

**ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**ANÁLISIS SÍSMICO DEL PUENTE CARRIZAL Y CONTRIBUCIONES  
A LA PELIGROSIDAD SÍSMICA DEL ECUADOR**

**Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**

**EDWIN PATRICIO GARCIA POZO**

**SANGOLQUI, Agosto de 2010.**

## EXTRACTO

El proyecto se compone básicamente por dos aspectos principales las contribuciones a la peligrosidad sísmica del Ecuador y el análisis sísmico longitudinal de Puente Carrizal. En la primera parte se calculan dos leyes de atenuación una para sismos corticales y otra para sismos de subducción de igual manera se calcula la relación entre la magnitud máxima y la longitud de rotura usando una base de datos de catorce sismos corticales y ocho sismos de subducción, por otra parte el análisis sísmico longitudinal se lo realiza en CEINCI LAB considerando tres modelos, en el primero se considera el efecto del suelo en los estribos, en el segundo no se considera el efecto del suelo en los estribos y en el tercero se realiza el análisis sísmico transversal considerando dos alturas diferentes de suelo y modelando al suelo con elementos finitos.

## ABSTRACT

The project consists of basically two main aspects, contributions to the seismic hazard of Ecuador and longitudinal seismic analysis of bridge Carrizal, in the first part, an estimated two attenuation laws for crustal and subduction earthquakes, in addition to calculate the relationship between the maximum magnitude and length of rupture, using a database of twenty two earthquakes, fourteen and eight cortical subduction earthquakes, second longitudinal seismic analysis is performed in CEINCI LAB considering three models, the former considers the effect soil in the abutments, the second is the effect of soil in the abutments and the third is made transverse seismic analysis considering two different heights on the ground floor and modeling with finite elements.

## CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. EDWIN PATRICIO GARCIA POZO como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, 25de Agosto de 2010

---

Dr. Roberto Aguiar Falconí

Director de Tesis

---

Ing. Estuardo Peñaherrera

Codirector de Tesis

REVISADO POR

---

Ing. Jorge Zuñiga

Director de la carrera de Ingeniería Civil

## **DEDICATORIA**

Le dedico el presente trabajo a mis padres, Julio Amado García Paguay y María Elina Pozo Castillo, puesto que ante las adversidades de la vida siempre conté con su apoyo y respaldo incondicional, a ellos por ser siempre una guía y una fuente de inspiración, desde el fondo de mi corazón este trabajo es para ustedes.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres porque es por ellos que he llegado a culminar mi carrera universitaria, a mis hermanos por ser mis compañeros de viaje a lo largo de todo este tiempo, a mis amigos que de alguna u otra forma influyeron en mi vida, un agradecimiento muy especial y sincero al Dr. Roberto Aguiar Falconí por su paciencia y su ayuda ya que sin el este escrito no hubiera sido posible.

# INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	Pág.
1. Contribuciones a la peligrosidad sísmica: Leyes de Atenuación.	
1.1 Descripción del trabajo realizado por Aguiar y Castro (2009).	1
1.2 Incorporación de nueva información macro sísmica.	2
1.3 Nuevas leyes de atenuación para sismos de subducción y sismos corticales.	8
1.4 Comparación de nuevas leyes con Aguiar y Castro (2009).	23
1.5 Comparación de nuevas leyes con las obtenidas a partir de registros sísmicos.	25
CAPITULO II	
2. Contribuciones a la peligrosidad sísmica: Magnitud máxima esperada.	
2.1 Análisis del trabajo realizado por Aguiar y Castro (2009).	27
2.2 Nueva relación entre magnitud y longitud de rotura.	29
2.3 Comparación con el trabajo realizado por Aguiar y Castro.	34
2.4 Sismicidad en el sur del Ecuador y la red sísmica del Austro.	37
CAPITULO III	
3. Análisis Sísmico longitudinal del Puente Carrizal Modelo 1 (sin considerar el suelo).	
3.1 Descripción del modelo 1.	44
3.2 Matrices de Rigidez, Masas y Amortiguamiento.	69
3.3 Sismos de Análisis.	81
3.4 Análisis Sísmico.	82
CAPITULO IV	
4. Análisis sísmico longitudinal de Puente Carrizal Modelo 2 (considerando el suelo).	
4.1 Descripción del modelo 2.	85
4.2 Descripción del trabajo del neopreno.	89
4.3 Análisis Sísmico en el sentido longitudinal con diseño original.	90

	Pág.
4.4 Análisis Sísmico en el sentido longitudinal con muro de corte.	99
CAPITULO V	
5. Análisis Sísmico Transversal del Puente Carrizal.	
5.1 Descripción del modelo.	101
5.2 Uso de CEINCI LAB en el análisis Sísmico.	105
5.3 Análisis Sísmico en el sentido Transversal.	110
CAPITULO VI	
6. Comentarios, conclusiones y recomendaciones.	114

## LISTADO DE TABLAS

Capítulo I	Pág.
Tabla 1.1: Sismos incorporados al estudio de peligrosidad sísmica.	2
Tabla 1.2: Calculo del radio equivalente del terremoto de Otavalo.	3
Tabla 1.3: Calculo del radio equivalente del temblor de Huila.	4
Tabla 1.4: Calculo del radio equivalente del sismo de Esmeraldas.	5
Tabla 1.5: Calculo del radio equivalente del sismo de Manabí.	6
Tabla 1.6: Calculo del radio equivalente del sismo de Tumaco.	7
Tabla 1.7: Sismos corticales usados en este estudio.	8
Tabla 1.8: Sismos de subducción usados en este estudio.	8
Tabla 1.9: Calculo de $n$ , $M$ y $M^2$ para sismos corticales	9
Tabla 1.10: Calculo de $D$ (diámetro) para sismos corticales.	10
Tabla 1.11: Calculo de $\ln(D+R_0)$ para sismos corticales.	10
Tabla 1.12: Calculo de $M(\ln(D+R_0))$ para sismos corticales.	11
Tabla 1.13: Calculo de $(\ln(D+R_0))^2$ para sismos corticales.	11
Tabla 1.14: Cálculo de Intensidades para sismos corticales.	12
Tabla 1.15: Cálculo de $M \times I$ para sismos corticales.	12
Tabla 1.16: Cálculo de $I \times \ln(D+R_0)$ para sismos corticales.	13
Tabla 1.17: Aplicación de la ecuación obtenida en cada sismo estudiado.	14
Tabla 1.18: Calculo de la Desviación estándar.	15.
Tabla 1.19: Calculo de $n$ , $M$ y $M^2$ para sismos de subducción.	18
Tabla 1.20: Calculo de $D$ para sismos de subducción.	18
Tabla 1.21: Calculo de $\ln(D+R_0)$ para sismos de subducción.	19
Tabla 1.22: Calculo de $M(\ln(D+R_0))$ para sismos de subducción.	19
Tabla 1.23: Calculo de $(\ln(D+R_0))^2$ para sismos de subducción.	19
Tabla 1.24: Cálculo de Intensidades para sismos de subducción.	20
Tabla 1.25: Cálculo de $M \times I$ para sismos de subducción.	20
Tabla 1.26: Cálculo de $I \times \ln(D+R_0)$ para sismos de subducción.	20
Tabla 1.27: Calculo de la Desviación estándar para sismos de subducción.	21
Tabla 1.28: Valores de $a$ y $b$ que relacionan aceleraciones e intensidades.	23

Capítulo II	Pág.
Tabla 2.1: Datos de longitud máxima en intensidades para sismos corticales.	30
Tabla 2.2: Datos para resolver la ecuación matricial.	31
Tabla 2.3: Datos de long. Máx. en intensidades para sismos de subducción .	33
Tabla 2.4: Datos para resolver la ecuación matricial.	33
Tabla 2.5: Sismos que han afectado al sur del Ecuador.	37
Tabla 2.6: Área calculada para cada isosista de los sismos del sur del País.	41
Capítulo III	
Tabla 3.1: Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=0.	54
Tabla 3.2: Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=0.	54
Tabla 3.3: Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=5.93.	56
Tabla 3.4: Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=5.93.	56
Tabla 3.5: Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=0.	58
Tabla 3.6: Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=0.	59
Tabla 3.7: Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=5.93.	60
Tabla 3.8: Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=5.93.	61
Tabla 3.9: Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=6.53.	62
Tabla 3.10: Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=6.53.	63
Tabla 3.11: Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=7.92.	64
Tabla 3.12: Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo h=7.92.	64
Tabla 3.13: Xcg y Ycg del corte 1 de las vigas I metálicas.	75
Tabla 3.14: Cálculo de la altura equivalente para el corte 1.	76
Tabla 3.15: Xcg y Ycg del corte 2 de las vigas I metálicas.	76
Tabla 3.16: Cálculo de la altura equivalente para el corte 2.	76
Tabla 3.17: Xcg y Ycg del corte 3 de las vigas I metálicas.	76
Tabla 3.18: Cálculo de la altura equivalente para el corte 3.	77
Tabla 3.19: Xcg y Ycg del corte 4 de las vigas I metálicas.	77
Tabla 3.20: Cálculo de la altura equivalente para el corte 4.	77

	Pág.
Tabla 3.21: Xcg y Ycg del corte 5 de las vigas I metálicas.	77
Tabla 3.22: Cálculo de la altura equivalente para el corte 5.	78
Tabla 3.23: Xcg y Ycg del corte 6 de las vigas I metálicas.	78
Tabla 3.24: Cálculo de la altura equivalente para el corte 6.	78
Tabla 3.25: Resumen del h equivalente en cada corte.	78
Tabla 3.26: Listado de programas de CEINCI LAB	
Para calcular la matriz de rigidez.	80
Capítulo IV	
Tabla 4.1: Pesos sobre vigas Puente Carrizal.	91
Tabla 4.2: Periodos de vibración principales sin muro de corte.	98
Tabla 4.3: Periodos de vibración principales con muro de corte.	100
Capítulo V	
Tabla 5.1: Descripción de programas CEINCI LAB.	107
Tabla 5.2: Periodos de vibración considerando el suelo y sin considerar el suelo.	110

## LISTADO DE FIGURAS

	Pág
Capítulo I	
Figura 1.1: Isosistas del Terremoto de Otavalo de 1868.	3
Figura 1.2: Isosistas del Temblor de Huila de 1949.	4
Figura 1.3: Isosistas del sismo de Esmeraldas de 1906.	5
Figura 1.4: Isosistas del sismo de Manabí de 1942.	6
Figura 1.5: Isosistas del sismo de Tumaco de 1979.	7
Figura 1.6: Graficas D vs I para sismos corticales.	18
Figura 1.7: Graficas D vs I para sismos de subducción.	23
Figura 1.8: Grafica de las leyes de atenuación para sismos $M_w = 7$ .	24
Figura 1.9: Grafica para sismos corticales.	26
Figura 1.10: Grafica para sismos Subducción.	27
Capítulo II	
Figura 2.1: Digitalización a escala de las isosistas	29
Figura 2.2: Grafica que muestra la relación entre la magnitud $M_w$ y La longitud de ruptura para sismos corticales.	32
Figura 2.3: Grafica que muestra la relación entre la magnitud $M_w$ y La longitud de ruptura para sismos de subducción.	34
Figura 2.4: Comparación de las ecuaciones para sismos corticales.	35
Figura 2.5: Comparación de las ecuaciones para sismos de subducción.	36
Figura 2.6: Isosista del Terremoto de Loja – Azuay 1913.	38
Figura 2.7: Isosista del Terremoto de Azuay 1901.	38
Figura 2.8: Isosista del Terremoto de la frontera sur Zamora 1956.	39
Figura 2.9: Isosista del Terremoto del Azuay 1956.	39
Figura 2.10: Isosista del Terremoto de Loja 1970.	40
Figura 2.11: Isosista del Terremoto de la frontera sur Zamora Chinchipe 1928.	40
Figura 2.12: Isosista del Terremoto del Azuay 1971.	41
Figura 2.13: Clasificación de los sismos que afectan el sur del Ecuador.	42
Figura 2.14: Comparación de datos originales y datos clasificados.	43

Capitulo III	Pág.
Figura 3.1: Ubicación del Puente Carrizal.	44
Figura 3.2: Descripción del estribo Pichincha (con pilotes).	45
Figura 3.3: Descripción del estribo Quiroga (sin pilotes).	46
Figura 3.4: Descripción del estribo Quiroga (sin pilotes).	46
Figura 3.5: Planta de pilotes apoyo central.	47
Figura 3.6: Detalle de Vigas de arriostramiento y anclajes.	48
Figura 3.7: Planta de vigas de arriostramiento superior e inferior.	49
Figura 3.8: Detalle viga Cabezal.	50
Figura 3.9: Estructura superior apoyos centrales.	51
Figura 3.10: Sección transversal de las vigas.	51
Figura 3.11: Detalles del arriostramiento lateral de las vigas.	52
Figura 3.12: Modelo Matemático estribo Quiroga.	52
Figura 3.13: Vista en planta del arranque del contrafuerte Y la pantalla inferior en $h=0$ .	53
Figura 3.14 Distancias del CG de cada elemento a un eje X, Y común, $h=0$ .	53
Fig. 3.15a: Distancia del Cg de cada elemento al Cg del conjunto en $h=0$ .	53
Fig. 3.15b altura equivalente con un $b = 11,09$ .	53
Fig. 3.16: Vista en planta de la cabeza del contrafuerte Y la pantalla inferior en $h=5,93$ .	55
Fig. 3.17: Dist. del CG de cada elem. a un eje X, Y común, en $h=5,93$ .	55
Fig. 3.18a: Dist. del Cg de cada elem. al Cg total en $h=5,93$ Contrafuerte.	55
Fig. 3.18b: altura equivalente con un $b = 11,09$ .	55
Fig. 3.19: Vista en planta del cabezal de los pilotes en $h=0$ .	57
Fig. 3.20: Distancias del CG de cada elemento a un eje X, Y común, en $h=0$ .	57
Fig. 3.21a: Dist. del Cg de cada elemento al Cg del conjunto en $h=0$ Cabezal.	58
Fig. 3.21b: Calculo de la altura equivalente con un $b = 12,25$ .	58
Fig. 3.22: Vista en planta de la Viga cabezal en $h=5,93$ .	59
Fig. 3.23: Dist. del CG de cada elemento a un eje X, Y común, en $h=5,93$ .	59
Fig. 3.24a: Dist. del Cg de cada elem. al Cg total en $h=5,93$ Viga Cabezal.	59

	Pág.
Fig. 3.24b: Calculo de la altura equivalente con un $b = 10,64$ .	59
Fig. 3.25: Vista en planta de la Pantalla Superior en $h=6,53$ .	61
Fig. 3.26: Dist. del CG de cada elemento a un eje X, Y común, en $h=6,53$ .	61
Fig. 3.27a: Dist. del Cg de cada elem. al Cg total en $h=6,53$ Pantalla superior.	62
Fig. 3.27b: Calculo de la altura equivalente con un $b = 10,64$ .	62
Fig. 3.28: Vista en planta de la Pantalla Superior en $h=7,92$ .	63
Fig. 3.29: Dist. del CG de cada elem. a un eje X, Y común, en $h=7,92$ .	63
Fig. 3.30: Distancia del Cg de cada elemento al Cg del conjunto en $h=7,92$	64
Figura 3.31: Modelo Matemático estribo Pichincha.	66
Figura 3.32: Modelo Matemático apoyo central.	67
Figura 3.33: Modelo vigas.	68
Figura 3.35: Modelo numérico de análisis estribo Izquierdo.	70
Figura 3.36: Modelo numérico de análisis apoyo central.	71
Figura 3.38: Modelo numérico del estribo derecho.	73
Figura 3.39: Coord. Principales del modelo de análisis sísmico longitudinal.	74
Figura 3.40: Coord. Principales del modelo de análisis sísmico total.	75
Figura 3.41: Acelerograma utilizado y espectro elástico.	82
Figura 3.42: condiciones iniciales modelo 1.	82
Figura 3.43: Desplazamiento estribo izquierdo modelo 2.	83
Figura 3.44: Desplazamiento estribo derecho modelo 2.	84
Figura 3.45: Fuerzas estribo derecho modelo 2.	84

#### Capítulo IV

Figura 4.1: modelo 2 de análisis.	85
Figura 4.2: Diagrama de distribución de presiones del suelo.	86
Figura 4.3: Desplazamientos apoyo central modelo 2.	87
Figura 4.4: Fuerzas apoyo central modelo 2.	88
Figura 4.5: Desplazamientos estribo derecho modelo 2.	88
Figura 4.6: Detalle del neopreno y ubicación.	90

	Pág.
Figura 4.7: Modelo numérico del apoyo central.	91
Figura 4.8: Coordenadas totales y masas concentrada en apoyo central.	92
Figura 4.9: Elementos finitos rectangulares del suelo en estribos.	93
Figura 4.10: Numeración de elem. finitos rectangulares del suelo en estribos.	94
Figura 4.11: Descripción de los elementos apoyo central.	99
Figura 4.12: Coordenadas totales y masas concentrada en apoyo central.	100
Capitulo V	
Figura 5.1: Elementos finitos rectangulares del suelo en apoyos.	101
Figura 5.2: Estratigrafía del suelo.	102
Figura 5.3: Condiciones para el análisis sísmico.	103
Figura 5.4: Numeración de nudos y elem. de Apoyo Central.	104
Figura 5.5: Sub programas de CEINCI LAB.	106
Figura 5.6: Programa realizado usando CEINCI LAB.	108
Figura 5.7: Presentación de resultados.	109
Figura 5.8: Acelerograma y espectro de respuesta del sismo del centro 1940.	110
Figura 5.9: Desplazamientos considerando 20.62m de suelo.	111
Figura 5.10: Fuerzas considerando 20.62m de suelo.	112
Figura 5.11: Fuerzas y desplazamientos considerando 14.30m de suelo.	112
Figura 5.12: Puntos en los que se muestran los resultados del análisis sísmico.	113

## CAPITULO I

### CONTRIBUCIONES A LA PELIGROSIDAD SÍSMICA LEYES DE ATENUACION

---

#### **1.1- Descripción del trabajo realizado por Aguiar y Castro (2009).**

El trabajo realizado por Aguiar y Castro (2009), inicia con una introducción en la que se define a las leyes de atenuación y se enuncia la hipótesis con la cual se obtiene las mismas, se hace hincapié en que es necesario incluir la desviación estándar cuando se trate estas leyes por la incertidumbre que ellas tienen.

Se menciona que en países con alta peligrosidad sísmica no existen los suficientes registros razón por la cual se dificulta la obtención de leyes de atenuación y se justifica el uso de curvas isosistas para el cálculo de las mencionadas por ser estas bastante confiables.

Se indica las leyes de atenuación de intensidades presentadas por varios autores a través de la historia, describiendo el significado de las variables de cada ecuación y agrupando las mismas en una tabla al igual que las leyes de atenuación para aceleraciones máximas del suelo, se mencionan también las leyes de atenuación instrumentales es decir las que fueron obtenidas con registros sísmicos las cuales también se las agrupa en una tabla.

Se determina las leyes de atenuación de intensidades para el Ecuador en base a 20 curvas isosistas y a un modelo base de ley de atenuación.

$$I = C_1 + C_2M + C_3Ln(D + R_0) \quad (1.1)$$

Donde, I: Intensidad esperada; C1, C2, C3: Son valores de datos zonales; M: Magnitud; D: Distancia al foco; Ro: Parámetro empírico que define el campo cerrado.

En el mencionado trabajo se citan las fuentes de las cuales se obtuvo las curvas isosistas y se muestran las curvas para los sismos usados en la determinación de la ley de atenuación, se tabula los 20 sismos indicando fecha, magnitud Mw y las intensidades para cada uno.

Se calcula las constantes C1, C2, C3 y se reemplazan en la ecuación modelo con lo cual se obtiene la ley de atenuación de intensidades para el Ecuador, finalmente se realiza un análisis comparativo de las leyes obtenidas para América del Sur y la obtenida en el mencionado estudio.

$$I_i = 3.3577 + 1.0013M_w - 0.8856Ln(D + 10) \quad (1.2)$$

Donde, I<sub>i</sub>: Intensidad; M<sub>w</sub>: Magnitud; D: Distancia al foco.

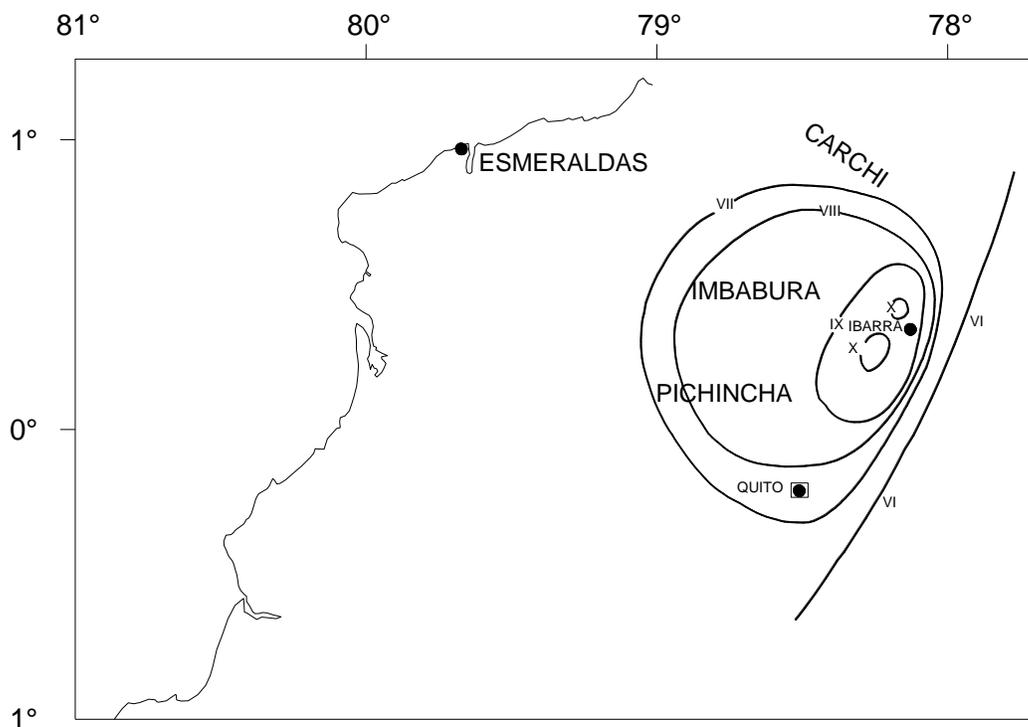
## 1.2- Incorporación de nueva información macro sísmica.

En el presente estudio se incorpora nueva información macro sísmica con el fin de obtener leyes de atenuación más aproximadas a la realidad del Ecuador.

**Tabla 1.1:** Sismos incorporados al estudio de peligrosidad sísmica

SISMOS CORTICALES				
#	SISMOS	FECHA	M	Mw
1	Otavallo	16/08/1868	7.70	7.70
2	Huila	05/08/1949	8.00	8.00
SISMOS SUBDUCCIÓN				
3	Esmeraldas	31/01/1906	8.8	8.8
4	Manabí	13/05/1942	7.8	7.8
5	Tumaco	12/12/1979	7.7	7.7

Para cada sismo indicado en la tabla 1.1 se digitalizaron las curvas isosistas de diferentes estudios de peligrosidad sísmica, una vez digitalizados se procedió al cálculo de las áreas de cada curva de igual intensidad, para finalmente determinar el radio equivalente para cada curva estudiada.



**Figura 1.1:** Isosistas del Terremoto de Otavalo de 1868

**Tabla 1.2:** Calculo del radio equivalente en del terremoto de Otavalo.

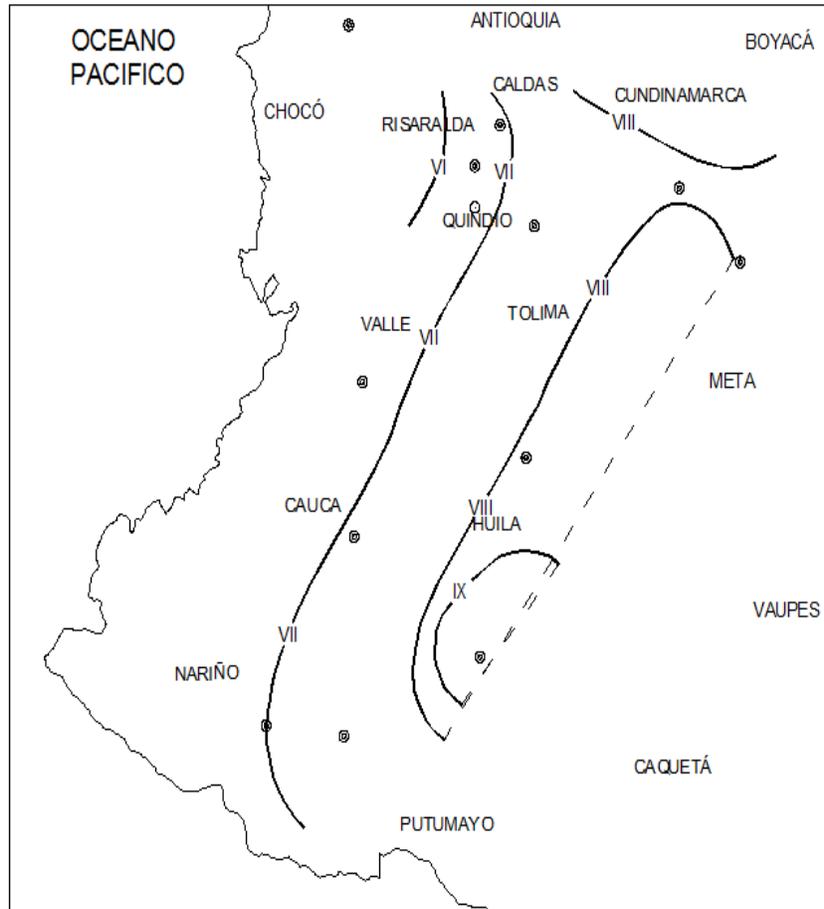
ISOSISTAS DEL TERREMOTO DE OTAVALO (16-08-1868 - 1h 30' U.T.C)					
Elemento	Isosista XI	Isosista X2	Isosista IX	Isosista VIII	Isosista VII
Area Km2	38.1462	113.1704	1738.8068	7674.5105	11338.3244
Area Final Km2	151.3166		1738.8068	7674.5105	11338.3244
Radio Equiv. Km	<b>6.9401</b>		<b>23.5261</b>	<b>49.4254</b>	<b>60.0758</b>

Se suman las áreas de las curvas isosistas de igual intensidad y se determina el radio equivalente mediante la expresión 1.3.

$$r = \sqrt{\frac{Area}{\pi}} \quad (1.3)$$

Donde, r: Radio de la curva isosista; Área: Área de la isosista de igual intensidad

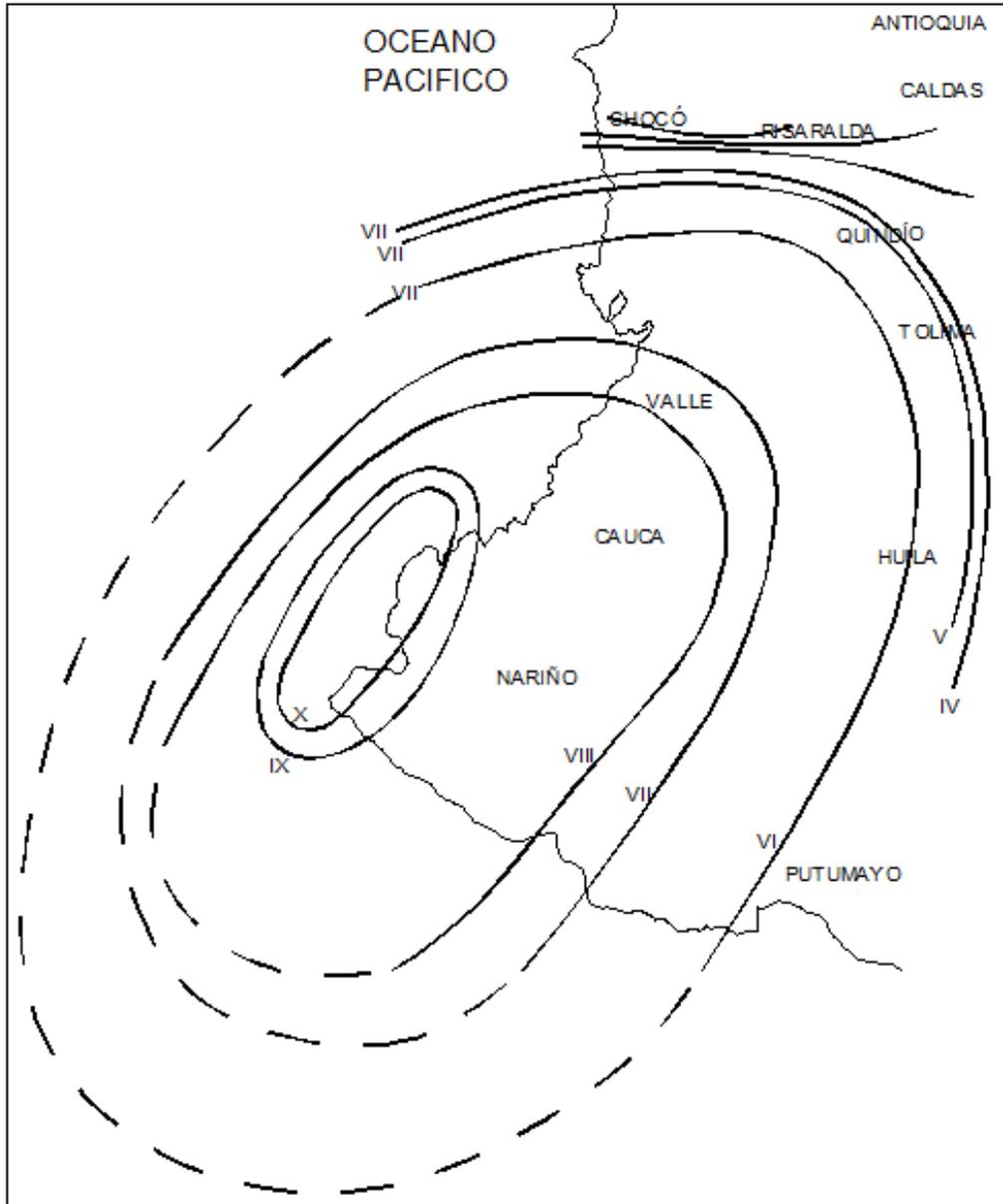
Aplicando el mismo criterio a los siguientes sismos se tiene:



**Figura 1.2:** Isosistas del Temblor de Huila de 1949

**Tabla 1.3:** Calculo del radio equivalente del temblor de Huila.

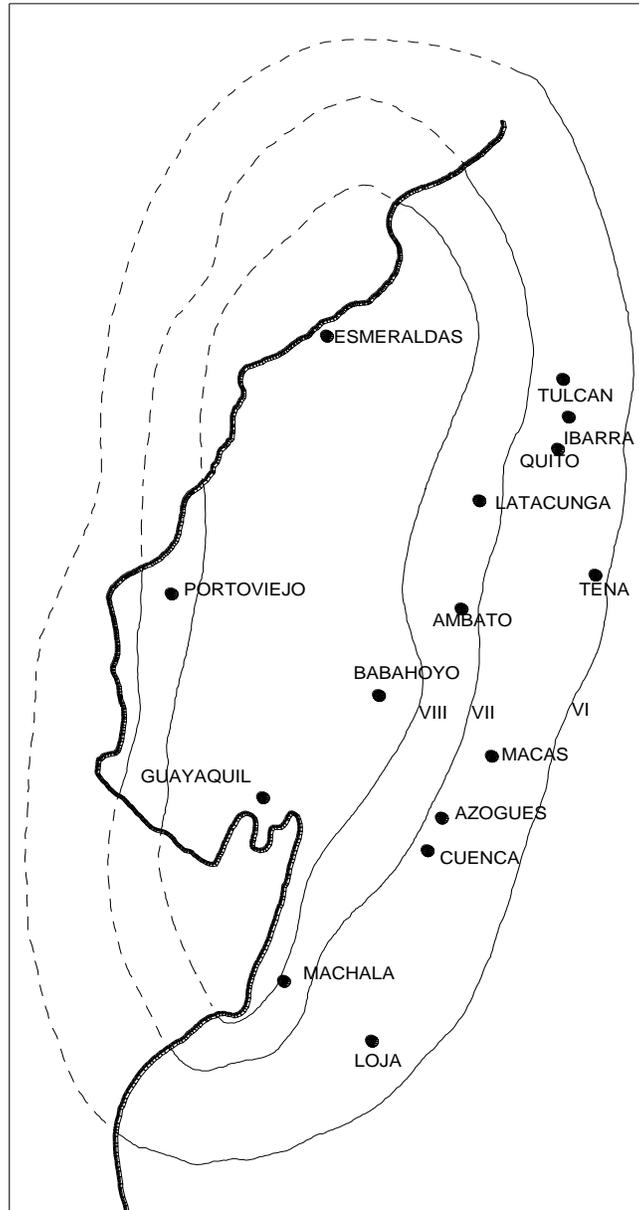
ISOSISTAS DEL TEMBLOR DE HUILA 05-08-1949		
<i>Elemento</i>	<i>Isosista IX</i>	<i>Isosista VIII</i>
Area Km2	5740.1683	31572.7543
Radio Equiv. Km	<b>42.7452</b>	<b>100.2493</b>



**Figura 1.3:** Isosistas del sismo de Esmeraldas de 1906

**Tabla 1.4:** Calculo del radio equivalente del sismo de Esmeraldas.

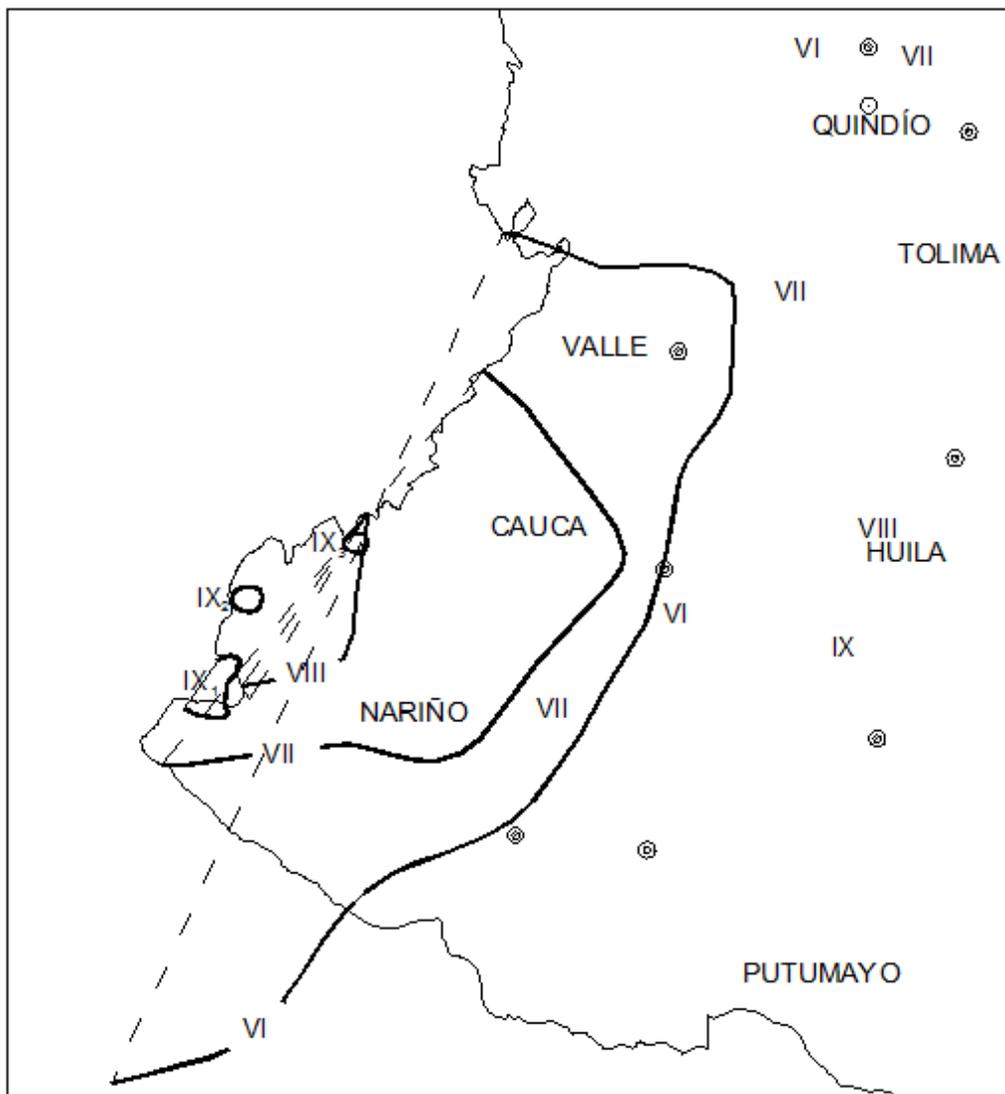
ISOSISTAS DEL SISMO DE ESMERALDAS 31-01-1906					
<i>Elemento</i>	<i>Isosista X</i>	<i>Isosista IX</i>	<i>Isosista VIII</i>	<i>Isosista VII</i>	<i>Isosista VI</i>
Area Km2	9905.555	18677.3742	100229.4081	140493.6979	286801.0199
Radio Equiv. Km	<b>56.1519</b>	<b>77.1051</b>	<b>178.6169</b>	<b>211.4723</b>	<b>302.1450</b>



**Figura 1.4:** Isosistas del sismo de Manabí de 1942

**Tabla 1.5:** Calculo del radio equivalente del sismo de Manabí.

ISOSISTAS DEL TEMBLOR DE MANABÍ DEL 13-05-1942			
<i>Elemento</i>	<i>Isosista VIII</i>	<i>Isosista VII</i>	<i>Isosista VI</i>
Area Km <sup>2</sup>	44400.504	76946.7383	140997.9425
Radio Equiv. Km	<b>118.8828</b>	<b>156.5021</b>	<b>211.8515</b>



**Figura 1.5:** Isosistas del sismo de Tumaco de 1979

**Tabla 1.6:** Calculo del radio equivalente del sismo de Tumaco.

ISOSISTAS DEL SISMO DE TUMACO 1979						
<i>Elemento</i>	<i>Isosista IX1</i>	<i>Isosista IX2</i>	<i>Isosista IX3</i>	<i>Isosista VIII</i>	<i>Isosista VII</i>	<i>Isosista VI</i>
Area Km2	463.5492	158.989	96.7289	2006.9897	23104.8294	54178.8619
Area Km2	719.2671			2006.9897	23104.8294	54178.8619
Radio Equiv. Km	<b>15.1311</b>			<b>25.2754</b>	<b>85.7584</b>	<b>131.3228</b>

### 1.3- Nuevas leyes de atenuación para sismos de subducción y sismos corticales.

Con la nueva información macro sísmica y compilando la información del estudio realizado por Aguiar y Castro (2009), se obtiene la información necesaria para el cálculo de las leyes de atenuación para sismos corticales y de subducción, por lo que en primer lugar se clasifica los registros sísmicos obtenidos, en sismos corticales y de subducción como se muestra en la tabla 1.6 y 1.7.

