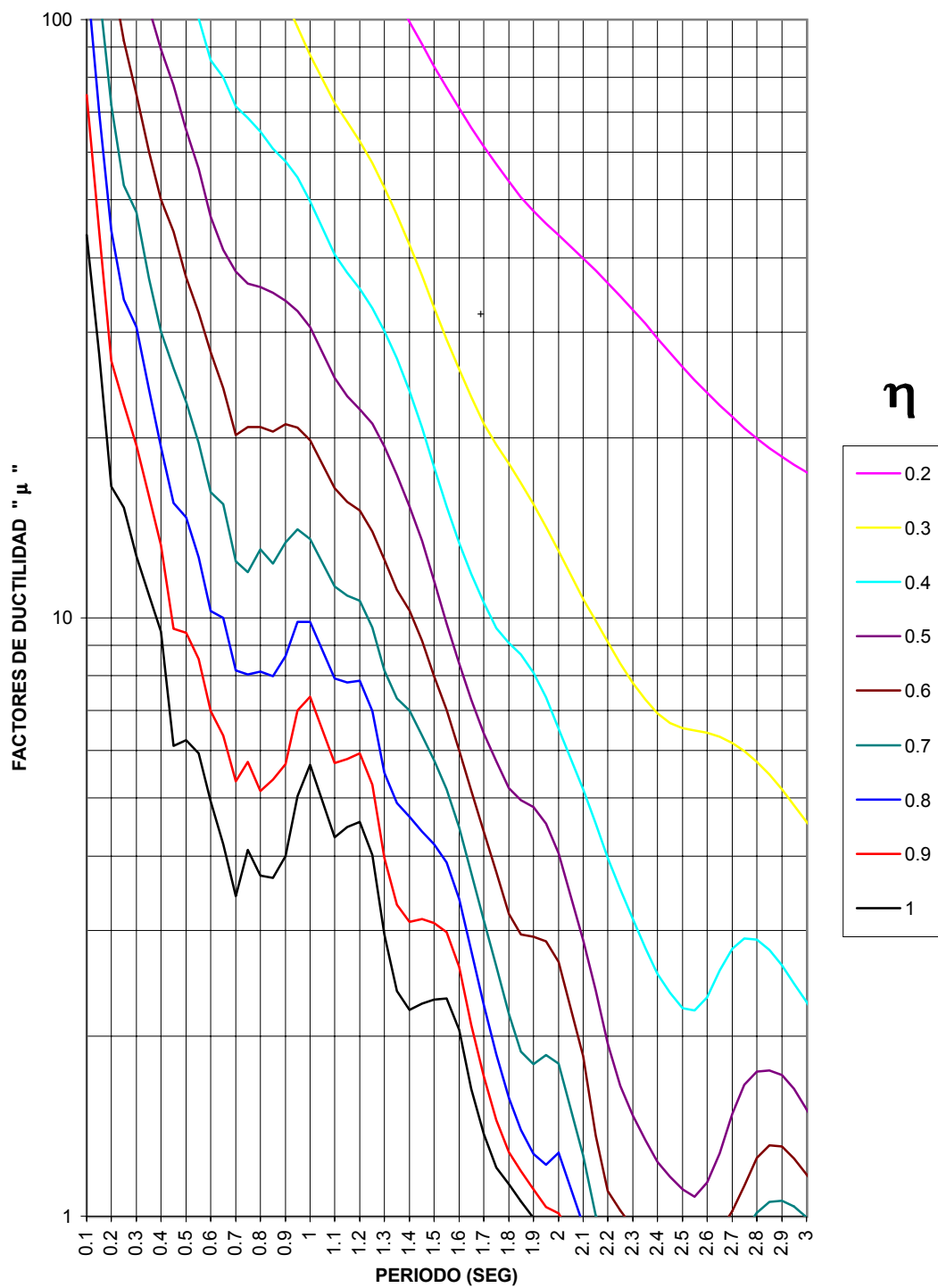


FIGURA F.5.12
E. INELASTICO - S. TORRES DE LA MERCED (E-O)



APÉNDICE F.6

GRÁFICAS DE COEFICIENTE SÍSMICO

FIGURA F.6.1
COEFICIENTE SISMICO - COLEGIO DE INGENIEROS (N-S)

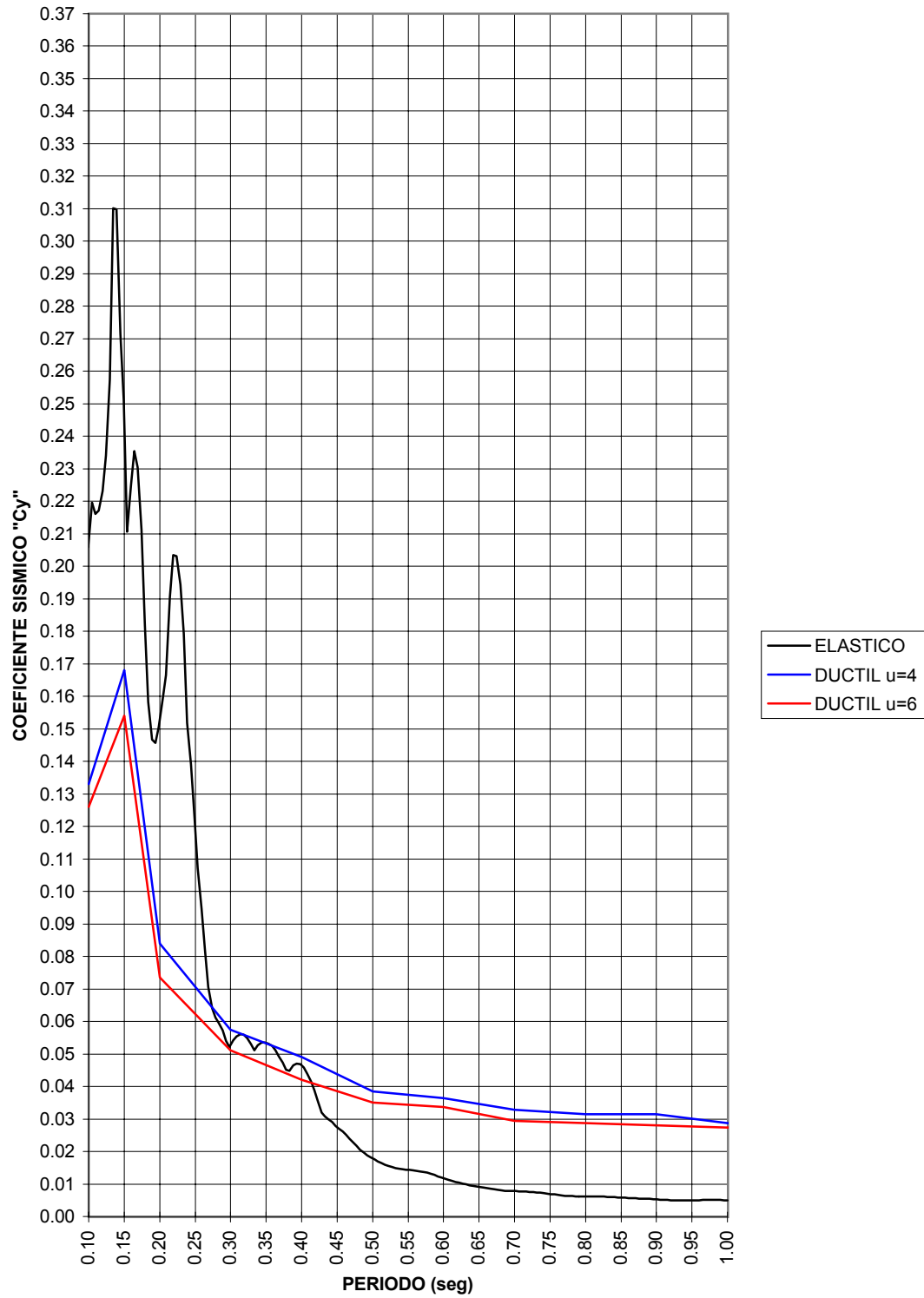


FIGURA F.6.2
COEFICIENTE SISMICO - COLEGIO DE INGENIEROS (E-O)

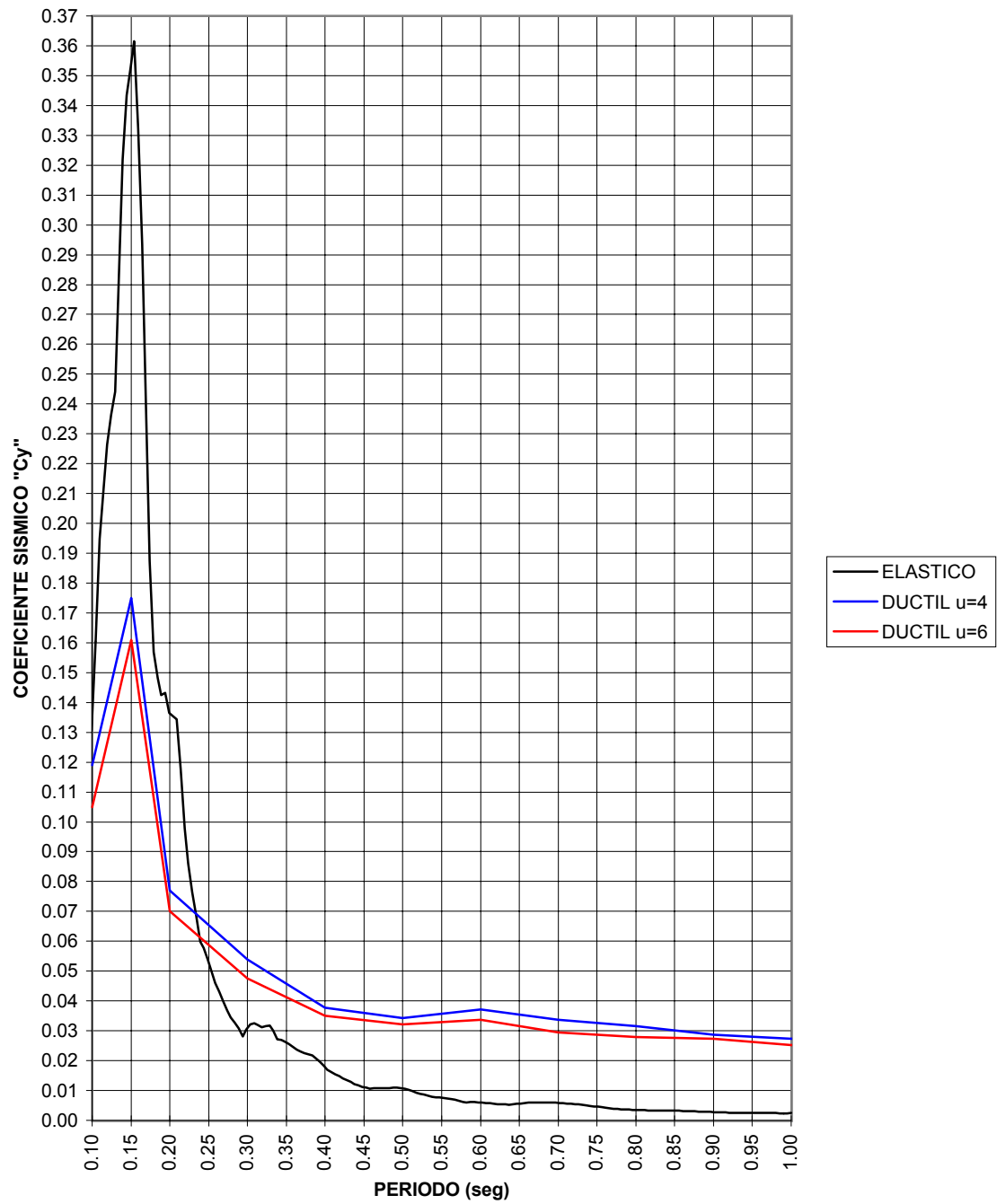


FIGURA F.6.3
COEFICIENTE SISMICO - U. CATOLICA (N-S)

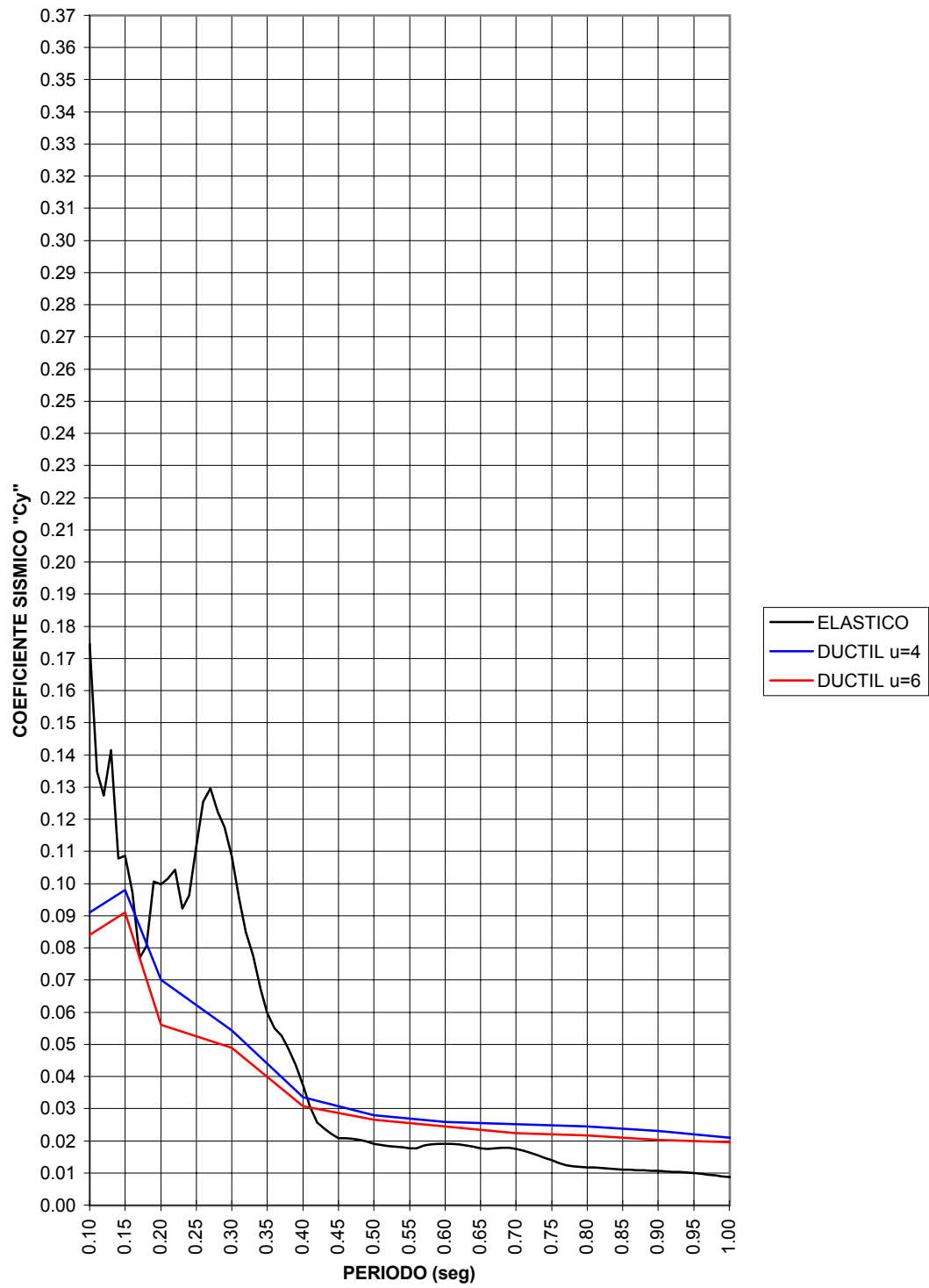


FIGURA F.6.4
COEFICIENTE SISMICO - U. CATOLICA (E-O)