**Tabla 1.7:** Sismos corticales usados en este estudio

SISMOS CORTICALES													
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	Radios de afectación (km)								
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	20.32	46.80	87.41	135.37	181.78	230.41	276.36	391.95	
2	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	6.94	23.53	49.43	60.08					
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				8.32	19.78	30.81			
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	5.61	10.91	18.41	27.16	36.14	52.96	76.59		
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		49.51	72.22	130.64		328.80			
6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		42.75	100.25						
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			22.71	57.97	177.68				
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				7.03	12.20	22.79	51.76	85.47	
9	ALAUÍ	08/04/1961	6.35	24.00				11.53	35.86	52.22	80.06		
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			13.21	25.98	63.95	82.16	168.97		
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			10.24	16.21	22.85	43.13	74.25	103.70	
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		13.26	26.90	55.89	79.85	106.38	131.94	200.39	
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			15.35	124.05	154.98	188.53	201.33		
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				6.13	26.10	50.93	77.05	113.33	171.27

**Tabla 1.8:** Sismos de subducción usados en este estudio

SISMOS SUBDUCCIÓN													
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	Radios de afectación (km)								
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II
1	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	56.15	77.11	178.62	211.47	302.14				
2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			118.88	156.50	211.85				
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			20.92	46.74	104.31	213.49	325.82		
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				82.45	134.07	211.23	277.88		
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34			28.53	47.85	78.34	103.58	173.22		
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				12.44	105.14	173.66	228.86	278.34	
7	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		15.13	25.28	85.76	131.32				
7	BAHIA DE CARÁQUEZ	08/04/1998	7.1	350.5			4.92	49.77	115.83	149.54	235.94	250.64	

La ecuación base para la ley de atenuación es.

$$I = C_1 + C_2 M + C_3 \ln(D + R_o) \quad (1.1)$$

Las variables C1, C2, C3, se las encuentra resolviendo la siguiente ecuación matricial.

$$\begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n M & \sum_{i=1}^n \ln(D + R_o) \\ \sum_{i=1}^n M & \sum_{i=1}^n M^2 & \sum_{i=1}^n M \ln(D + R_o) \\ \sum_{i=1}^n \ln(D + R_o) & \sum_{i=1}^n M \ln(D + R_o) & \sum_{i=1}^n [\ln(D + R_o)]^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n I_i \\ \sum_{i=1}^n M I_i \\ \sum_{i=1}^n I [\ln(D + R_o)] \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

Se calculan cada uno de los valores que intervienen en la matriz con el fin de resolver el sistema.

**Tabla 1.9:** Calculo de n, M y M<sup>2</sup>

#	SISMOS	FECHA	Mw	h	SISMOS CORTICALES								#e	(#e)xM	M <sup>2</sup>	
					Radios de afectación (km)											
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III				II
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	20.32	46.80	87.41	135.37	181.78	230.41	276.36	391.95		8	61.60	474.32
2	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	6.94	23.53	49.43	60.08						4	30.80	237.16
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				8.32	19.78	30.81				3	17.76	105.14
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	5.61	10.91	18.41	27.16	36.14	52.96	76.59			7	48.51	336.17
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		49.51	72.22	130.64		328.80				4	25.48	162.31
6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		42.75	100.25							2	16.00	128.00
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			22.71	57.97	177.68					3	20.94	146.16
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				7.03	12.20	22.79	51.76	85.47		5	29.85	178.20
9	ALAUÍ	08/04/1961	6.35	24.00				11.53	35.86	52.22	80.06			4	25.40	161.29
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			13.21	25.98	63.95	82.16	168.97			5	31.05	192.82
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			10.24	16.21	22.85	43.13	74.25	103.70		6	35.52	210.28
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		13.26	26.90	55.89	79.85	106.38	131.94	200.39		7	49.00	343.00
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			15.35	124.05	154.98	188.53	201.33			5	34.50	238.05
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				6.13	26.10	50.93	77.05	113.33	171.27	6	34.32	196.31
Datos para el cálculo de las constantes C1,C2,C3												<b>69</b>	<b>460.73</b>	<b>3109.22</b>		
												n	Sum M	Sum M <sup>2</sup>		

En la tabla 1.9 se calcula n = 69; M=460.73 y M<sup>2</sup> = 3109.22.

**Tabla 1.10: Calculo de D (diámetro)**

SISMOS CORTICALES													
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	D = (R <sup>2</sup> + h <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>								
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	25.26	49.15	88.69	136.20	182.40	230.90	276.77	392.24	
2	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	33.72	40.53	59.43	68.54					
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				34.03	38.47	45.15			
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	11.47	14.80	20.95	28.94	37.50	53.90	77.24		
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		77.79	93.89	143.76		334.23			
6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		54.00	105.54						
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			40.06	66.70	180.72				
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				22.15	24.29	30.99	55.86	88.01	
9	ALAUŚÍ	08/04/1961	6.35	24.00				26.63	43.15	57.47	83.58		
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			44.03	49.39	76.51	92.27	174.11		
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			12.63	17.82	24.02	43.76	74.62	103.96	
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		16.61	28.70	56.78	80.47	106.85	132.32	200.64	
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			160.93	202.61	222.90	247.40	257.29		
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				33.56	42.07	60.69	83.82	118.04	174.42

**Tabla 1.11: Calculo de Ln(D+R<sub>0</sub>)**

SISMOS CORTICALES														
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	Ln (D+R <sub>0</sub> ) R <sub>0</sub> =10									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	3.56	4.08	4.59	4.98	5.26	5.48	5.66	6.00		39.62
*2'	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	3.78	3.92	4.24	4.36						16.30
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				3.78	3.88	4.01				11.68
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	3.07	3.21	3.43	3.66	3.86	4.16	4.47			25.86
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		4.47	4.64	5.04		5.84				19.99
*6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		4.16	4.75							8.91
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			3.91	4.34	5.25					13.50
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				3.47	3.53	3.71	4.19	4.59		19.49
9	ALAUŚÍ	08/04/1961	6.35	24.00				3.60	3.97	4.21	4.54			16.32
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			3.99	4.08	4.46	4.63	5.22			22.38
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			3.12	3.33	3.53	3.98	4.44	4.74		23.13
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		3.28	3.66	4.20	4.51	4.76	4.96	5.35		30.71
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			5.14	5.36	5.45	5.55	5.59			27.09
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				3.77	3.95	4.26	4.54	4.85	5.22	26.60
Sum Ln (D+R <sub>0</sub> )													<b>301.59</b>	

De la tabla 1.11 se obtiene el valor de  $\Sigma \text{Ln}(D+R_0) = 301.59$

**Tabla 1.12: Calculo de M(Ln(D+R<sub>0</sub>))**

SISMOS CORTICALES														
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	M(Ln (D+R <sub>0</sub> ))									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	27.43	31.42	35.36	38.38	40.50	42.23	43.57	46.18		305.07
*2'	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	29.09	30.20	32.65	33.60						125.54
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				22.41	22.98	23.74				69.12
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	21.25	22.25	23.79	25.38	26.75	28.81	30.97			179.20
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		28.51	29.58	32.08		37.21				127.37
*6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		33.27	38.00							71.27
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			27.31	30.29	36.65					94.26
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				20.72	21.10	22.17	25.00	27.37		116.36
9	ALAUŚÍ	08/04/1961	6.35	24.00				22.86	25.23	26.74	28.82			103.66
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			24.77	25.36	27.70	28.74	32.39			138.96
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			18.47	19.69	20.88	23.59	26.27	28.04		136.93
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		22.97	25.59	29.41	31.54	33.33	34.71	37.45		214.99
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			35.47	36.98	37.61	38.30	38.56			186.92
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				21.59	22.61	24.36	25.98	27.76	29.84	152.13
Sum M(Ln (D+R <sub>0</sub> ))													<b>2021.78</b>	

De la tabla 1.12 se obtiene el valor de  $\Sigma M(\text{Ln}(D+R_0)) = 2021.78$

**Tabla 1.13: Calculo de  $(\ln(D+R_0))^2$**

SISMOS CORTICALES														
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	$(\ln(D+R_0))^2$									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	12.69	16.65	21.09	24.85	27.66	30.08	32.02	35.96		201.00
*2'	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	14.27	15.39	17.98	19.04						66.68
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				14.33	15.06	16.08				45.47
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	9.40	10.31	11.78	13.41	14.90	17.28	19.97			97.06
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		20.03	21.56	25.36		34.12				101.06
*6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		17.30	22.56							39.86
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			15.31	18.84	27.57					61.72
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				12.04	12.49	13.79	17.54	21.02		76.88
9	ALAUÍS	08/04/1961	6.35	24.00				12.97	15.79	17.74	20.60			67.09
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			15.92	16.68	19.89	21.42	27.20			101.11
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			9.73	11.06	12.44	15.88	19.70	22.43		91.23
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		10.77	13.36	17.65	20.30	22.67	24.58	28.62		137.95
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			26.43	28.72	29.71	30.81	31.23			146.90
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				14.24	15.62	18.13	20.62	23.54	27.22	119.39
Sum $(\ln(D+R_0))^2$													<b>1353.41</b>	

De la tabla 1.13 se obtiene el valor de  $(\ln(D+R_0))^2 = 1353.41$

**Tabla 1.14: Cálculo de Intensidades**

SISMOS CORTICALES														
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	INTENSIDADES									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	1	1	1	1	1	1	1	1		8
*2'	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	1	1	1	1						4
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				1	1	1				3
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	1	1	1	1	1	1	1			7
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		1	1	1		1				4
*6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		1	1							2
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			1	1	1					3
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				1	1	1	1	1		5
9	ALAUÍS	08/04/1961	6.35	24.00				1	1	1	1			4
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			1	1	1	1	1			5
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			1	1	1	1	1	1		6
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		1	1	1	1	1	1	1		7
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			1	1	1	1	1			5
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				1	1	1	1	1	1	6
Sum de n por intensidades					3	6	10	13	11	11	9	5	1	
sum de Intensidades					30	54	80	91	66	55	36	15	2	<b>429</b>

De la tabla 1.14 se obtiene el valor de  $\sum I = 429$

**Tabla 1.15: Cálculo de  $M \times I$**

SISMOS CORTICALES														
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	$M * \text{Intensidades}$									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	77.00	69.30	61.60	53.90	46.20	38.50	30.80	23.10		400.40
*2'	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	77.00	69.30	61.60	53.90						261.80
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				41.44	35.52	29.60				106.56
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	69.30	62.37	55.44	48.51	41.58	34.65	27.72			339.57
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		57.33	50.96	44.59		31.85				184.73
*6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		72.00	64.00							136.00
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			55.84	48.86	41.88					146.58
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				41.79	35.82	29.85	23.88	17.91		149.25
9	ALAUÍS	08/04/1961	6.35	24.00				44.45	38.10	31.75	25.40			139.70
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			49.68	43.47	37.26	31.05	24.84			186.30
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			47.36	41.44	35.52	29.60	23.68	17.76		195.36
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		63.00	56.00	49.00	42.00	35.00	28.00	21.00		294.00
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			55.20	48.30	41.40	34.50	27.60			207.00
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				40.04	34.32	28.60	22.88	17.16	11.44	154.44
Sum de n por intensidades													<b>2901.69</b>	

De la tabla 1.15 se obtiene el valor de  $\sum M \times I = 2901.69$

**Tabla 1.16: Cálculo de  $I \times \ln(D+R_0)$**

#	SISMOS	FECHA	Mw	h	SISMOS CORTICALES										Sum
					$I^* \ln(D+R_0)$										
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II		
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	35.63	36.72	36.74	34.89	31.56	27.42	22.63	17.99			243.58
*2'	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	37.78	35.30	33.92	30.55							137.55
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				26.49	23.29	20.05					69.83
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	30.66	28.90	27.46	25.63	23.16	20.79	17.87				174.48
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		40.27	37.15	35.25		29.21					141.88
*6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		37.43	38.00								75.43
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			31.31	30.38	31.50						93.19
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				24.29	21.21	18.57	16.75	13.76			94.57
9	ALAUŚ	08/04/1961	6.35	24.00				25.21	23.84	21.06	18.16				88.26
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			31.92	28.59	26.76	23.14	20.86				131.27
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			24.96	23.28	21.16	19.92	17.75	14.21			121.28
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		29.53	29.25	29.41	27.03	23.80	19.83	16.05			174.90
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			41.13	37.52	32.70	27.75	22.35				161.46
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				26.42	23.72	21.29	18.17	14.56	10.43		114.58
													Sum de $I^* \ln(D+R_0)$	<b>1822.26</b>	

De la tabla 1.16 se obtiene el valor de  $\Sigma I \cdot \ln(D+R_0) = 1822.26$

Se reemplaza los valores obtenidos de cada tabla en la ecuación 1.4 con lo cual se obtiene el siguiente sistema.

$$\begin{vmatrix} 69 & 460.73 & 301.59 \\ 460.73 & 3109.22 & 2021.78 \\ 301.59 & 2021.78 & 1353.41 \end{vmatrix} \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ C3 \end{matrix} = \begin{vmatrix} 429 \\ 2901.69 \\ 1822.26 \end{vmatrix}$$

Resolviendo el sistema se obtiene los valores para  $C1 = 3.7564$ ;  $C2 = 1.5866$ ;  $C3 = -1.8608$ .

Los cuales al reemplazar en la ecuación base se obtiene la siguiente **Ley de Atenuación de Intensidades para sismos corticales**.

$$I = 3.7564 + 1.5866M_w - 1.8606 \ln(D + 10) \quad (1.5)$$

Donde, I: Intensidad; Mw: Magnitud; D: Distancia al foco

Se aplica a cada sismo de los estudiados la ecuación obtenida.

**Tabla 1.17:** Aplicación de la ecuación obtenida en cada sismo estudiado

SISMOS CORTICALES													
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	I = C1+C2*Mw+C3*Ln(D+R0)								
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	9.34	8.38	7.43	6.70	6.19	5.77	5.44	4.81	
*2'	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	8.94	8.67	8.08	7.85					
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				6.11	5.93	5.69			
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	9.05	8.78	8.36	7.94	7.57	7.02	6.44		
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		5.54	5.22	4.49		2.99			
*6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		8.71	7.61						
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			7.55	6.76	5.06				
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				6.77	6.65	6.32	5.44	4.70	
9	ALAU SÍ	08/04/1961	6.35	24.00				7.13	6.44	5.99	5.39		
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			6.19	6.01	5.31	5.00	3.90		
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			7.34	6.96	6.59	5.73	4.89	4.34	
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		8.76	8.06	7.04	6.48	6.00	5.64	4.91	
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			5.14	4.73	4.56	4.38	4.31		
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				5.81	5.48	4.91	4.38	3.80	3.12
Numero de Datos				14	Sum de n por intensidades								

Se calcula el error por medio de la desviación estándar con el fin de validar la ecuación calculada.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(I_{obs} - I_{cal})^2}{n-1}} \quad (1.6)$$

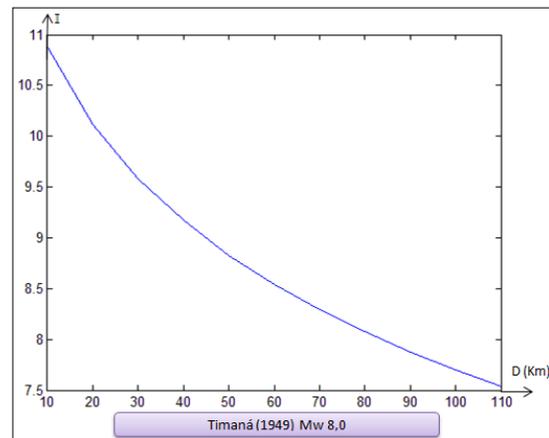
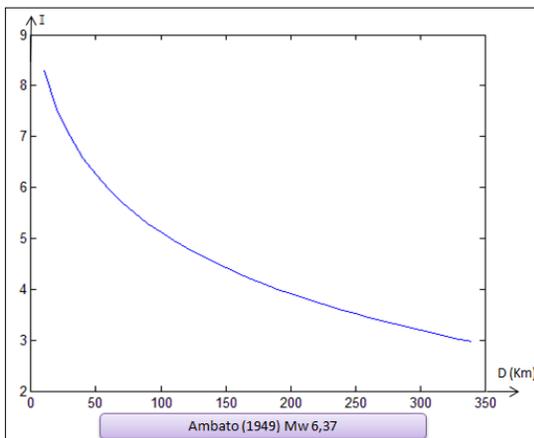
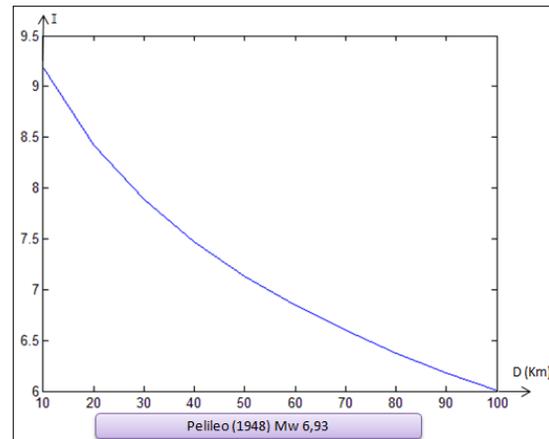
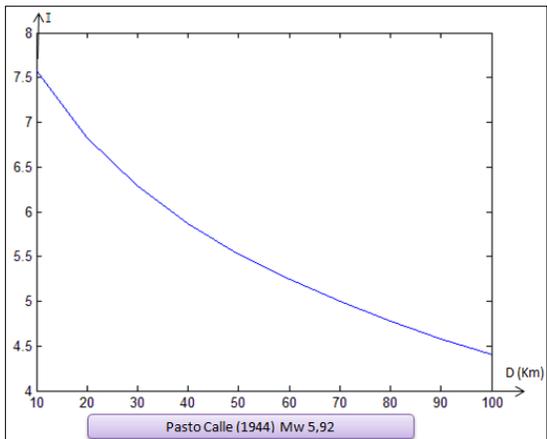
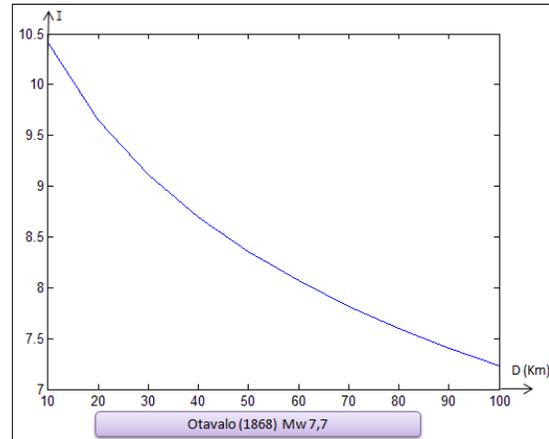
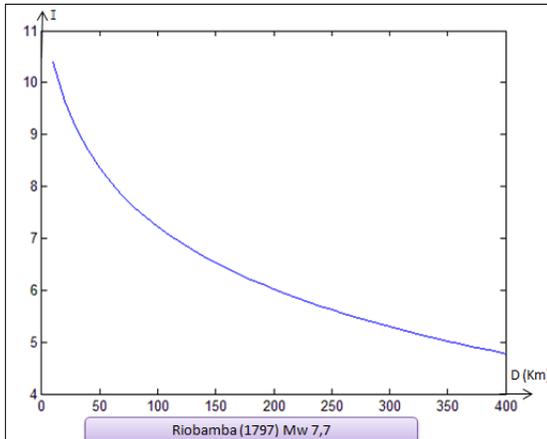
Donde,  $\delta$ : Desviación estándar;  $I_{obs}$ : Intensidad observada;  $I_{cal}$ : Intensidad calculada; n: es el número de datos para el presente caso 14.

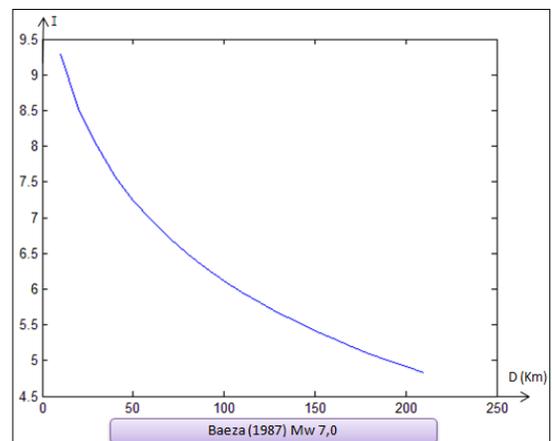
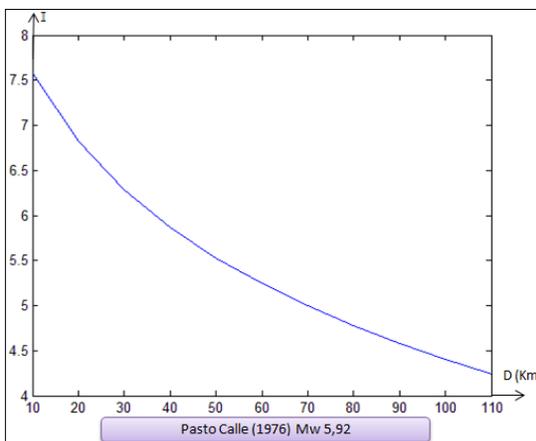
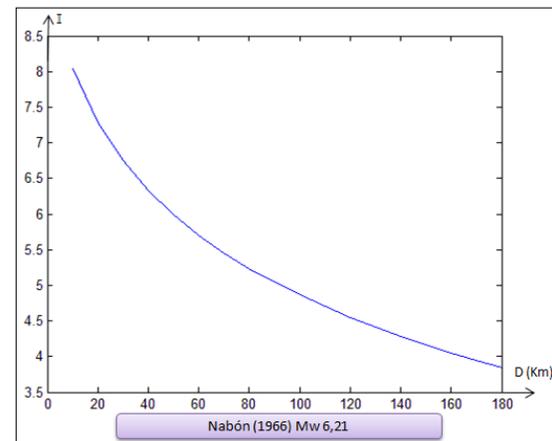
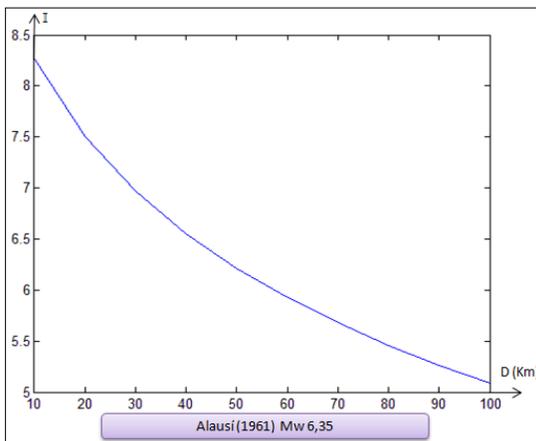
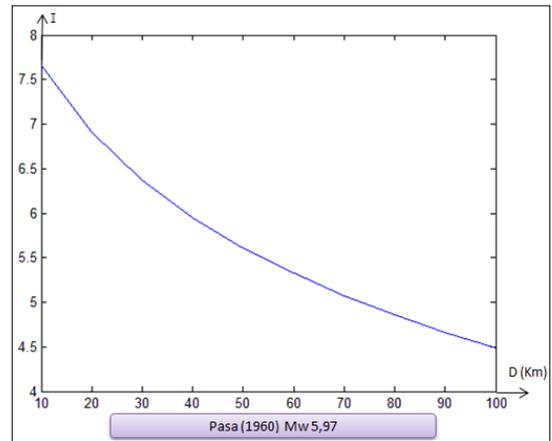
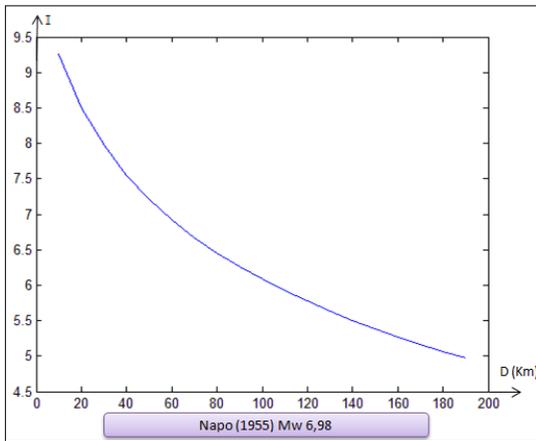
**Tabla 1.18:** Calculo de la Desviación estándar

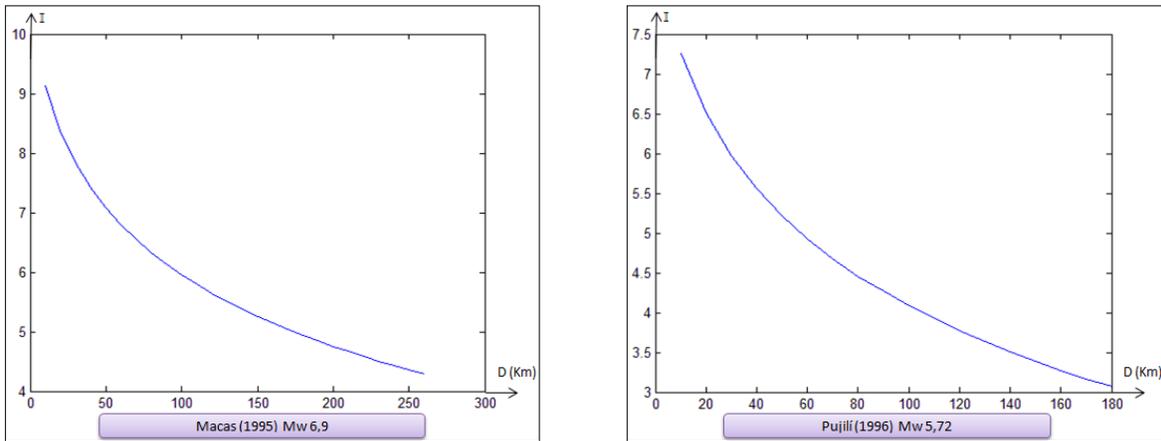
SISMOS CORTICALES																
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	(I obs - I cal)^2									Sum (I obs - I cal)^2	n	e
					10	9	8	7	6	5	4	3	2			
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	15.00	0.43	0.38	0.33	0.09	0.03	0.59	2.08	3.29		7.23	8.00	1.02
2	OTAVALO	16/08/1868	7.70	33.00	1.12	0.11	0.01	0.73						1.96	4.00	0.81
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92	33.00				0.80	0.01	0.47				1.28	3.00	0.80
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	10.00	0.91	0.05	0.13	0.88	2.46	4.06	5.94			14.43	7.00	1.55
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	60.00		12.00	7.71	6.28		4.03				30.02	4.00	3.16
6	HUILA	05/08/1949	8.00	33.00		0.08	0.15							0.23	2.00	0.48
7	NAPO	11/05/1955	6.98	33.00			0.20	0.06	0.88					1.15	3.00	0.76
8	PASA	30/07/1960	5.97	21.00				0.05	0.42	1.74	2.06	2.88		7.16	5.00	1.34
9	ALAU SÍ	08/04/1961	6.35	24.00				0.02	0.19	0.99	1.92			3.12	4.00	1.02
10	NABON	22/03/1966	6.21	42.00			3.29	0.98	0.48	0.00	0.01			4.76	5.00	1.09
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	7.40			0.43	0.00	0.34	0.54	0.79	1.79		3.89	6.00	0.88
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	10.00		0.06	0.00	0.00	0.23	1.01	2.68	3.64		7.62	7.00	1.13
13	MACAS	03/10/1995	6.90	160.20			8.20	5.15	2.07	0.39	0.09			15.90	5.00	1.99
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72	33.00				1.42	0.27	0.01	0.15	0.64	1.26	3.75	6.00	0.87
Numero de Datos			14		Sum de n por intensidades											<b>1.21</b>

En la tabla 1.18 se observa el valor de error para cada sismo estudiado, en los que se destaca el valor de 3.16 para el sismo de Ambato de 1949, para los demás sismos en estudio los valores son aceptables por lo que se acepta la ecuación 1.5 de la Ley de Atenuación de Intensidades para sismos corticales.

Se muestra a continuación las graficas D vs I, para cada sismos cortical, ingresando la magnitud Mw y el diámetro máximo.







**Figura 1.6:** Graficas D vs I para sismos corticales

Se sigue el mismo proceso para el cálculo de la ley de atenuación de intensidades para sismos de subducción utilizando la ecuación 1.1 como base y calculando los coeficientes C1, C2, C3 del sistema matricial 1.4.