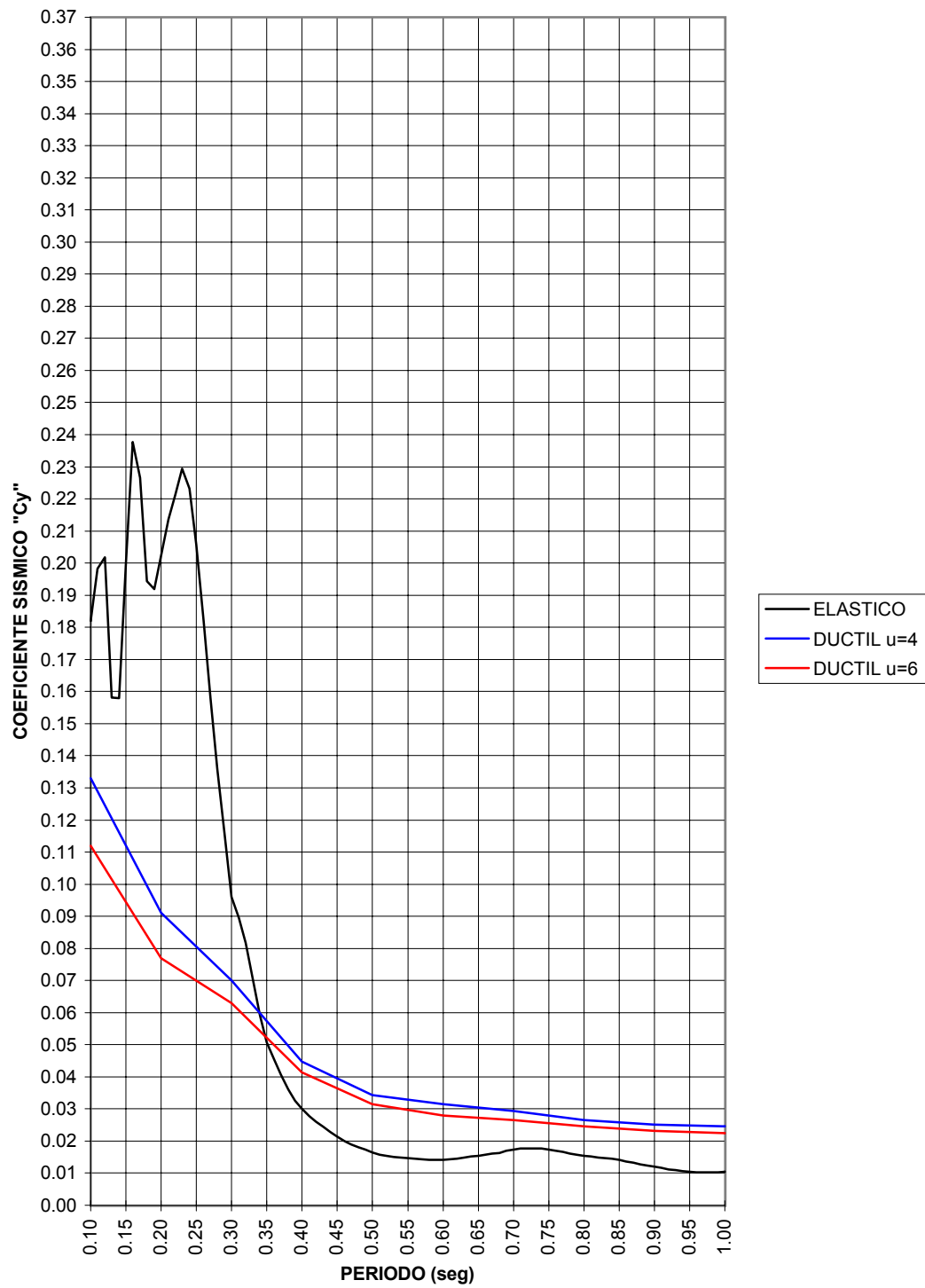


FIGURA F.6.5
COEFICIENTE SISMICO - AV. DEL EJERCITO (N-S)

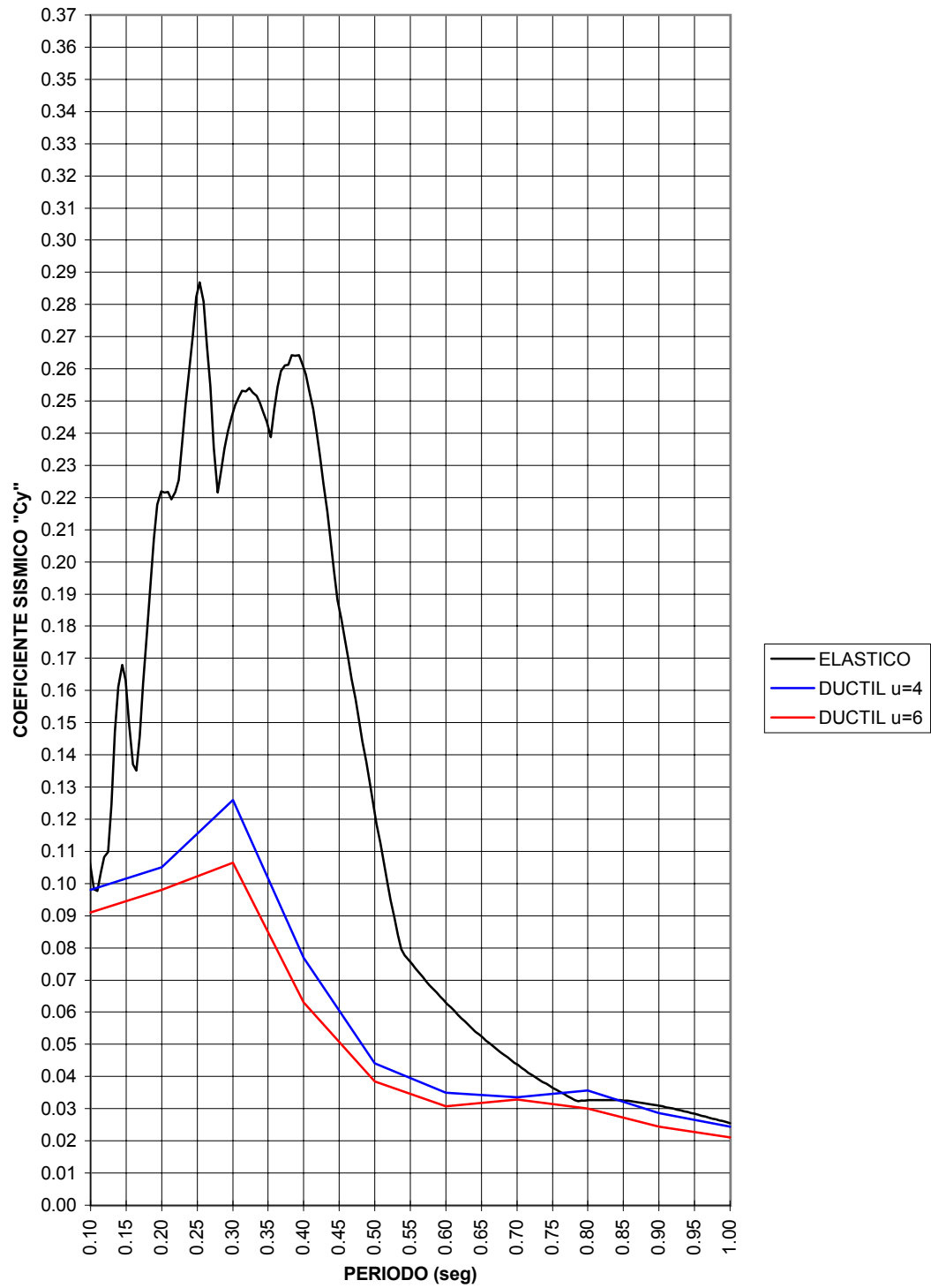


FIGURA F.6.6
COEFICIENTE SISMICO - AV. DEL EJERCITO (E-O)

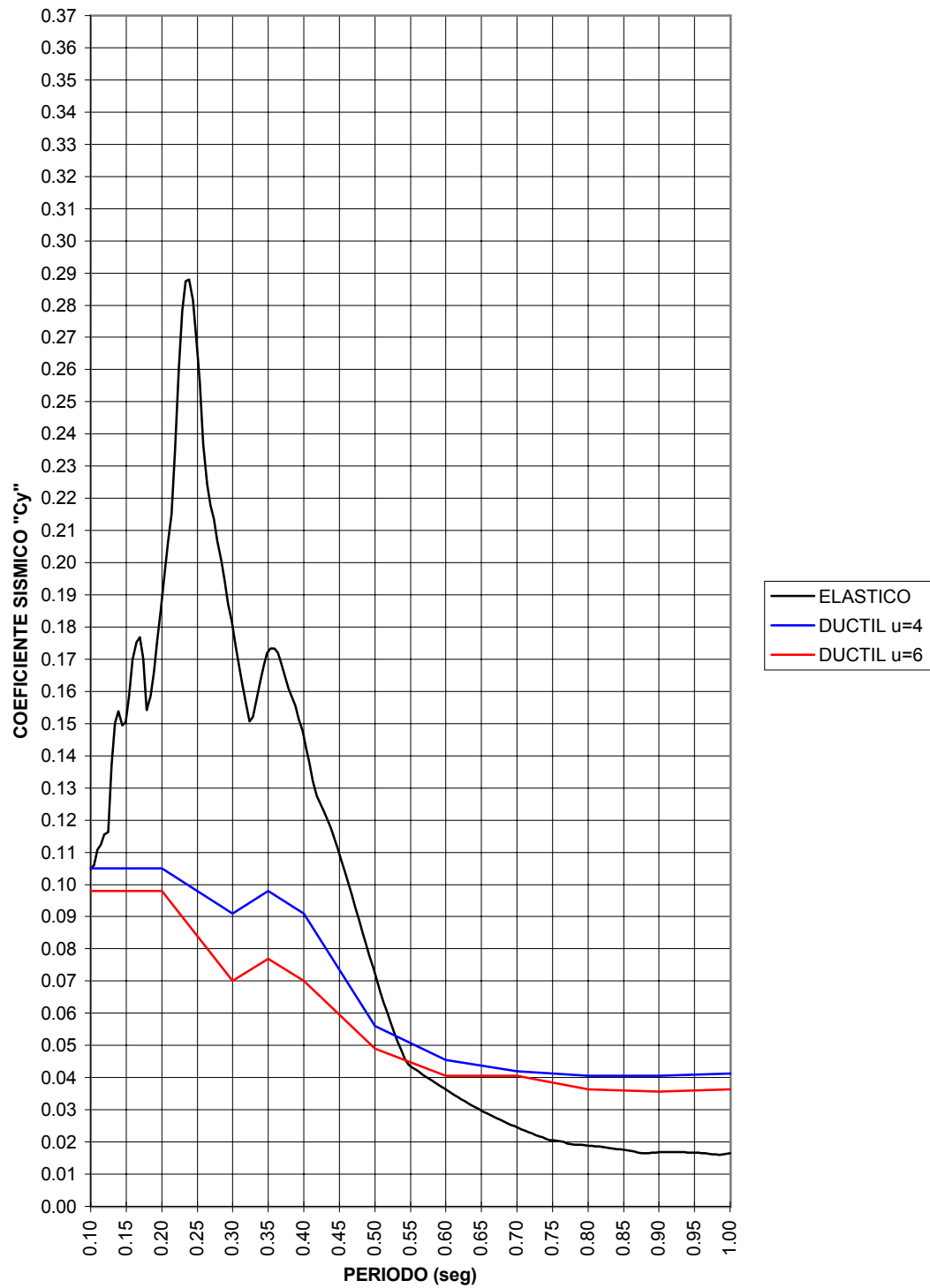


FIGURA F.6.7
COEFICIENTE SISMICO - CIUDAD DE MANTA (N-S)

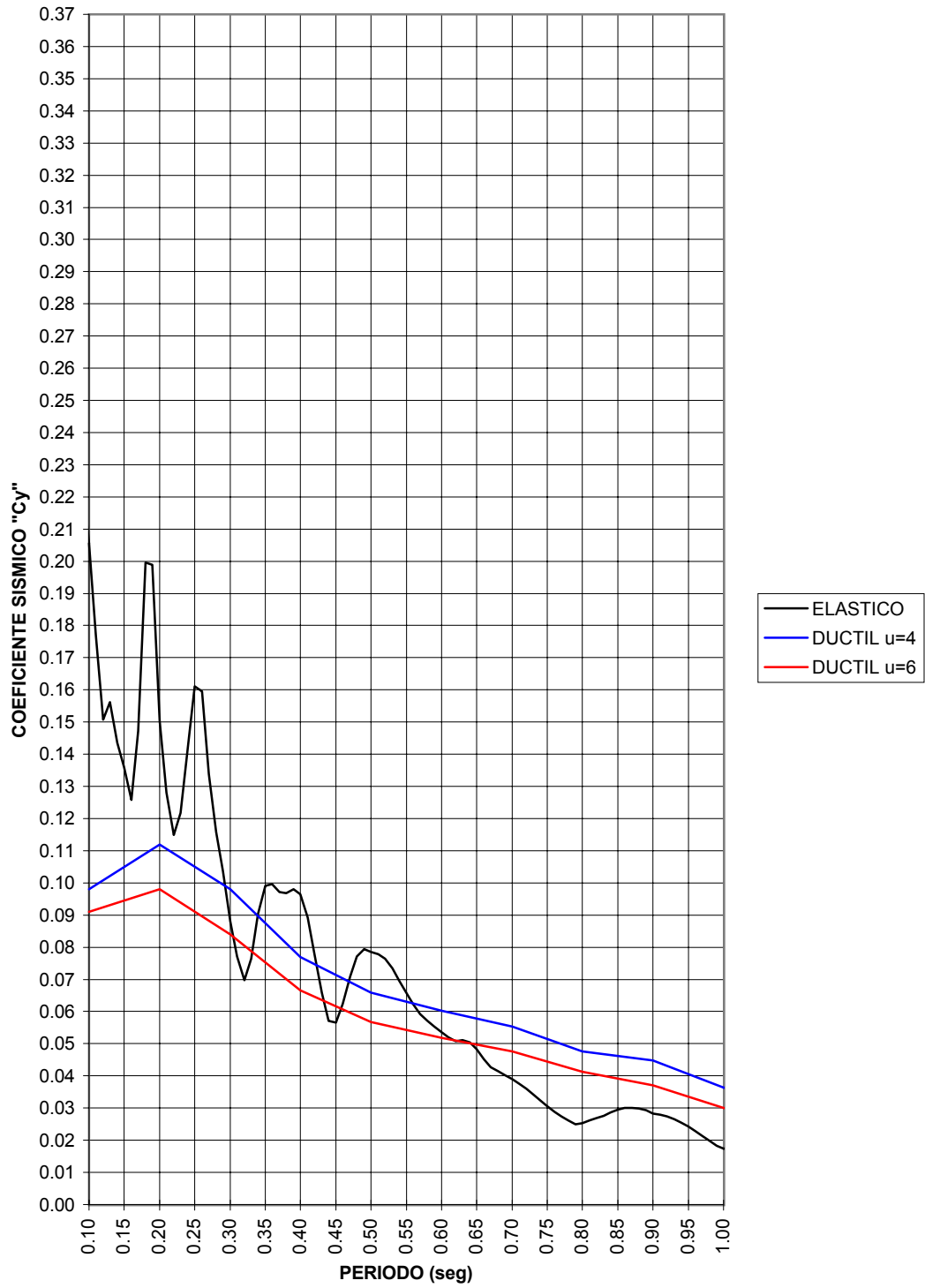


FIGURA F.6.8
COEFICIENTE SISMICO - CIUDAD DE MANTA (E-S)