**Tabla 1.19:** Calculo de n, M y M<sup>2</sup>

SISMOS SUBDUCCIÓN																
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	Radios de afectación (km)								# e	(#e)xM	M <sup>2</sup>	
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III				II
1	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	56.15	77.11	178.62	211.47	302.14					6	52.80	464.64
2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			118.88	156.50	211.85					3	23.40	182.52
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			20.92	46.74	104.31	213.49	325.82			5	36.50	266.45
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				82.45	134.07	211.23	277.88			4	31.20	243.36
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34			28.53	47.85	78.34	103.58	173.22			5	28.20	145.80
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				12.44	105.14	173.66	228.86	278.34		5	31.55	186.05
7	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		15.13	25.28	85.76	131.32					4	30.80	237.16
7	BAHIA DE CARÁQUEZ	08/04/1998	7.1	350.5			4.92	49.77	115.83	149.54	235.94	250.64		6	42.60	302.46
Datos para el cálculo de las constantes C1,C2,C3												<b>38</b>	<b>277.05</b>	<b>2028.44</b>		
												n	Sum M	Sum M <sup>2</sup>		

**Tabla 1.20:** Calculo de D

SISMOS SUBDUCCIÓN														
#	SISMOS	FECHA	Mw	h	D = (R <sup>2</sup> + h <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>									
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
*1'	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	61.46	81.06	180.36	212.94	303.17					
*2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			128.97	164.29	217.67					
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			32.598	53.006	107.26	214.95	326.78			
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				101.97	146.88	219.59	284.28			
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34			44.384	58.699	85.4	109.02	176.53			
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				15.961	105.61	173.95	229.08	278.52		
*7'	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		28.37	34.86	89.05	133.50					
7	BAHIA DE CARÁQU	08/04/1998	7.1	350.5			350.53	354.02	369.14	381.07	422.51	430.9		

**Tabla 1.21: Calculo de Ln(D+R<sub>0</sub>)**

SISMOS SUBDUCCIÓN														
#	SISMOS	FECHA	Mw	pf	Ln (D+R <sub>0</sub> ) R <sub>0</sub> =10									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
*1'	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	4.27	4.51	5.25	5.41	5.75					25.18
*2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			4.93	5.16	5.43					15.52
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			3.75	4.14	4.76	5.42	5.82			23.89
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				4.72	5.06	5.44	5.68			20.89
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34			4.00	4.23	4.56	4.78	5.23			22.79
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				3.26	4.75	5.21	5.48	5.66		24.36
*7'	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		3.65	3.80	4.60	4.97					17.01
7	BAHIA DE CARÁQU	08/04/1998	7.1	350.5			5.89	5.90	5.94	5.97	6.07	6.09		35.85
Sum Ln (D+R <sub>0</sub> )													<b>185.51</b>	

**Tabla 1.22: Calculo de M(Ln(D+R<sub>0</sub>))**

SISMOS SUBDUCCIÓN														
#	SISMOS	FECHA	Mw	pf	M(Ln (D+R <sub>0</sub> ))									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
*1'	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	37.57	39.70	46.19	47.58	50.57					221.61
*2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			38.49	40.25	42.34					121.08
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			27.39	30.25	34.78	39.54	42.48			174.43
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				36.80	39.43	42.40	44.34			162.98
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34			22.54	23.86	25.71	26.96	29.49			128.55
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				20.55	29.97	32.90	34.56	35.74		153.73
*7'	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		28.08	29.29	35.39	38.24					131.00
7	BAHIA DE CARÁQU	08/04/1998	7.1	350.5			41.80	41.87	42.16	42.38	43.09	43.23		254.54
Sum M(Ln (D+R <sub>0</sub> ))													<b>1347.91</b>	

**Tabla 1.23: Calculo de (Ln(D+R<sub>0</sub>))^2**

SISMOS SUBDUCCIÓN														
#	SISMOS	FECHA	Mw	pf	(Ln (D+R <sub>0</sub> ))^2									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
*1'	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	18.23	20.35	27.55	29.23	33.03					128.39
*2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			24.35	26.63	29.46					80.44
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			14.08	17.17	22.70	29.33	33.87			117.14
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				22.26	25.56	29.55	32.31			109.69
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34			15.97	17.89	20.78	22.84	27.34			104.81
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				10.61	22.56	27.19	30.00	32.09		122.45
*7'	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		13.30	14.47	21.12	24.66					73.55
7	BAHIA DE CARÁQU	08/04/1998	7.1	350.5			34.66	34.78	35.26	35.63	36.84	37.07		214.24
Sum (Ln (D+R <sub>0</sub> ))^2													<b>950.72</b>	

**Tabla 1.24: Cálculo de Intensidades**

SISMOS SUBDUCCIÓN														
#	SISMOS	FECHA	Mw	pf	INTENSIDADES									Sum
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	
*1'	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	1	1	1	1	1					
*2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			1	1	1					
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			1	1	1	1	1			
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				1	1	1	1			
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34			1	1	1	1	1			
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				1	1	1	1	1		
*7'	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		1	1	1	1					
7	BAHIA DE CARÁQU	08/04/1998	7.1	350.5			1	1	1	1	1	1		
Sum de n por intensidades					1	2	6	8	8	5	5	2	0	
sum de Intensidades					10	18	48	56	48	25	20	6	0	<b>231</b>

**Tabla 1.25: Cálculo de M x I**

SISMOS SUBDUCCIÓN														
#	SISMOS	FECHA	Mw	pf	M*INTENSIDADES								Sum	
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III		II
*1'	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	88.00	79.20	70.40	61.60	52.80					352.00
*2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			62.40	54.60	46.80					163.80
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			58.40	51.10	43.80	36.50	29.20			219.00
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				54.60	46.80	39.00	31.20			171.60
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34			45.12	39.48	33.84	28.20	22.56			169.20
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				44.17	37.86	31.55	25.24	18.93		157.75
*7'	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		69.30	61.60	53.90	46.20					231.00
7	BAHIA DE CARÁQU	08/04/1998	7.1	350.5			56.80	49.70	42.60	35.50	28.40	21.30		234.30
Sum (M*Intensidades)													<b>1698.65</b>	

**Tabla 1.26: Cálculo de IxLn(D+R<sub>0</sub>)**

SISMOS SUBDUCCIÓN														
#	SISMOS	FECHA	Mw	pf	I*Ln(D+R <sub>0</sub> )								Sum	
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III		II
*1'	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	42.69	40.60	41.99	37.85	34.48					197.62
*2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			39.47	36.13	32.57					108.17
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			30.01	29.00	28.59	27.08	23.28			137.96
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				33.03	30.33	27.18	22.74			113.28
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34				29.61	27.35	23.90	20.91			101.77
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				22.80	28.50	26.07	21.91	16.99		116.27
*7'	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		32.83	30.43	32.17	29.80					125.22
7	BAHIA DE CARÁQU	08/04/1998	7.1	350.5			47.10	41.28	35.63	29.84	24.28	18.27		196.40
Sum (M*Intensidades)													<b>1096.68</b>	

Con todos los valores completos del sistema de ecuaciones se calcula C1, C2, C3, así, reemplazando se tiene.

$$\begin{vmatrix} 38 & 277.05 & 185.51 \\ 277.05 & 2028.44 & 1347.91 \\ 185.51 & 1347.91 & 950.72 \end{vmatrix} \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ C3 \end{matrix} = \begin{vmatrix} 231 \\ 1698.65 \\ 1096.68 \end{vmatrix}$$

De donde C1= -1.4837; C2= 1.4022; C3= -0.5450. Reemplazando en la ecuación base 1.1 se obtiene la ecuación que representa la ley de atenuación de intensidades para sismos de subducción

$$I = -1.4837 + 1.4022M_w - 0.5450Ln(D + 10) \quad (1.7)$$

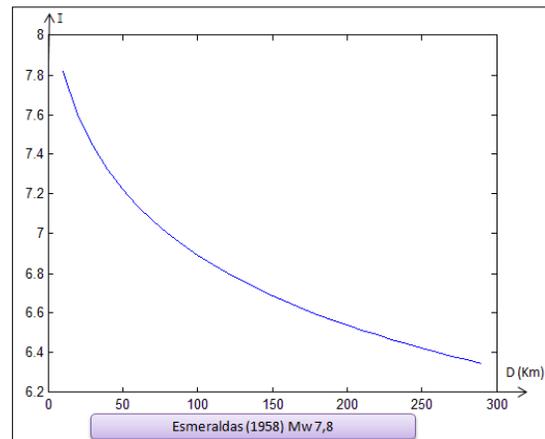
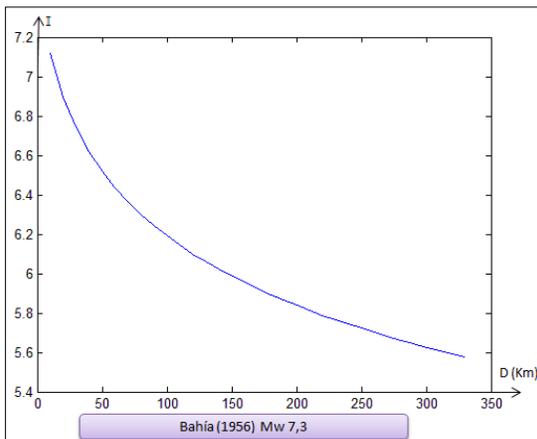
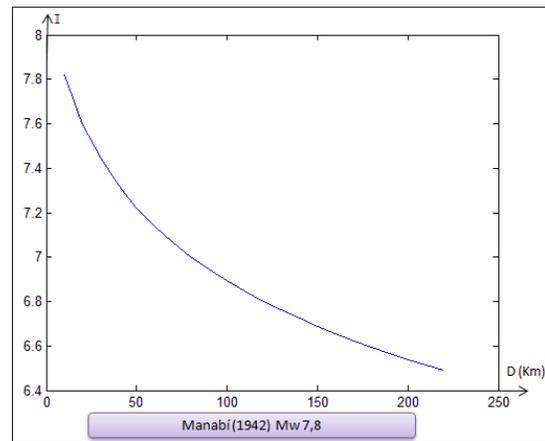
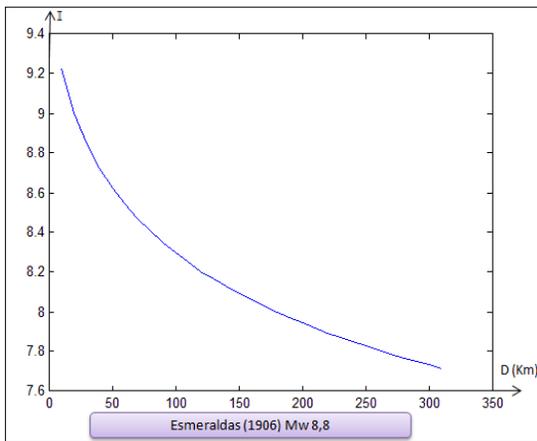
Al igual que en el caso de los sismos corticales se calcula el error, calculando la desviación estándar, para validar o no la ecuación.

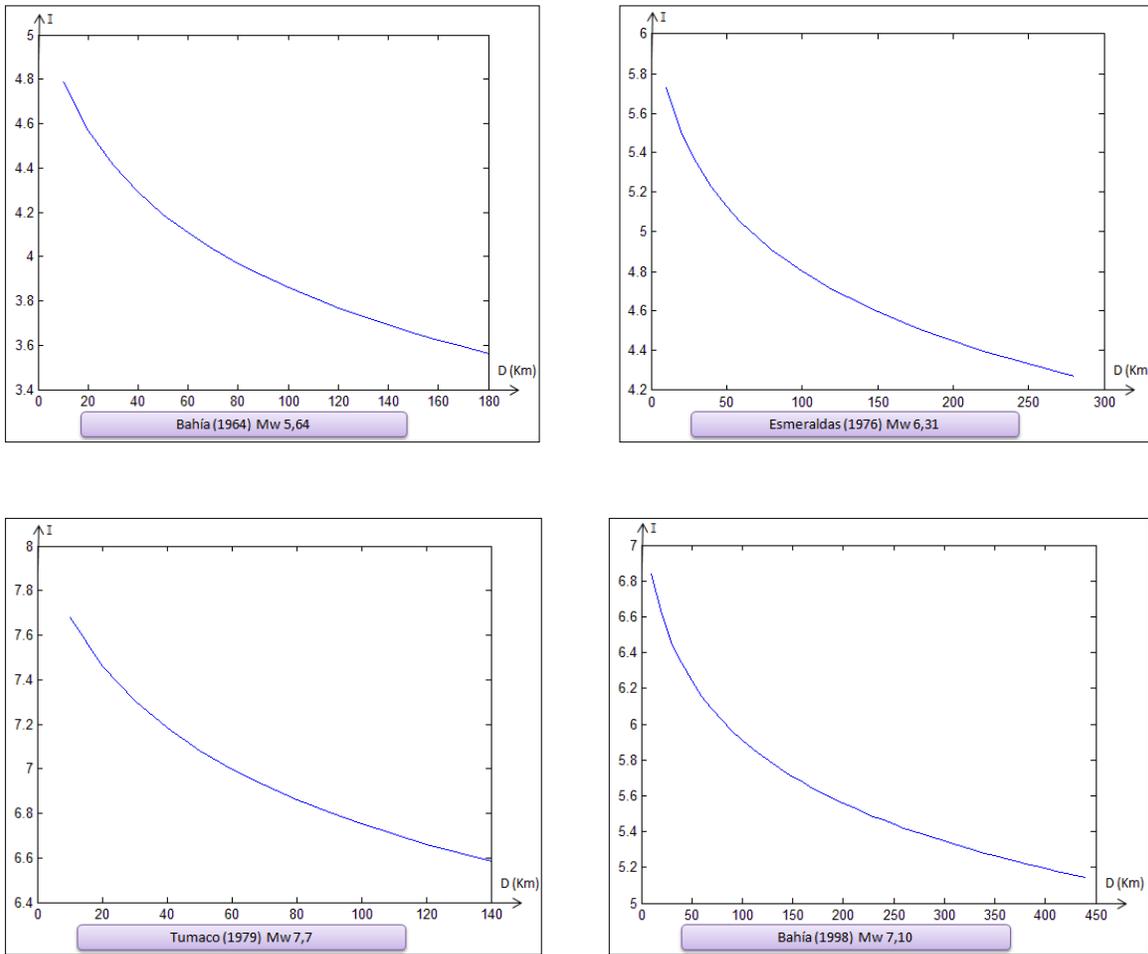
**Tabla 1.27: Calculo de la Desviación estándar**

#	SISMOS	FECHA	Mw	h	SISMOS SUBDUCCIÓN								Sum (l cal)	n	e	
					(l obs - l cal)^2											
					X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III				II
*1'	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	25	8.53	8.40	8.00	7.91	7.72					40.554	5.00	0.28
*2	MANABI	13/05/1942	7.8	50			6.76	6.64	6.50					19.901	3.00	0.55
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	25			6.71	6.49	6.16	5.80	5.58			30.74	5.00	0.37
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8	60				6.88	6.70	6.49	6.36			26.427	4.00	2.21
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	34				4.12	3.94	3.82	3.58			15.456	4.00	3.27
6	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31	10				5.59	4.78	4.52	4.38	4.28		23.544	5.00	0.73
*7'	TUMACO	12/12/1979	7.7	24		7.33	7.24	6.81	6.61					27.982	4.00	1.01
7	BAHIA DE CARÁQU	08/04/1998	7.1	350.5			5.26	5.26	5.24	5.22	5.16	5.15		31.294	6.00	0.85
Numero de Datos			8		Desviación Estandar									36.00	1.16	

Se considera aceptable el valor de error,  $e = 1.16$  razón por la cual se considera aceptable la ecuación 1.7 de la ley de atenuación de intensidades para sismos de subducción.

Se presentan las graficas D vs I, para cada sismos de subducción, ingresando la magnitud Mw y el diámetro máximo.





**Figura 1.7:** Graficas D vs I para sismos de subducción.

#### 1.4-Comparación de las nuevas leyes con Aguiar y Castro 2009.

Una vez obtenidas las nuevas leyes se necesita comparar con leyes existentes de estudios anteriores, para el presente caso se lo realizará con la ecuación obtenida por Aguiar y Castro 2009, con el fin de realizar la comparación mencionada se realiza una relación entre aceleración máxima e intensidad mediante la ecuación de la siguiente forma.

$$\log A_{max} = a I_{MM} + b \quad (1.8)$$

Donde,  $A_{max}$ : Aceleración máxima del suelo;  $I_{MM}$ : Intensidad de Mercalli Modificada; a y b son parámetros obtenidos en función de los datos con que se trabaja.

Al reemplazar las ecuaciones 1.7 y 1.5 para sismos de subducción y corticales respectivamente en la ecuación 1.8 se obtienen las siguientes leyes de atenuación.

- Ley de atenuación para fallamiento cortical.

$$\log(A_H) = 1.2474 + 0.3735M_w - 0.4383\ln(D + 10) \quad (1.9)$$

- Ley de atenuación para subducción.

$$\log(A_H) = 0.0134 + 0.3302M_w - 0.1284\ln(D + 10) \quad (1.10)$$

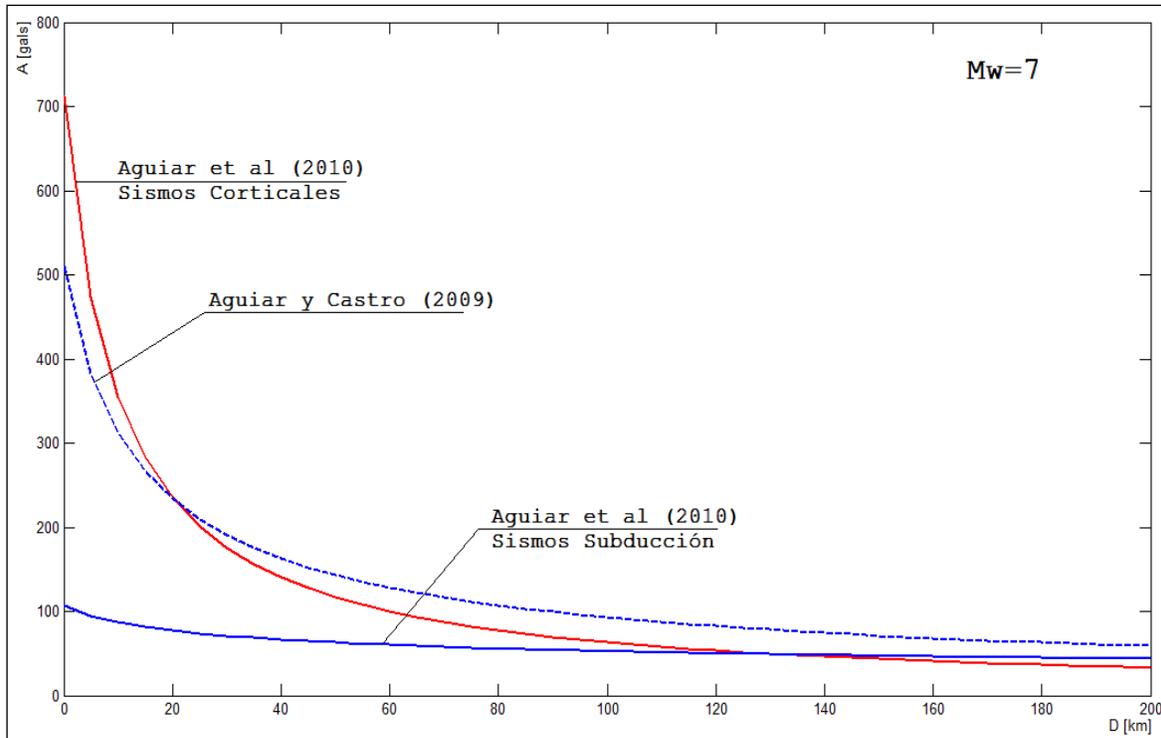
Donde,  $A_H$ : Aceleración horizontal en Gals;  $M_w$ : magnitud;  $D$ : Distancia al foco (Km)

Los valores de  $a$  y  $b$  de la ecuación 1.8 que relaciona la aceleración máxima  $A_{MAX}$  y la intensidad en la escala de Mercalli son los que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 1.28:** Valores de  $a$  y  $b$  que relacionan aceleraciones e intensidades

<b>Autor</b>	$a$	$b$
Trifunac y Brady (1975)	0.300	-0.014
Bolt	0.313	0.340
Murphy, O' Brien (1977)	0.250	0.250
Lomnitz (1974)	0.333	-0.500
Saragoni <i>et al.</i> 1982	0.345	-0.222
Saegesser y Baumbartner (1978)	0.26	0.19
Medvedev-Sponheuer (1969)	0.30	-0.40

Finalmente se grafican las ecuaciones de las leyes de atenuación para fallamiento cortical y de subducción así como la ecuación obtenida por Aguiar y Castro 2009, para magnitud  $M_w = 7$ .



**Figura 1.8:** Grafica de las leyes de atenuación para sismos  $M_w = 7$

Se observa en la figura 1.8 que las curvas obtenidas obedecen a una tendencia y en el caso de la curva para sismos corticales se podría decir que son similares sin embargo la curva obtenida para sismos de subducción muestra valores muy bajos, por lo cual se nota la importancia de tener ecuaciones separadas para sismos corticales y de subducción.

### **1.5- Comparación de las nuevas leyes con las obtenidas a partir de registros sísmicos.**

Existen diferentes ecuaciones obtenidas de forma instrumental las cuales involucran el tipo de suelo y diferentes coeficientes y factores de corrección de los instrumentos para que se adapten a la realidad específica que se estudie en ese momento como por ejemplo las ecuaciones para propagación de las ondas sísmicas en roca o diferentes tipos de suelo.

A continuación se enuncia algunas ecuaciones obtenidas instrumentalmente, luego se realizará la comparación grafica de dichas ecuaciones con las ecuaciones obtenidas en este estudio.

- Ecuación de Ruiz y Saragoni ( Sismos Corticales) (2005)

$$\ln (A_H) = 8.2532 + 1.2M - 2.16\ln(D + 80) \quad (1.11)$$

- Ecuación de Ruiz y Saragoni ( Sismos Subducción) para suelo S1 (2005)

$$\ln (A_H) = 1.3863 + 1.3M - 1.43\ln(D + 30) \quad (1.12)$$

- Ecuación de Ruiz y Saragoni ( Sismos Subducción) para suelo S2 (2005)

$$\ln (A_H) = 0.6931 + 1.28M - 1.09\ln(D + 30) \quad (1.13)$$

Donde,  $A_H$ : Aceleración horizontal en Gals;  $M_w$ : magnitud;  $D$ : Distancia al foco (Km)

Se presenta las graficas de las ecuaciones 1.11; 1.12; 1.13 halladas por Ruiz Y Saragoni (2005) y las ecuaciones propuestas en el presente estudio para sismos corticales y de subducción, para una magnitud igual a seis.

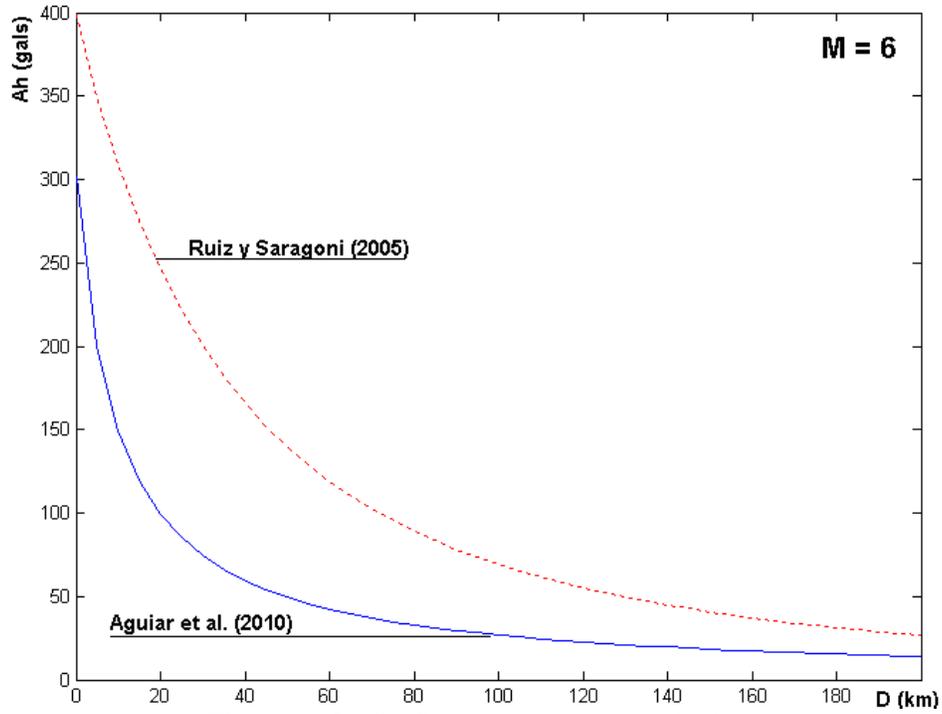


Figura 1.9: Grafica para sismos corticales.

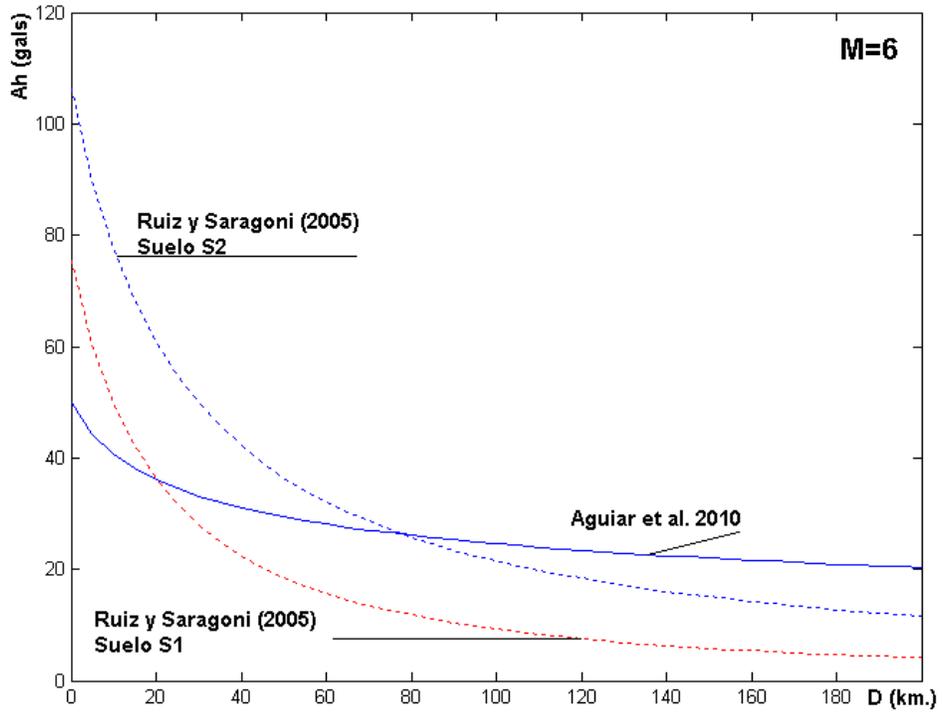


Figura 1.10: Grafica para sismos Subducción.

## CAPITULO II

### CONTRIBUCIONES A LA PELIGROSIDAD SÍSMICA MAGNITUD MÁXIMA ESPERADA

---

#### **2.1- Análisis del trabajo realizado por Aguiar y Castro (2009).**

En el trabajo realizado por Aguiar y Castro (2009) en lo que se refiere a magnitud máxima esperada, se definen 11 zonas fuentes que se asocian al fallamiento local y 9 zonas fuentes que se asocian a la subducción, en el mencionado artículo se obtiene la magnitud máxima esperada para cada zona sísmica.

Se enuncian las ecuaciones planteadas por diversos autores, que relacionan la longitud de rotura de la falla  $L$  con la magnitud máxima bajo diversos criterios, como por ejemplo la ecuación de Grases (1985) el cual se basa en el estudio estadístico de diferentes sismos, Siemmons (1977) el cual propone calcular la magnitud máxima en base al tipo de falla, sin embargo la propuesta en la que hace énfasis el trabajo realizado por Aguiar y Castro (2009), es el trabajo de Dorbath et (1990) el cual determina la longitud de rotura, midiendo el eje mayor de la curva isosista de intensidad VIII, a esta ecuación Callo y Tavera (2002) le agregan un factor de ajuste  $K$ , con el cual se puede trabajar con las isosistas de intensidad VII y VI.

Se comprueba la aproximación de la ecuación de Dorbath para sismos ocurridos en el Ecuador, estudiando 3 sismos el sismo de Bahía de Caráquez, Aguiar et al (1998), el sismo de Macas del 2 de octubre de 1995 estudiado por Aguiar (2000) y el sismo de Baeza del 3 de marzo de 1987. De los resultados del análisis de los 3 mencionados sismos se concluye

que los resultados de la longitud de rotura, medida con las curvas isosistas de intensidad VIII, VII,VI, dividiendo cada una para el factor K correspondiente, muestra resultados bastante aproximados, además se realizó un estudio similar para sismos del Perú por Callo y Tavera (2002) con resultados similares, razón por la cual se acepta la ecuación propuesta por Dorbath et al (1990) y de Callo y Tavera (2002).

Se realiza estudios para hallar la longitud de rotura para 19 sismos ocurridos en el Ecuador, se trabaja con la magnitud  $M_w$  de los sismos en caso de tener magnitudes  $M_s$  y  $M_b$  se pasan a magnitudes  $M_w$  con las ecuaciones de Cahuari (2006).

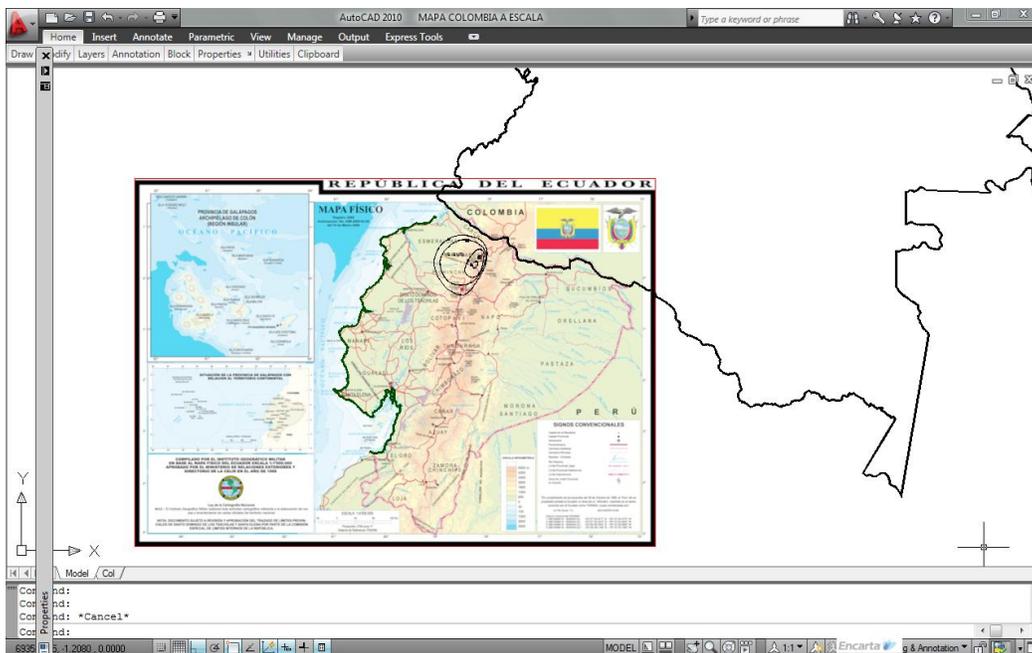
Luego se encuentra la magnitud máxima esperada y se las compara con las magnitudes registradas instrumentalmente y las magnitudes obtenidas mediante la ecuación de Dorbath.

Con lo cual se concluye que la magnitud hallada en el estudio realizado por Aguiar y Castro (2009) son más parecidas a las que se hallan instrumentalmente y muy similares a las que se hallan usando la Ecuación de Dorbath.

## 2.2- Nueva relación entre magnitud y longitud de rotura.

Se usa el criterio de Dorbath para el cálculo de la relación entre la magnitud y la longitud de rotura, se calculará dicha relación para los sismos corticales y de subducción.

Para la aplicación de este criterio se procesan las curvas isosistas, las cuales en su mayoría fueron elaboradas por Egred, otras se las tomo del Estudio Coca Codo Sinclair, y algunas de archivos del CEINCI, este proceso consiste en digitalizar las diferentes curvas en estudio, dichas imágenes digitales obtenidas por escáner, se importan al autocad en el cual se escalan y se enlazan a los mapas de Ecuador y Colombia según sea el caso, con el fin de trabajar a la escala adecuada y reducir al máximo el error posible, luego se crean diferentes capas según cada sismo estudiado, en cada sismo estudiado se calcula en el programa de forma directa el área, perímetro y demás datos necesarios para el estudio.



**Figura 2.1:** Digitalización a escala de las isosistas

Mediante el proceso indicado se obtiene la información mostrada en la tabla 2.1 de cada sismo cortical y de subducción.

**Tabla 2.1:** Datos de longitud máxima en intensidades para sismos corticales

SISMOS CORTICALES								
#	SISMOS	FECHA	Mw	L max. En Intensidades (Km)			Longitud de Rotura (Km)	Log L
				VIII	VII	VI		
1	RIOBAMBA	04/02/1797	7.70	158.67			158.67	2.20
2	OTAVALO	16/08/1868	7.70	106.25			106.25	2.03
3	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92			23.13	23.13	1.36
4	PELILEO	05/08/1948	6.93	52.36			52.36	1.72
5	AMBATO	05/08/1949	6.37	41.00			41.00	1.61
6	TIMANÁ	05/08/1949	8.00	442.95			442.95	2.65
7	NAPO	11/05/1955	6.98	15.00			15.00	1.18
8	PASA	30/07/1960	5.97		19.56		19.56	1.29
9	ALAUŚÍ	08/04/1961	6.35		31.30		31.30	1.50
10	NABON	22/03/1966	6.21	33.45			33.45	1.52
11	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92	30.41			30.41	1.48
12	BAEZA	03/05/1987	7.00	73.03			73.03	1.86
13	MACAS	03/10/1995	6.90	62.38			62.38	1.80
14	PUJILÍ	28/03/1996	5.72			39.39	39.39	1.60

La ecuación base que identifica la relación entre la magnitud y la longitud de ruptura es del tipo:

$$M_w = ax + b \quad (2.1)$$

Donde los coeficientes **a** y **b** se los obtienen resolviendo la siguiente ecuación matricial.

$$\begin{vmatrix} n & \sum \log L \\ \sum \log L & \sum (\log L)^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} b \\ a \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum M_w \\ \sum M_w \cdot \log L \end{vmatrix} \quad (2.2)$$

Donde:

$n$  = Corresponde al número de datos analizados.

$\log L$  = Es el logaritmo de la longitud.

$M_w$  = Es la magnitud

La obtención de los datos necesarios para resolver la ecuación matricial 2.2 se la obtiene del proceso mostrado en la tabla 2.2

**Tabla 2.2:** Datos para resolver la ecuación matricial

<b>n</b>	<b>Mw</b>	<b>log (L)</b>	<b>Mw*log(L)</b>	<b>(Log L)^2</b>
1	7.70	2.20	16.94	4.84
2	7.70	2.03	15.60	4.11
3	5.92	1.36	8.08	1.86
4	6.93	1.72	11.91	2.95
5	6.37	1.61	10.27	2.60
6	8.00	2.65	21.17	7.00
7	6.98	1.18	8.21	1.38
8	5.97	1.29	7.71	1.67
9	6.35	1.50	9.50	2.24
10	6.21	1.52	9.47	2.32
11	5.92	1.48	8.78	2.20
12	7.00	1.86	13.04	3.47
13	6.90	1.80	12.39	3.22
<b>14</b>	5.72	1.60	9.13	2.55
<b>Sumatoria</b>	<b>93.67</b>	<b>23.79</b>	<b>162.20</b>	<b>42.42</b>

Reemplazado los datos obtenidos en 2.2 se tiene el siguiente sistema matricial:

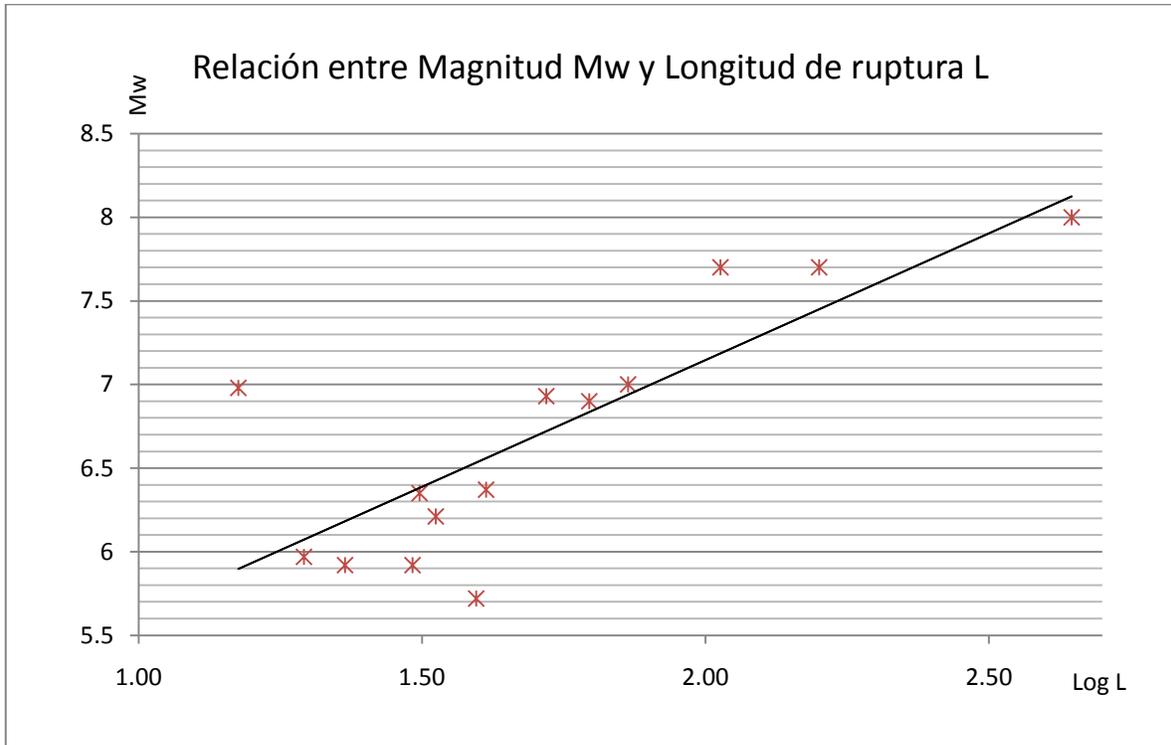
$$\begin{vmatrix} 14 & 23.79 \\ 23.79 & 42.42 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} b \\ a \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 93.67 \\ 162.20 \end{vmatrix} \quad (2.3)$$

Resolviendo el sistema, los resultados son:  $a = 1.5148$ ;  $b = 93.67$  estos valores se reemplazan en la ecuación 2.1 con los que se obtiene la ecuación que relaciona la magnitud máxima  $M_w$  con la longitud de rotura para sismos corticales.

Reemplazando:

$$M_w = 1.5148 \text{ Log } L + 4.1162 \quad (2.4)$$

La grafica de la relación calculada se muestra en la figura 2.2 en la cual se puede apreciar la tendencia de la ecuación encontrada para sismos corticales.



**Figura 2.2:** Grafica que muestra la relación entre la magnitud Mw y la longitud de ruptura. Se sigue el mismo proceso para sismos de subducción, para hallar la relación entre la Magnitud máxima y la longitud de ruptura, los datos obtenidos luego de la digitalización de las isosistas de sismos de subducción se muestran en la tabla 2.3, se indica que para encontrar la nueva relación se reemplazó los datos obtenidos para el sismo de Esmeraldas de 1906 por Aguiar y Castro (2009), por encontrarse una curva más actual que la usada en dicho estudio.

**Tabla 2.3:** Datos de longitud máxima en intensidades para sismos de subducción

SISMOS SUBDUCCIÓN								
#	SISMOS	FECHA	Mw	L max. En Intensidades (Km)			Longitud de Rotura (Km)	Log L
				VIII	VII	VI		
1	ESMERALDAS	31/01/1906	8.8	467.00			467.00	2.67
2	MANABI	13/05/1942	7.8	459.90			459.90	2.66
3	BAHIA	16/01/1956	7.3	78.82			78.82	1.90
4	ESMERALDAS	10/01/1958	7.8		105.71		105.71	2.02
5	BAHIA	19/05/1964	5.64	76.19			76.19	1.88
6	TUMACO	12/12/1979	7.7	109.80			109.80	2.04
7	BAHIA DE CARÁQUEZ	08/04/1998	7.1		150.96		150.96	2.18

Al igual que en el proceso mostrado previamente se usa las ecuaciones 2.1 y 2.2 para encontrar los coeficientes *a* y *b*, por lo que los datos necesarios para este propósito se calculan en la tabla 2.2.

**Tabla 2.4:** Datos para resolver la ecuación matricial

n	Mw	log (L)	Mw*log(L)	(Log L)^2
1	8.8	2.67	23.49	7.13
2	7.8	2.66	20.77	7.09
3	7.3	1.90	13.85	3.60
4	7.8	2.02	15.79	4.10
5	5.64	1.88	10.61	3.54
6	7.7	2.04	15.71	4.16
<b>7</b>	7.1	2.18	15.47	4.75
Sumatoria	<b>52.14</b>	<b>15.35</b>	<b>115.69</b>	<b>34.36</b>

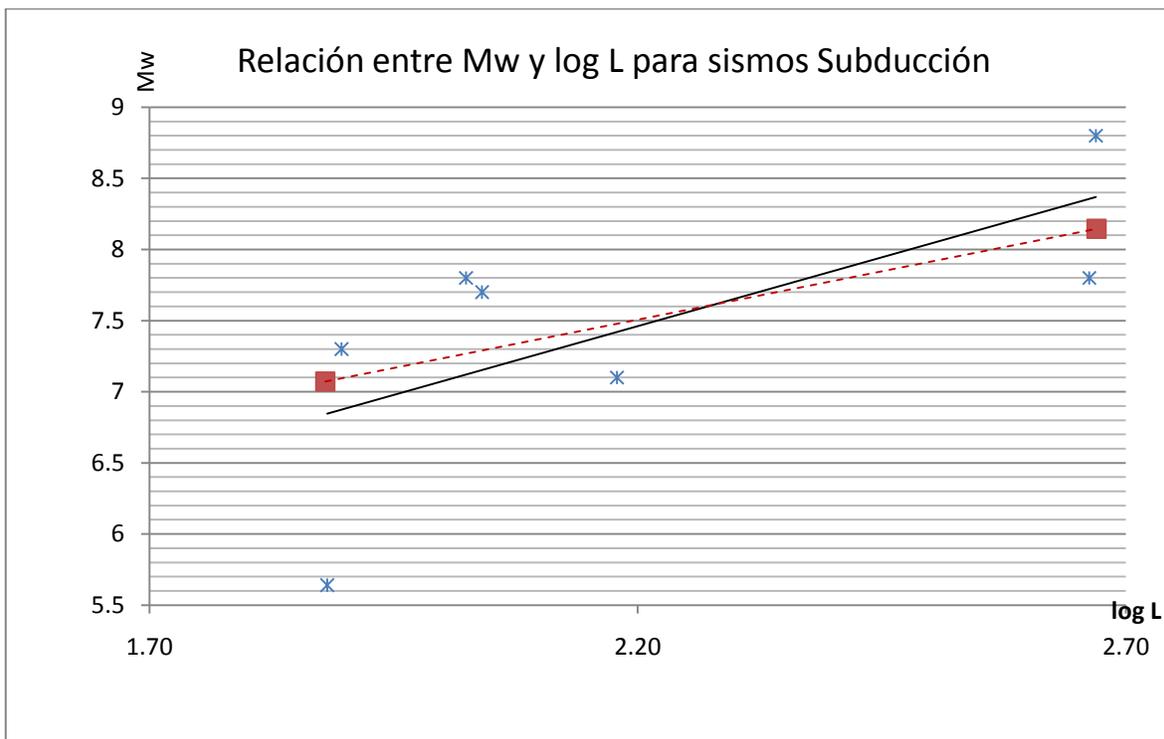
Reemplazado los datos obtenidos en 2.2 se tiene el siguiente sistema matricial:

$$\begin{vmatrix} 7 & 15.35 \\ 15.35 & 34.36 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} b \\ a \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 52.14 \\ 115.69 \end{vmatrix} \quad (2.5)$$

Resolviendo el mencionado sistema se obtiene los siguientes valores *a* = 1.9337 y *b* = 3.2071 los cuales al reemplazar en la ecuación 2.1 se obtiene la ecuación 2.5 la cual representa la relación entre la magnitud máxima y la longitud de rotura para sismos de subducción.

$$M_W = 1.9337 \text{Log } L + 3.2071 \quad (2.5)$$

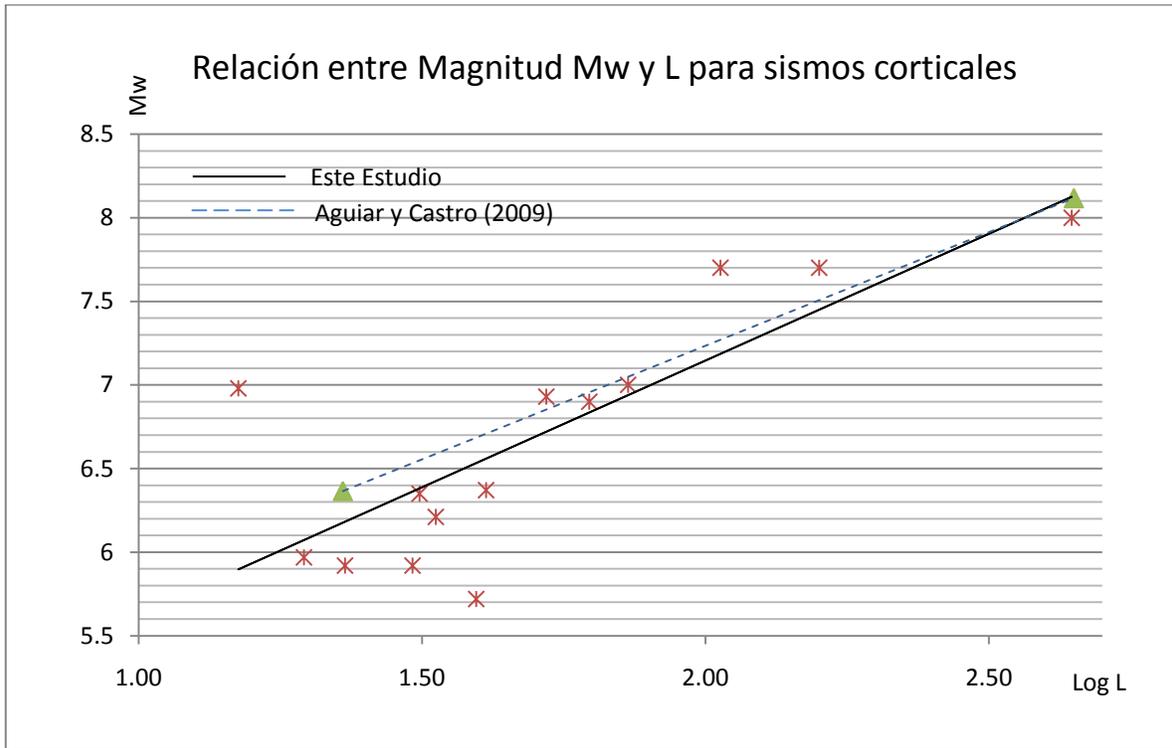
La expresión grafica de la relación calculada es la que se muestra en la fig. 2.3



**Figura 2.3:** Grafica que muestra la relación entre la magnitud Mw y la longitud de ruptura.

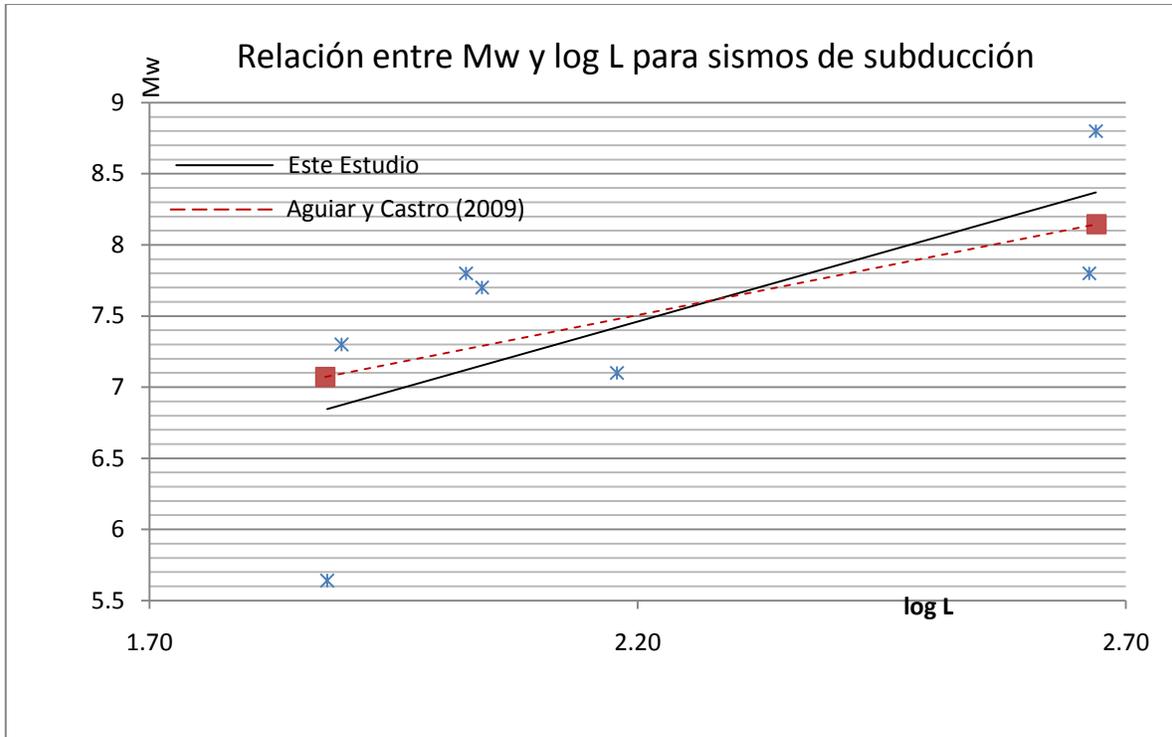
### 2.3- Comparación con el trabajo realizado por Aguiar y Castro.

La ecuación obtenida para sismos corticales y de subducción por Aguiar y Castro (2009), la cual se basa en los mismos criterios usados en este estudio, se compara gráficamente con las ecuaciones obtenidas en este estudio para el caso de los sismos corticales y de subducción, en las figuras 2.3 y 2.5.



**Figura 2.4:** Comparación de las ecuaciones para sismos corticales

En la figura 2.4 se muestra, la ecuación obtenida en este estudio y la ecuación obtenida por Aguiar y Castro (2009), así como la magnitud y la longitud de ruptura de los 14 sismos corticales empleados en este estudio. Se hace notar que la ecuación obtenida en este estudio presenta valores más bajos que la ecuación obtenida en el estudio anterior, sin embargo no dejan de ser comparables con la ecuación propuesta por Aguiar y Castro (2009).



**Figura 2.5:** Comparación de las ecuaciones para sismos de subducción

Se aprecia en el gráfico que la línea de tendencia obtenida en este estudio para sismos de subducción se ajusta de mejor manera a la distribución de los datos obtenidos, sin embargo la ecuación elaborada por Aguiar y Castro (2009), muestra valores similares e igualmente comparables.

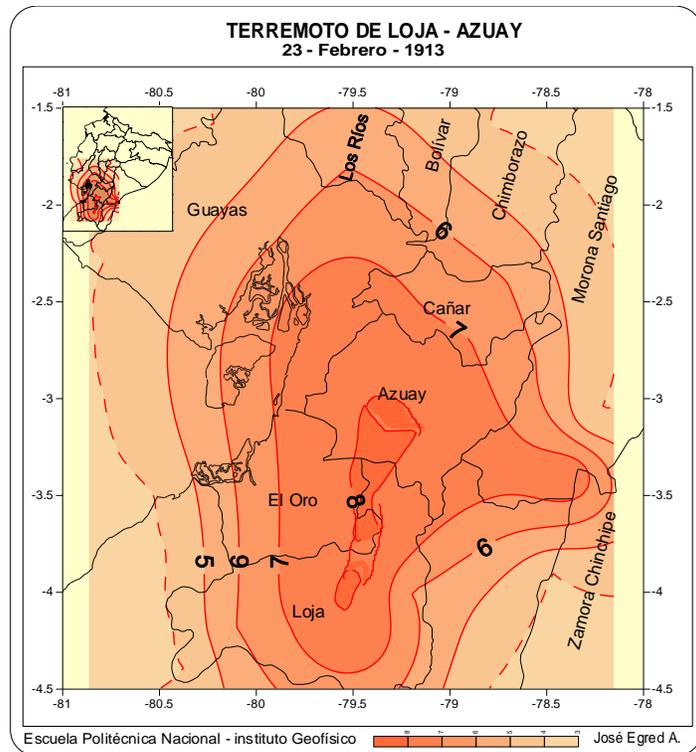
#### **2.4- Sismicidad en el sur del Ecuador y la red sísmica del Austro.**

Los sismos ocurridos en el sur del Ecuador, que han afectado por su intensidad al sur del Ecuador y al Austro en general son los que se muestran en la tabla 2.5. Las curvas isosistas correspondientes a los mencionados sismos fueron elaborados por José Egred A. y pertenecen al Catálogo de Terremotos del Ecuador (1541-2010), los cuales fueron facilitados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional las mismas que se muestran en las siguientes figuras.

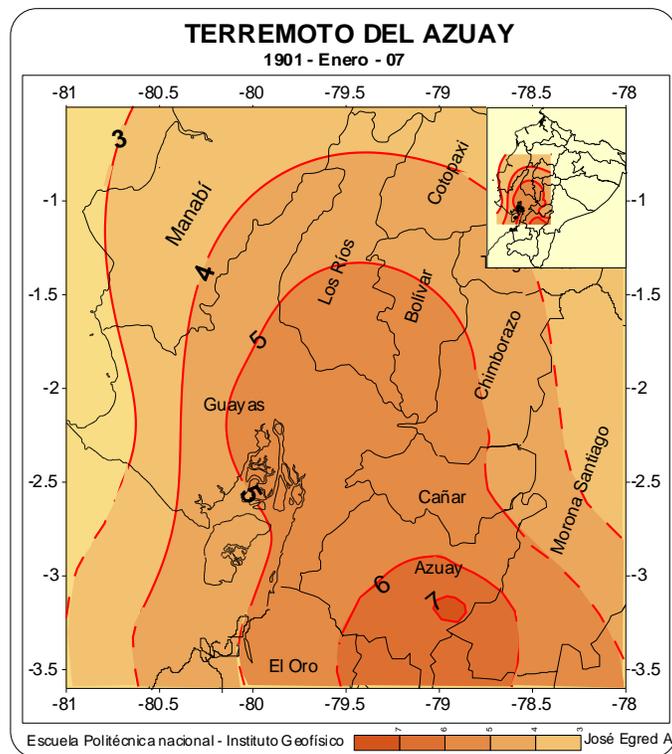
**Tabla 2.5:** Sismos que han afectado al sur del Ecuador.

#	Ubicación	Fecha	Intensidad Max
1	Loja	23/02/1913	VIII
2	Azuay	07/01/1901	VII
3	Zamora	12/10/1953	VIII
4	Azuay	22/03/1956	VII
5	Loja	10/12/1970	IX
6	Zamora Chinchipe	14/05/1928	IX
7	Azuay	27/07/1971	VII

Los diferentes mapas de isosistas se igualan a escala con el mapa del Ecuador proporcionado por el IGM (Instituto Geográfico Militar), y a través del autocad se calculan las áreas de las diferentes isosistas, cabe recalcar que se consideran las isosistas mayores o iguales a cinco, la máxima intensidad de los sismos considerados es de nueve, se considera también los sismos ocurridos en territorio Peruano, pero que por su cercanía al Ecuador estos afectaron más al Ecuador que al Perú, los mencionados sismos se identifican como sismos de la frontera sur.



**Figura 2.6:** Isosista del Terremoto de Loja – Azuay 1913



**Figura 2.7:** Isosista del Terremoto de Azuay 1901

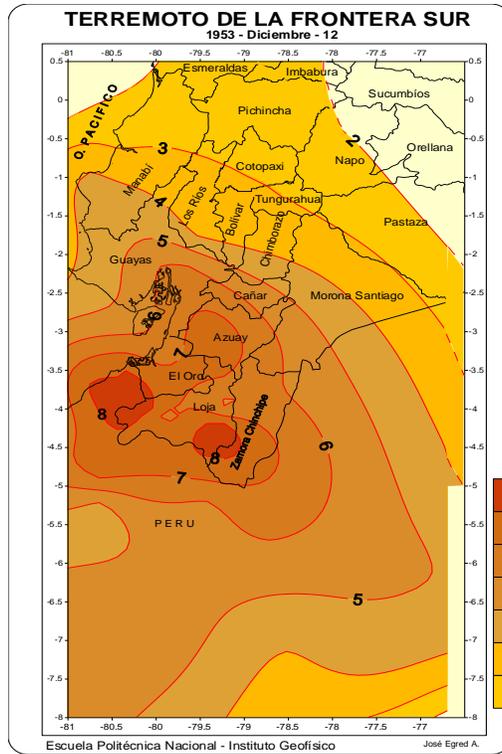


Figura 2.8: Isosista del Terremoto de la frontera sur Zamora 1956

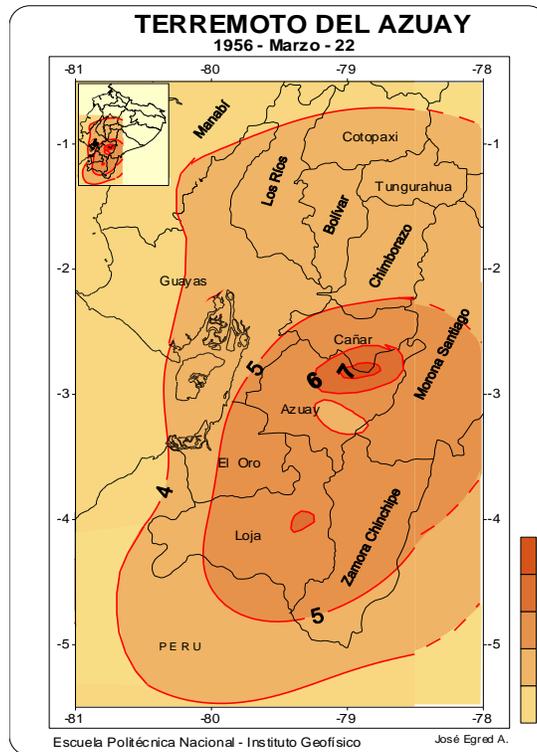
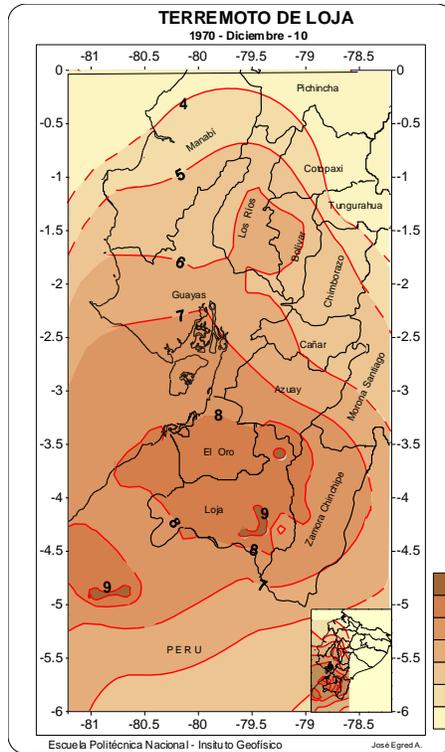
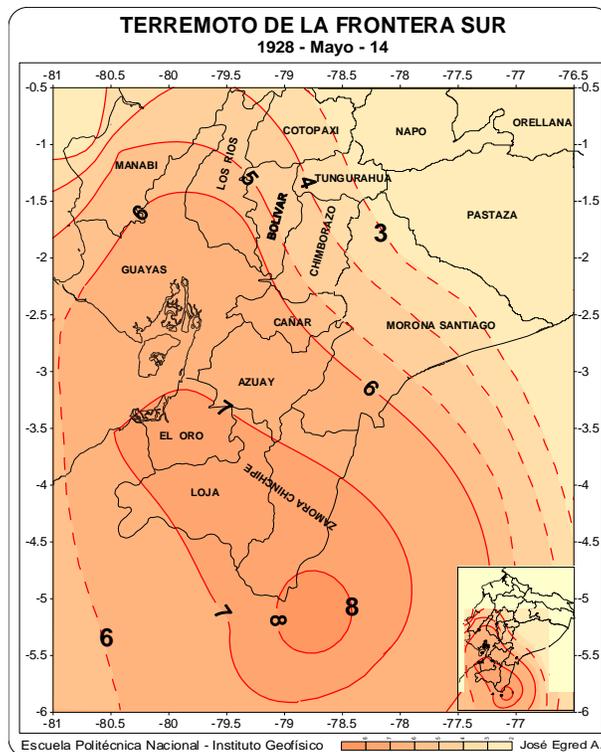


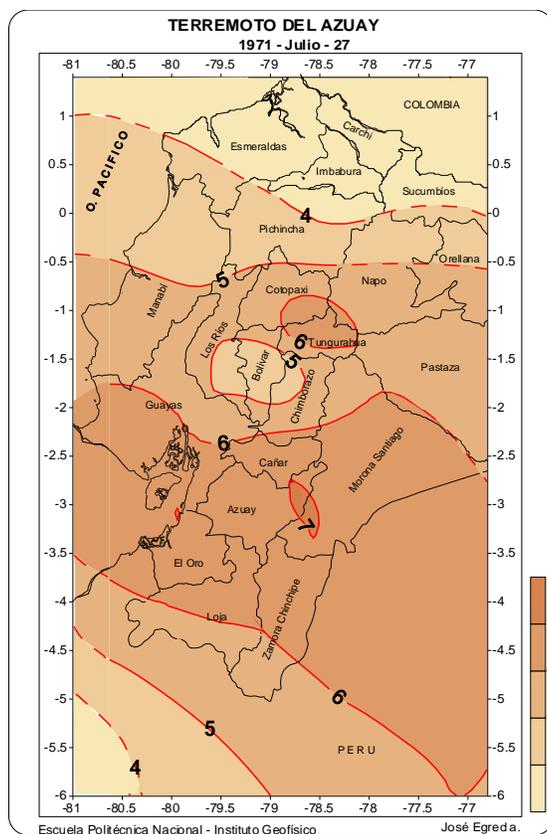
Figura 2.9: Isosista del Terremoto del Azuay 1956



**Figura 2.10:** Isosista del Terremoto de Loja 1970



**Figura 2.11:** Isosista del Terremoto de la frontera sur Zamora Chinchipe 1928



**Figura 2.12:** Isosista del Terremoto del Azuay 1971

Las áreas calculadas de las isosistas mostradas se presentan en la tabla 2.6, en la que se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 2.6:** Área calculada para cada isosista de los sismos del sur del País.

Ubicación	Fecha	AREA EN INTENSIDADES				
		IX	VIII	VII	VI	V
Terremoto Loja-Azuay	23/02/1913		2,318.63	23735.61	43784.87	66117.39
Terremoto del Azuay	07/01/1901			215.97	9259.9277	744547.294
Terremoto de la Frontera Sur	12/12/1953		8223.9818	46932.2836	106710.404	
Terremoto del Azuay	22/03/1956			365.4555	2613.1251	56024.2527
Terremoto de Loja	10/12/1970	747.4062	20180.1139			
Terremoto de la Frontera Sur	14/05/1928		4692.9097	50676.0463	168986.959	

En el Ecuador, la falta de políticas orientadas al equipamiento de estaciones de registros sísmicos y la carencia de estas, limita a los diferentes estudios de peligrosidad sísmica, puesto que en muchos de los casos no se cuentan con los datos necesarios de los eventos

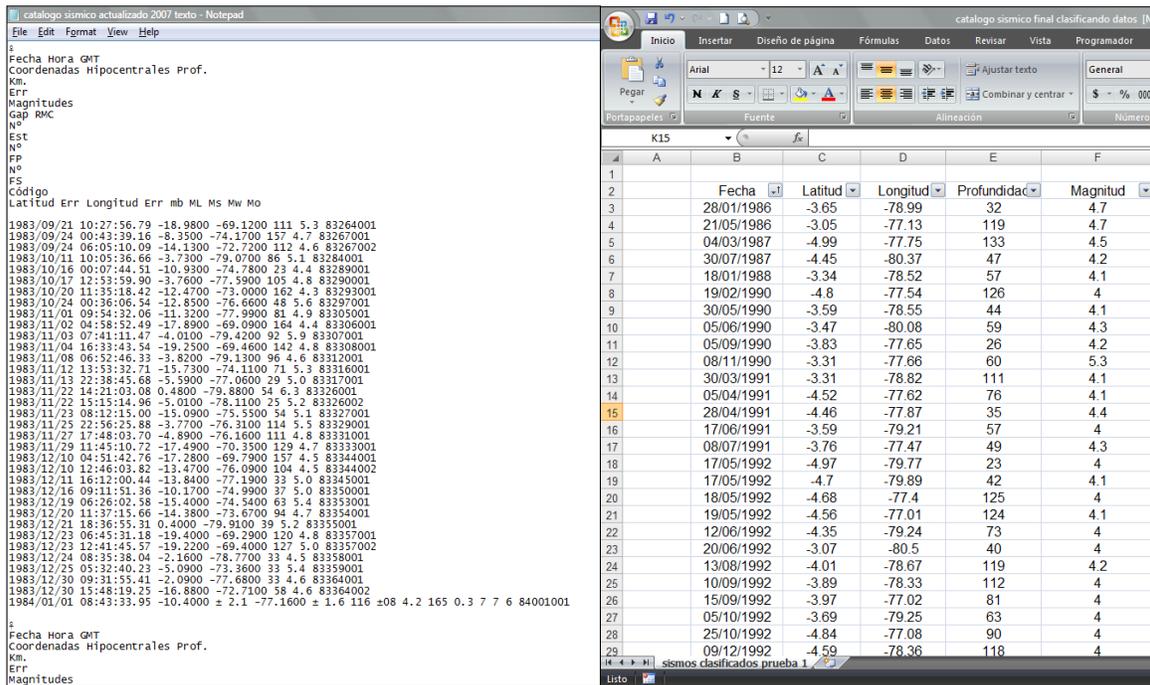
sísmicos ocurridos en el Ecuador, si bien es cierto actualmente se están configurando redes de registros sísmicos, como la red sísmica del Austro, se necesitan los registros de los eventos ya ocurridos, por lo que se compilan los datos para el sur del Ecuador, clasificando de la base de datos publica que presenta el IGP, Instituto Geográfico del Perú, el cual muestra registros que incluyen el territorio Ecuatoriano y el territorio Chileno, los mismos que son de necesaria importancia para futuros estudios de peligrosidad sísmica.



**Figura 2.13:** Clasificación de los sismos que afectan el sur del Ecuador

En la figura 2.12 se indica de forma sombreada el área de sismos clasificados del total de los registros, así, se clasifica los sismos desde la longitud 80 a la 77 y desde la latitud 0 a la 5, la magnitud mínima que se usa en esta clasificación es de 4, el archivo original del cual se realizó la clasificación, contiene 1597 páginas con registros sísmicos, en formato txt, por

lo cual para clasificar los mismo fue necesaria la importación de datos, tabulando los mismos, para el Excel reconozca los puntos y comas, una vez tabulados y ya en Excel, se creó los filtros necesarios para identificar los sismos que afectaron al Ecuador, se eliminaron las celdas con información que no se consideró importante, logrando una clasificación en 7 páginas, los mencionados resultados se incluyen en los anexos del presente proyecto de investigación, en la figura 2.13 se puede observar en dos ventanas, cómo se encontró la información en estado original y como queda finalmente luego de la clasificación.



**Figura 2.14:** Comparación de datos originales y datos clasificados

## CAPITULO III

### ANALISIS SISMICO LONGITUDINAL DEL PUENTE CARRIZAL MODELO 1 (SIN CONSIDERAR EL SUELO)

---

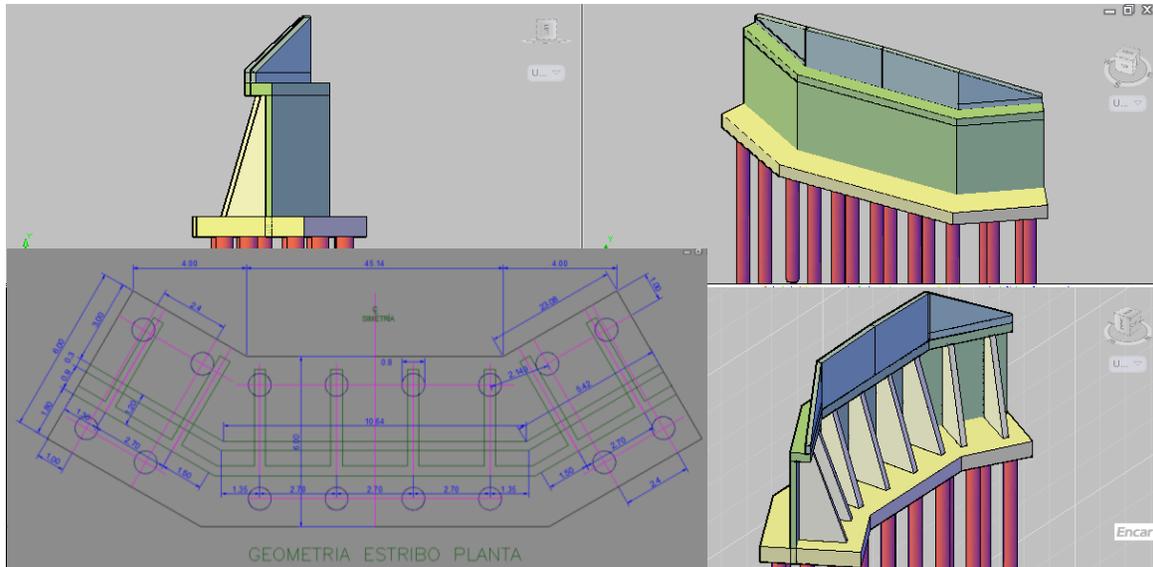
#### 3.1 Descripción del modelo 1.

El puente Carrizal se encuentra sobre el embalse la Esperanza, uniendo las poblaciones de Quiroga y Pichincha, en la provincia de Manabí, el puente se desarrolla en 249.20m de longitud y es construido actualmente por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, constituyéndose en una obra de vital importancia para el desarrollo de esta región del País.



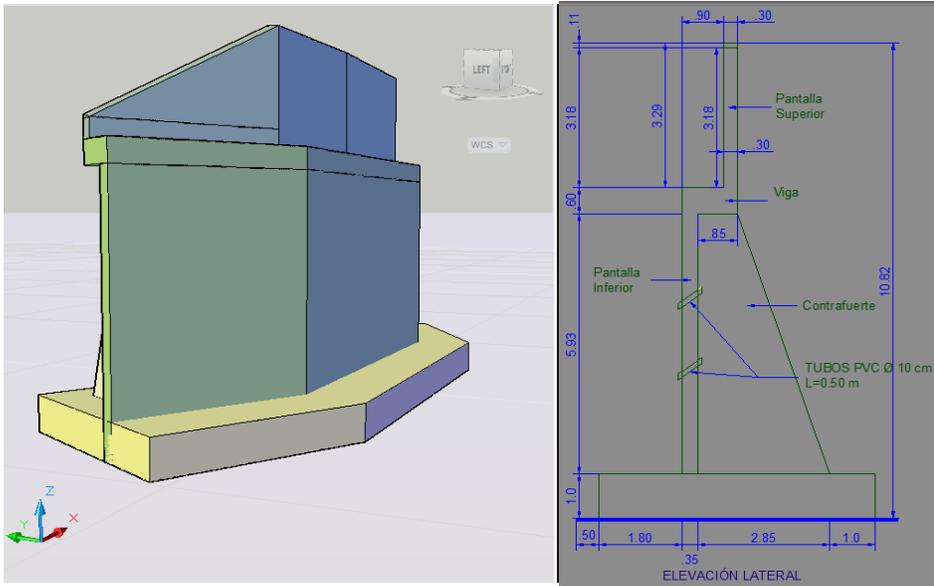
Figura 3.1: Ubicación del Puente Carrizal

Es de gran importancia realizar una descripción general de los diferentes elementos que componen el puente carrizal, es así como se tiene, los estribos del puente, el estribo Quiroga y el estribo Pichincha los cuales toman sus nombres de las poblaciones cercanas a estos, los mencionados estribos difieren únicamente en su cimentación ya que el estribo Pichincha se sustenta sobre 16 pilotes circulares de 0.8 m de diámetro como se muestran en las figuras 3.1 y 3.2.



**Figura 3.2:** Descripción del estribo Pichincha (con pilotes)

En lo que se refiere a las dimensiones de los contrafuertes y las pantallas superior e inferior los estribos son idénticos razón por la cual el corte mostrado en la figura 3.2 es válido tanto para el estribo Quiroga como para el estribo Pichincha, los estribos constan de una pantalla inferior de 0.35m de ancho y una pantalla superior de 0.3m de espesor, la pantalla inferior se encuentra anclada a 8 contrafuertes distribuidos a lo largo del desarrollo del estribo, los mismos que tiene 0.4m de espesor y son de forma trapezoidal, tanto la pantalla inferior como los contrafuertes se arriostran mediante una viga cabezal de 0.6m de altura, la cual se desarrolla en toda la longitud de la pantalla, sobre la viga cabezal se encuentra la pantalla superior la misma que toma la pendiente de la vía en la parte central, en las alas la altura es variable.



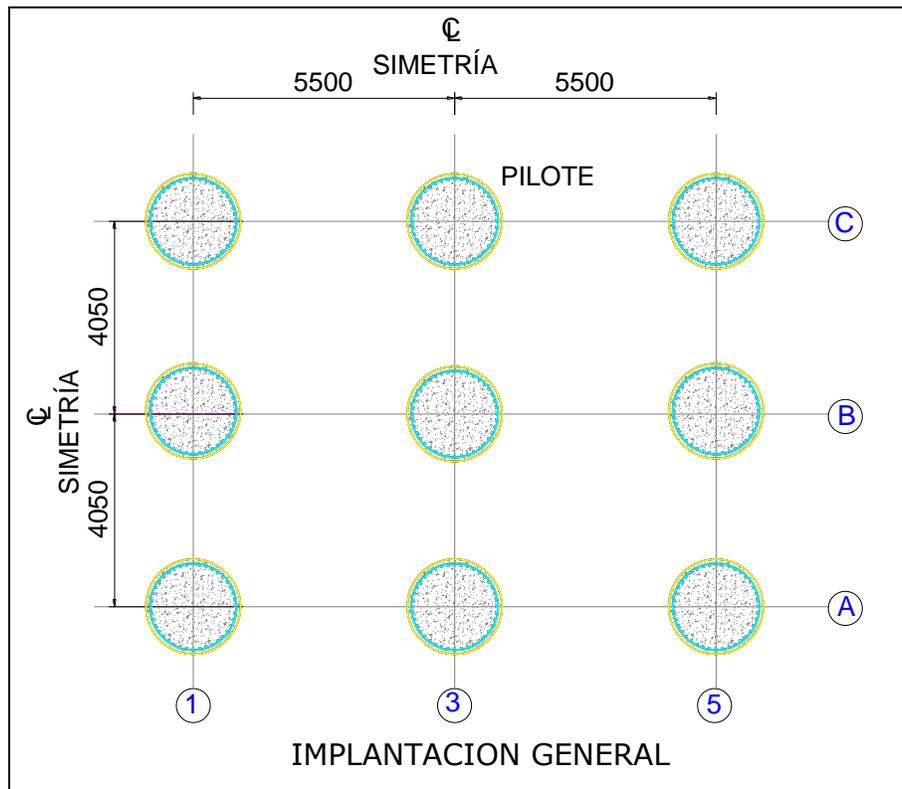
**Figura 3.3:** Descripción del estribo Quiroga (sin pilotes)

La zapata en la que se sustentan tanto el estribo Quiroga como al estribo Pichincha tiene 6m de ancho y un espesor de 0.50m, se muestran finalmente fotos del proceso constructivo y el estribo construido.