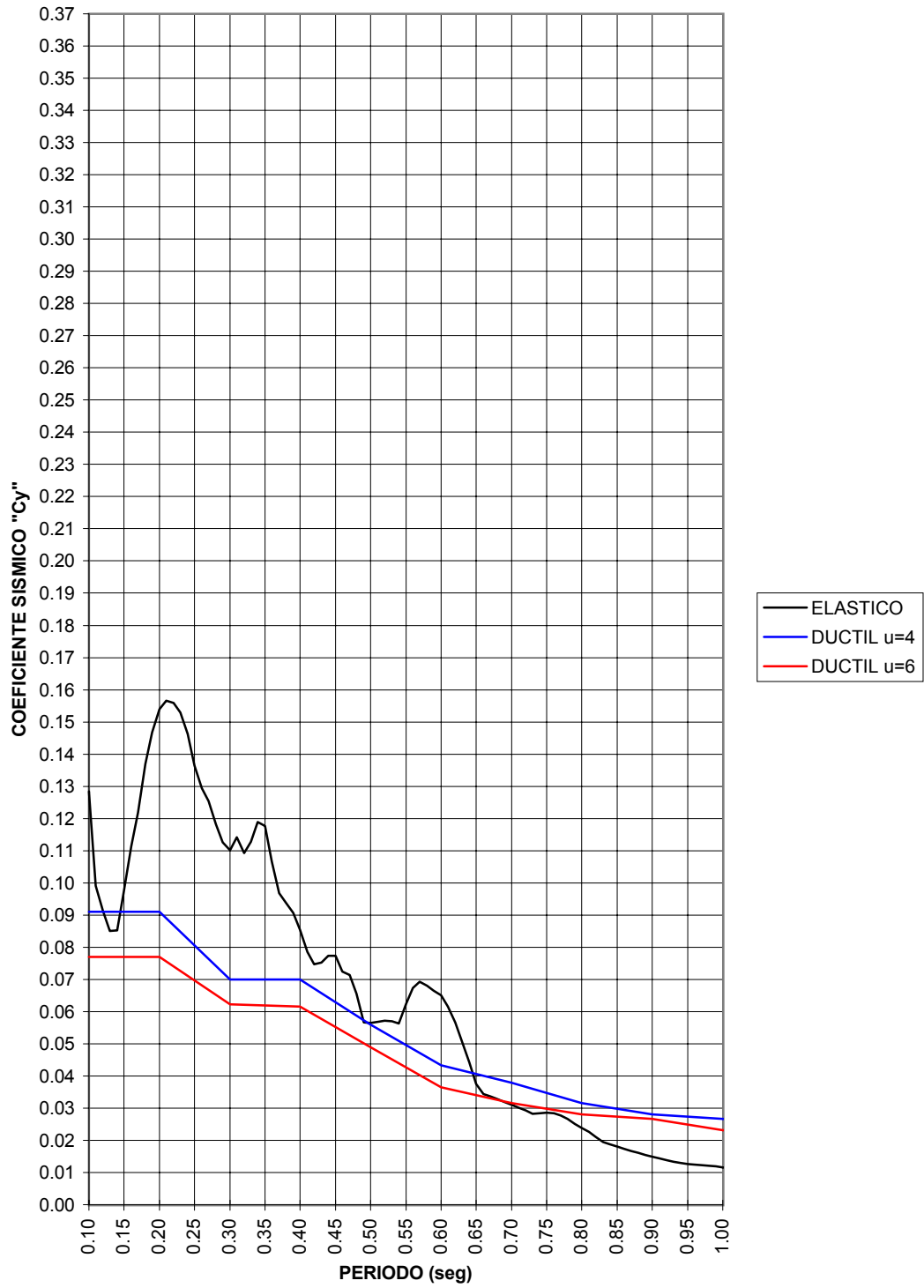


FIGURA F.6.9
COEFICIENTE SISMICO - BARRIO CENTENARIO (N-S)

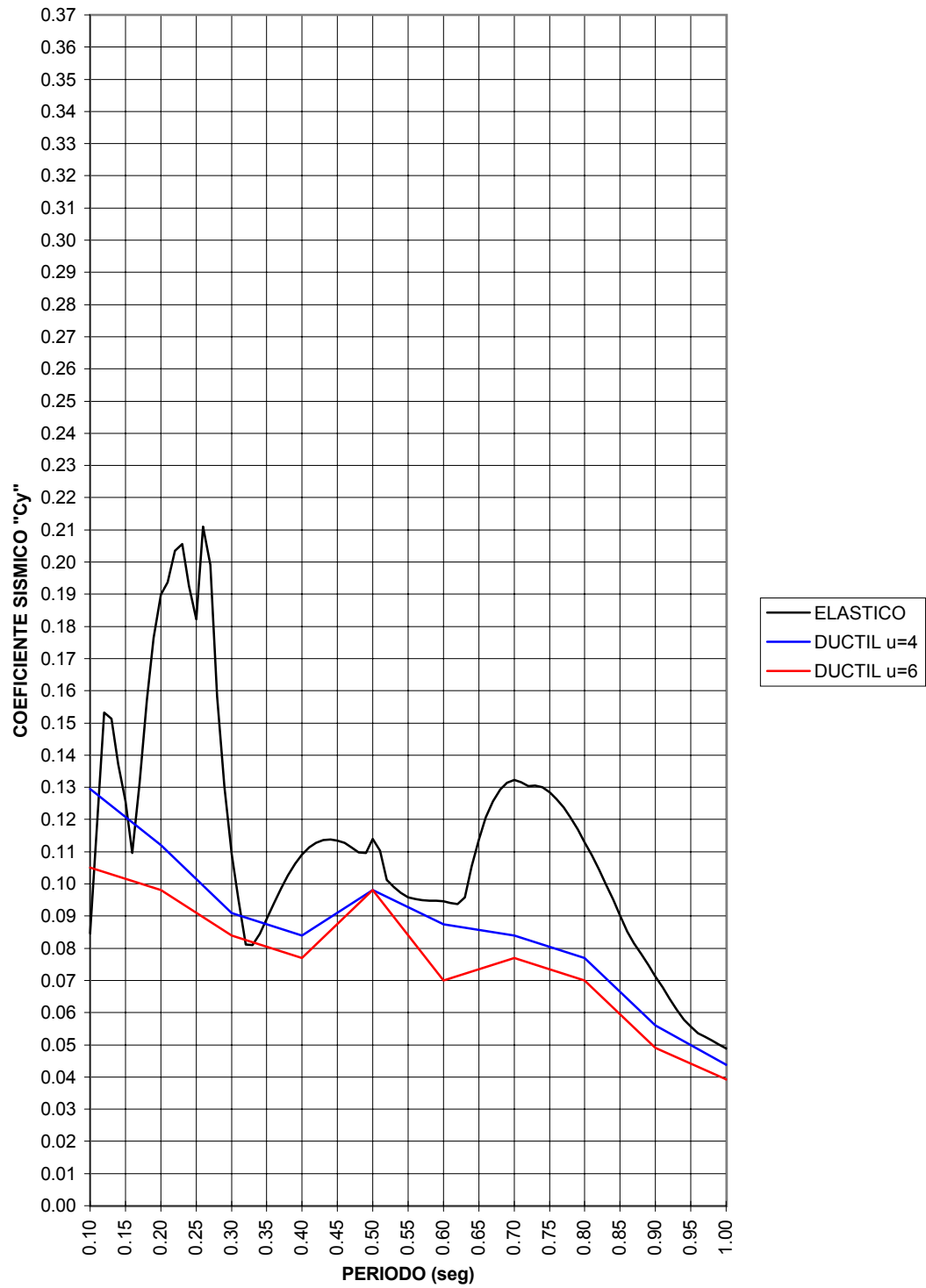


FIGURA F.6.10
COEFICIENTE SISMICO - BARRIO CENTENARIO (E-O)

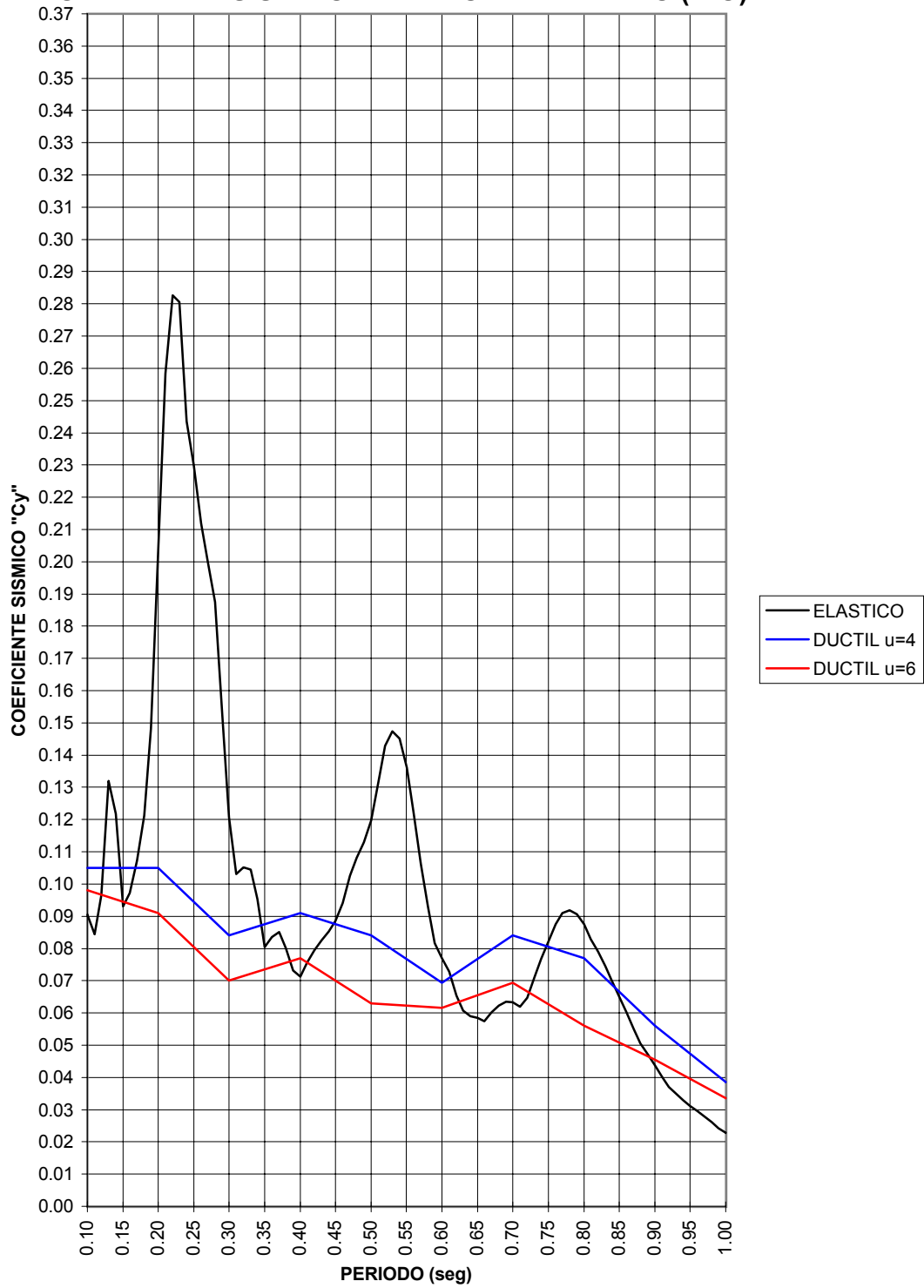


FIGURA F.6.11
COEF. SISMICO - S. TORRES DE LA MERCED (N-S)

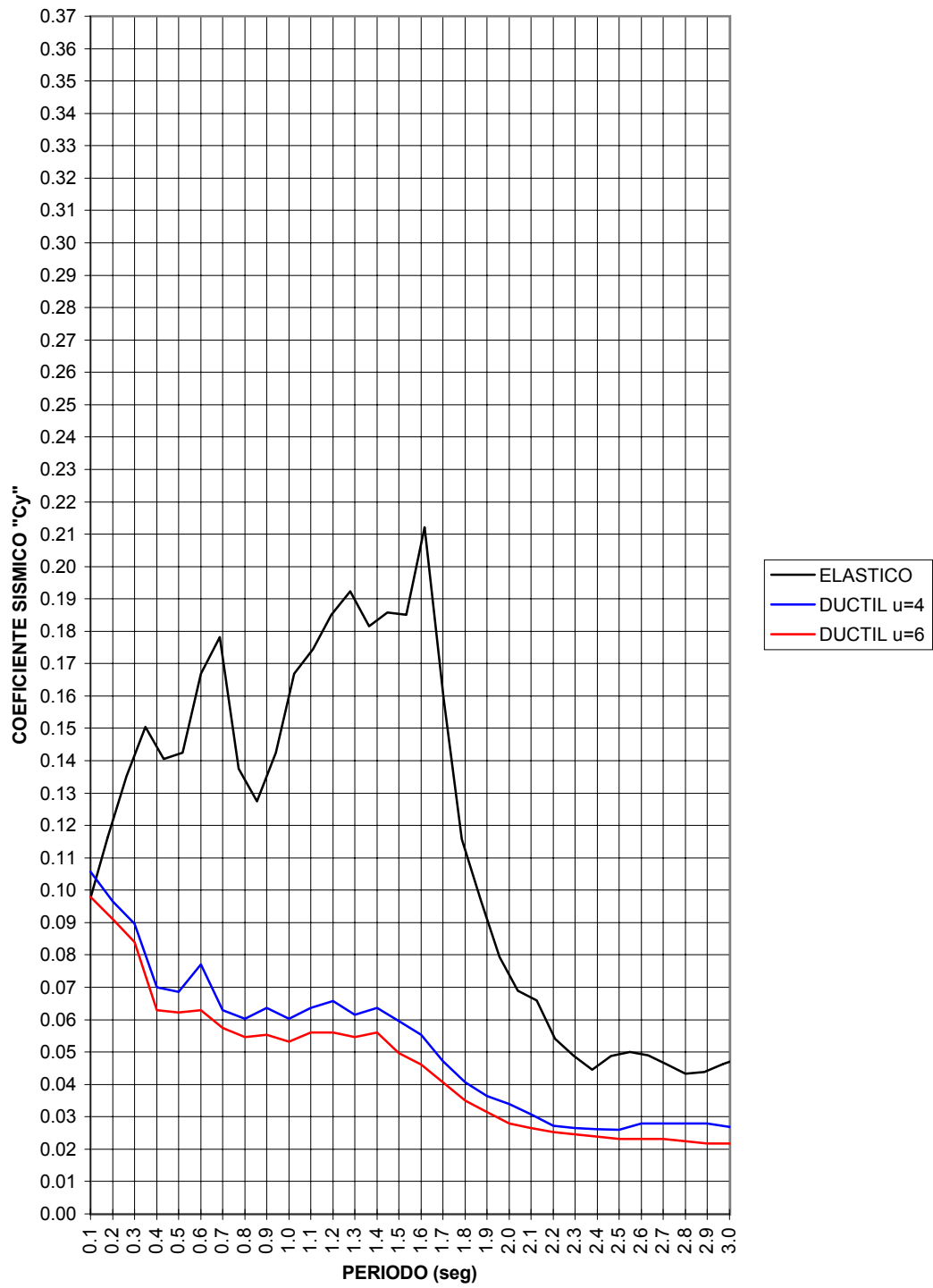
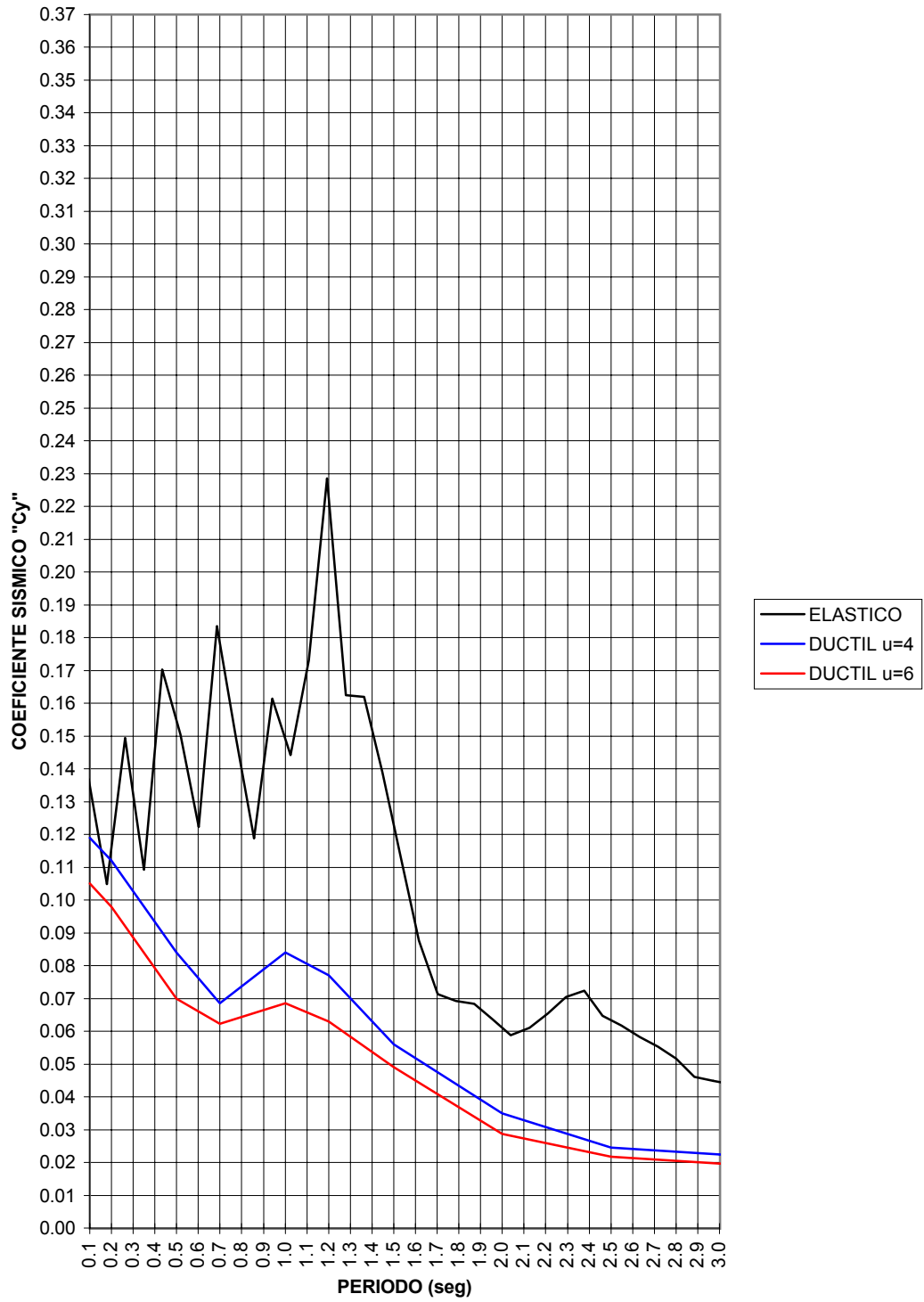


FIGURA F.6.12
COEF. SISMICO - S. TORRES DE LA MERCED (E-O)



APÉNDICE F.7

ESPECTROS ELÁSTICOS

SUAVIZADOS

FIGURA F.7.1
E. ELASTICO SUAVIZADO - COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES

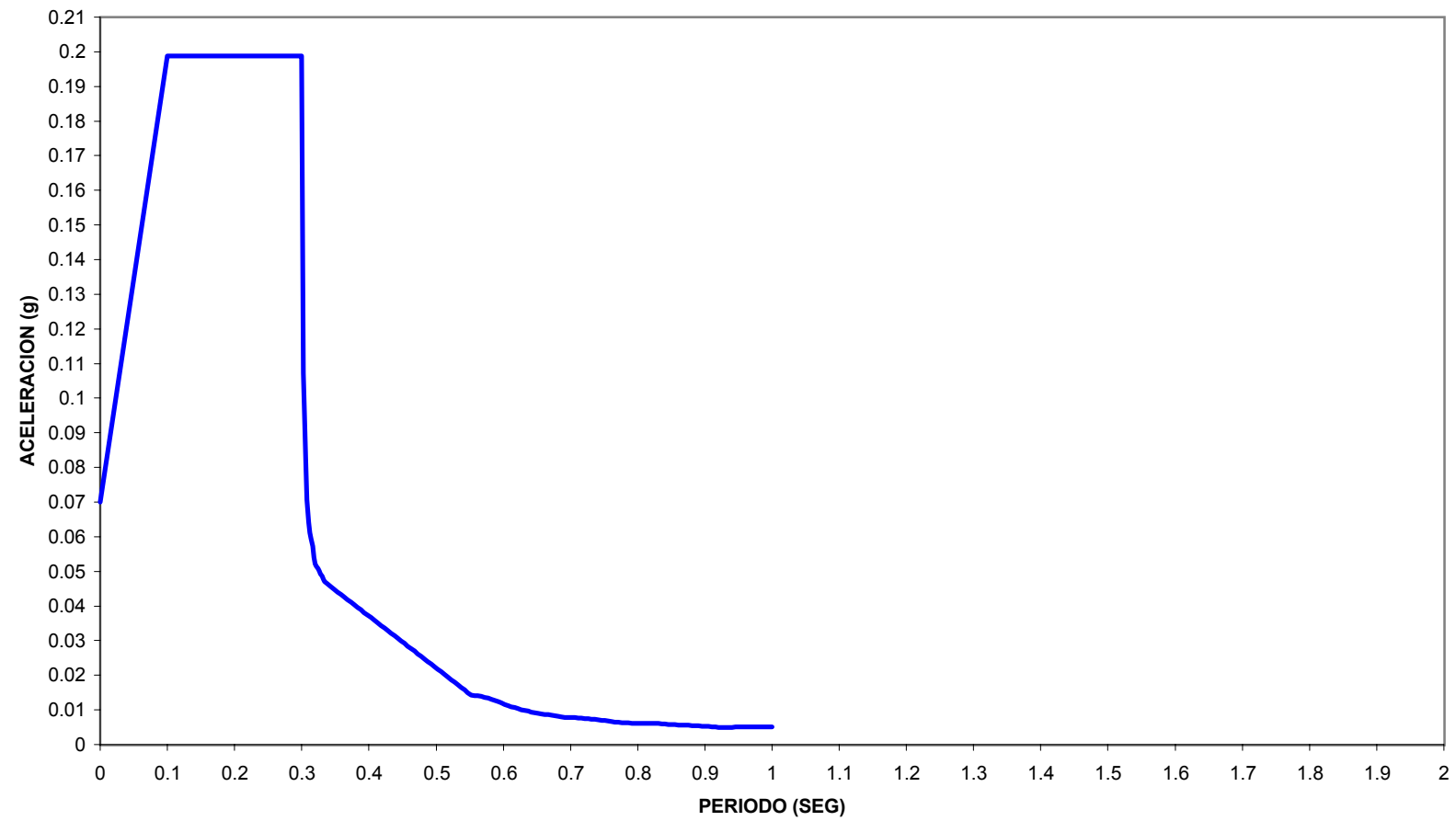


FIGURA F.7.2
E. ELASTICO SUAVIZADO - UNIVERSIDAD CATOLICA

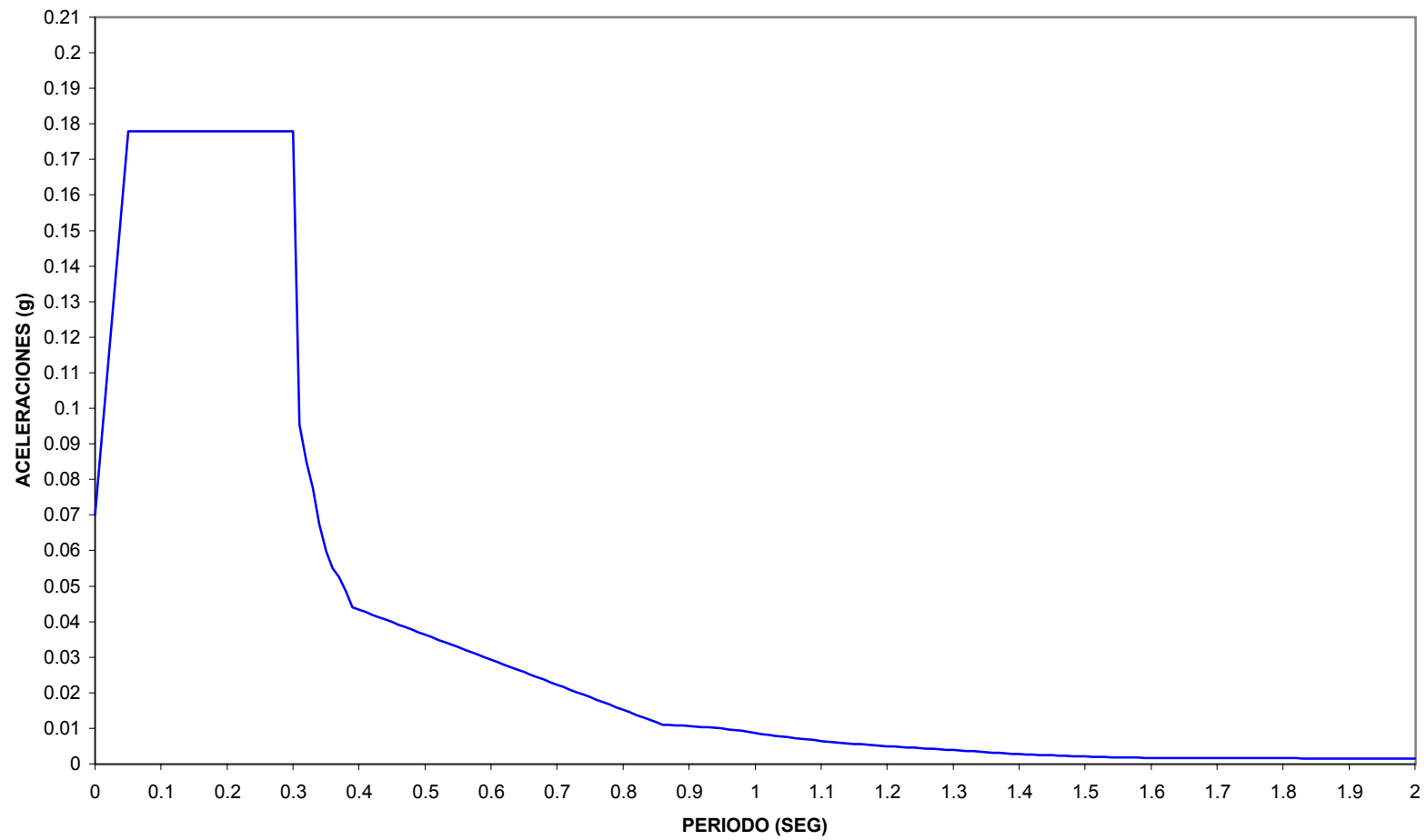


FIGURA F.7.3
E. ELASTICO SUAVIZADO - AVENIDA DEL EJERCITO

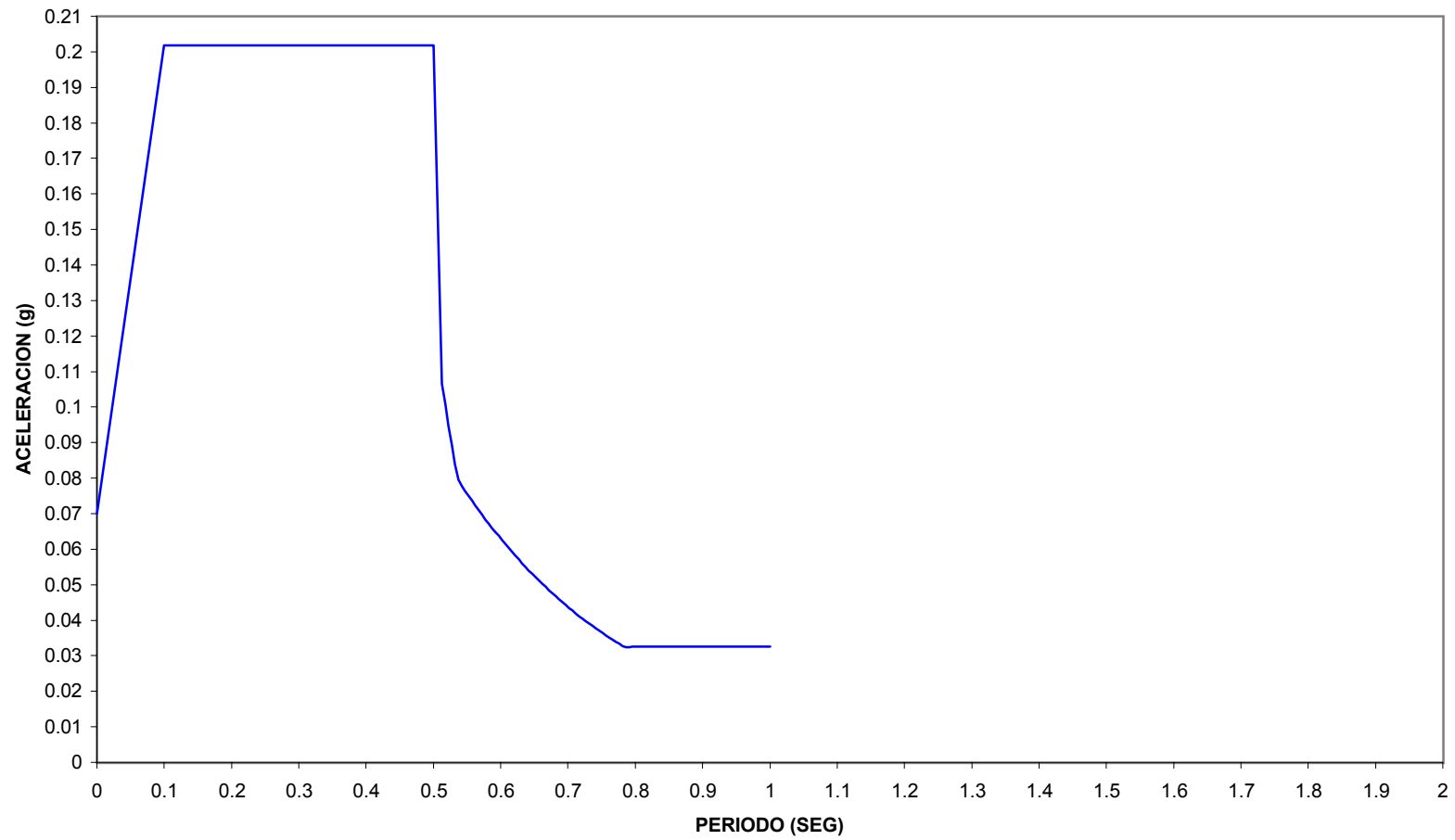


FIGURA F.7.4
E. ELASTICO SUAVIZADO - CIUDAD DE MANTA

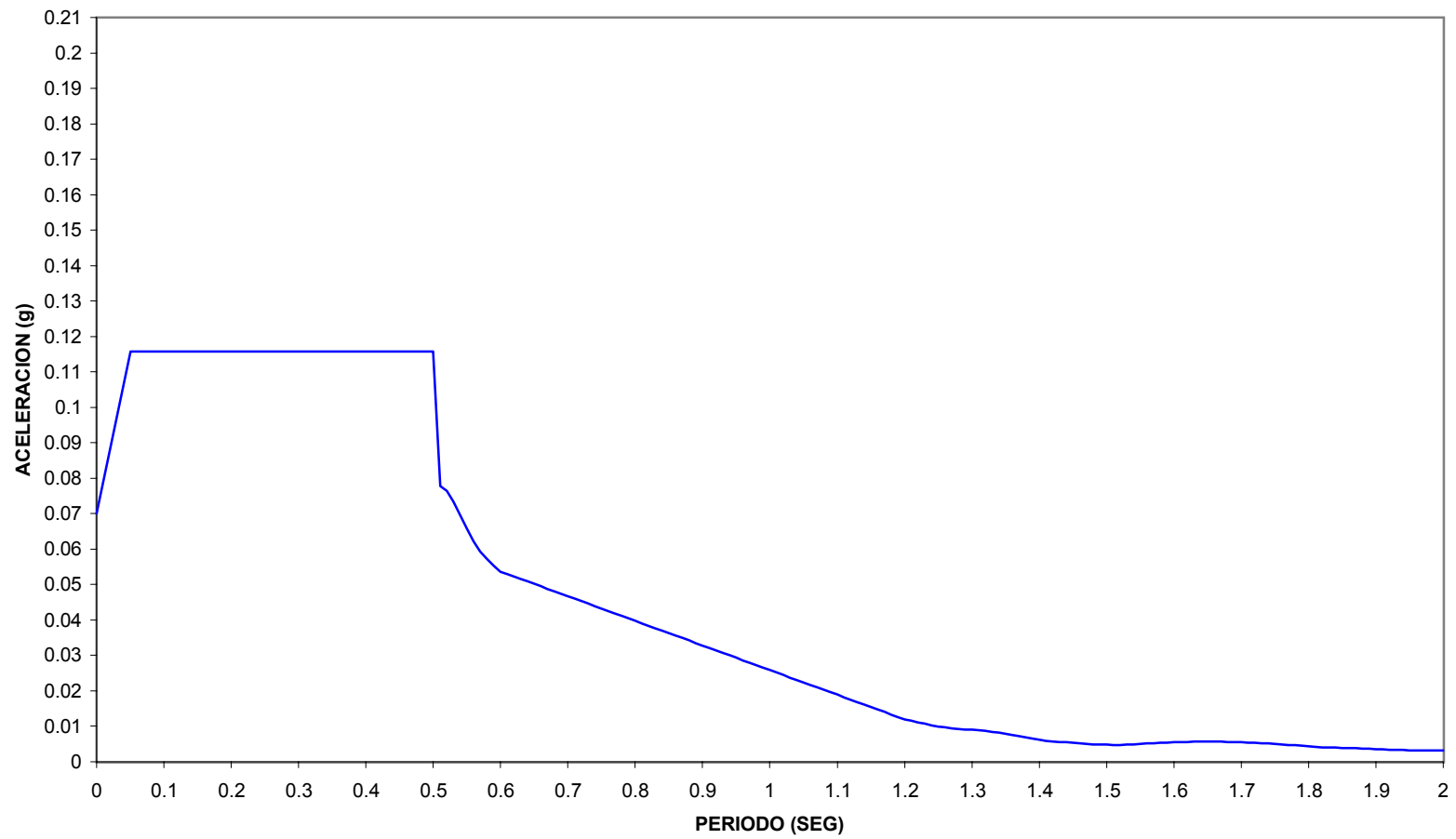