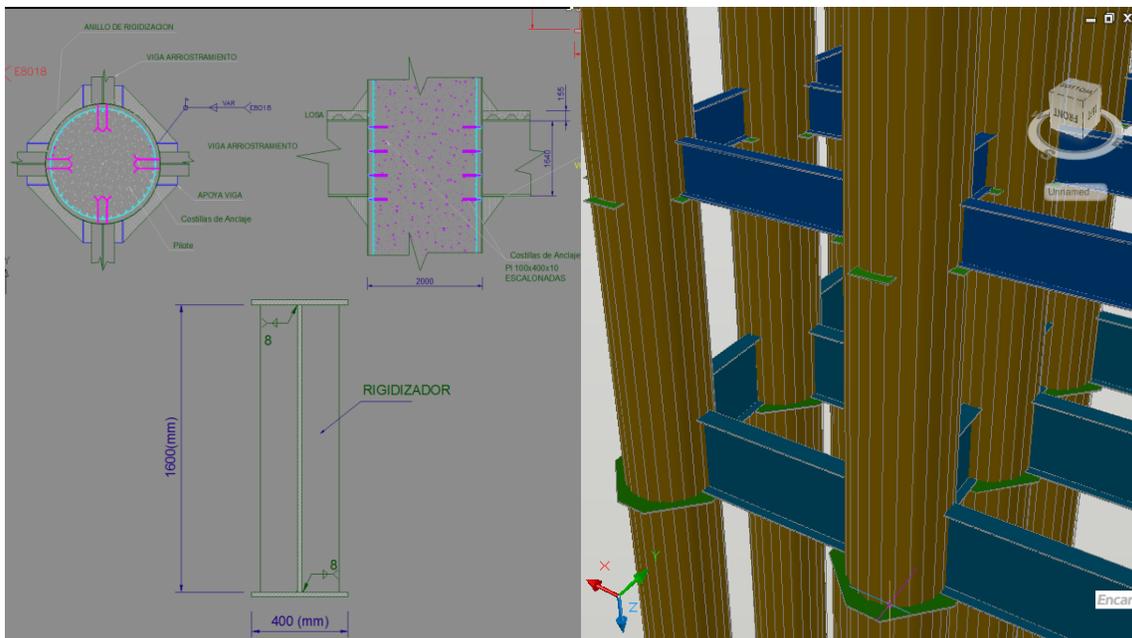
**Figura 3.4:** Descripción del estribo Quiroga (sin pilotes)

La luz comprendida entre los estribos del puente Carrizal se vence mediante dos pilas de apoyo las cuales son iguales y están ubicadas de forma tal que la luz total queda dividida en 3 partes iguales, los apoyos constan de 9 pilotes de hormigón armado recubiertos con una camisa de acero de 1,5 cm de espesor, colocado con el fin de proteger el hormigón de los pilotes, los pilotes se reducen en la parte superior a un metro y se arriostran mediante muros de corte, los nueve pilotes se distribuyen en planta en 11m entre ejes de pilotes en el sentido longitudinal es decir que entre ejes de pilotes tendremos 5.5m y en el sentido transversal se desarrollan en 8.1 m es decir, al igual que en el caso anterior la distancia entre ejes transversales de pilotes es de 4.05m, como se presenta en la figura 3.5.



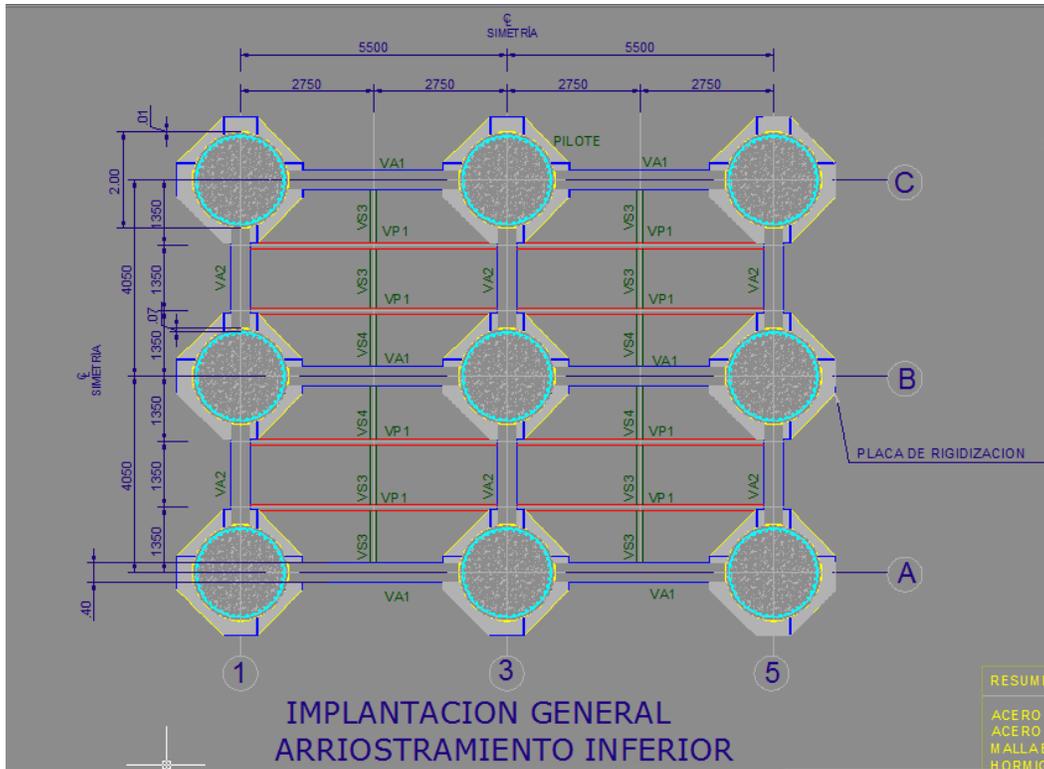
**Figura 3.5:** Planta de pilotes apoyo central

La altura de los pilotes es de 54 m, por lo que este se encuentra arriostrados en la cota 56.80 y la cota 62.47, las cuales se denominan vigas de arriostramiento inferior y vigas de arriostramiento superior, las vigas de arriostramiento Inferior son vigas tipo I metálicas, de 1.6m de altura, con patines de 0.4m, el espesor tanto del alma como de los patines es de 20 mm, las vigas I se empotran a los pilotes mediante costillas de anclaje, se encuentran además sobre unos apoya vigas los cuales se encuentran soldados a las camisas de acero, como se muestra en la figura 3.6.



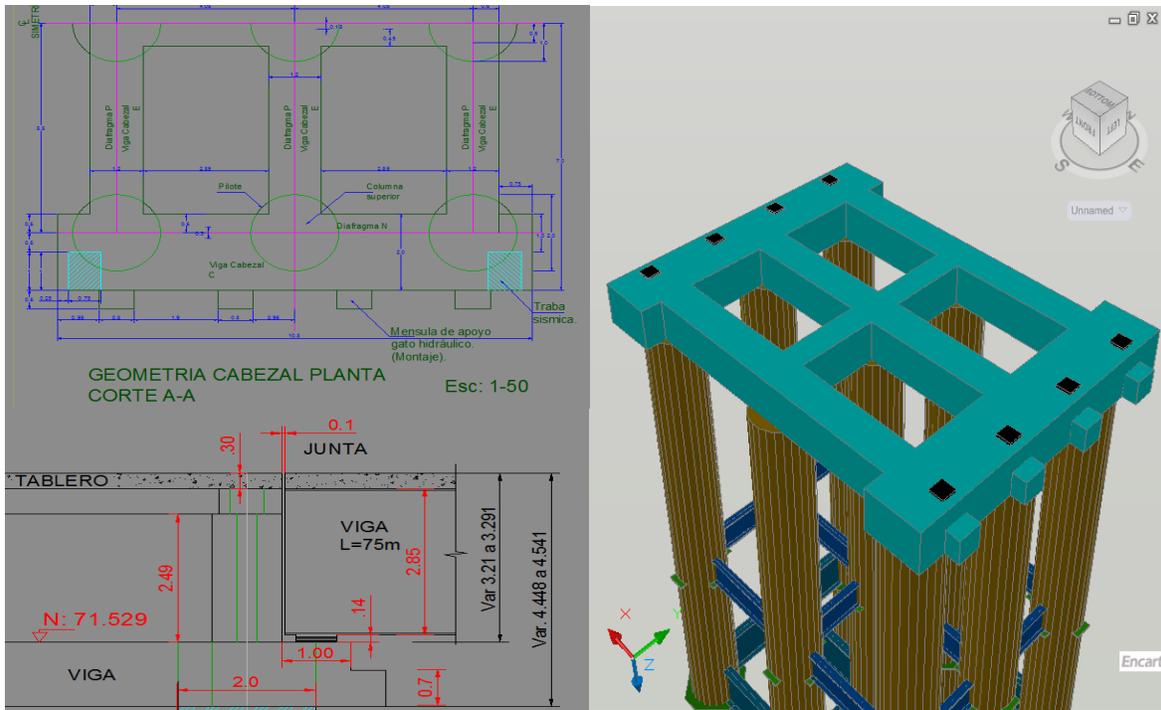
**Figura 3.6:** Detalle de Vigas de arriostramiento y anclajes

Las vigas de arriostramiento superior se distribuyen de la misma manera que las vigas de arriostramiento inferior, la diferencia radica en las dimensiones de las vigas I, y que estas no se empotran mediante costillas de anclaje, pero al igual que las vigas de arriostramiento inferior se sueldan sobre apoya vigas, la distribución en planta de las vigas de arriostramiento inferior y las vigas de arriostramiento superior es la misma y se muestra en la figura 3.7.



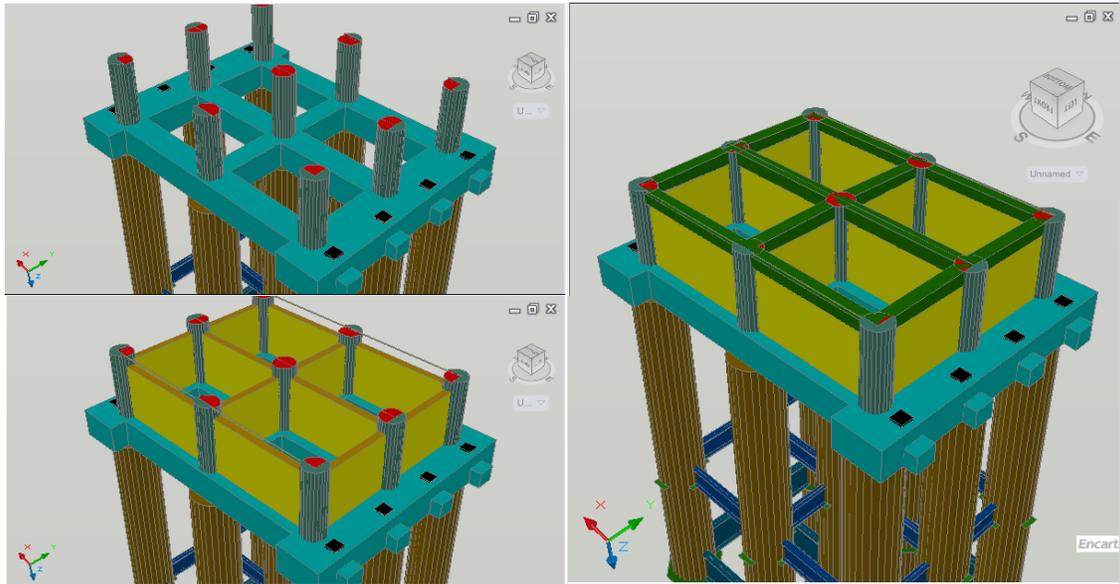
**Figura 3.7:** Planta de vigas de arriostramiento superior e inferior

Los pilotes se encuentran unidos en la parte superior mediante una viga cabezal de hormigón armado de 1.25m de altura por 1.2m de ancho en las vigas interiores y de 2m de ancho en los extremos donde se asientan las vigas metálicas, con el fin de permitir que estas tengan el espacio suficiente para moverse ante un evento sísmico, en la misma estructura existen 8 ménsulas 4 de cada lado las que sirven de apoyo a los gatos hidráulicos, los cuales funcionan al momento del montaje de las vigas, finalmente se restringe el movimiento lateral de las vigas mediante trabas sísmicas las cuales se encuentran también formando parte de la viga cabezal en la figura 3.8 se muestra la geometría de la viga cabezal descrita.



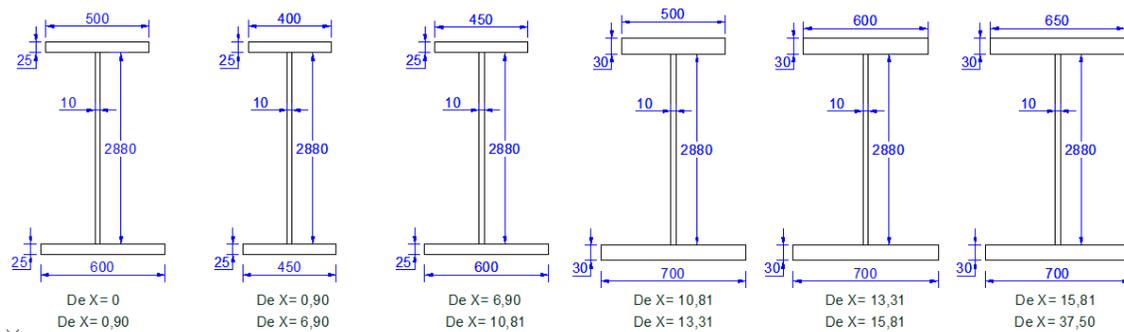
**Figura 3.8:** Detalle viga Cabezal

Sobre la viga cabezal el diámetro de los pilotes se reduce de 2m a 1m y estos se arriostran en el sentido longitudinal como transversal por muros de corte o diafragmas de 30 cm de espesor y de 3m de altura, sobre los pilotes y los diafragmas se funde una viga de hormigón armado de 0.50 m de ancho por 0.50 m de altura para arriostrar estos elementos , sobre la estructura descrita se arma la losa del tablero del puente de 30 cm de espesor con una pendiente del 2%.

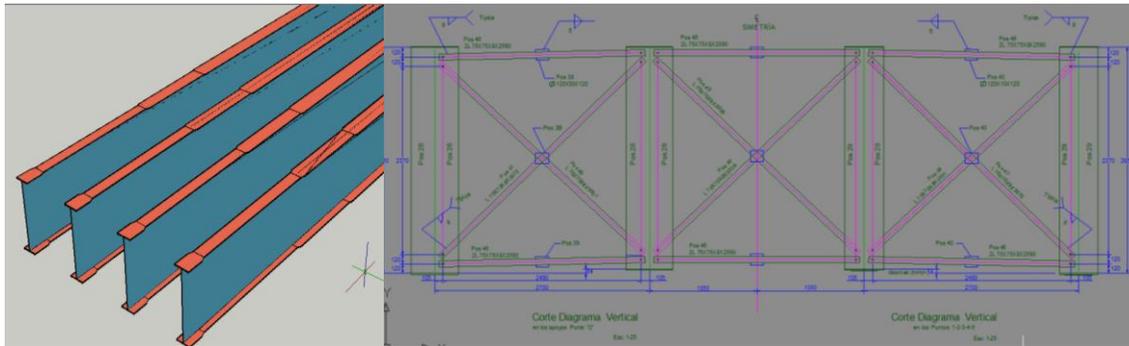


**Figura 3.9:** Estructura superior apoyos centrales.

En las luces que existen entre apoyos centrales se colocan cuatro vigas I metálicas las cuales tiene una altura de 2.880mm con un espesor de 10mm y las alas tienen un ancho variable que va desde 400 a 650mm y un espesor de 25 y 30 mm respectivamente, transversalmente se arriostran con ángulos L de 70x70x8 mm, como se indica en la figura.

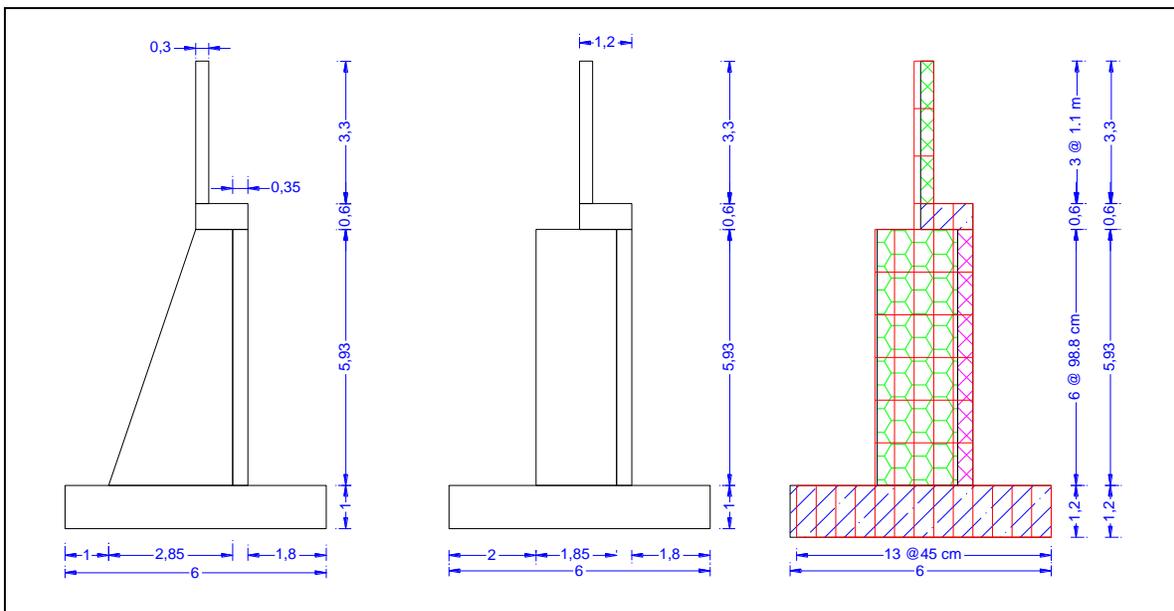


**Figura 3.10:** Sección transversal de las vigas.



**Figura 3.11:** Detalles del arriostramiento lateral de las vigas.

Una vez descritas las características del puente carrizal, se presentan los modelos con los que se realizará el análisis sísmico, se inicia con el estribo Pichincha el cual se encuentra sobre pilotes.



**Figura 3.12:** Modelo Matemático estribo Quiroga.

Cálculo del centro de gravedad, momento de inercia, y b equivalente en h=0 contrafuerte.

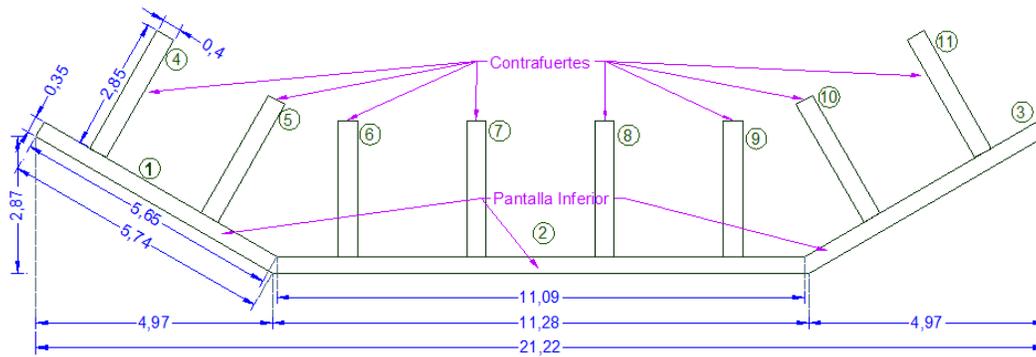


Figura 3.13: Vista en planta del arranque del contrafuerte y la pantalla inferior en h=0

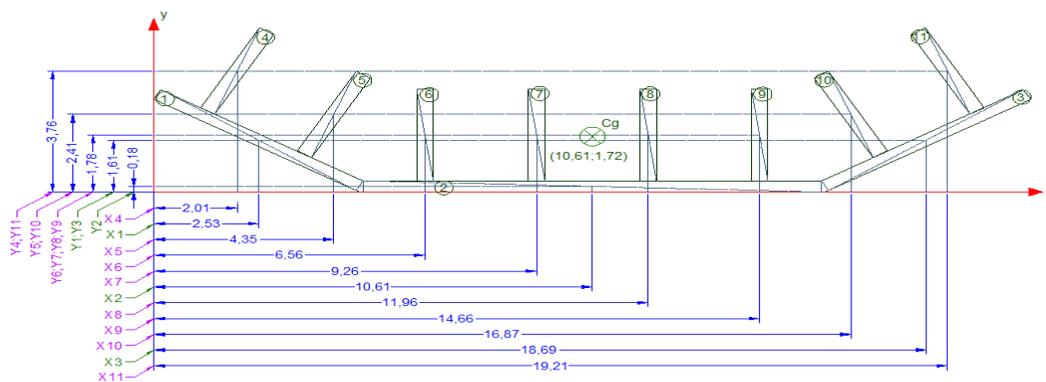


Figura 3.14 Distancias del CG de cada elemento a un eje X, Y común, h=0.

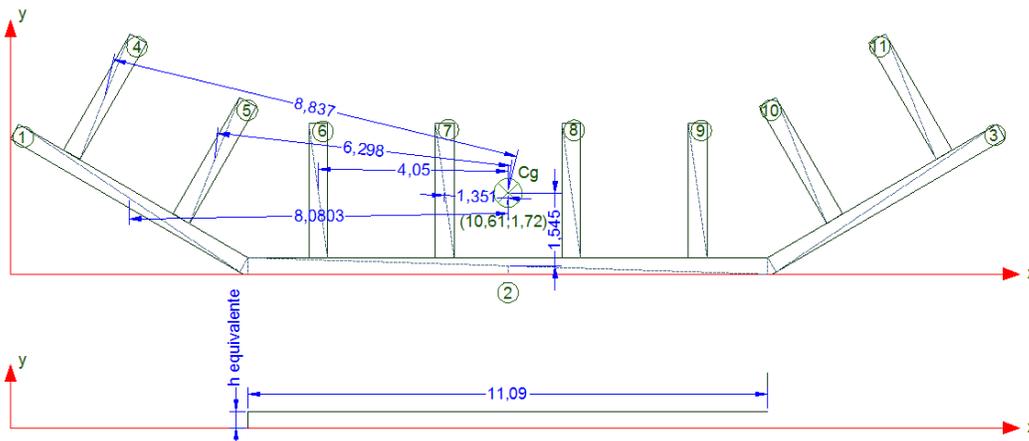


Fig. 3.15a: Distancia del Cg de cada elemento al Cg del conjunto en h=0.

Fig. 3.15b altura equivalente con un b = 11,09

**Tabla 3.1:** Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo.

Calculo del Xcg y Ycg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=0 Contrafuerte							
Fig	b	h	A = b*xh	X	Y	A * X	A * Y
1	0,35	5,65	1,98	2,53	1,61	5,02	3,19
2	11,09	0,35	3,88	10,61	0,18	41,18	0,68
3	0,35	5,65	1,98	18,69	1,61	37,01	3,19
4	0,40	2,85	1,14	2,01	3,76	2,30	4,28
5	0,40	2,85	1,14	4,35	2,41	4,96	2,75
6	0,40	2,85	1,14	6,56	1,78	7,48	2,02
7	0,40	2,85	1,14	9,26	1,78	10,56	2,02
8	0,40	2,85	1,14	11,96	1,78	13,64	2,02
9	0,40	2,85	1,14	14,66	1,78	16,72	2,02
10	0,40	2,85	1,14	16,87	2,41	19,24	2,75
11	0,40	2,85	1,14	19,21	3,76	21,90	4,28
Sumatoria			16,96			179,98	29,21
	Xcg	10,61					
	Ycg	1,72					

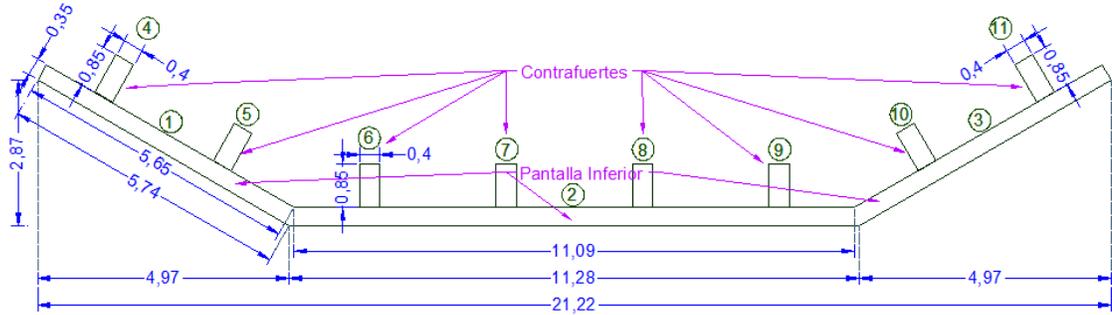
$$Xcg = \frac{\sum A.X}{\sum A} = 10,61 \quad ; \quad Ycg = \frac{\sum A.Y}{\sum A} = 1,72$$

**Tabla 3.2:** Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo.

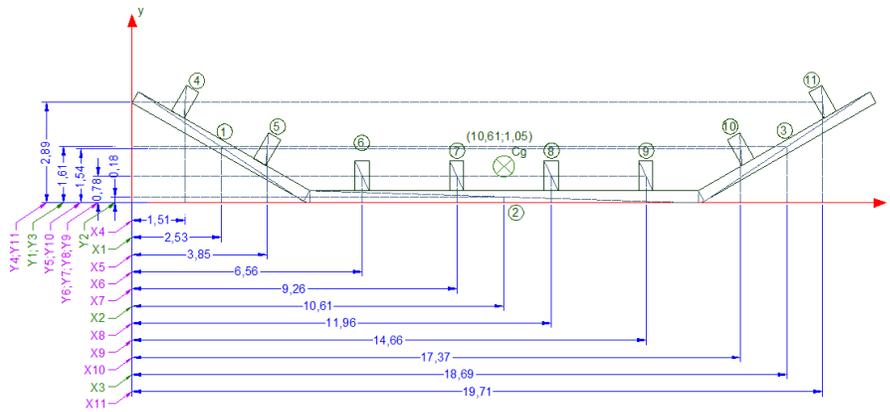
Calculo de la Inercia con respecto al Cg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=0 Contrafuerte										
Fig	b	h	A=b*xh	I=bh <sup>3</sup> /12	lx=l*cos α	ly=l*sen α	d	Axd <sup>2</sup>	lx+Ad <sup>2</sup>	ly+Ad <sup>2</sup>
1	0,35	5,65	1,98	5,25	2,63	4,55	8,08	129,01	131,63	133,55
2	11,09	0,35	3,88	0,04	0,00	0,04	1,55	9,27	9,27	9,31
3	0,35	5,65	1,98	5,25	-2,63	4,55	-8,08	129,01	126,38	133,55
4	0,40	2,85	1,14	0,77	0,39	0,67	8,84	89,03	89,41	89,70
5	0,40	2,85	1,14	0,77	0,39	0,67	6,30	45,22	45,60	45,89
6	0,40	2,85	1,14	0,77	0,00	0,77	4,05	18,70	18,70	19,47
7	0,40	2,85	1,14	0,77	0,00	0,77	1,35	2,08	2,08	2,85
8	0,40	2,85	1,14	0,77	0,00	0,77	-1,35	2,08	2,08	2,85
9	0,40	2,85	1,14	0,77	0,00	0,77	-4,05	18,70	18,70	19,47
10	0,40	2,85	1,14	0,77	-0,39	0,67	-6,30	45,22	44,83	45,89
11	0,40	2,85	1,14	0,77	-0,39	0,67	-8,84	89,03	88,64	89,70
Sumatoria			16,96						577,33	592,23
	lxcg	577,33								
	lycg	592,23								
Calculo del "B" Equivalente del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=0 Contrafuerte										
	lxcg	b	h equivalente							
	577,33	11,09	8,55							

$$Ixcg = 577,33 \quad ; \quad Iycg = 592,23 \quad ;$$

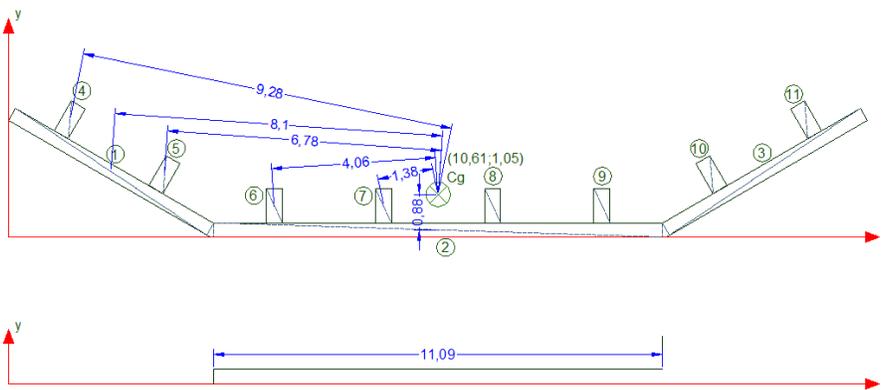
Cálculo del centro de gravedad, momento de inercia, y b equivalente en  $h=5,93$ .



**Fig. 3.16:** Vista en planta de la cabeza del contrafuerte y la pantalla inferior en  $h=5,93$ .



**Fig. 3.17:** Distancias del CG de cada elemento a un eje X, Y común, en  $h=5,93$ .



**Fig. 3.18a:** Distancia del Cg de cada elemento al Cg del conjunto en  $h=5,93$  Contrafuerte.

**Fig. 3.18b:** altura equivalente con un  $b = 11,09$ .

**Tabla 3.3:** Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo.

Calculo del Xcg y Ycg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=5,93 Contrafuerte							
Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y
1	0,350	5,647	1,976	2,533	1,610	5,005	3,181
2	11,094	0,350	3,883	10,612	0,175	41,206	0,680
3	0,350	5,647	1,976	18,692	1,610	36,935	3,181
4	0,400	0,850	0,340	1,513	2,892	0,514	0,983
5	0,400	0,850	0,340	3,852	1,542	1,310	0,524
6	0,400	0,850	0,340	6,562	0,775	2,231	0,264
7	0,400	0,850	0,340	9,262	0,775	3,149	0,264
8	0,400	0,850	0,340	11,962	0,775	4,067	0,264
9	0,400	0,850	0,340	14,662	0,775	4,985	0,264
10	0,400	0,850	0,340	17,373	1,542	5,907	0,524
11	0,400	0,850	0,340	19,711	2,892	6,702	0,983
Sumatoria			10,555			112,011	11,112
	Xcg	10,612					
	Ycg	1,053					

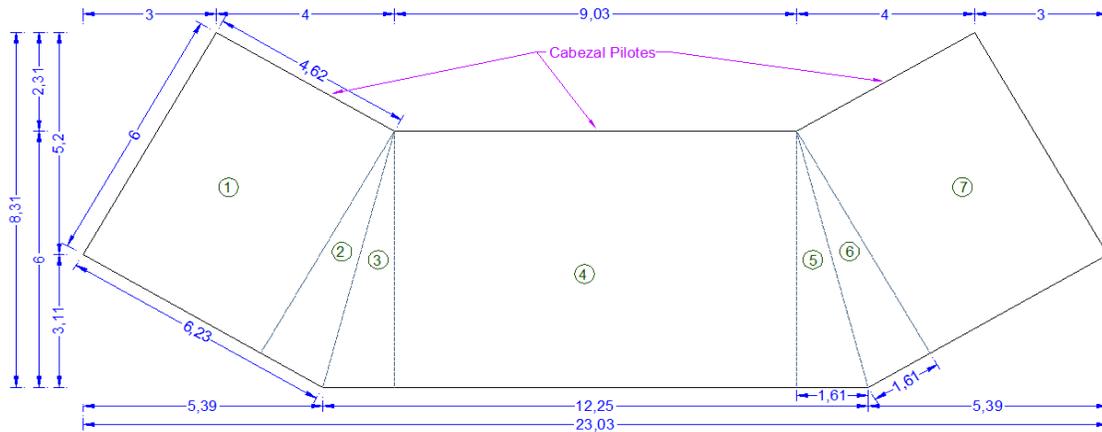
$$Xcg = \frac{\sum A.X}{\sum A} = 10,612 \quad ; \quad Ycg = \frac{\sum A.Y}{\sum A} = 1,053$$

**Tabla 3.4:** Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo.

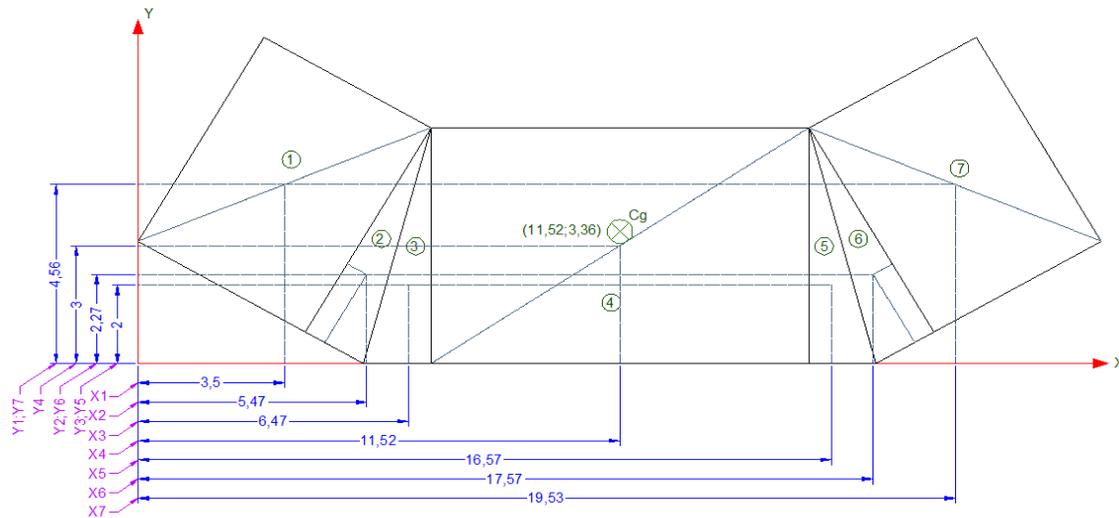
Calculo de la Inercia con respecto al Cg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=5,93 Contrafuerte											
Fig	b	h	A=bxh	I=bh <sup>3</sup> /12	Ix=Icos α	Iy=Isen α	d	Axd <sup>2</sup>	Ix+Ad <sup>2</sup>	Iy+Ad <sup>2</sup>	
1	0,350	5,647	1,976	5,252	2,626	4,548	8,099	129,613	132,239	134,161	
2	11,094	0,350	3,883	0,040	0,000	0,040	0,878	2,993	2,993	3,033	
3	0,350	5,647	1,976	5,252	-2,626	4,548	-8,099	129,613	126,987	134,161	
4	0,400	0,850	0,340	0,020	0,010	0,017	9,283	29,299	29,309	29,316	
5	0,400	0,850	0,340	0,020	0,010	0,017	6,778	15,620	15,630	15,637	
6	0,400	0,850	0,340	0,020	0,000	0,020	4,059	5,602	5,602	5,622	
7	0,400	0,850	0,340	0,020	0,000	0,020	1,378	0,646	0,646	0,666	
8	0,400	0,850	0,340	0,020	0,000	0,020	-1,378	0,646	0,646	0,666	
9	0,400	0,850	0,340	0,020	0,000	0,020	-4,059	5,602	5,602	5,622	
10	0,400	0,850	0,340	0,020	-0,010	0,017	-6,778	15,620	15,610	15,637	
11	0,400	0,850	0,340	0,020	-0,010	0,017	-9,283	29,299	29,289	29,316	
Sumatoria			10,555						364,553	373,837	
	Ixcg	364,553									
	Iycg	373,837									
Calculo del "B" Equivalente del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=5,93 Contrafuerte											
	Ixcg	b	h equivalente								
	364,553	11,094	7,333								

$$Ixcg = 364,533 \quad ; \quad Iycg = 373,837$$

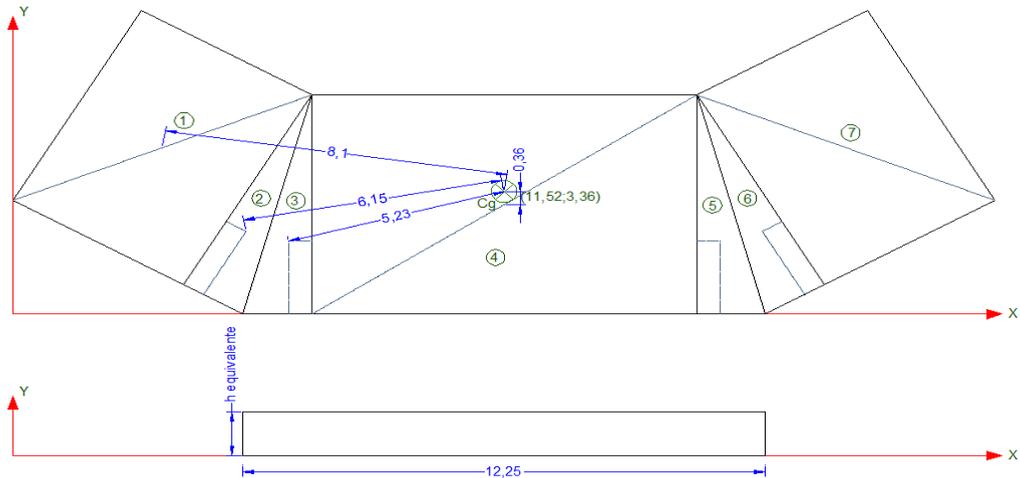
Cálculo del centro de gravedad, momento de inercia, y b equivalente en  $h=0$  cabezal.