FIGURA F.7.5
E. ELASTICO SUAVIZADO - BARRIO DEL CENTENARIO

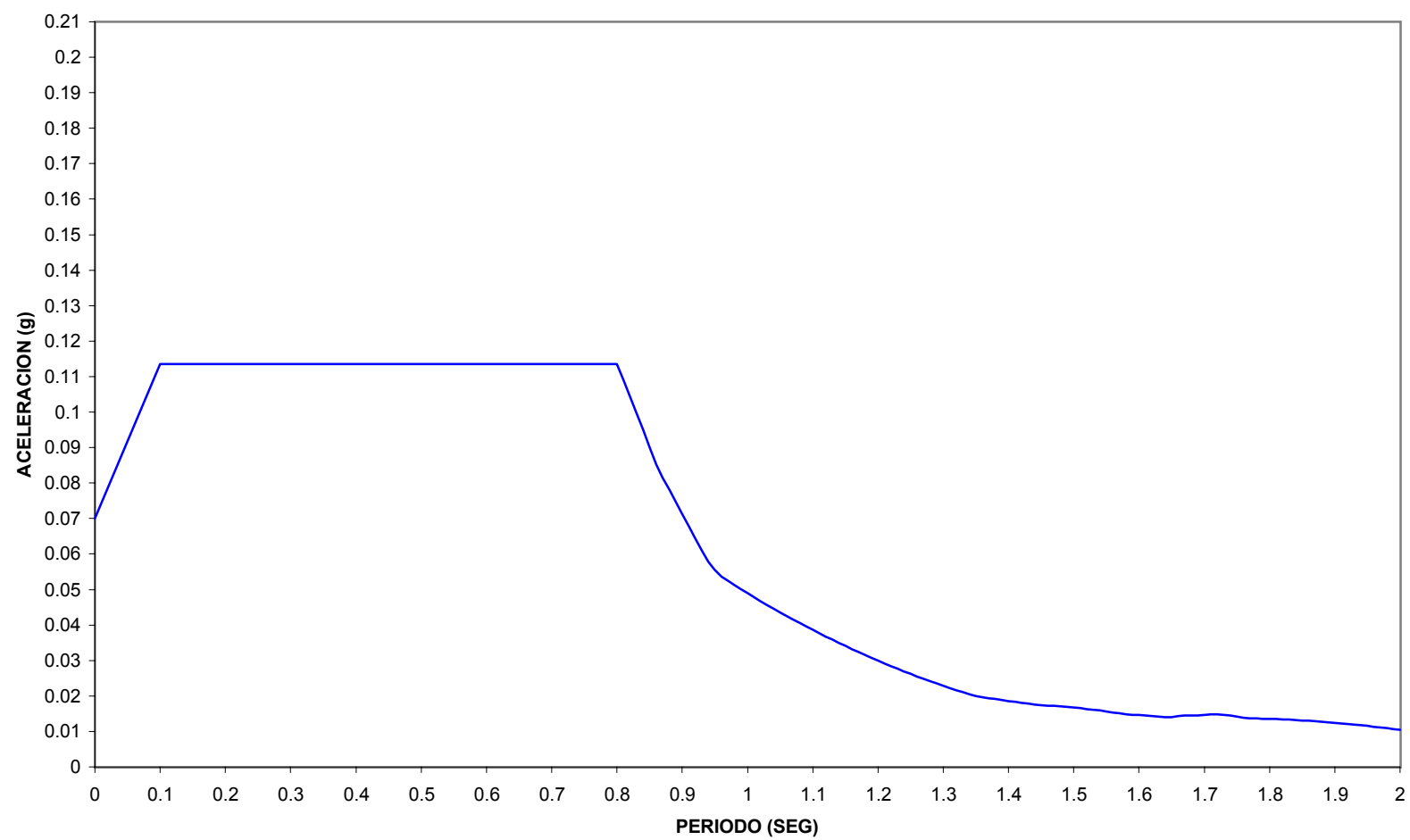
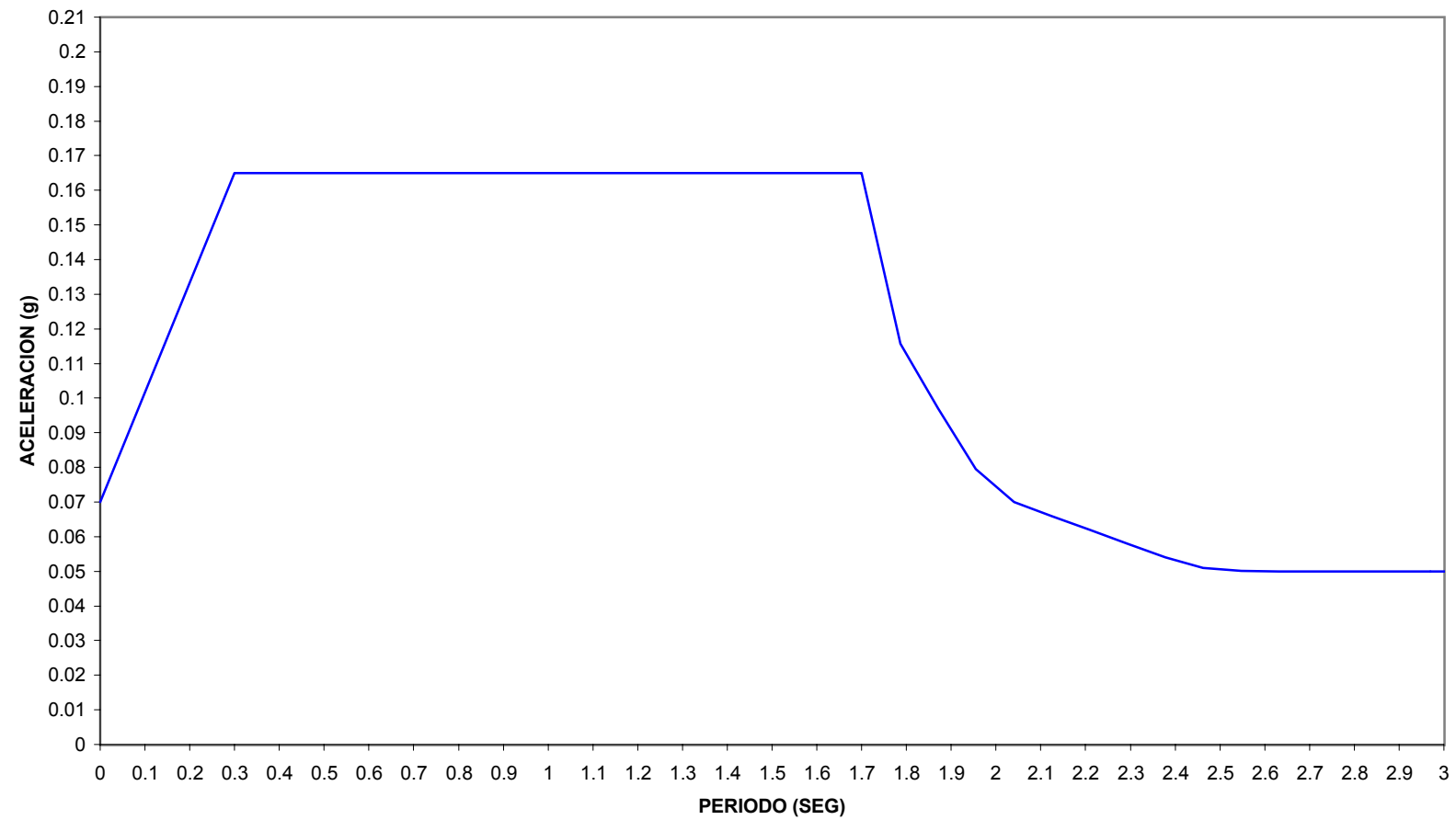


FIGURA F.7.6
E. ELASTICO SUAVIZADO - SECTOR TORRES DE LA MERCED



APÉNDICE F.8

CURVAS DE FACTORES DE REDUCCION

FIGURA F.8.1
FACTORES DE REDUCCION - COLEGIO DE INGENIEROS (N-S)

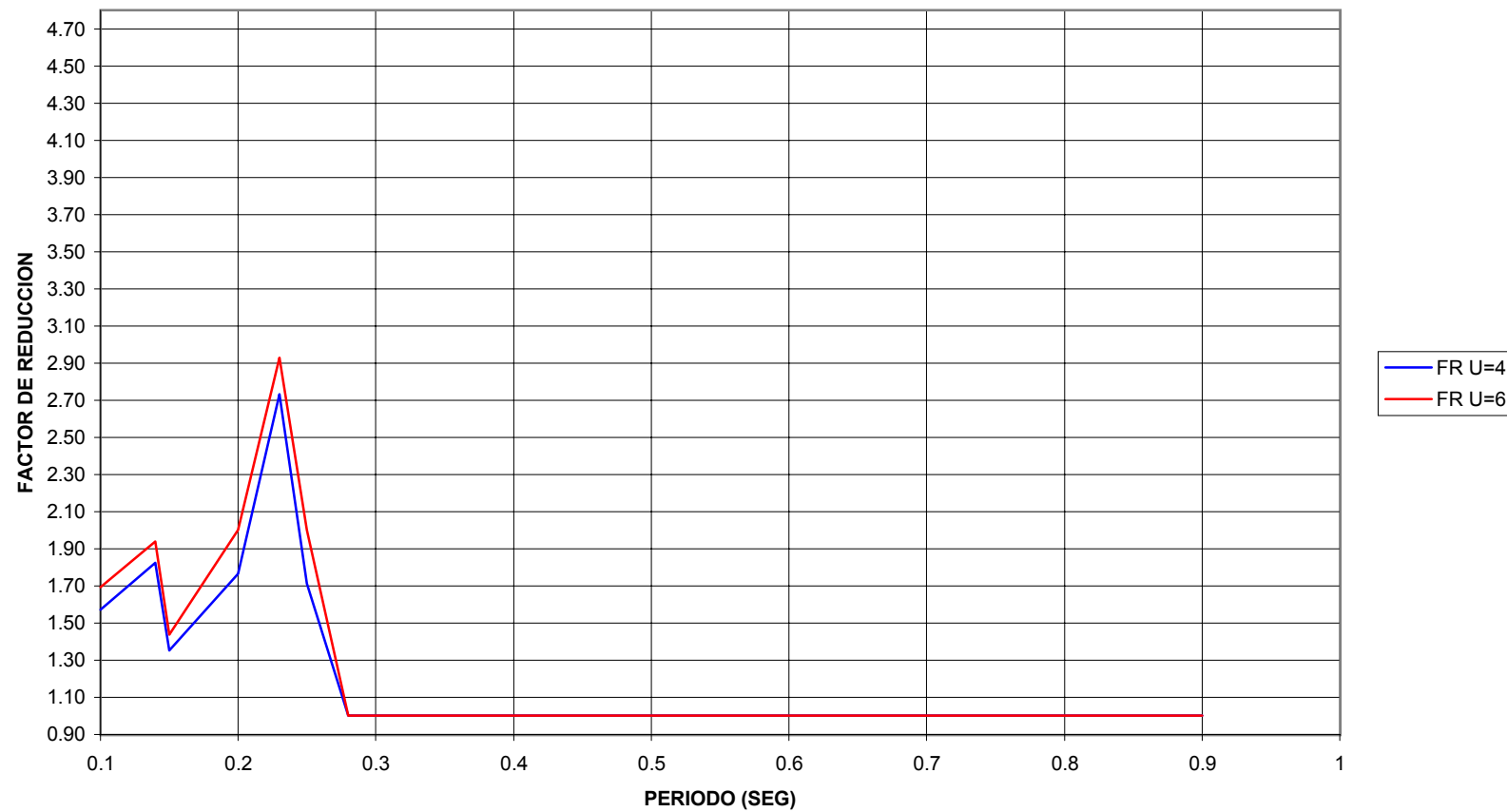


FIGURA F.8.2
FACTORES DE REDUCCION - COLEGIO DE INGENIEROS (E-O)

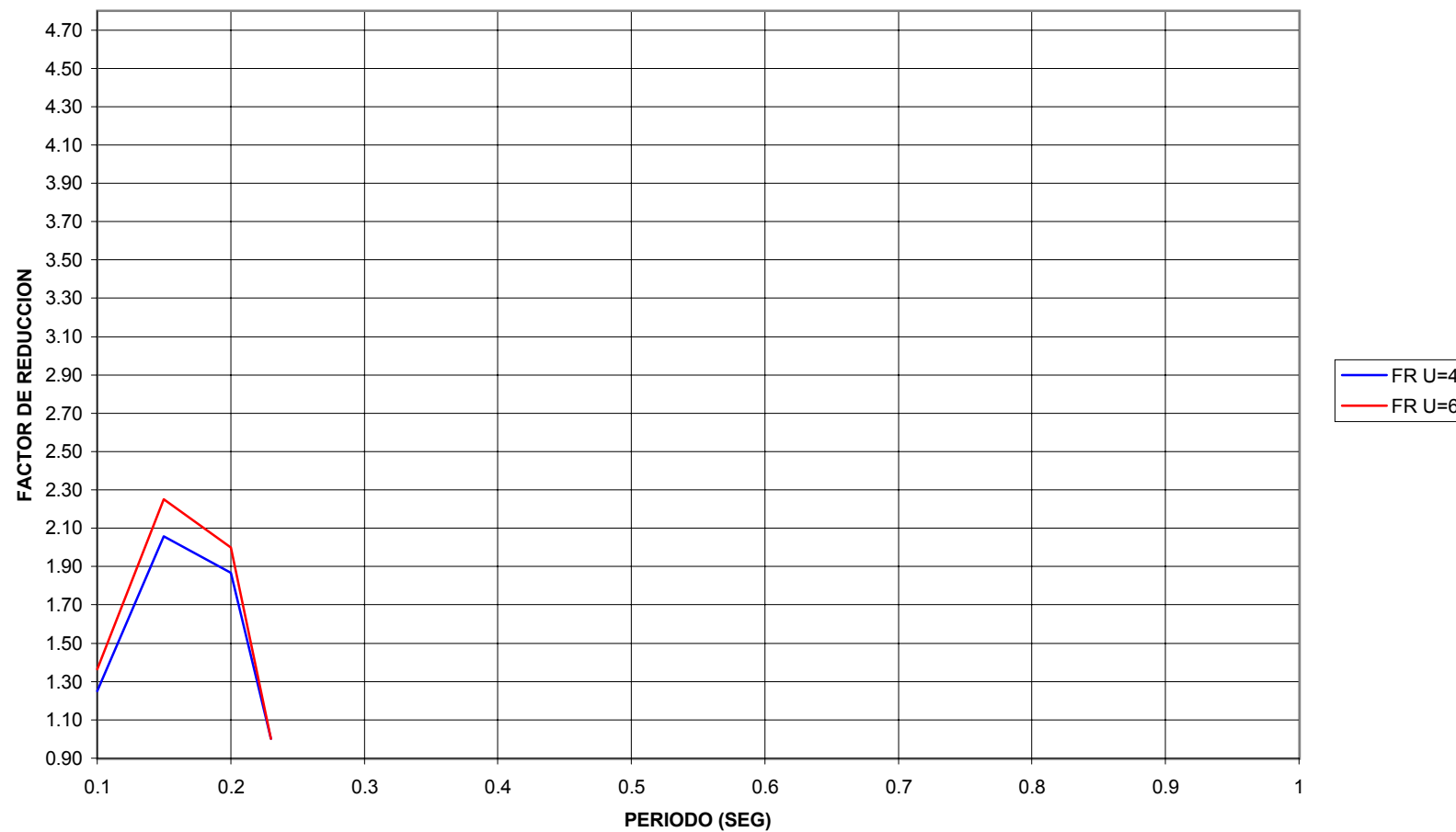


FIGURA F.8.3
FACTORES DE REDUCCION - UNIVERSIDAD CATOLICA (N-S)