**Fig. 3.19:** Vista en planta del cabezal de los pilotes en  $h=0$ .



**Fig. 3.20:** Distancias del CG de cada elemento a un eje X, Y común, en  $h=0$ .



**Fig. 3.21a:** Distancia del Cg de cada elemento al Cg del conjunto en h=0 Cabezal.

**Fig. 3.21b:** Calculo de la altura equivalente con un b = 12,25.

**Tabla 3.5:** Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo.

Calculo del Xcg y Ycg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=0 Cabezal							
Fig	b	h	A = b*xh	X	Y	A * X	A * Y
1	4,62	6,00	27,72	3,50	4,56	97,02	126,40
2	1,61	6,00	9,66	5,47	2,27	52,84	21,93
3	1,61	6,00	9,66	6,47	2,00	62,50	19,32
4	9,03	6,00	54,18	11,52	3,00	624,15	162,54
5	1,61	6,00	9,66	16,57	2,00	160,07	19,32
6	1,61	6,00	9,66	17,57	2,27	169,73	21,93
7	4,62	6,00	27,72	19,53	4,56	541,37	126,40
Sumatoria			148,26			1707,68	497,84
	Xcg	11,52					
	Ycg	3,36					

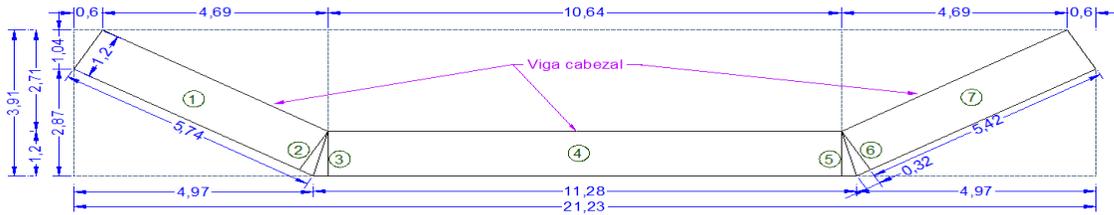
$$Xcg = \frac{\sum A.X}{\sum A} = 11,52 \quad ; \quad Ycg = \frac{\sum A.Y}{\sum A} = 3,36$$

**Tabla 3.6:** Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo

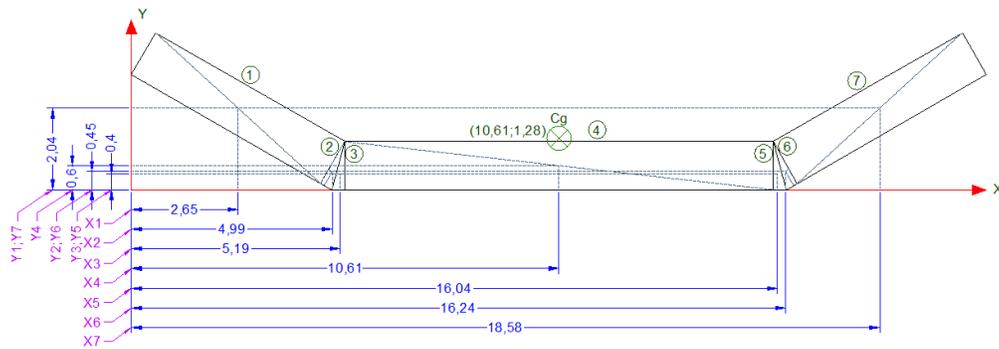
Calculo de la Inercia con respecto al Cg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=0 Cabezal											
Fig	b	h	A=b*xh	I=bh³/12	lx=l*cos α	ly=l*sen α	d	Axd²/2	lx+Ad²/2	ly+Ad²/2	
1	4,62	6,00	27,72	83,16	41,58	72,02	8,11	1824,55	1866,13	1896,57	
2	1,61	6,00	9,66	28,98	14,49	25,10	6,14	363,82	378,31	388,92	
3	1,61	6,00	9,66	28,98	0,00	28,98	5,21	262,62	262,62	291,60	
4	9,03	6,00	54,18	162,54	0,00	162,54	0,29	4,68	4,68	167,22	
5	1,61	6,00	9,66	28,98	0,00	28,98	-5,21	262,62	262,62	291,60	
6	1,61	6,00	9,66	28,98	-14,49	25,10	-6,14	363,82	349,33	388,92	
7	4,62	6,00	27,72	83,16	-41,58	72,02	-8,11	1824,55	1782,97	1896,57	
Sumatoria			148,26						4906,66	5321,39	
	lxcg	4906,66									
	lycg	5321,39									
Calculo del "B" Equivalente del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=0 Cabezal											
	lxcg	b	h equivalente								
	4906,66	9,03	18,68								

$$I_{x_{cg}} = 4906,66 ; I_{y_{cg}} = 5321,39$$

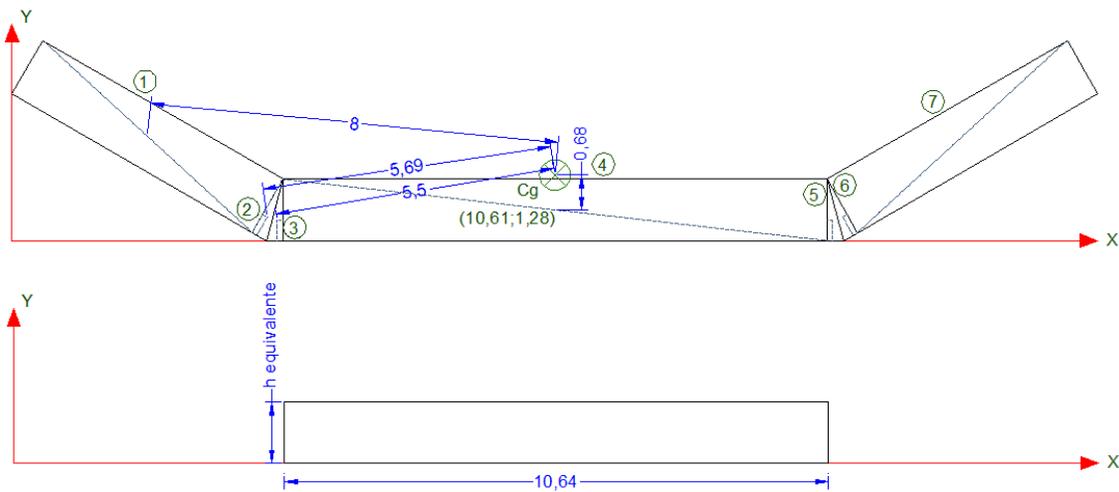
Cálculo del centro de gravedad, momento de inercia, y b equivalente en h=5.93 Viga Cabezal.



**Fig. 3.22:** Vista en planta de la Viga cabezal en h=5,93.



**Fig. 3.23:** Distancias del CG de cada elemento a un eje X, Y común, en h=5,93.



**Fig. 3.24a:** Distancia del Cg de cada elemento al Cg del conjunto en h=5,93 Viga Cabezal.

**Fig. 3.24b:** Calculo de la altura equivalente con un b = 10,64.

**Tabla 3.7:** Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo.

Calculo del Xcg y Ycg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=5,93 Vig. Cabezal							
Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y
1	1,20	5,42	6,50	2,65	2,04	17,24	13,27
2	0,32	1,20	0,38	4,99	0,45	1,92	0,17
3	0,32	1,20	0,38	5,19	0,40	1,99	0,15
4	10,64	1,20	12,77	10,61	0,60	135,47	7,66
5	0,32	1,20	0,38	16,04	0,40	6,16	0,15
6	0,32	1,20	0,38	16,24	0,45	6,24	0,17
7	1,20	5,42	6,50	18,58	2,04	120,84	13,27
Sumatoria			27,31			289,85	34,85
	Xcg	10,61					
	Ycg	1,28					

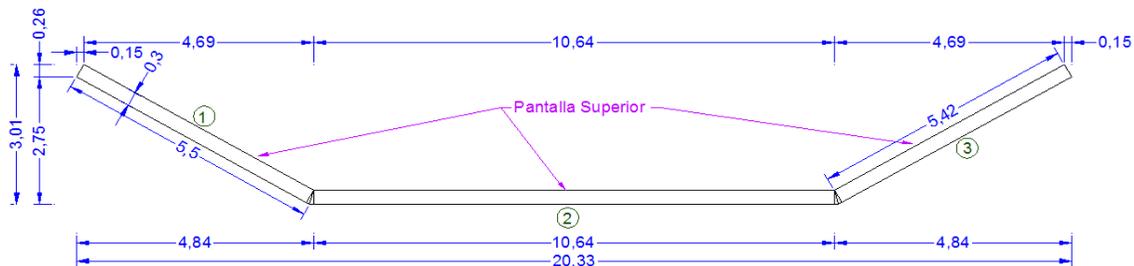
$$Xcg = \frac{\sum A.X}{\sum A} = 10,61 \quad ; \quad Ycg = \frac{\sum A.Y}{\sum A} = 1,28$$

**Tabla 3.8:** Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo

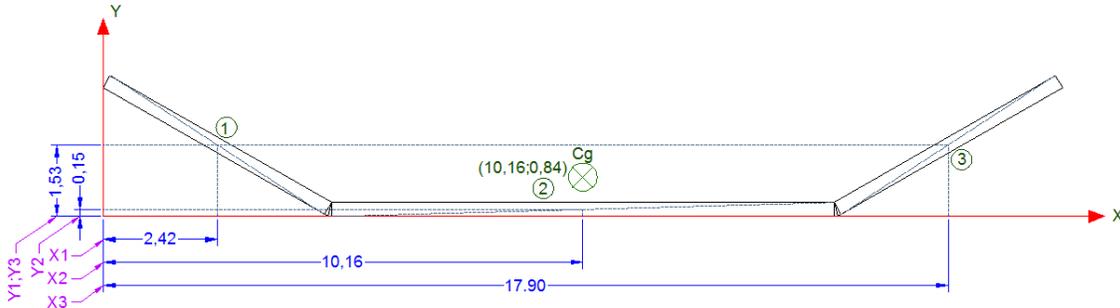
Calculo de la Inercia con respecto al Cg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=5,93 Viga Cabezal										
Fig	b	h	A=bxh	I=bh <sup>3</sup> /12	Ix=Icos α	Iy=Isen α	d	Axd <sup>2</sup>	Ix+Ad <sup>2</sup>	Iy+Ad <sup>2</sup>
1	1,20	5,42	6,50	15,92	7,96	13,79	8,00	416,26	424,22	430,05
2	0,32	1,20	0,38	0,05	0,02	0,04	5,69	12,43	12,46	12,47
3	0,32	1,20	0,38	0,05	0,00	0,05	5,50	11,62	11,62	11,66
4	10,64	1,20	12,77	1,53	0,00	1,53	0,68	5,90	5,90	7,44
5	0,32	1,20	0,38	0,05	0,00	0,05	5,50	11,62	11,62	11,66
6	0,32	1,20	0,38	0,05	-0,02	0,04	5,69	12,43	12,41	12,47
7	1,20	5,42	6,50	15,92	-7,96	13,79	8,00	416,26	408,30	430,05
Sumatoria			27,31						886,51	915,79
	Ixcg	886,51								
	Iycg	915,79								
Calculo del "B" Equivalente del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=5,930 Viga Cabezal										
	Ixcg	b	h equivalente							
	886,51	10,64	10,00							

$$Ixcg = 886,51 \quad ; \quad Iycg = 915,79$$

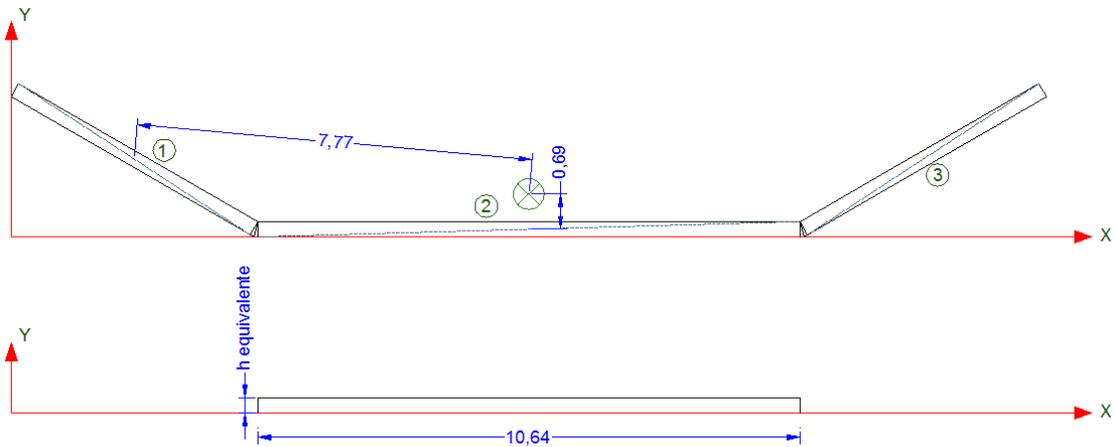
Cálculo del centro de gravedad, momento de inercia, y b equivalente en h=6.53 Pantalla Superior.



**Fig. 3.25:** Vista en planta de la Pantalla Superior en h=6,53.



**Fig. 3.26:** Distancias del CG de cada elemento a un eje X, Y común, en h=6,53.



**Fig. 3.27a:** Distancia del Cg de cada elem. al Cg del conjunto en h=6,53 Pantalla superior.

**Fig. 3.27b:** Calculo de la altura equivalente con un b = 10,64.

**Tabla 3.9:** Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo.

Calculo del Xcg y Ycg del Estribo Izq. "Puente Carrizal" en h=6,53 Pantalla Superior							
Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y
1	0,30	5,42	1,63	2,42	1,53	3,94	2,48
2	10,64	0,30	3,19	10,16	0,15	32,43	0,48
3	0,30	5,42	1,63	17,90	1,53	29,11	2,48
Sumatoria			6,44			65,47	5,44
	Xcg	10,16					
	Ycg	0,84					

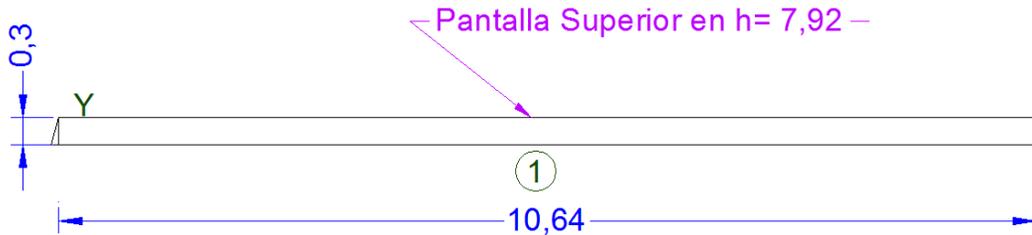
$$X_{cg} = \frac{\sum A \cdot X}{\sum A} = 10,16 \quad ; \quad Y_{cg} = \frac{\sum A \cdot Y}{\sum A} = 0,84$$

**Tabla 3.10:** Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo

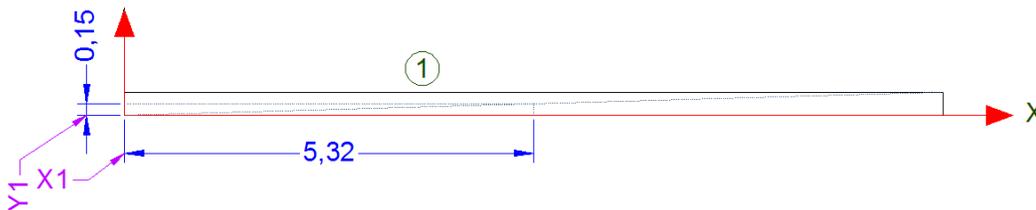
Calculo de la Inercia con respecto al Cg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=6,53 Pantalla Superior										
Fig	b	h	A=bxh	$I=bh^3/12$	$lx=l\cos \alpha$	$ly=l\sin \alpha$	d	$Axd^2$	$Ix+Ad^2$	$Iy+Ad^2$
1	0,30	5,42	1,63	3,98	1,99	3,45	7,77	98,17	100,16	101,61
2	10,64	0,30	3,19	0,02	0,00	0,02	0,69	1,52	1,52	1,54
3	0,30	5,42	1,63	3,98	-1,99	3,45	7,77	98,17	96,18	101,61
Sumatoria			6,44						197,85	204,77
	$I_{xcg}$	197,85								
	$I_{ycg}$	204,77								
Calculo del "B" Equivalente del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=6,530 Pantalla Superior										
	$I_{xcg}$	b	h equivalente							
	197,85	10,64	6,07							

$$I_{xcg} = 197,85 ; I_{ycg} = 204,77$$

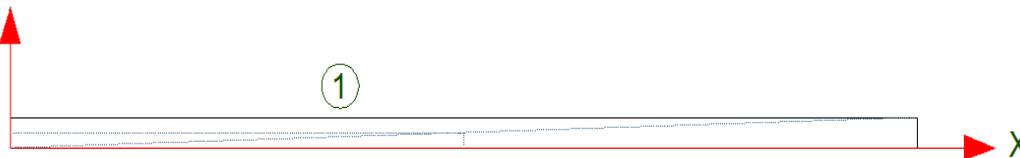
Cálculo del centro de gravedad, momento de inercia, y b equivalente en h=7,92 Pantalla Superior.



**Fig. 3.28:** Vista en planta de la Pantalla Superior en h=7,92.



**Fig. 3.29:** Distancias del CG de cada elemento a un eje X, Y común, en h=7,92.



**Fig. 3.30:** Distancia del Cg de cada elemento al Cg del conjunto en h=7,92 Pantalla superior (para este caso es igual a cero, al igual que el b equivalente).

**Tabla 3.11:** Calculo del Xcg y Ycg Estribo Izquierdo.

Calculo del Xcg y Ycg del Estribo Izq. "Puente Carrizal" en h=7,92 Pantalla Superior							
Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y
1	10,640	0,300	3,192	5,320	0,150	16,981	0,479
Sumatoria			3,192			16,981	0,479
	Xcg	5,320					
	Ycg	0,150					

$$Xcg = \frac{\sum A.X}{\sum A} = 5,32 \quad ; \quad Ycg = \frac{\sum A.Y}{\sum A} = 0,15$$

**Tabla 3.12:** Calculo de la Inercia Xcg y Ycg Estribo Izquierdo

Calculo de la Inercia con respecto al Cg del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=7,92 Pantalla Superior										
Fig	b	h	A=bxh	I=bh <sup>3</sup> /12	Ix=Icos α	Iy=Isen α	d	Axd <sup>2</sup>	Ix+Ad <sup>2</sup>	Iy+Ad <sup>2</sup>
1	10,640	0,300	3,192	0,024	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000	0,024
Sumatoria			3,192						0,000	0,024
	Ixcg	0,000								
	Iycg	0,024								
Calculo del "B" Equivalente del Estribo Izquierdo "Puente Carrizal" en h=7,92 Pantalla Superior										
	Ixcg	b	h equivalente							
	0,000	10,64	0							

$$Ixcg = 0,0 \quad ; \quad Iycg = 0,024$$

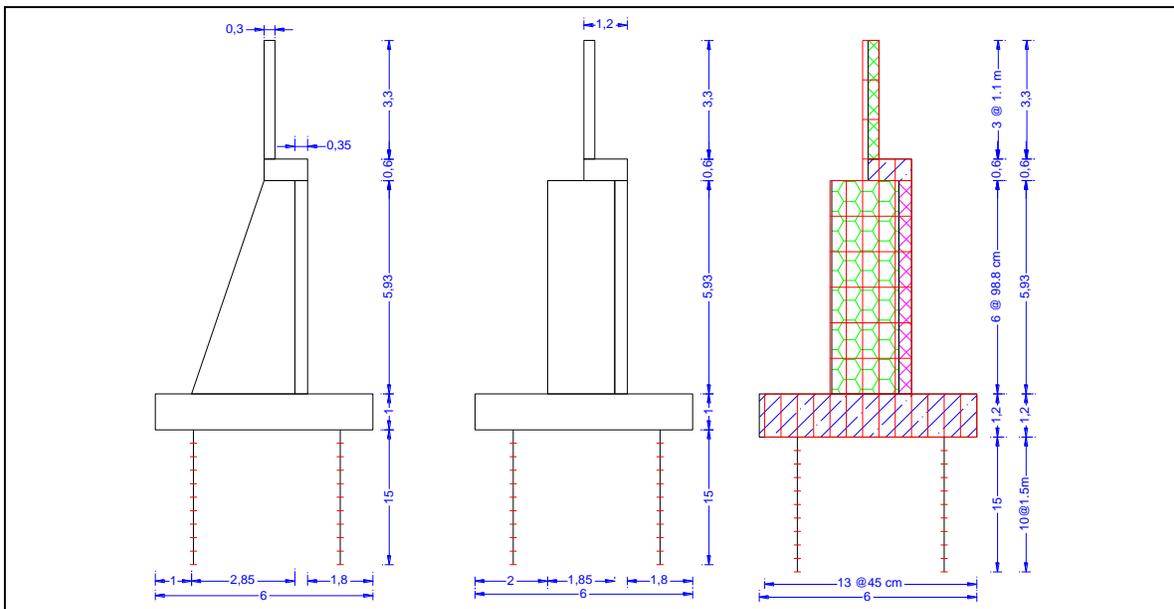
Previo a la elaboración del modelo se analiza la forma del estribo con el fin de elaborar el modelo más adecuado, es decir que represente de la mejor manera el comportamiento de este elemento ante un evento sísmico, la sección transversal del estribo es constante en la parte central razón por la cual se adopta esta sección para representar al estribo tal como se muestra en la figura 3.11, se divide en un adecuado número de elementos finito, tomando en cuenta la forma del estribo, es por esta razón que se decide dividir el estribo horizontalmente en 13 elementos finitos de 0.45m, se elige esta división por que engloba las diferentes partes tal como zapata, pantalla inferior, contrafuertes, viga cabezal de estribo y pantalla superior, se destaca que la forma trapezoidal del contrafuerte se transforma en rectangular mediante una relación de distancias, sumando la base mayor, base menor y dividiendo entre dos, es de esta forma se obtiene un contrafuerte rectangular de 1.85 m de base.

$$\frac{\text{base mayor} + \text{base menor}}{2} = \text{base Equivalente} \quad (3.1)$$

$$\frac{2.85 \text{ m}}{0.85 \text{ m}} = 1.85 \text{ m} \quad (3.2)$$

La transformación del contrafuerte de forma trapezoidal a rectangular se lo hace porque en el análisis se usará para los elementos finitos área, únicamente elementos finitos rectangulares, aunque varía ligeramente la geometría del modelo versus la geometría original del estribo esto se debe únicamente a que se busco una medida entre diferentes alternativas para que englobe todas las partes del estribo.

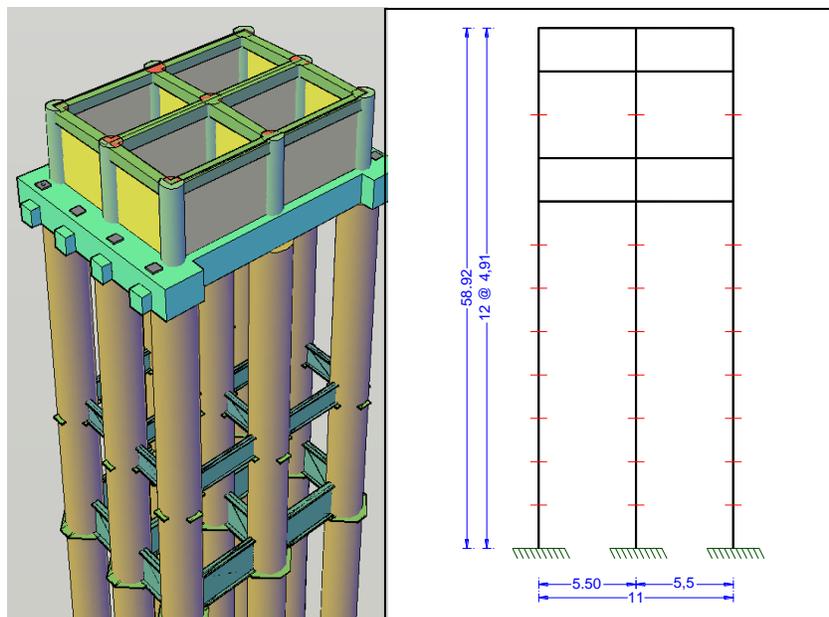
El estribo Pichincha como se lo ha mencionado previamente difiere únicamente del estribo Quiroga en su cimentación, por lo que el modelo matemático es básicamente el mismo a excepción de los pilotes que se modelan como elementos finitos lineales. Debido a que se está trabajando con la sección que representa al estribo en el modelo únicamente se muestran dos pilotes, entendiéndose que se realiza un análisis bidimensional, en la figura 3.31 se muestra el modelo para el estribo Pichincha.



**Figura 3.31:** Modelo Matemático estribo Pichincha.

La longitud de los pilotes es de 15 m por lo que se decidió dividir en 10 elementos finitos de 1.5 m cada uno, la ubicación de los pilotes al igual que el estribo varia de forma muy ligera puesto que se debe hacer coincidir la posición de los mismos en los nudos de los elementos finitos rectangulares, para de esta manera no generar conflictos al momento de analizar los grados de libertad, la concepción del modelo del estribo Quiroga, contemplaba la posición de los pilotes en su elaboración.

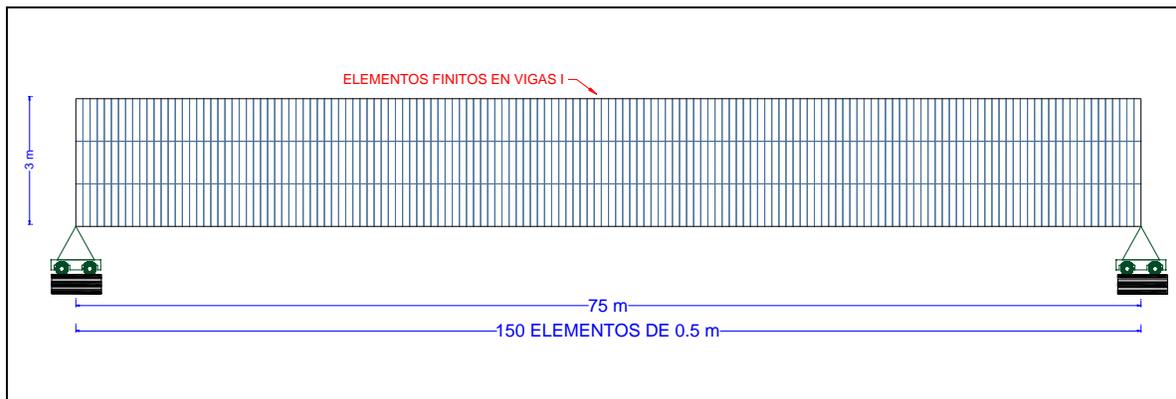
El modelo matemático de los apoyos centrales se lo realiza observando el mismo criterio con el que se manejo el modelo matemático de los estribos, es decir buscando la representación más adecuada del elemento estructural de forma que se obtenga el comportamiento más cercano a la realidad posible, la elaboración de los modelos matemáticos es una tarea de tipo grafico y de análisis de geometría, puesto que se debe dividir los pilotes de forma tal que estas divisiones coincidan de la forma más aproximada posible a la posición de las vigas de arriostamiento superior inferior y cabezal.



**Figura 3.32:** Modelo Matemático apoyo central

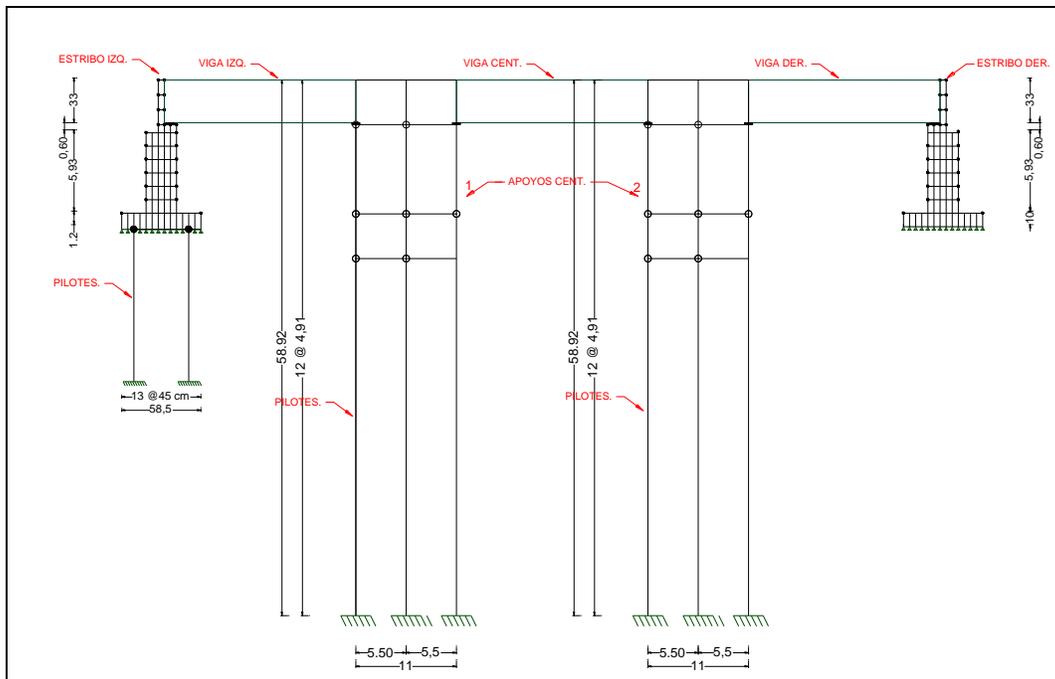
Al igual que los estribos se realizará un análisis plano de los apoyos, por lo que el modelo elaborado final con el que se analizara los apoyos es el presentado en la figura 3.32, se destaca que no se incorpora el muro de corte en este modelo, puesto que a la fecha de elaboración del mismo, no estaba definido en obra, las características del mismo.

El modelo que representa a las vigas se presenta en la figura 3.14, las condiciones de apoyo de estas es móvil, y la división en los diferentes elementos finitos que compondrán el modelo de las vigas, se lo hizo, considerando el tiempo en que se demorará el programa en correr el modelo, puesto que a pesar de que mientras más divisiones se elabore, más exactos serán los resultados, se considera para las divisiones una relación adecuada, para obtener una precisión aceptable y un tiempo razonable en la corrida del modelo total.



**Figura 3.33:** Modelo vigas

Se divide la viga de 75m en el elementos de 0.5m, la altura total de las vigas es de 3m por lo que se divide la viga en 3 partes dando un total de 450 elementos finitos rectangulares de 0.5m x 1m, los cuales componen las vigas, al ser todas las vigas iguales, se ha definido en su totalidad el modelo con el que se analizará el puente, por lo tanto el modelo total con elementos finitos con el que se realizará el análisis sísmico longitudinal es el mostrado en la figura 3.33 el cual es en el que se muestra integrado los estribos, los apoyos y las vigas.

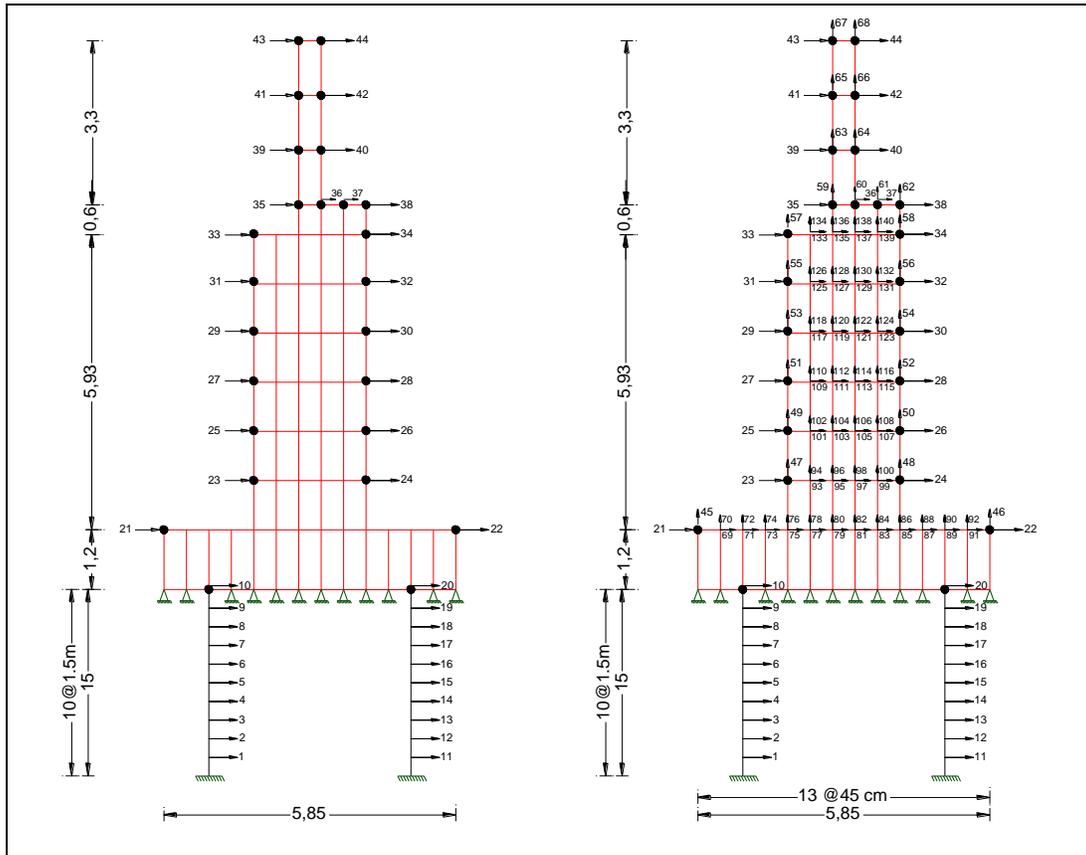


**Figura 3.34:** Modelo total para análisis sísmico

### 3.2- Matrices de rigidez masas y amortiguamiento.

Se describe el proceso para obtener las matrices de rigidez, masas y amortiguamiento, teniendo en cuenta que se ha determinado ya, los modelos a usar, en primer lugar se numera los grados de libertad de los elementos finitos, la numeración usada es la propuesta por Aguiar (2004) en el libro “Análisis Matricial de Estructuras”, los cuales se muestran en la figura 3.35 en la que se aprecia la numeración de los grados de libertad, para los estribos Pichincha y Quiroga. Se usó para los elementos lineales que en este caso representan a los pilotes tres grados de libertad por nudo, mientras que para los elementos finitos rectangulares que componen el estribo se consideran 2 grados de libertad por nudo, se destaca que se obtiene por separado las matrices de rigidez para los pilotes y el estribo, se observa que el estribo se apoya únicamente en dos puntos en los pilotes los otros puntos en los que el estribo hace contacto directamente con el suelo, por esta razón se concentra las

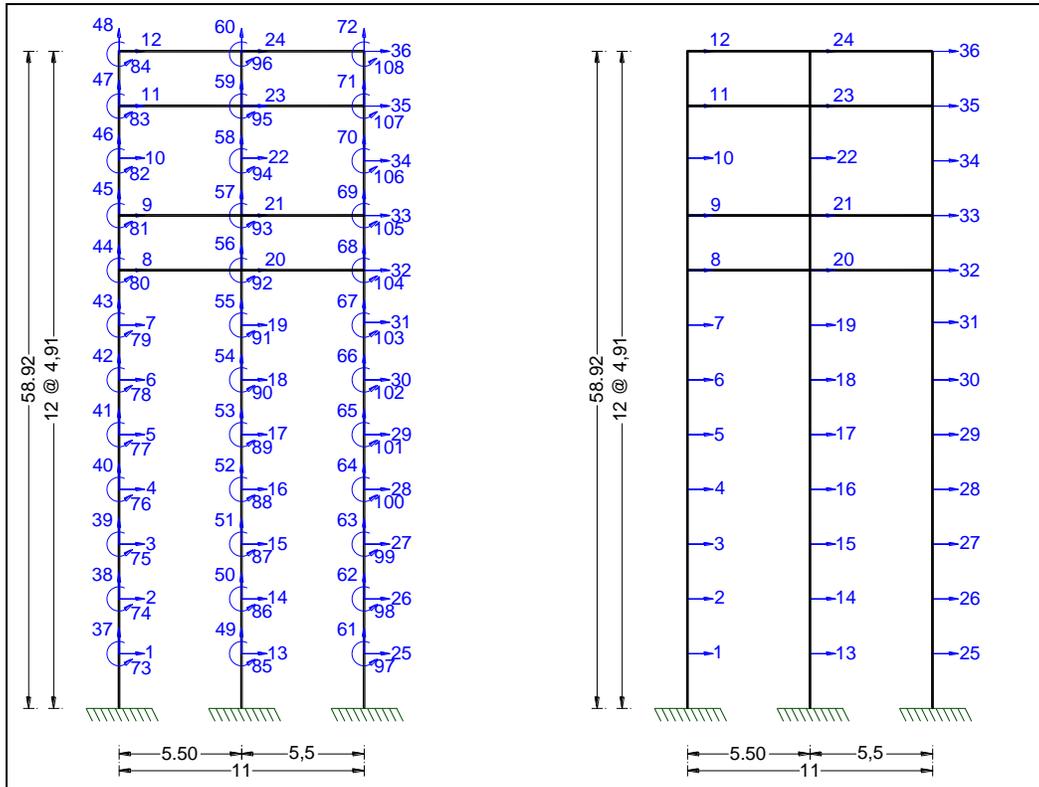
masas en los puntos indicados, en la figura se observan los puntos del estribo en los que se concentraran las masas, incluyendo el punto donde se ubicara el neopreno, por considerarlo necesario para el modelo.



**Figura 3.35:** Modelo numérico de análisis estribo Izquierdo

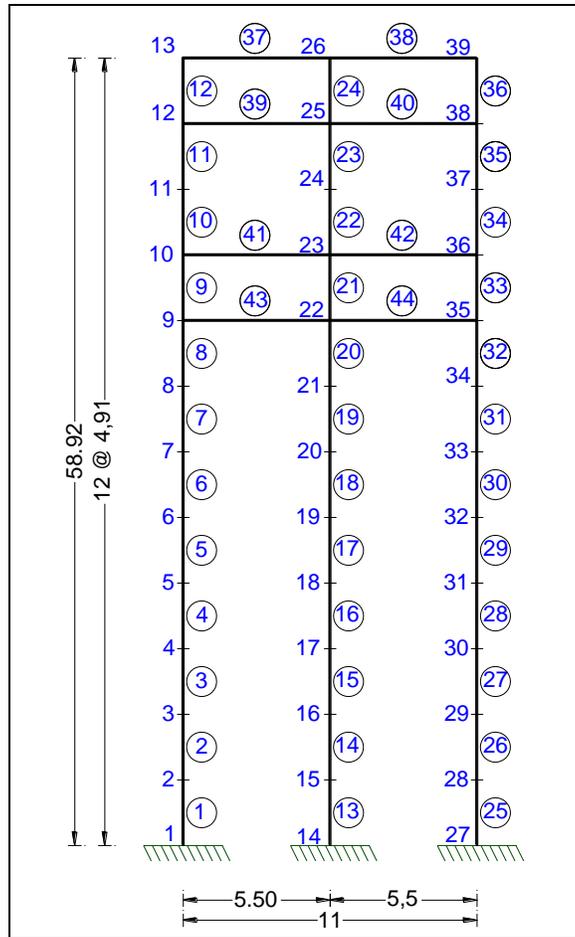
Se numera los grados de libertad de los apoyos centrales con el mismo criterio de los pilotes del estribo Aguiar (2004), al igual que en el estribo se presenta una grafica con todos los grados de libertad por nudo y una grafica en la que se muestran los grados de libertad en los que se concentran las masas, además es necesaria la numeración de los elementos y de cada nudo, pues al momento de ingresar los datos en los respectivos programas nos ayuda a identificar los desplazamientos en los puntos de interés en los resultados, la numeración en los pilotes se inicia numerando el corrimiento horizontal por

nudo empezando por el pilote de la izquierda y de abajo hacia arriba, por lo que el último grado de libertad estará siempre en la parte superior del pilote de la derecha, en la figura 3.36 se muestra el modelo numérico en el que se realizará el análisis sísmico de los apoyos centrales.



**Figura 3.36:** Modelo numérico de análisis apoyo central

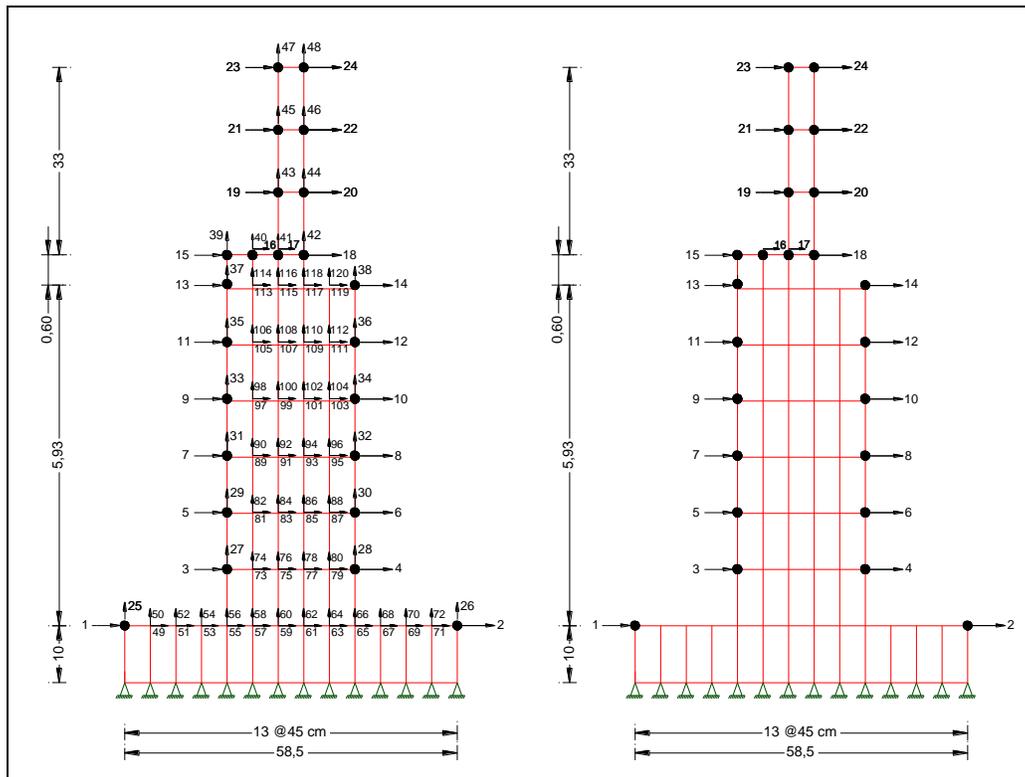
En la figura 3.36 se muestra la numeración de los elementos y los nudos del poyo central, al ser iguales los dos apoyos se indica un solo modelo de análisis en el que se indica que el pilote ha sido dividido en doce elementos finitos, de forma que se cubre la altura de 58.92m totales.



**Figura 3.37:** Numeración de los elementos y nudos del apoyo central

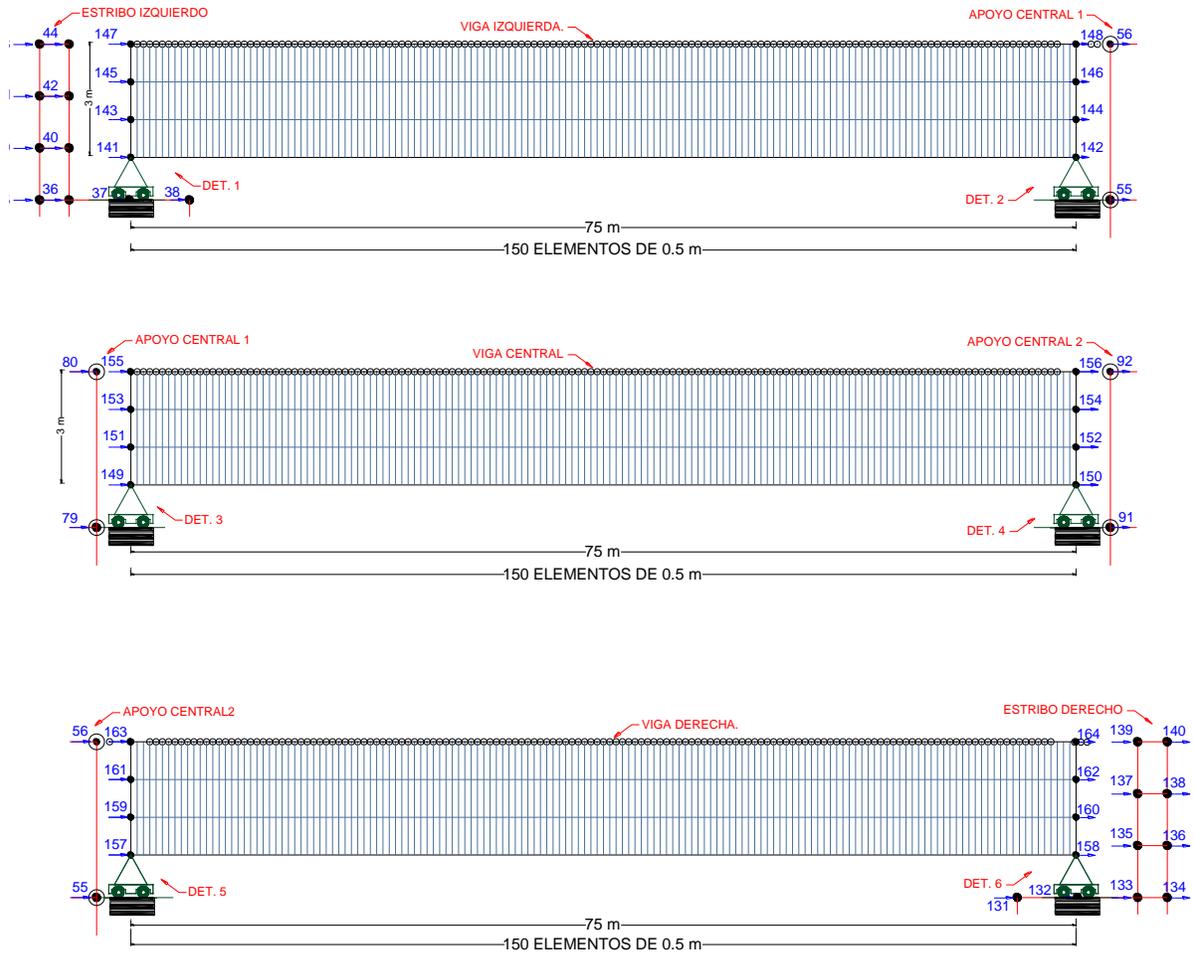
La numeración de los elementos del estribo derecho del puente carrizal se la realiza con el mismo criterio que el estribo izquierdo Aguiar (2004), para el caso de los estribos se numera desde el nudo superior del elemento finito rectangular inferior izquierdo para luego al nudo superior del elemento finito longitudinal derecho de esta manera de abajo hacia arriba, una vez numerados las coordenadas principales se numera de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba los dos grados de libertad por nudo en los elementos finitos rectangulares faltantes del estribo, esta numeración se la realiza con el fin de que las coordenadas principales se ubiquen en los puntos donde se concentraran las masas, a pesar de que los elementos finitos son iguales para los dos estribos, las coordenadas de los nudos

son diferentes puesto que el estribo izquierdo empieza su numeración desde los nudos de los pilotes, en la figura 3.38 se muestra el modelo numérico empleado para el análisis del estribo derecho descrito previamente.



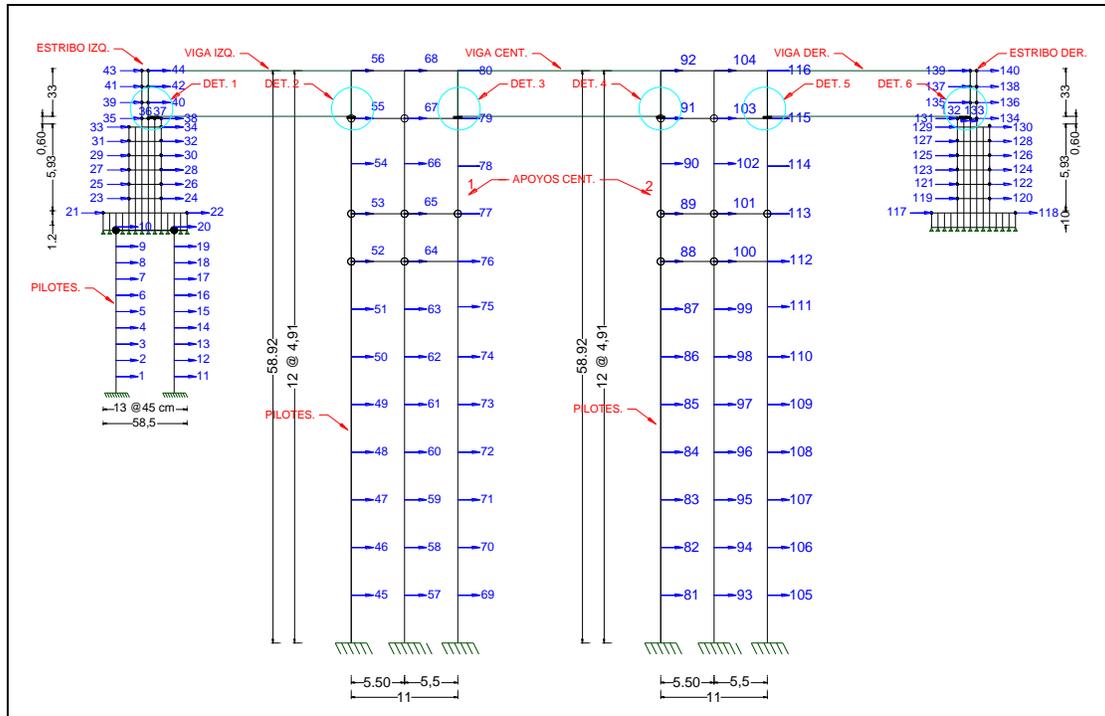
**Figura 3.38:** Modelo numérico del estribo derecho.

Debido a que las vigas se las ha dividido en elementos finitos rectangulares estas se enumeran de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, en primer lugar se numera de la forma indicada los puntos en los que se concentran las masas, en los puntos en los que se apoya la viga se tiene únicamente un grado de libertad por nudo, recordando que en elementos finitos rectangulares se está usando dos grados de libertad por nudo, pero, en el punto de apoyo se restringe el desplazamiento vertical, por lo que en estos puntos solo se observa el corrimiento horizontal.



**Figura 3.39:** Coordenadas principales del modelo de análisis sísmico longitudinal.

En la figura 3,39 se muestran las vigas que componen los tres tramos del puente, en la mencionada figura se indican las coordenadas principales del modelo sísmico longitudinal completo, es por esta razón que el número que corresponde al nudo inicial de la viga central es el siguiente número correspondiente al nudo final de la viga izquierda, inicial para este caso, se indica además en la figura, los apoyos de neopreno que se colocan bajo las vigas, destacando que en este punto se tiene un apoyo móvil.



**Figura 3.40:** Coordenadas principales del modelo de análisis sísmico longitudinal.

En las vigas se observa en la descripción previamente realizada que existen espesores diferentes de las vigas I metálicas, en el programa que se realiza para el análisis sísmico se ingresa datos como áreas de secciones e inercias, por lo que se presenta en las tablas los cálculos necesarios, para los seis diferentes cortes existentes en las vigas mostrados en la figura 3.9 de la página 43.

**Tabla 3.13:** Xcg y Ycg del corte 1 de las vigas I metálicas.

Calculo del Xcg y Ycg de las Vigas "I" Longitudinales Puentes Carrizal (Corte 1)								
Elemento	Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y
Ala sup	1	50.00	2.50	125.00	30.00	291.75	3750.00	36468.75
Alma	2	1.00	288.00	288.00	30.00	146.50	8640.00	42192.00
Ala inf	3	60.00	2.50	150.00	30.00	1.25	4500.00	187.50
		Sumatoria		563.00			16890.00	78848.25
		Xcg	30.00					
		Ycg	140.05					

**Tabla 3.14: Cálculo de la altura equivalente para el corte 1.**

Calculo de la Inercia con respecto al Cg											
Elemento	Fig	b	h	A=b*xh	I=bh <sup>3</sup> /12	lx	ly	d	Axd <sup>2</sup>	lx+Ad <sup>2</sup>	ly+Ad <sup>2</sup>
Ala sup	1	50.00	2.50	125.00	65.10	65.10	26041.67	151.70	2876611.25	2876676.35	2902652.92
Alma	2	1.00	288.00	288.00	1990656.00	1990656.00	24.00	6.45	11981.52	2002637.52	12005.52
Ala inf	3	60.00	2.50	150.00	78.13	78.13	45000.00	-138.80	2889816.00	2889894.13	2934816.00
		Sumatoria		563.00						7769208.00	5849474.44
		lxcg	7769208.00								
		lycg	5849474.44								
Calculo del "h" Equivalente											
		lxcg	h	h equivalente							
		7769208.00	293.00	3.71							

**Tabla 3.15: Xcg y Ycg del corte 2 de las vigas I metálicas.**

Calculo del Xcg y Ycg de las Vigas "I" Longitudinales Puente Carrizal (Corte 2)									
Elemento	Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y	
Ala sup	1	40.00	2.50	100.00	22.50	291.75	2250.00	29175.00	
Alma	2	1.00	288.00	288.00	22.50	146.50	6480.00	42192.00	
Ala inf	3	45.00	2.50	112.50	22.50	1.25	2531.25	140.63	
		Sumatoria		500.50			11261.25	71507.63	
		Xcg	22.50						
		Ycg	142.87						

**Tabla 3.16: Cálculo de la altura equivalente para el corte 2.**

Calculo de la Inercia con respecto al Cg											
Elemento	Fig	b	h	A=b*xh	I=bh <sup>3</sup> /12	lx	ly	d	Axd <sup>2</sup>	lx+Ad <sup>2</sup>	ly+Ad <sup>2</sup>
Ala sup	1	40.00	2.50	100.00	52.08	52.08	13333.33	148.88	2216465.89	2216517.97	2229799.22
Alma	2	1.00	288.00	288.00	1990656.00	1990656.00	24.00	3.63	3790.77	1994446.77	3814.77
Ala inf	3	45.00	2.50	112.50	58.59	58.59	18984.38	-141.62	2256388.97	2256447.57	2275373.35
		Sumatoria		500.50						6467412.31	4508987.34
		lxcg	6467412.31								
		lycg	4508987.34								
Calculo del "h" Equivalente											
		lxcg	h	h equivalente							
		6467412.31	293.00	3.09							

**Tabla 3.17: Xcg y Ycg del corte 3 de las vigas I metálicas.**

Calculo del Xcg y Ycg de las Vigas "I" Longitudinales Puente Carrizal (Corte 3)									
Elemento	Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y	
Ala sup	1	45.00	2.50	112.50	30.00	291.75	3375.00	32821.88	
Alma	2	1.00	288.00	288.00	30.00	146.50	8640.00	42192.00	
Ala inf	3	60.00	2.50	150.00	30.00	1.25	4500.00	187.50	
		Sumatoria		550.50			16515.00	75201.38	
		Xcg	30.00						
		Ycg	136.61						

**Tabla 3.18: Cálculo de la altura equivalente para el corte 3.**

Calculo de la Inercia con respecto al Cg											
Elemento	Fig	b	h	A=b*xh	I=bh <sup>3</sup> /12	lx	ly	d	Axd <sup>2</sup>	lx+Ad <sup>2</sup>	ly+Ad <sup>2</sup>
Ala sup	1	45.00	2.50	112.50	58.59	58.59	18984.38	155.14	2707836.83	2707895.43	2726821.21
Alma	2	1.00	288.00	288.00	1990656.00	1990656.00	24.00	9.89	28192.68	2018848.68	28216.68
Ala inf	3	60.00	2.50	150.00	78.13	78.13	45000.00	-135.36	2748187.01	2748265.14	2793187.01
		Sumatoria		550.50						7475009.24	5548224.89
		lxcg	7475009.24								
		lycg	5548224.89								
Calculo del "h" Equivalente											
		lxcg	h	h equivalente							
		7475009.24	293.00	3.57							

**Tabla 3.19:** Xcg y Ycg del corte 4 de las vigas I metálicas.

Calculo del Xcg y Ycg de las Vigas "I" Longitudinales Punte Carrizal (Corte 4)								
Elemento	Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y
Ala sup	1	50.00	3.00	150.00	35.00	292.50	5250.00	43875.00
Alma	2	1.00	288.00	288.00	35.00	147.00	10080.00	42336.00
Ala inf	3	70.00	3.00	210.00	35.00	1.50	7350.00	315.00
		Sumatoria		648.00			22680.00	86526.00
			Xcg	35.00				
			Ycg	133.53				

**Tabla 3.20:** Cálculo de la altura equivalente para el corte 4.

Calculo de la Inercia con respecto al Cg											
Elemento	Fig	b	h	A=bxh	$I=bh^3/12$	lx	ly	d	Axd <sup>2</sup>	lx+Ad <sup>2</sup>	ly+Ad <sup>2</sup>
Ala sup	1	50.00	3.00	150.00	112.50	112.50	31250.00	158.97	3790814.52	3790927.02	3822064.52
Alma	2	1.00	288.00	288.00	1990656.00	1990656.00	24.00	13.47	52270.50	2042926.50	52294.50
Ala inf	3	70.00	3.00	210.00	157.50	157.50	85750.00	-132.03	3660592.49	3660749.99	3746342.49
		Sumatoria		648.00						9494603.50	7620701.50
		xcg	9494603.50								
		ycg	7620701.50								
Calculo del "B" Equivalente											
		xcg	h	h equivalente							
		9494603.50	294.00	4.48							

**Tabla 3.21:** Xcg y Ycg del corte 5 de las vigas I metálicas.

Calculo del Xcg y Ycg de las Vigas "I" Longitudinales Punte Carrizal (Corte 5)								
Elemento	Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y
Ala sup	1	60.00	3.00	180.00	35.00	292.50	6300.00	52650.00
Alma	2	1.00	288.00	288.00	35.00	147.00	10080.00	42336.00
Ala inf	3	70.00	3.00	210.00	35.00	1.50	7350.00	315.00
		Sumatoria		678.00			23730.00	95301.00
			Xcg	35.00				
			Ycg	140.56				

**Tabla 3.22:** Cálculo de la altura equivalente para el corte 5.

Calculo de la Inercia con respecto al Cg											
Elemento	Fig	b	h	A=bxh	$I=bh^3/12$	lx	ly	d	Axd <sup>2</sup>	lx+Ad <sup>2</sup>	ly+Ad <sup>2</sup>
Ala sup	1	60.00	3.00	180.00	135.00	135.00	54000.00	151.94	4155328.05	4155463.05	4209328.05
Alma	2	1.00	288.00	288.00	1990656.00	1990656.00	24.00	6.44	11936.98	2002592.98	11960.98
Ala inf	3	70.00	3.00	210.00	157.50	157.50	85750.00	-139.06	4061030.37	4061187.87	4146780.37
		Sumatoria		678.00						10219243.90	8368069.40
		xcg	10219243.90								
		ycg	8368069.40								
Calculo del "h" Equivalente											
		xcg	h	h equivalente							
		10219243.90	294.00	4.83							

**Tabla 3.23:** Xcg y Ycg del corte 6 de las vigas I metálicas.

Calculo del Xcg y Ycg de las Vigas "I" Longitudinales Punte Carrizal (Corte 6)								
Elemento	Fig	b	h	A	X	Y	A * X	A * Y
Ala sup	1	65.00	3.00	195.00	35.00	292.50	6825.00	57037.50
Alma	2	1.00	288.00	288.00	35.00	147.00	10080.00	42336.00
Ala inf	3	70.00	3.00	210.00	35.00	1.50	7350.00	315.00
		Sumatoria		693.00			24255.00	99688.50
			Xcg	35.00				
			Ycg	143.85				

**Tabla 3.24:** Cálculo de la altura equivalente para el corte 6.

Calculo de la Inercia con respecto al Cg											
Elemento	Fig	b	h	A=b*xh	I=bh <sup>3</sup> /12	lx	ly	d	Axd <sup>2</sup>	Ix+Ad <sup>2</sup>	Iy+Ad <sup>2</sup>
Ala sup	1	65.00	3.00	195.00	146.25	146.25	68656.25	148.65	4308822.41	4308968.66	4377478.66
Alma	2	1.00	288.00	288.00	1990656.00	1990656.00	24.00	3.15	2855.87	1993511.87	2879.87
Ala inf	3	70.00	3.00	210.00	157.50	157.50	85750.00	-142.35	4255399.51	4255557.01	4341149.51
		Sumatoria	294.00	693.00						10558037.54	8721508.04
		lxcg	10558037.54								
		lycg	8721508.04								
Calculo del "h" Equivalente											
		lxcg	h	h equivalente							
		10558037.54	294.00	4.99							

**Tabla 3.25:** Resumen del h equivalente en cada corte.

RESUMEN	
Hubicación	h equiv. en cm
CORTE 1	3.71
CORTE 2	3.09
CORTE 3	3.57
CORTE 4	4.48
CORTE 5	4.83
CORTE 6	4.99

Para el cálculo de la matriz de rigidez y para el análisis sísmico longitudinal se usa el programa CEINCI LAB el cual fue programado por el Dr. Aguiar, el mencionado programa consta en su librería con carpetas con aplicaciones para diferentes estructuras, entre estas se encuentra la carpeta de puentes, en el mencionado modulo se encuentra un conjunto de programas que funcionan como legos los cuales el diseñador debe organizar a fin de conseguir los resultados que este requiera, teniendo que escoger los programas, de acuerdo a cada caso particular y condición de diseño, con la ventaja, de que se conoce todo el proceso que se realiza para obtener las diferentes resultados según el caso lo cual permite un gran control del proceso de análisis, El objetivo es hallar la matriz de rigidez de masas y amortiguamiento de los estribos, apoyos y vigas, para lo cual primero definimos la matriz de coordenadas generalizadas, esta se la obtiene numerando primero los desplazamientos X, como se mostro en las figuras previas, en primer lugar se encuentra la matriz de coordenadas generalizadas, la cual muestra los desplazamientos de cada uno de los nudos

de acuerdo a la numeración cada uno de estos teniendo así para el nudo 1 (0 0 0) debido a la condición de empotramiento, para el caso de los pilotes, es en este punto es en el que se destaca la numeración de nudos y de elementos puesto que el algoritmo que calcula las coordenadas generalizadas de un grupo de pilotes con su viga cabezal, requiere como datos el número de elementos “ne” y el número de pilotes “np”, el programa mencionado arroja como resultados las coordenadas generalizadas, y el número de grados de libertad, posteriormente se identifica el nudo inicial y el nudo final de cada elemento, todos estos datos son necesarios puesto que con estos se calcula el vector de colocación, el vector de colocación contiene, los desplazamientos X, Y y los giros del nudo inicial y final de cada uno de los elementos finitos, la descripción previa de las dimensiones de los elementos finitos, nos ayudan a establecer las coordenadas X, Y de cada nudo, con las coordenadas de cada nudo se determina la longitud de cada elemento finito, el programa longitud parte de los programas de CEINCI LAB calcula, con los datos mencionados previamente, la longitud de cada elemento finito, el seno y el coseno, de forma tal que el programa identifica los elementos que son pilotes y los que son vigas, esto es un requisito previo a la asignación de secciones, puesto que para el caso de los pilotes, se debe asignar el diámetro de los mismos para este caso de 2m y de 1m según corresponda, de igual forma se clasifica las vigas tanto metálicas como las vigas de hormigón armado, y para cada tipo se ingresa en el programa las secciones respectivas, finalmente se calcula la matriz de rigidez de cada elemento que componen la estructura, se tiene de esta manera la matriz de rigidez de los pilotes, de las vigas de arriostamiento inferior, las vigas de arriostamiento superior y las vigas de hormigón, los datos previos para obtener la matriz de rigidez es el número de grados de libertad “ngl”, las secciones de los elementos, la longitud de los elementos, el seno, el coseno y los vectores de colocación así como el modulo de elasticidad, se ingresa

el modulo de elasticidad dependiendo del material que compone el elemento, para este caso de análisis para el hormigón y el acero, una vez que se calcula la matriz de rigidez de cada elemento, se suman las mismas y se condensan a los grados de libertad principales

**Tabla 3.26:** Listado de programas de CEINCI LAB para calcular la matriz de rigidez.

<i>Programa</i>	<i>Datos</i>	<i>Resultados</i>
cg_pi_ca	ne ; np	CG ; ngl
gn_pi_ca	ne ; np	NI ; NJ
vc_portico	NI ; NJ; CG	VC
glinea_pi_ca	ne ; np; Luz; H	X ; Y
longitud	NI ; NJ; X; Y	L; seno; coseno
vc_sep	ne ; np; VC	VCpilo; VCcabe; Lpilo; Lcabe; senopilo; senocabe; cosepilo; cosecabe;
"lazo D"	D = 2 m	ELEM (mediante un lazo se genera los diametros de cada elemento)
Krigidez_cir	ngl, ELEM, Lpilo, senopilo, cosepilo, VCpilo, E)	Matriz de rigidez de los pilotes (E= 2007980)
Krigidez	ngl, ELEM, Lcabe, senocabe, cosecabe, VCcabe, E)	Matriz de rigidez de las Vigas (E= 2007980)
Al sumar (Krigidez_cir+Krigidez) obtenemos como resultado KT que es la Ktotal de la estructura		

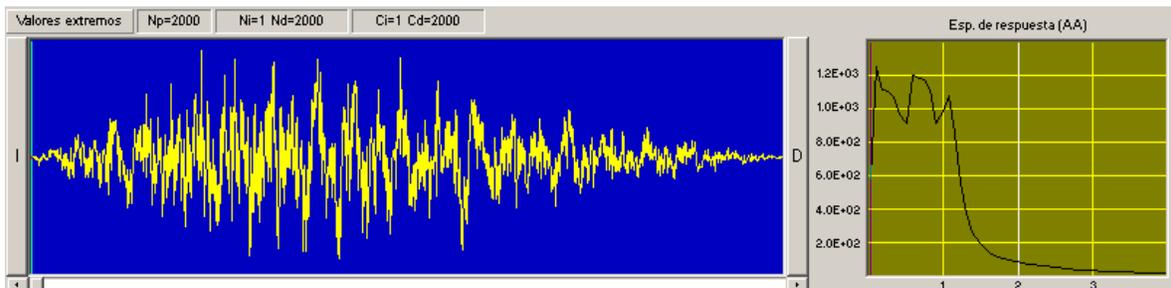
La matriz de masas se calcula de forma independiente para cada uno de los elementos de la estructura, los datos que se necesitan ya han sido calculados previamente por lo que se ejecuta directamente los programas Mmasa\_pi\_ca para calcular la matriz de masas de los pilotes, Mmasa para calcular la matriz de masas de las vigas de H.A. y Mmasa\_pi\_ca\_acero para el cálculo de la matriz de masas de las vigas metálicas.

Se calcula la matriz de masas total sin el muro de corte, por lo que se suma la matriz de masas de los pilotes, las vigas de H.A. y de las vigas de acero, una vez realizada la suma matricial se condensa a los grados de libertad principales.

Se calcula los periodos de vibración de la estructura mediante el programa orden\_eig, el cual usa como datos las matrices de rigidez y de masas previamente calculadas, una vez calculado el periodo T de vibración de la estructura, se ingresa el valor de zeda, y usando el programa amortiguamiento, se calcula la matriz de amortiguamiento de la estructura.

### 3.3- Sismo de análisis.

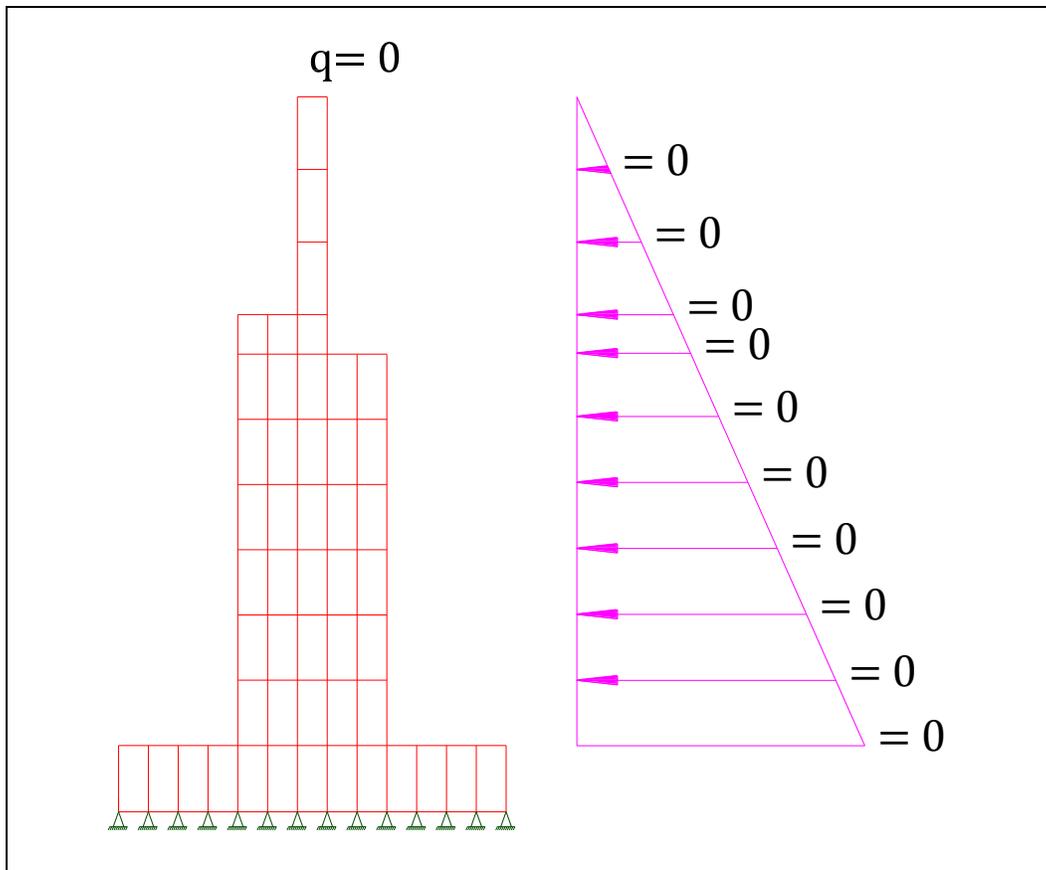
Se realiza el análisis sísmico longitudinal mediante un sismo de 20 s de duración, considerando la aceleración máxima del suelo de 0.4 g, el espectro de respuesta elástico que se muestra es para un valor de  $\xi=0.05$  el Acelerograma que se genera es compatible con el CEC 2000 y el código Ecuatoriano de la Construcción, para un perfil de suelo S3, en la figura 3.41 se muestra el Acelerograma utilizado y el espectro elástico.



**Figura 3.41:** Acelerograma utilizado y espectro elástico.

### 3.4- Análisis sísmico.

Para el análisis sísmico del modelo 1, no se considera el empuje del suelo, es decir se obtiene la respuesta en el tiempo para condiciones iniciales igual a cero, es decir para  $q = 0$ ,  $t = 0$ , lo que significa que para el tiempo igual a cero no existe desplazamientos, en la figura 3.42 se indican las condiciones inicial con las que se realiza el análisis sísmico para el modelo 1.