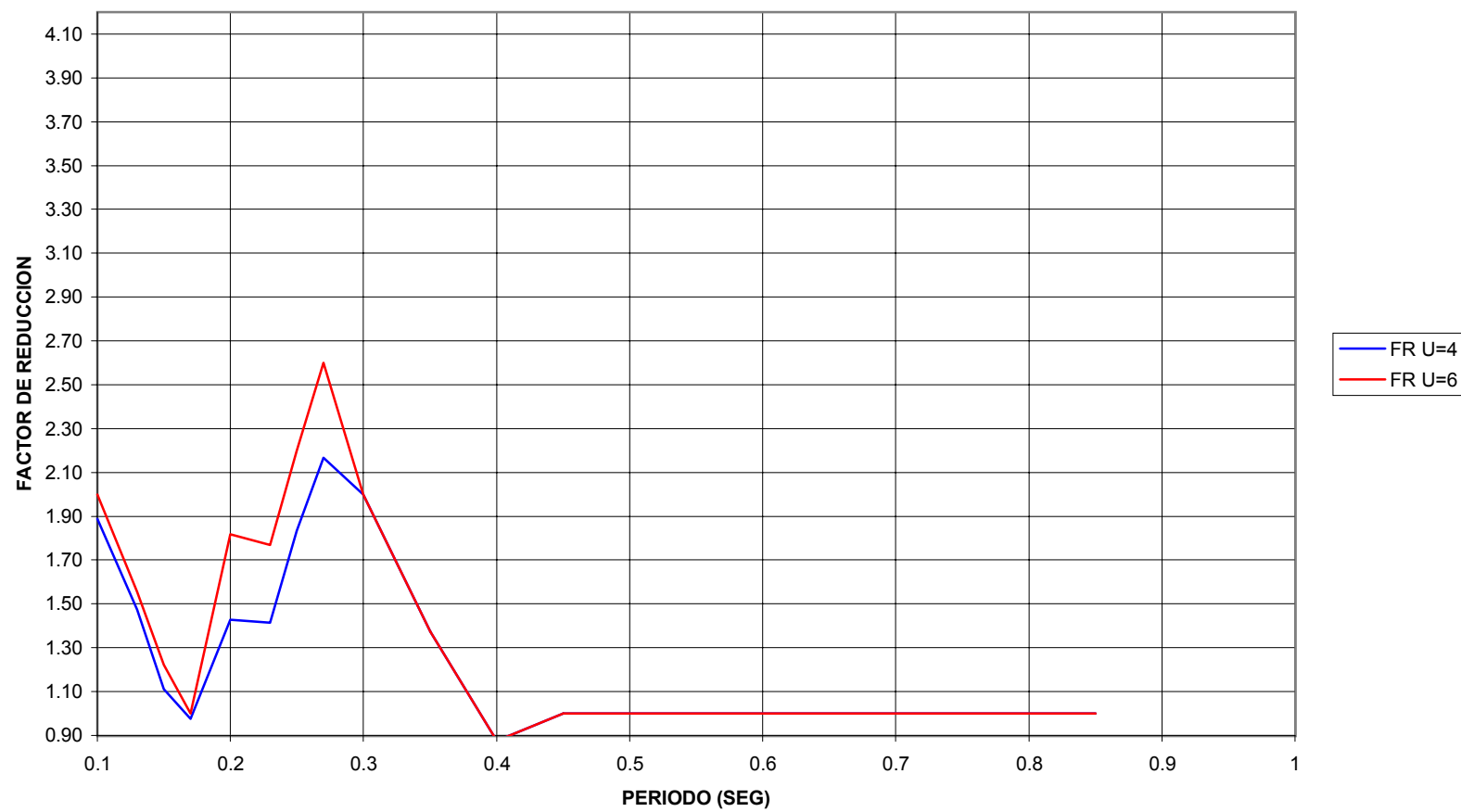


FIGURA F.8.4
FACTORES DE REDUCCION - UNIVERSIDAD CATOLICA (E-O)

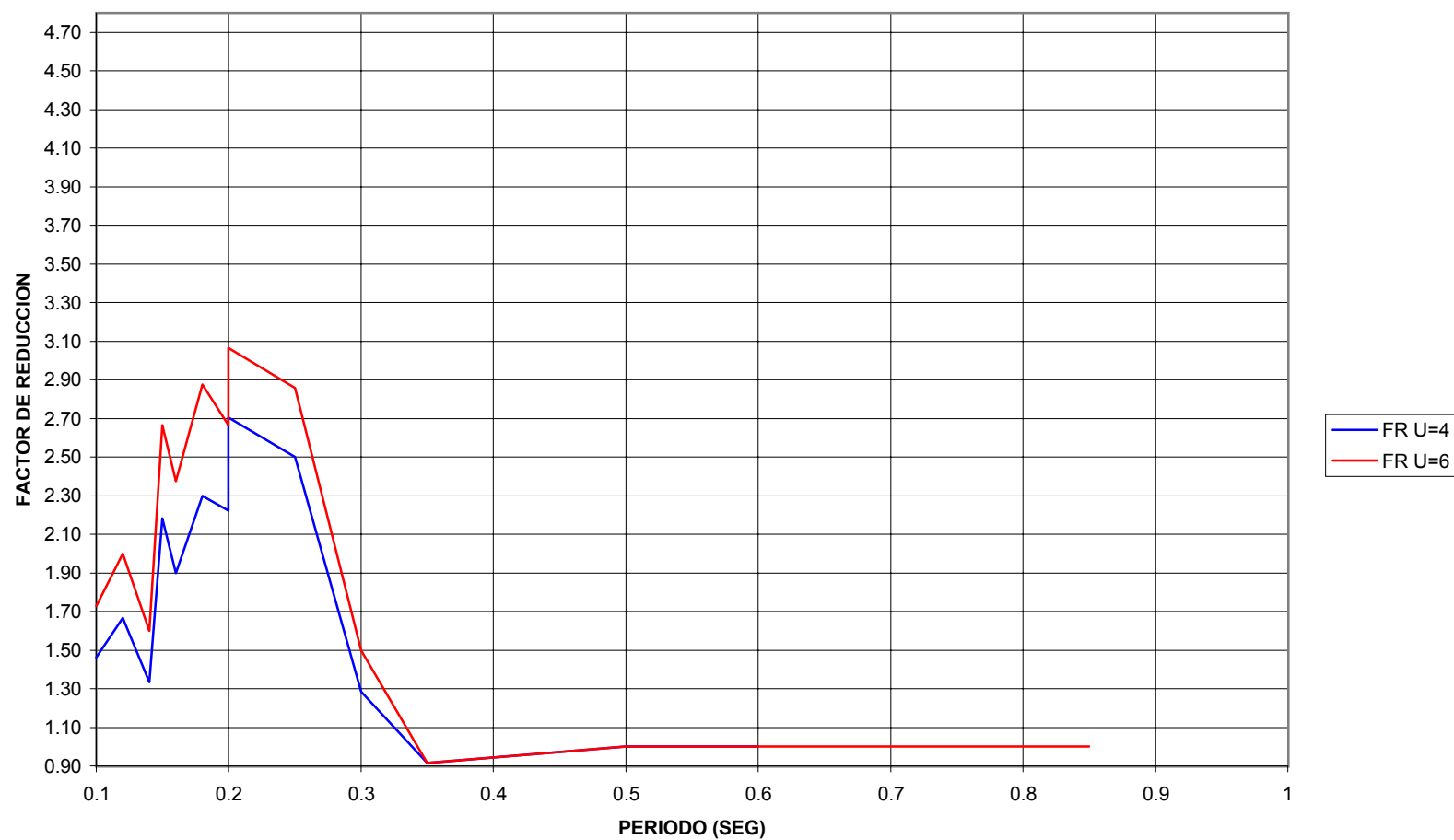


FIGURA F.8.5
FACTORES DE REDUCCION - AVENIDA DEL EJERCITO (N-S)

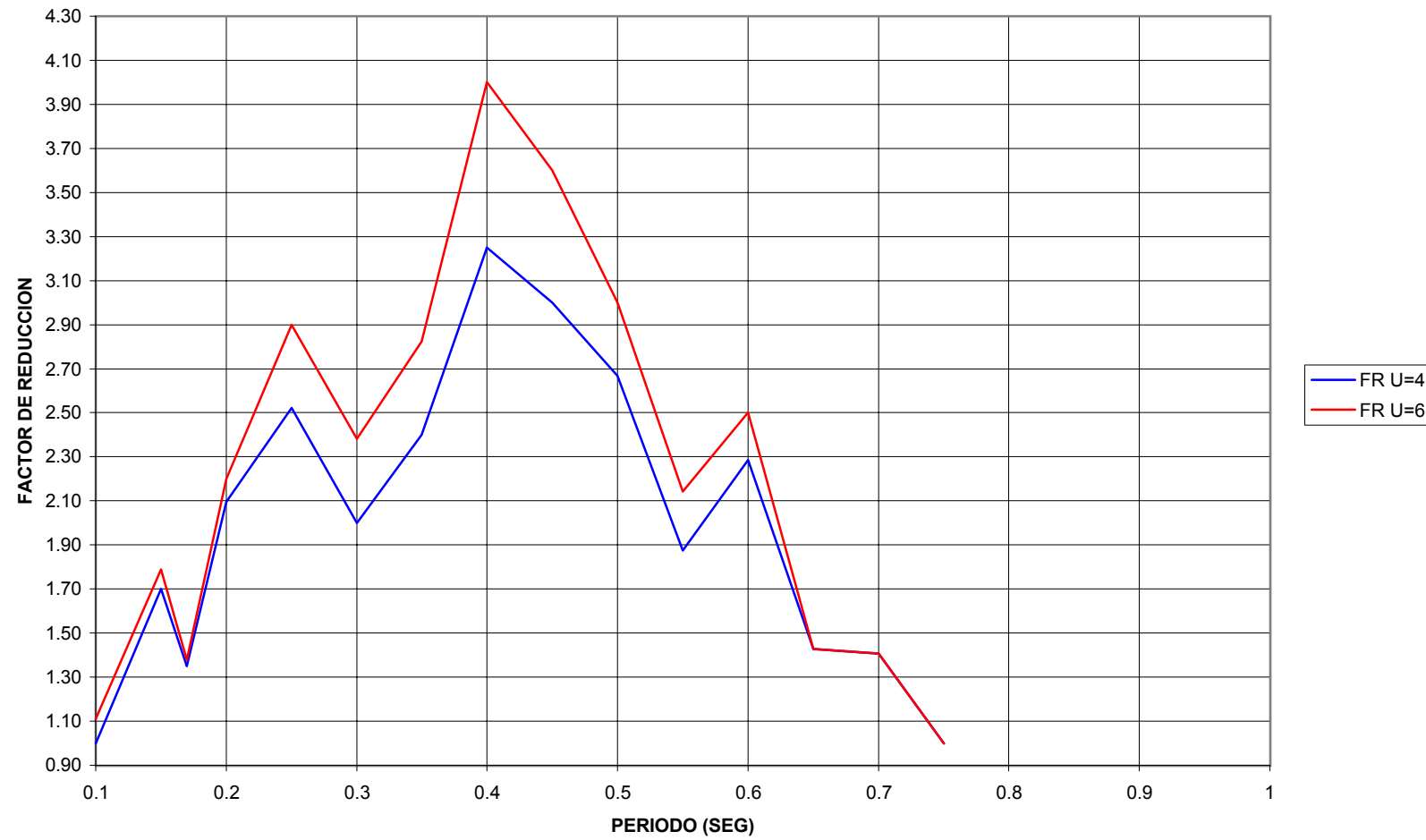


FIGURA F.8.6
FACTORES DE REDUCCION - AVENIDA DEL EJERCITO (E-O)

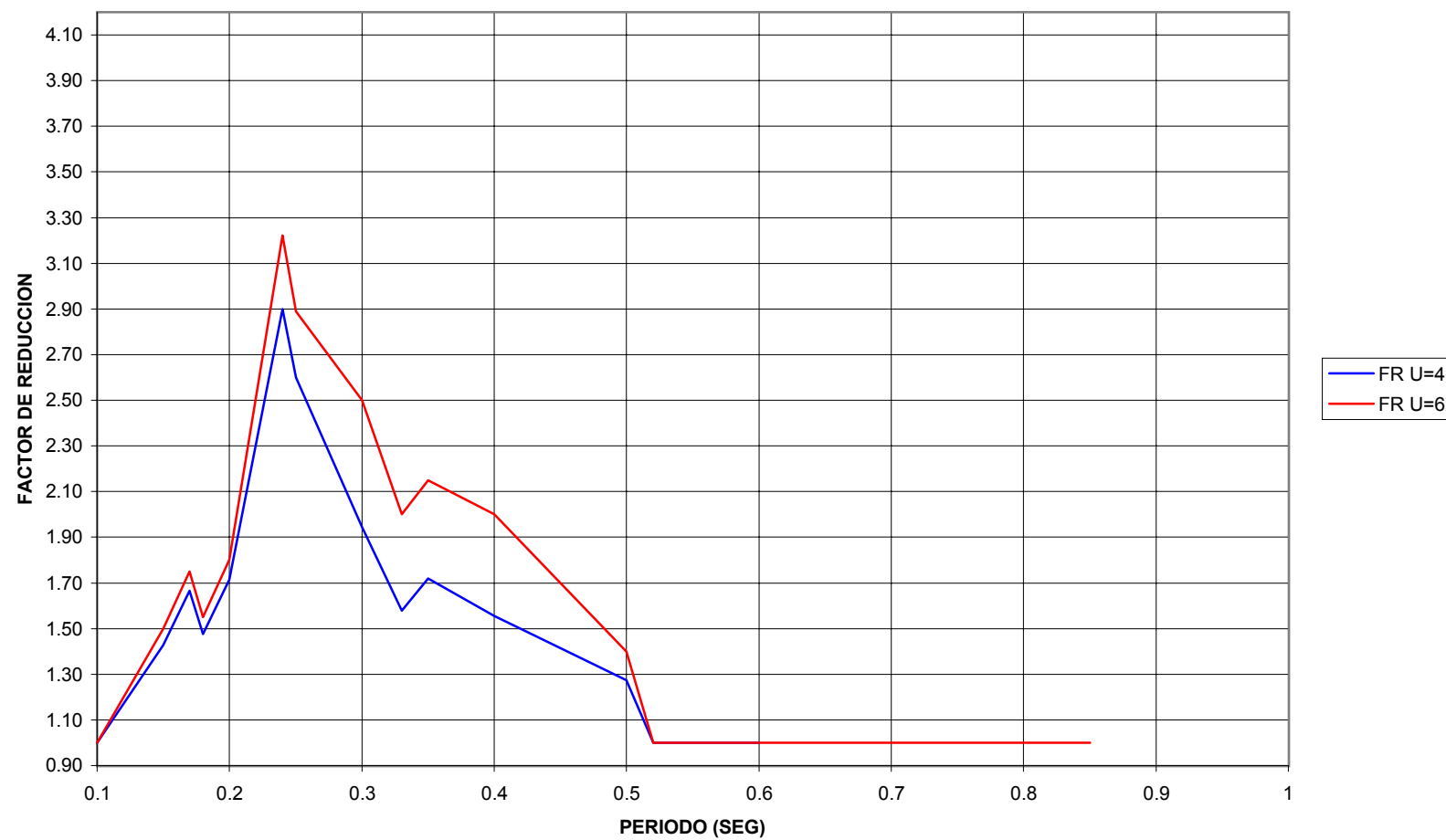


FIGURA F.8.7
FACTORES DE REDUCCION - CIUDAD DE MANTA (N-S)

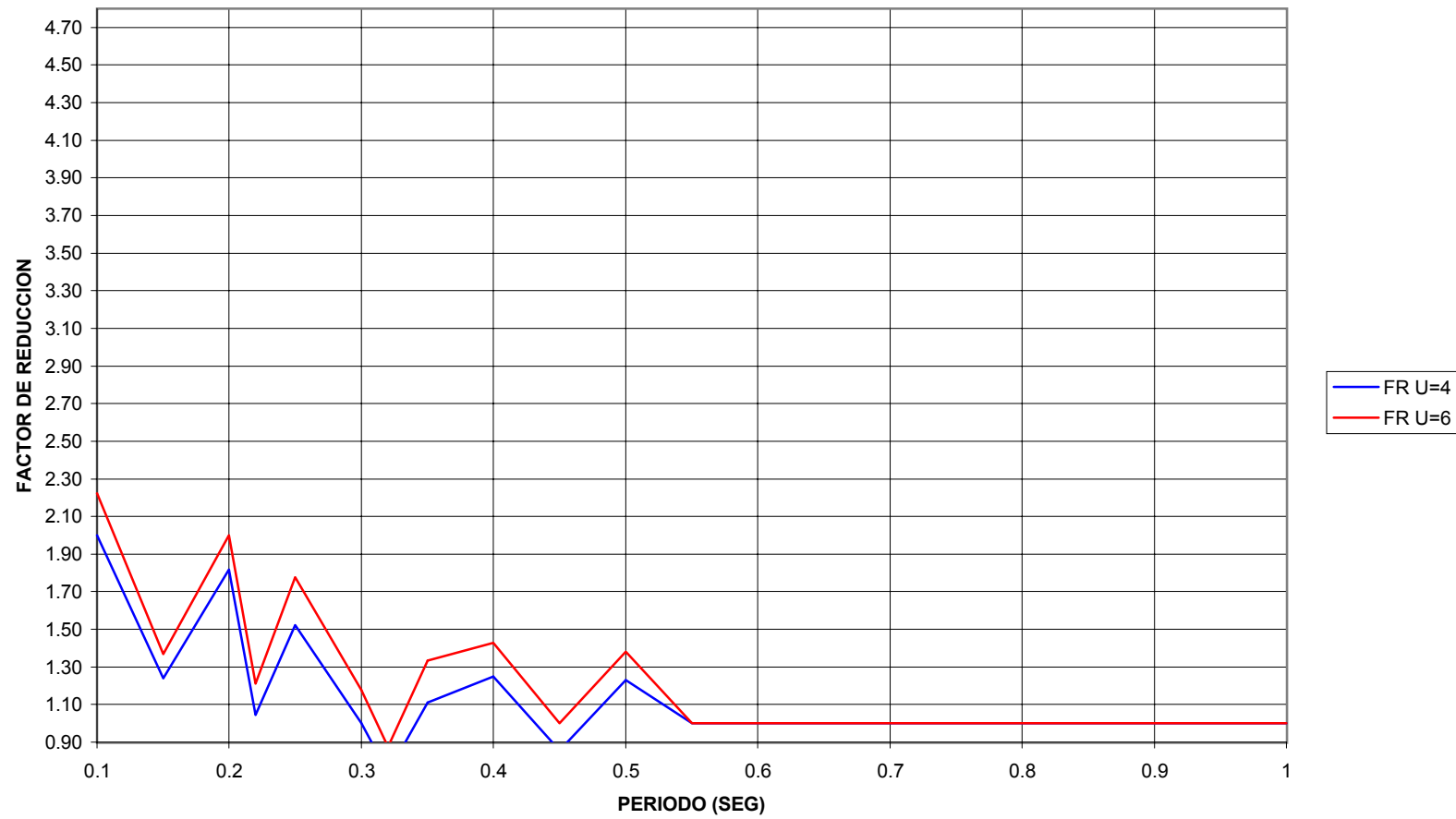


FIGURA F.8.8
FACTORES DE REDUCCION - CIUDAD DE MANTA (E-O)

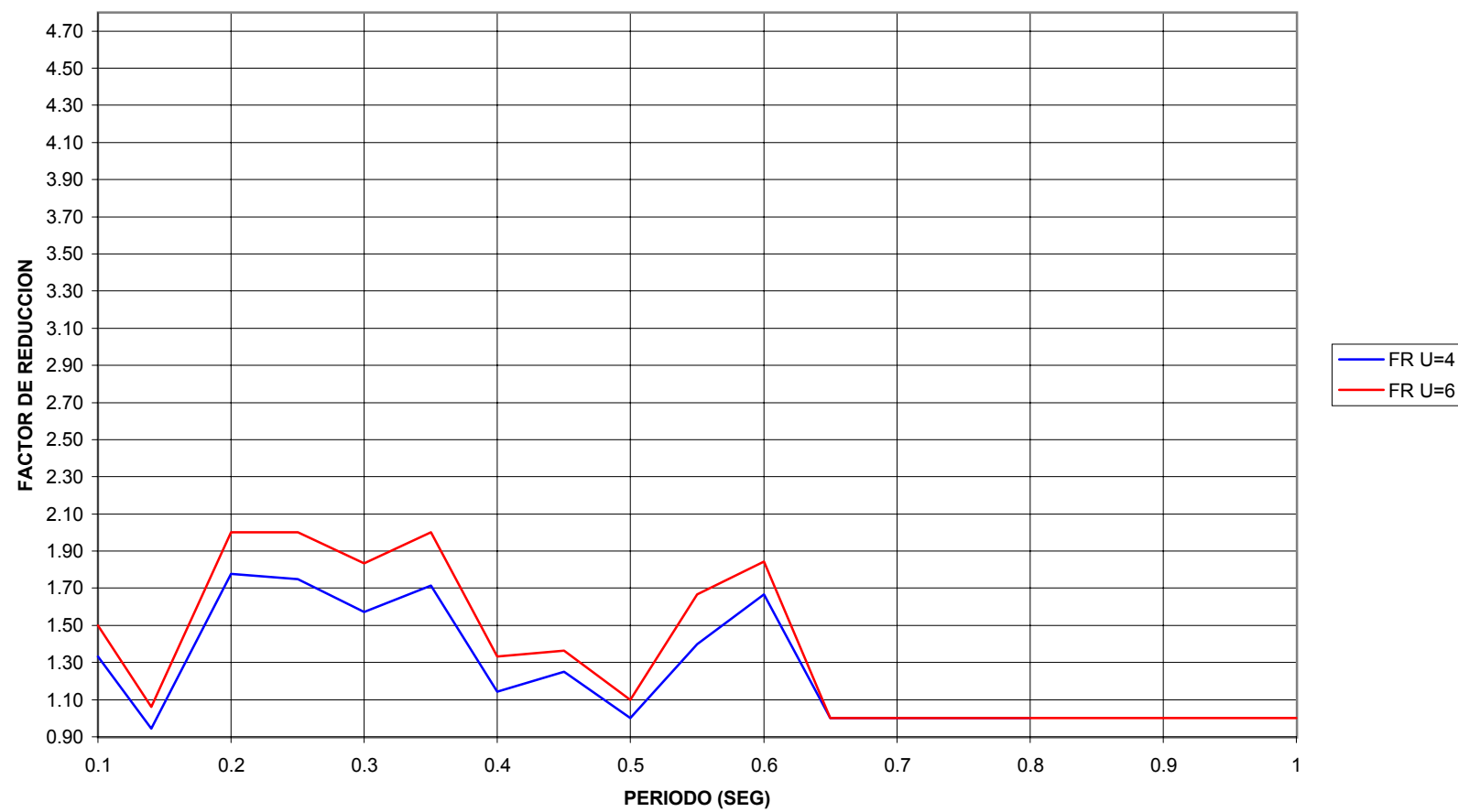


FIGURA F.8.9
FACTORES DE REDUCCION - BARRIO CENTENARIO (N-S)

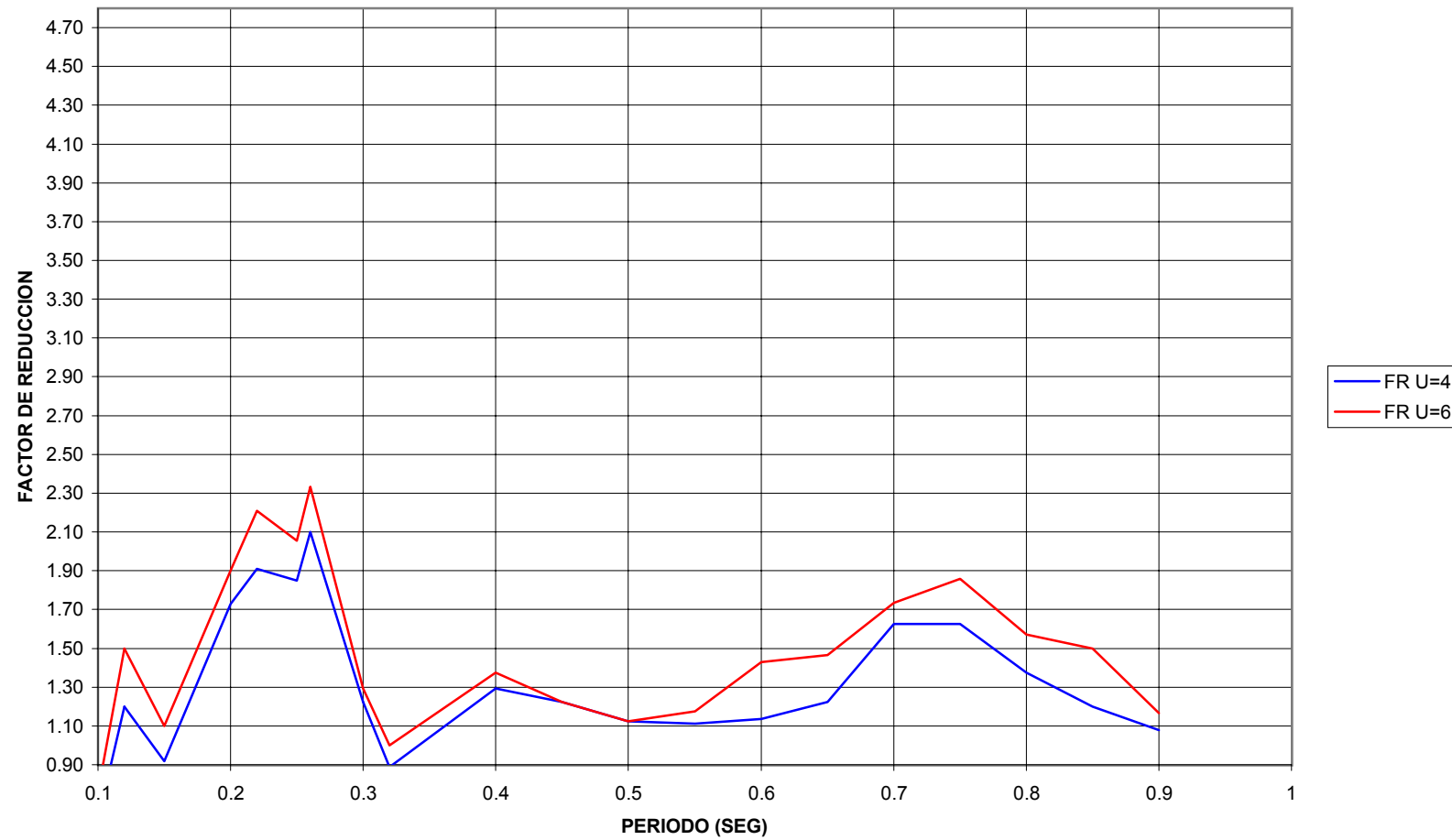


FIGURA F.8.10
FACTORES DE REDUCCION - BARRIO CENTENARIO (E-O)

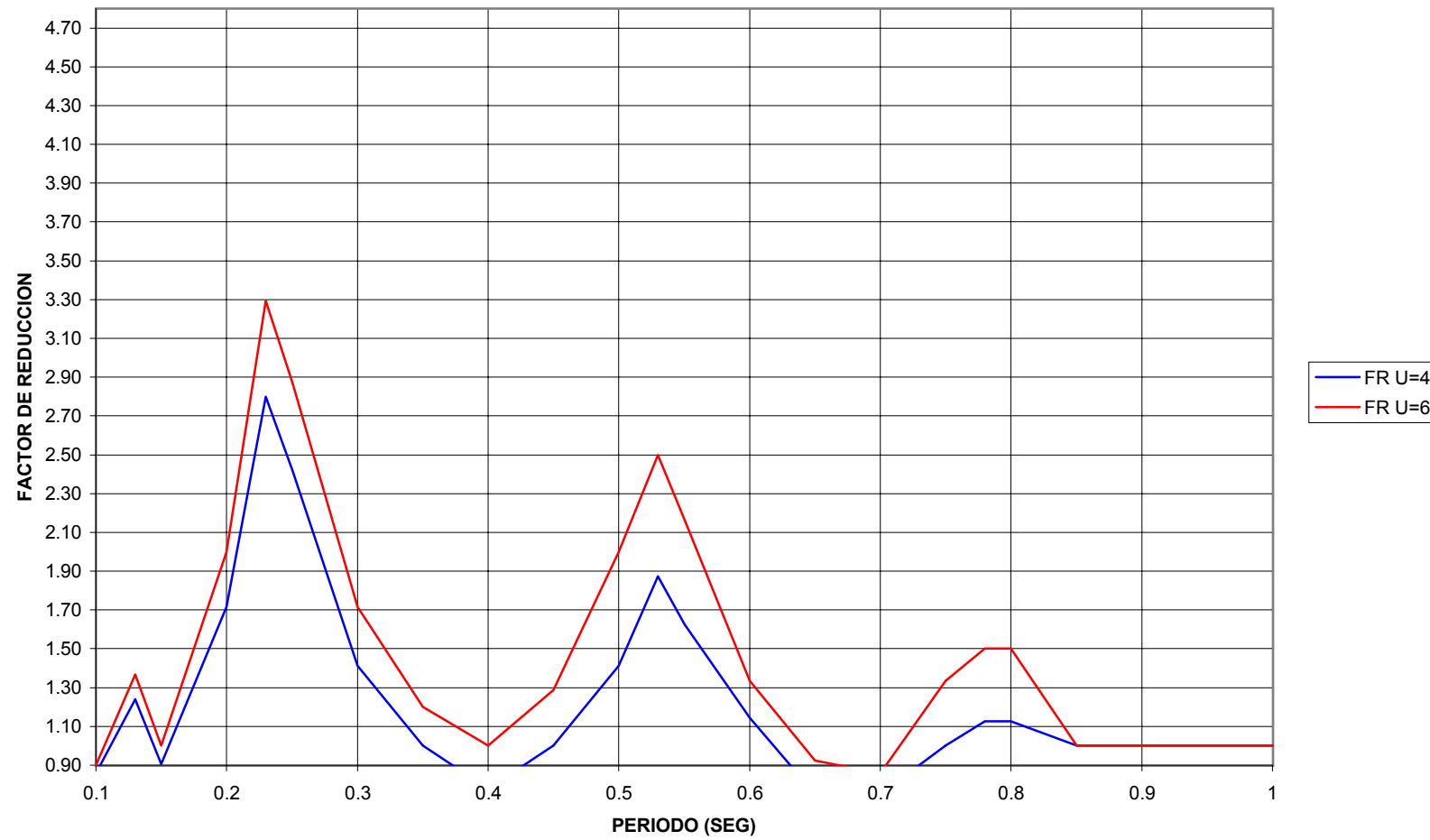
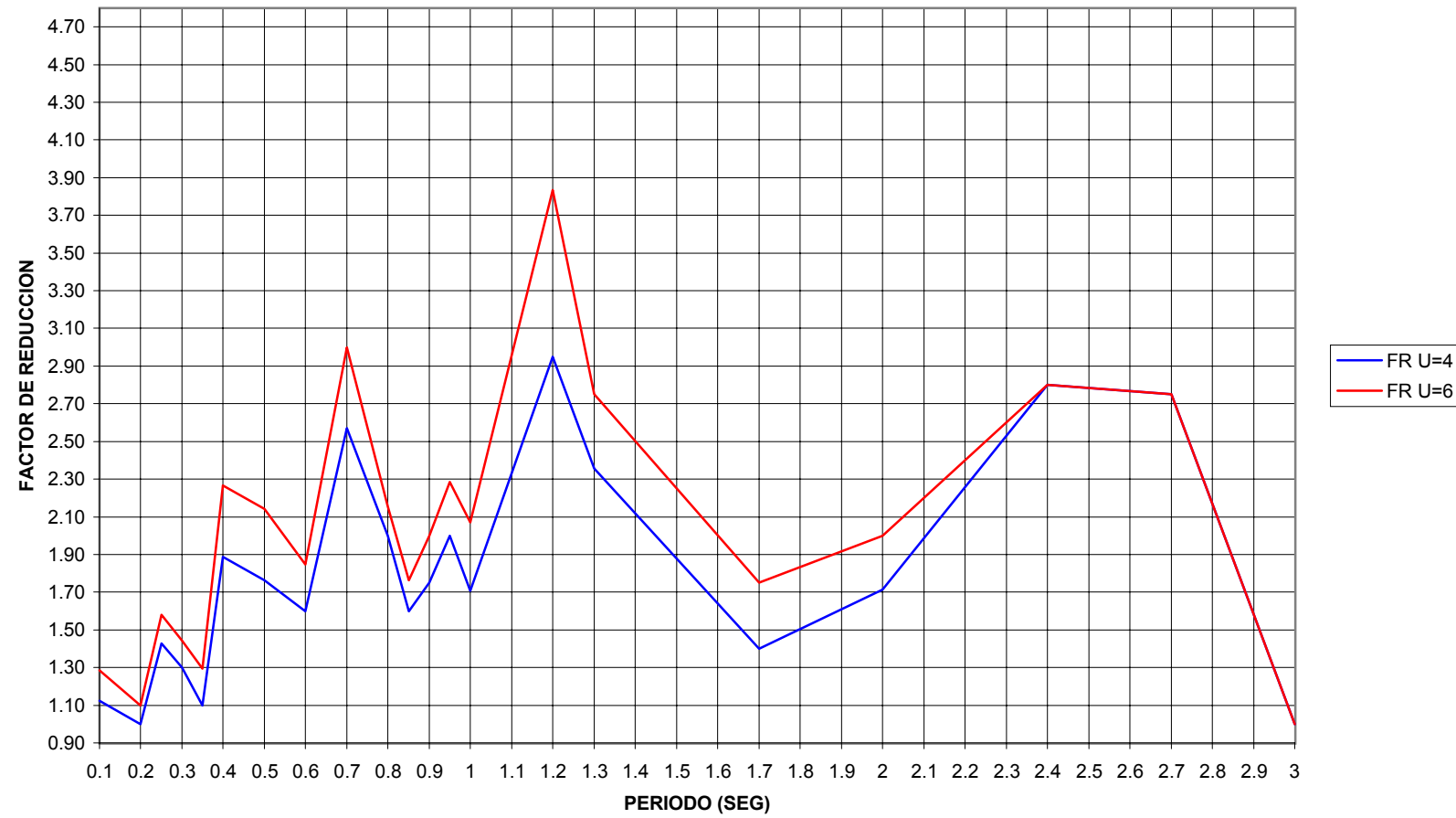


FIGURA F.8.11
FACTORES DE REDUCCIÓN - TORRES DE LA MERCED (N-S)



FIGURA F.8.12
FACTORES DE REDUCCION - TORRES DE LA MERCED (E-O)



APÉNDICE G

RESULTADOS

APÉNDICE G.1

ESPECTROS ELÁSTICOS

PROPUESTOS

FIGURA G.1.1
ESPECTRO ELASTICO SUAVIZADO PARA SUELO DURO

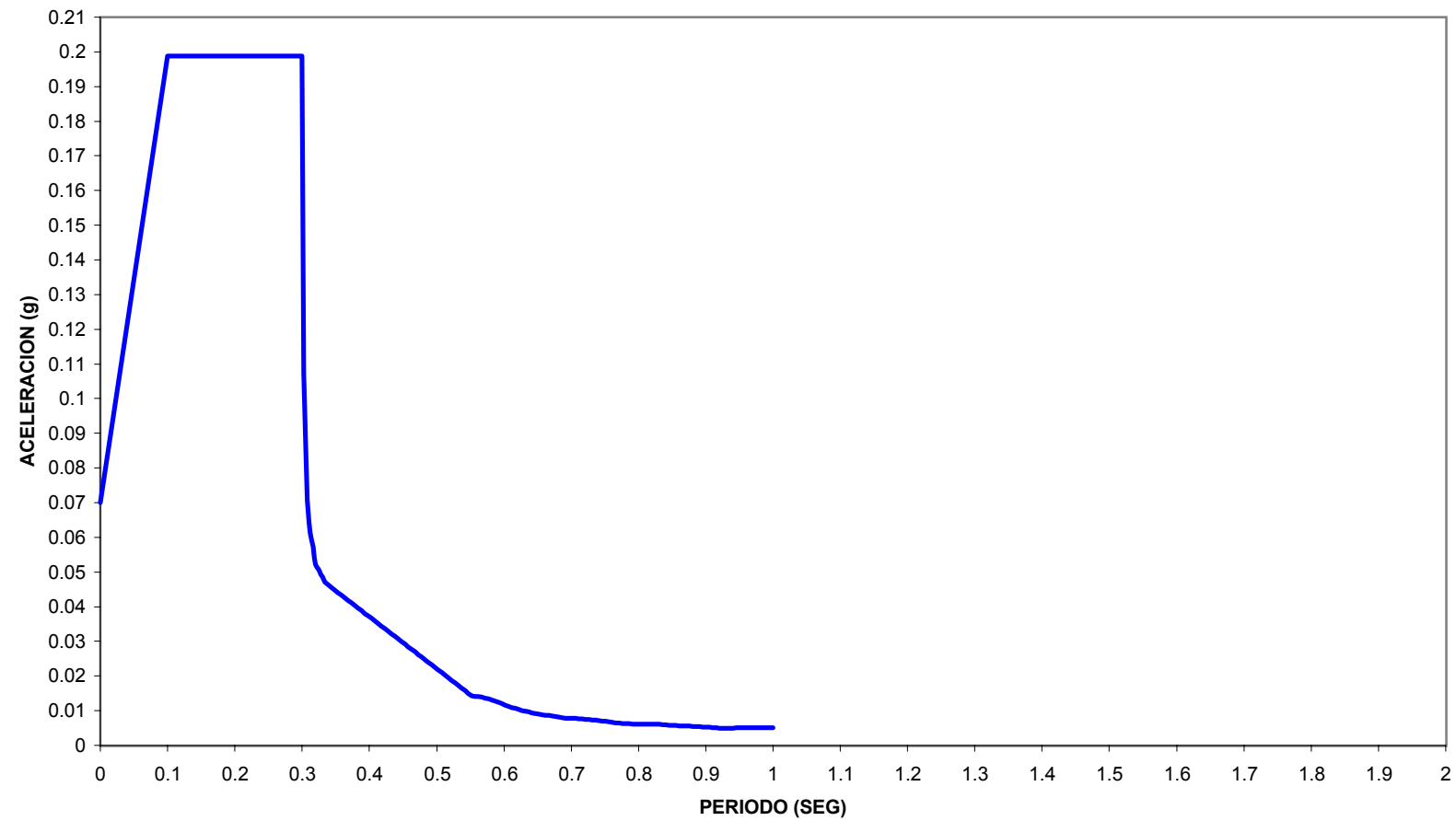


FIGURA G.1.2
ESPECTRO ELASTICO SUAVIZADO PARA SUELO INTERMEDIO

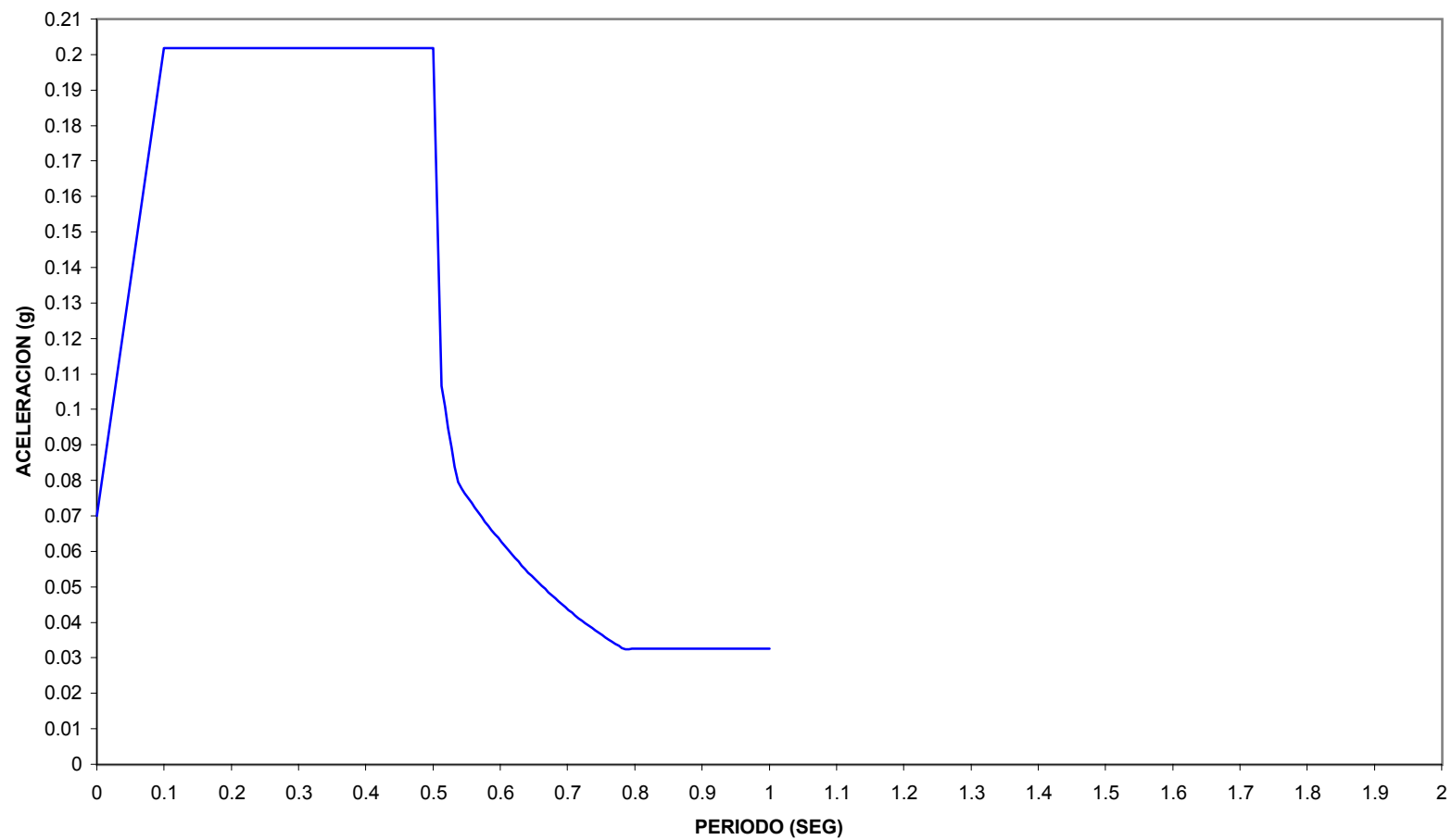
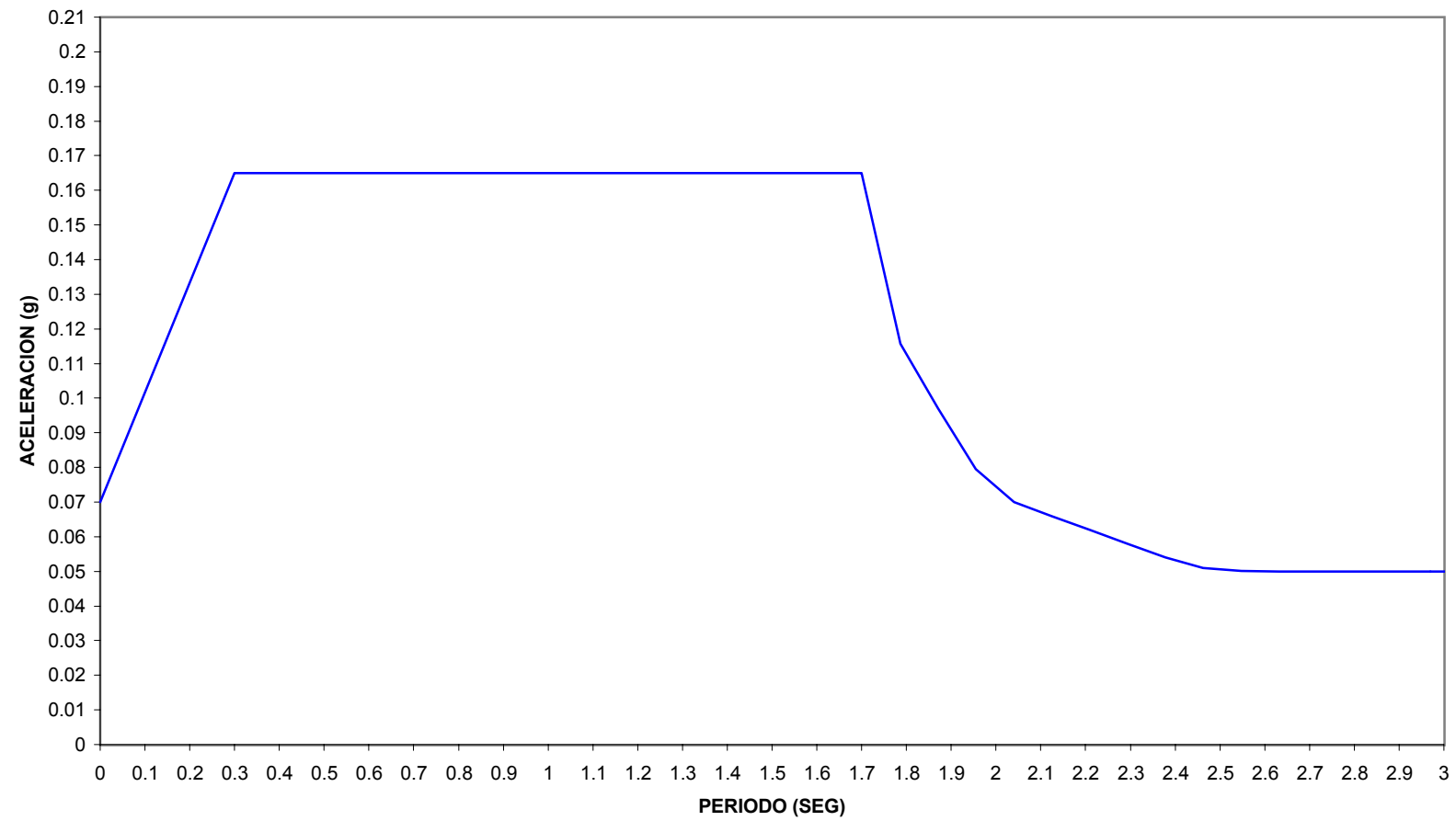


FIGURA G.1.3
ESPECTRO ELASTICO SUAVIZADO PARA SUELO SUAVE



APÉNDICE G.2

FACTORES DE REDUCCIÓN PROPUESTOS

APENDICE G.2

G.2 TABLAS DE FACTORES DE REDUCCION PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELO

Después de haber analizado las tablas de factores de reducción para cada tipo de suelo, se puede sacar características comunes y proponer factores de reducción para cada tipo de suelo.

Tomando los dos registros de suelo duro, se propone:

TABLA XII

FACTORES DE REDUCCION DE SUELO DURO		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.4	1.60	1.80
> 0.4	1.00	1.00

Revisando los dos registros de suelo intermedio:

TABLA XIII

FACTORES DE REDUCCION DE SUELO INTERMEDIO		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.3	1.44	1.62
0.3 – 0.5	1.10	1.30
> 0.5	1.00	1.00

Tomando los dos registros de suelo suave:

TABLA XIV

FACTORES DE REDUCCION DE SUELO SUAVE		
T	$\mu = 4$	$\mu = 6$
0 – 0.8	1.55	1.85
0.8 – 2.0	2.0	2.50
2.0 – 3.0	2.20	2.20

Esta es la propuesta final de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) SINGER Y PYTEL, “Resistencia de materiales”, tercera edición, Harla, Mexico, 1982.
- 2) NORRIS Y WILBUR, “Análisis elemental de estructuras”, tercera edición, Mc. Graw Hill, Bogota, Colombia, 1982.
- 3) MAHIN y LIN, “ Manual de NONSPEC”, Universidad de Berkeley, Berkeley, California, 1990.
- 4) Mc. Cormack Jack C., “Diseño de estructuras metálicas”, Alfaomega, Mexico, Mexico, 1991.
- 5) LARA OTTON, “Estimation of dynamic characteristics of soils and buildings for code purpose”, Eleventh World Conference on earthquake engineering, Acapulco, Mexico, 1996.
- 6) BIGGS JOHN M., “Structural Dynamics”, Mc. Graw Hill, New York , USA.
- 7) LARA OTTON, “Effects of Earthquakes on lifelines: Case History – The Napo 1987 earthquake”, Tenth World Conference on earthquake engineering, Madrid, España, 1992.

- 8) BERTERO V. V., MAHIN S.A., HERRERA R.A., "Establishment of design earthquake – evaluation of present methods", International Symposium of earthquake structural engineering, St. Louis, Missouri, USA, 1976.
- 9) FRENCH A.P., "Vibration and Waves", W.W.Norton & Company, Inc., New York, USA, 1971.
- 10) SETO WILLIAM W., "Vibraciones mecánicas", Mc. Graw Hill, Mexico, Mexico, 1988.
- 11) OKAMOTO SHUNZO, "Introduction to earthquake engineering, John Wiley & Sons, New York, USA, 1973.
- 12) BOYCE y Di PRIMA, "Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera", Limusa, Mexico, Mexico, 1980.
- 13) HUDSON E., "Reading and interpreting Strong Motion Accelerograms", Earthquake engineering Research Institute, USA, 1980.
- 14) NEWMARK y HALL, "Earthquake Spectra and Design", Earthquake engineering Research Institute, USA, 1980.
- 15) CHOPRA, "Dynamic of Structures", Earthquake engineering Research Institute, USA, 1980.

16)HOUSNER y JENNINGS, “earthquake design criteria”, Earthquake engineering Research Institute, USA, 1980.

17)KRAMER STEVEN C., “Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey , USA.

18)HURTY y RUBISTEIN, “Dinamics of structures, Prentice Hall, New Delhi, India, 1967.