**Figura 3.42:** condiciones iniciales modelo 1.

Con el modelo indicado se presenta la historia de los desplazamientos en el tiempo, las unidades de desplazamiento se indican en cada una de las figuras.

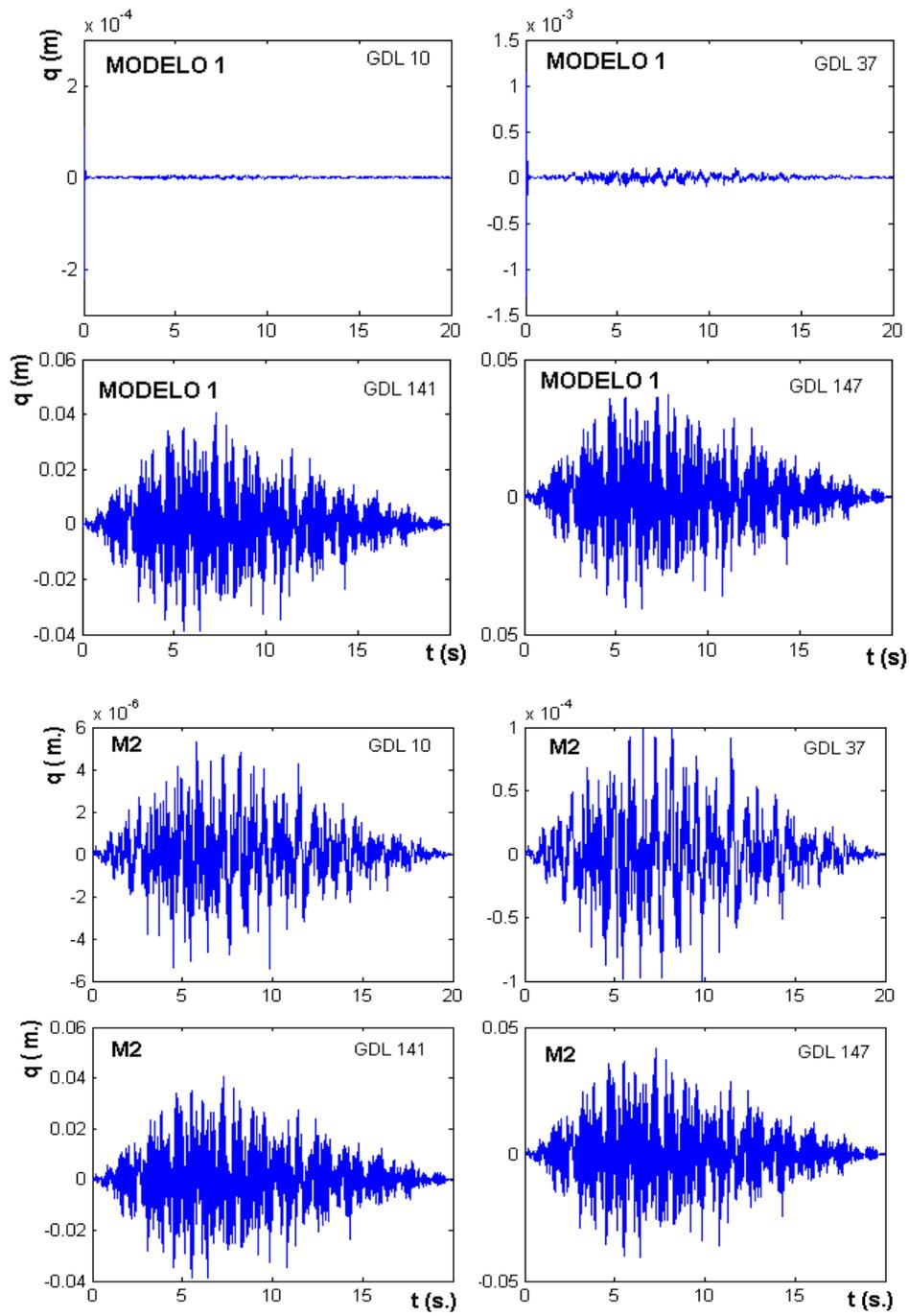
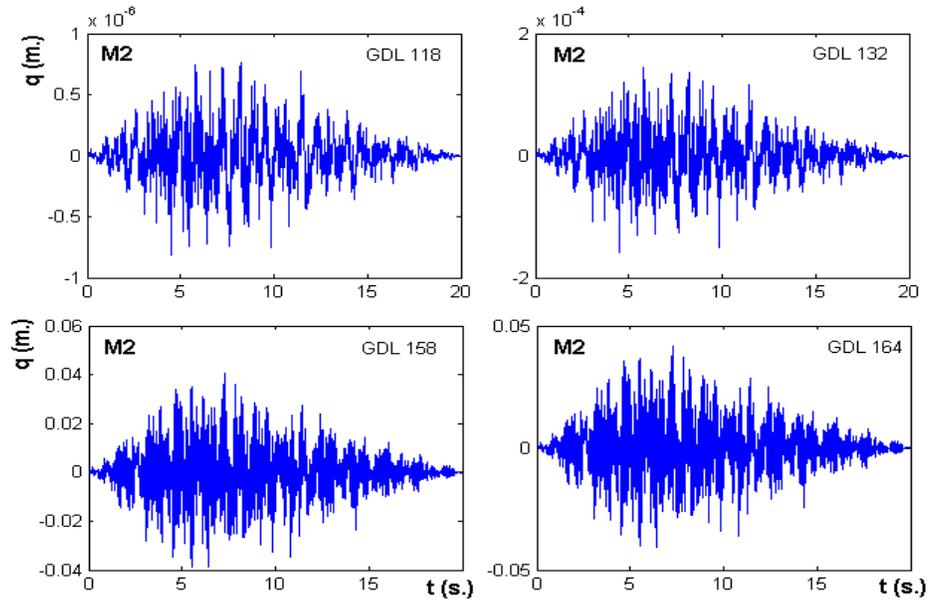
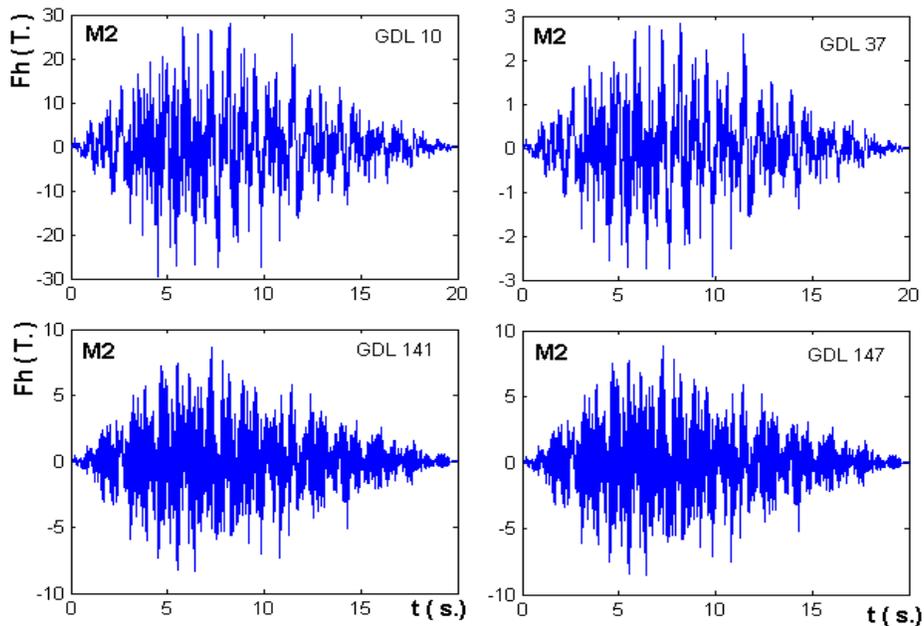


Figura 3.43: Desplazamiento estribo izquierdo modelo 2.



**Figura 3.44:** Desplazamiento estribo derecho modelo 2.

Las fuerzas halladas ante el sismo indicado se las indican en los siguientes grafica, 3.45 las fuerzas se muestran en toneladas y el tiempo en segundos.



**Figura 3.45:** Fuerzas estribo derecho modelo 2.

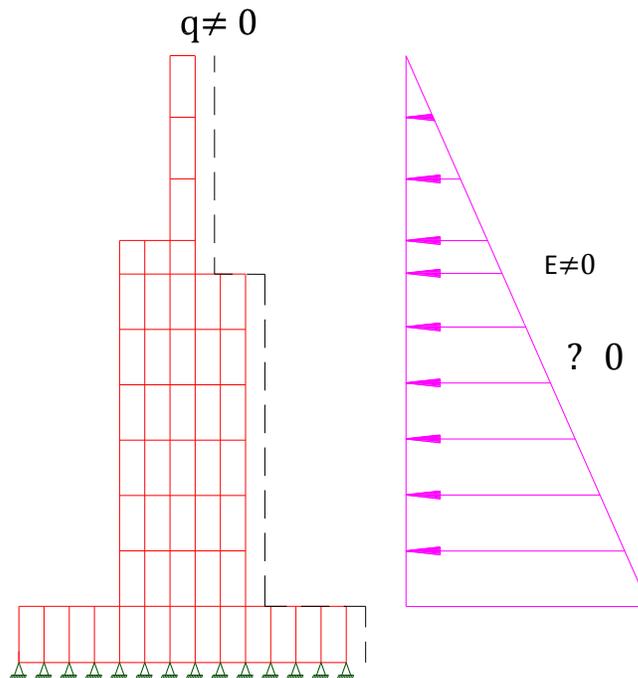
## CAPITULO IV

### ANALISIS SISMICO LONGITUDINAL DEL PUENTE CARRIZAL MODELO 2 (SE CONSIDERA EL EFECTO DEL SUELO)

---

#### 4.1 Descripción del modelo 2.

El modelo 2 de análisis considera el efecto del suelo en los estribos, lo cual quiere decir, que ante la presión del suelo, el estribo al tiempo  $t = 0$ , ha sufrido un desplazamiento inicial  $q \neq 0$ , como es lógico se espera mayores desplazamientos en la estructura que en el modelo 1, en la figura 3.26 se indica el modelo con las condiciones iniciales.



**Figura 4.1:** modelo 2 de análisis.

El empuje del suelo genera una presión en el estribo del puente igual al área del triángulo de presiones por el peso específico del suelo, esta fuerza se distribuye en los puntos en los

que se concentra las masas, el diagrama de distribución de presiones del suelo es el que se muestra en la figura, 4.2, en la que se aprecia los estribos Quiroga y Pichincha, sometidos al empuje del suelo, la formula con la que se calcula la fuerza ejercida por el suelo es:

$$F = k \frac{\gamma h^2}{2} b_s \quad (4.1)$$

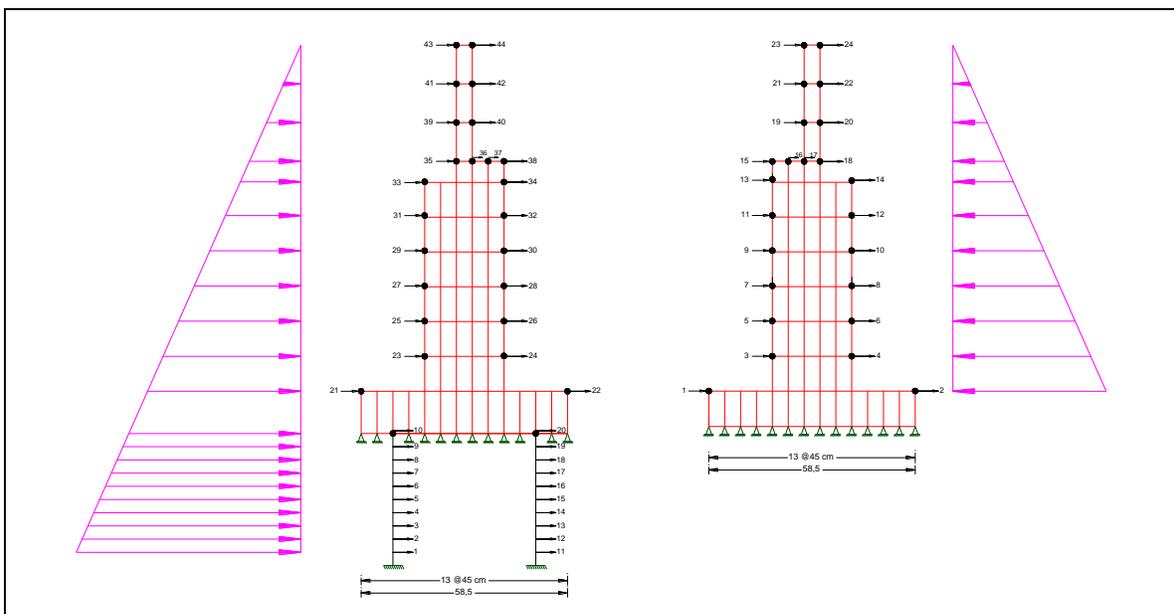
Donde:

$\gamma$  = peso específico del suelo.

$h$ = es la distancia desde el vértice superior del triangulo, al punto en el que se requiera la fuerza  $F$ .

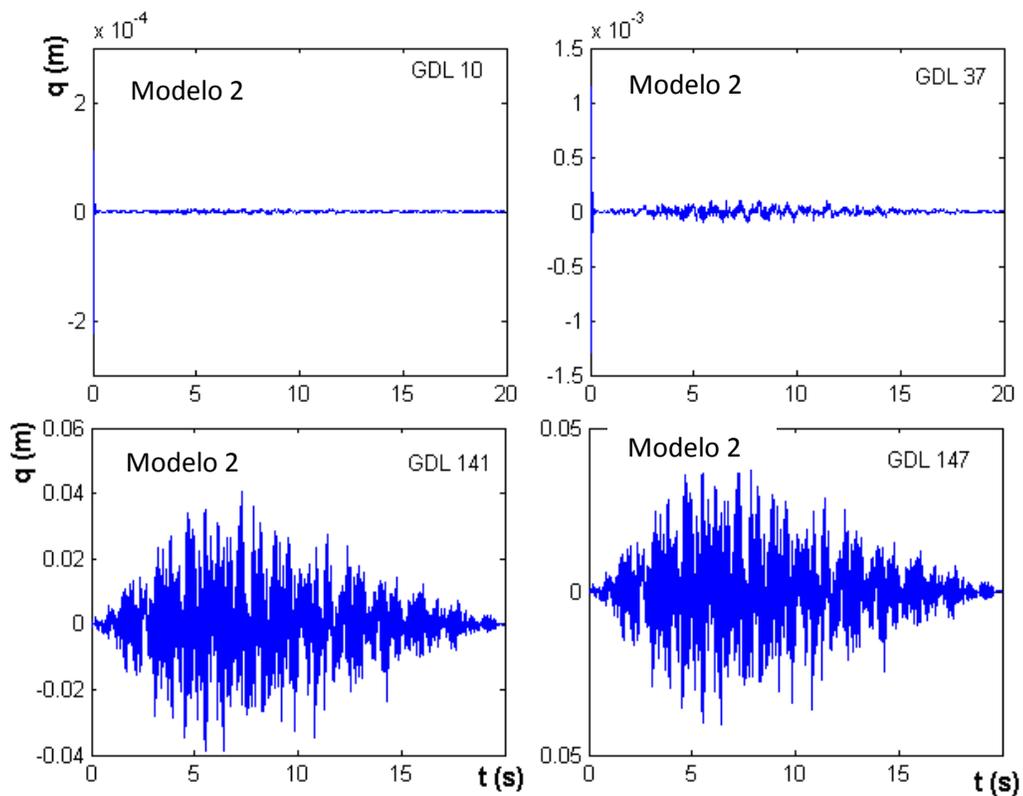
$b_s$  = es la base de suelo correspondiente al ancho de análisis, para el estudio se usa un valor  $b_s = 10$ .

$K$ = Factor que depende del tipo de suelo



**Figura 4.2:** Diagrama de distribución de presiones del suelo.

Se presentan los desplazamientos en los puntos donde se concentraron las masas, los mismos que están ubicados en puntos donde interesa conocer el comportamiento, como por ejemplo, en el punto que representa la ubicación del neopreno, en el punto superior de los pilotes, en la parte superior de la viga de acero, en los puntos de las vigas de arriostramiento de pilotes tanto superior como inferior, a diferencia de los estribos, los desplazamientos en los apoyos entre el primero y segundo modelo son muy similares, en las figuras siguientes se muestran los desplazamientos y las fuerzas halladas con el segundo modelo, ante el mismo acelerograma con el que se analizó el modelo uno es decir un acelerograma compatible con el Código Ecuatoriano de la Construcción.



**Figura 4.3:** Desplazamientos apoyo central modelo 2

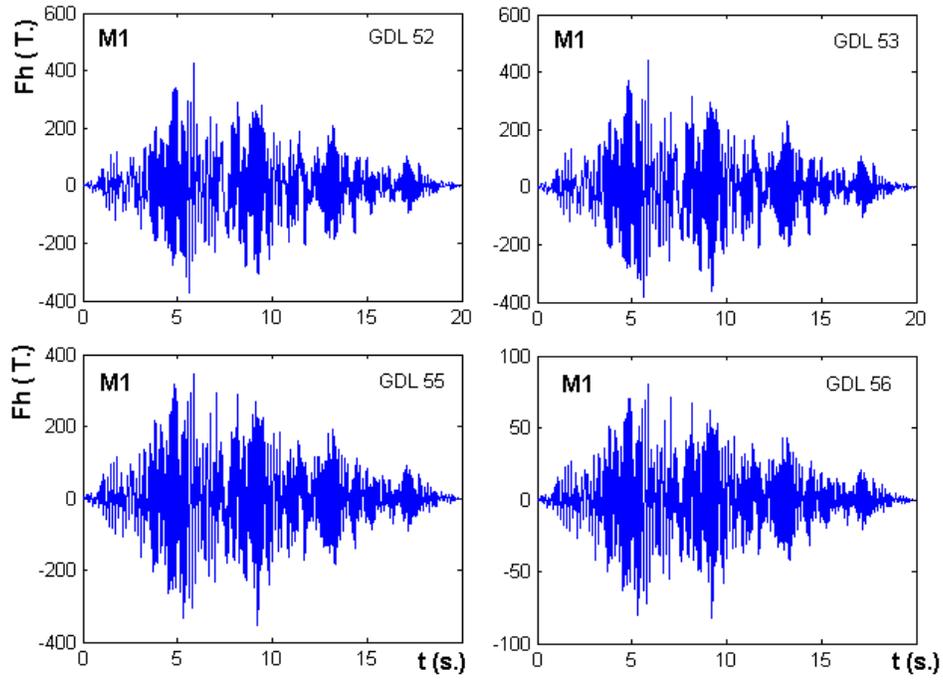


Figura 4.4: Fuerzas apoyo central modelo 2.

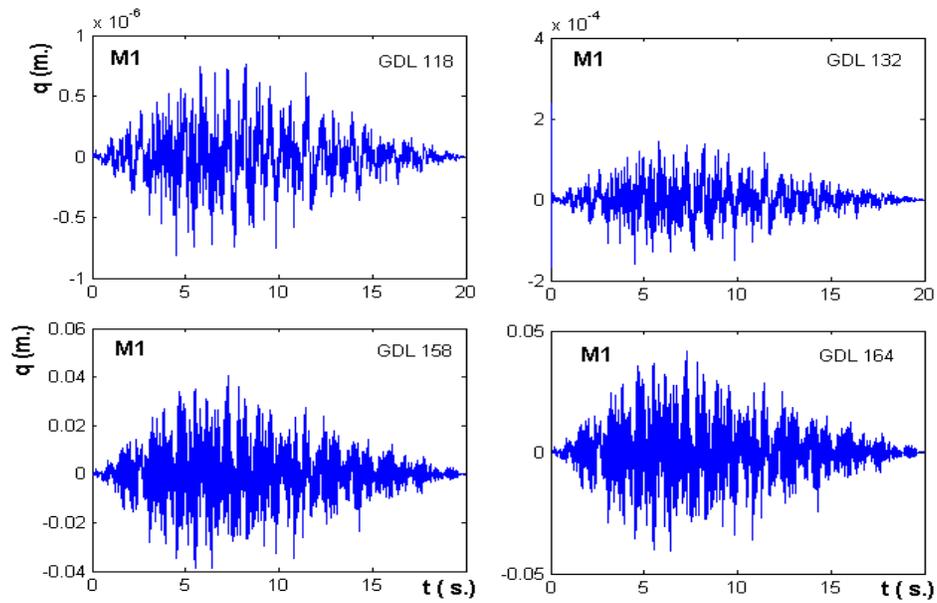
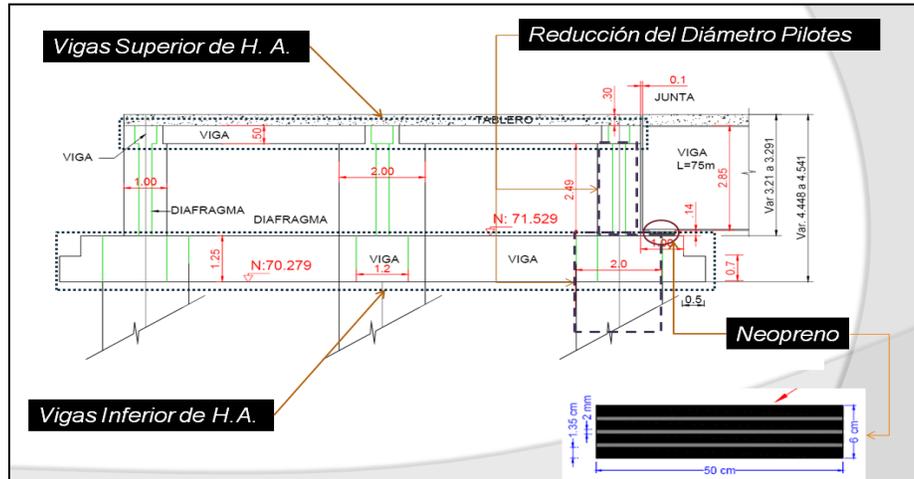


Figura 4.5: Desplazamientos estribo derecho modelo 2.

## **4.2 Descripción del trabajo del neopreno.**

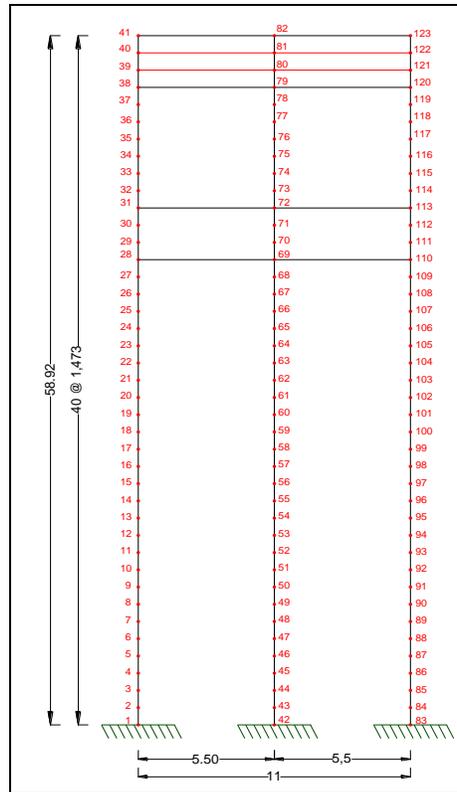
Se ha mencionado frecuentemente con anterioridad, que en los puntos de análisis en los que se halla la respuesta sísmica es en los puntos en los que se ubica el apoyo de neopreno, el análisis se lo realiza, sobre el apoyo de neopreno y bajo el apoyo de neopreno, se hace hincapié en esta diferencia puesto que los desplazamientos son diferentes, ya que la función que cumple el apoyo de neopreno es la de un aislador elastomérico, por lo que no se transmiten los desplazamientos de los apoyos a las vigas en su totalidad, siendo disipada parte de la energía sísmica por la goma, ya que esta absorbe eficientemente los movimientos laterales o longitudinales causados constantemente por cambios térmicos y con menos frecuencia de movimientos sísmicos, el neopreno se encuentra compuesto por diferentes capas, siendo la altura de total del neopreno de 6cm las capas que lo componen son cuatro capas de caucho de 1.35 cm de espesor y tres laminas de acero de 2mm, como se muestra en la figura 3.30, este elemento es vulcanizado por calor con prensas hidráulicas, se realiza el análisis sísmico considerando la existencia del neopreno, por lo que es de importancia, vigilar la correcta instalación del mismo, tomando las debidas precauciones, para que ante un evento sísmico estos se mantengan en su lugar y cumplan el trabajo requerido, puesto que la consecuencia en la estructura, por causa de la caída de estos, es desastrosa, como lo constato, en las observaciones realizadas en los daños estructurales sucedidos en las puentes afectados por el sismo de Chile, en concepción Aguiar (2010).



**Figura 4.6:** Detalle del neopreno y ubicación.

### 4.3 Análisis sísmico en el sentido longitudinal con el diseño original.

El diseño original del puente no contemplaba el muro de corte en los apoyos centrales, por lo que se realizó el análisis sísmico longitudinal con esta característica, el cambio de diámetro en los pilotes a partir de la viga cabezal de dos metros a 1m generaba un cambio brusco en las rigideces del apoyo, razón por la cual se decidió la colocación del muro de corte, se presenta el análisis en el sentido longitudinal del puente con el diseño original, el modelo numérico que representa al apoyo central sin el muro de corte es el que se presenta en la figura 4.7, se presenta además la numeración de los grados de libertad y de los elementos en el apoyo central.

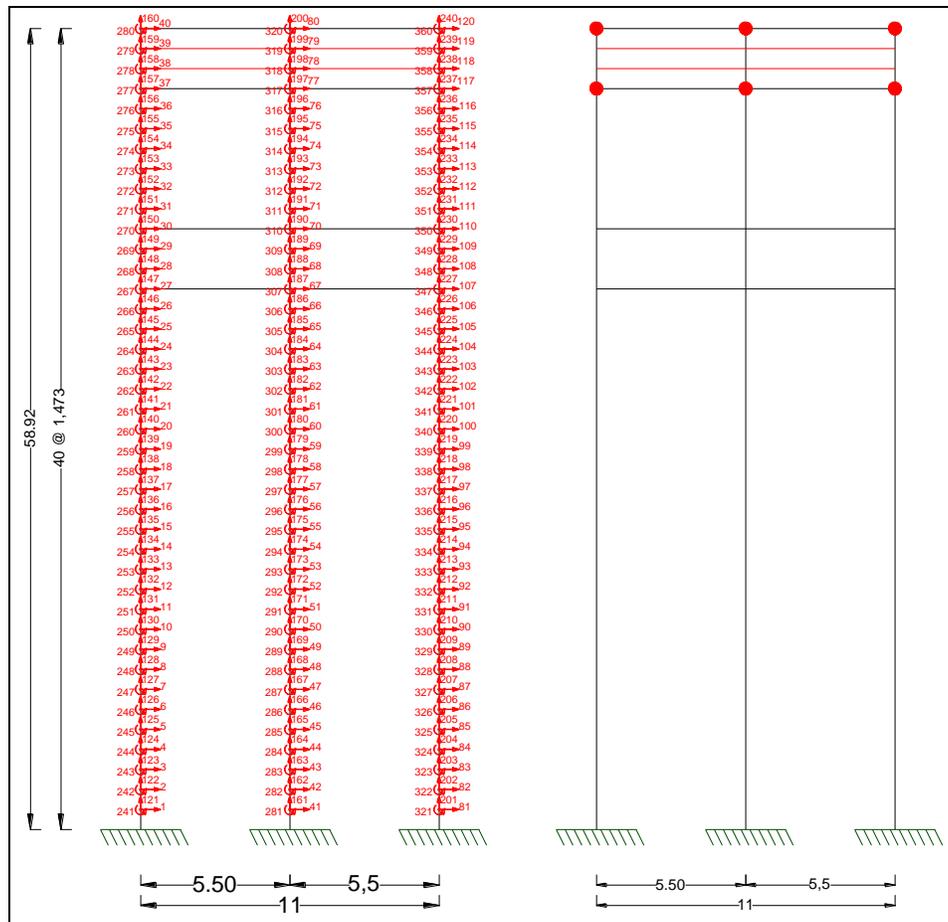


**Figura 4.7:** Modelo numérico del apoyo central.

En la siguiente tabla se muestran los pesos calculados que actúan sobre las vigas de acero considerados en el análisis sísmico, los pesos considerados son los pesos del tablero, la carpeta asfáltica, y de las protecciones, el cálculo se lo realiza para los 249.20m de longitud del puente.

**Tabla 4.1:** Pesos sobre vigas Puentes Carrizal.

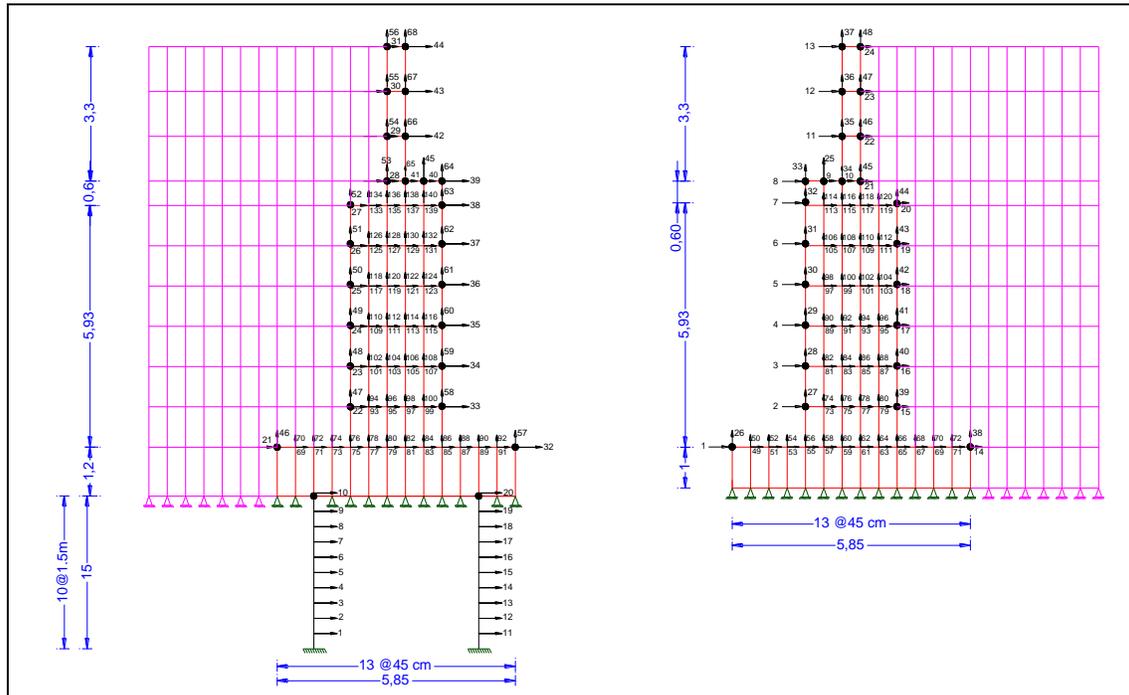
Calculos de los Pesos del Puentes Carrizal sobre las vigas de Acero						
Elemento	Long. (m)	ancho (m)	altura (m)	volumen (m)	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	P (Ton)
Tablero	249.20	10.80	0.30	807.41	2.40	1937.7792
Carpeta Asf.	249.20	10.80	0.05	134.57	2.20	296.0496
Proteccion	249.20	10.80		2691.36	0.05	134.568
					Sumatoria	2368.3968
					T/ml	<b>9.504</b>



**Figura 4.8:** Coordenadas totales y masas concentrada en apoyo central.

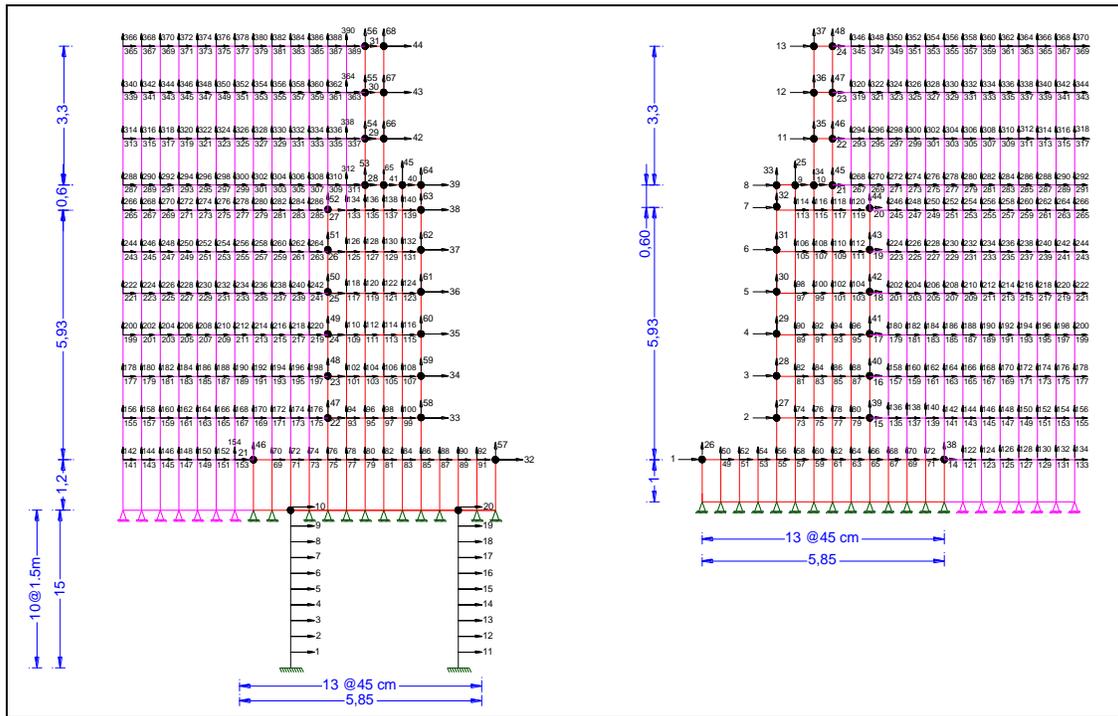
Se ha realizado el análisis sísmico de los elementos estructurales del puente concentrando las cargas del suelo en puntos específicos de los estribos y en los grados de libertad horizontales, así para el estribo izquierdo se tiene la concentración de cargas en los grados de libertad, desde el número 21 al grado de libertad 44, y para el estribo derecho desde el grado de libertad 1 al grado de libertad 24, el neopreno se coloca en el grado de libertad 40 y en el 9 respectivamente en cada estribo se presenta los modelos tratando al suelo con elementos finitos rectangulares, para esto se considera un ancho del suelo a lado de los estribos se divide los mismos siguiendo la geometría de los elementos finitos de los

estribos, el ancho en la base del modelo tiene una longitud de 3.15m y la altura es de 11.03m,



**Figura 4.9:** Elementos finitos rectangulares del suelo en estribos.

Como se indico previamente el análisis sísmico se lo realiza con CEINCI LAB por lo que se realiza una descripción de los algoritmos usados los datos que cada uno necesita además del proceso que estos realizan para conseguir análisis sísmico del apoyo central, se presenta previamente el modelo numérico del suelo en el que se encuentran numerados los elementos finitos rectangulares del suelo de los estribos izquierdo y derecho, la numeración se la realiza de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, una vez establecido el modelo que representa de la manera más aproximada a la estructura se realiza el análisis sísmico.



**Figura 4.10:** Numeración de elementos finitos rectangulares del suelo en estribos.

Se calcula el número de grados de libertad y las coordenadas generalizadas mediante el programa `cg_pi_ca`, el cual para este fin requiere como datos el número de elementos “ne”, en el que se divide el pilote y el número de pilotes “np”.

Se identifica el nudo inicial y final (NI, NJ) de cada elemento, con el programa `gn_pi_ca`, el cual usa el “ne” y el “np”, ingresados previamente, se debe tener en cuenta que el programa genera el nudo inicial y final de un pórtico es decir de los pilotes y de la viga cabezal, razón por la cual se debe ingresar el nudo inicial y final de los elementos restantes de forma manual es decir de las otras vigas de arriostramiento.

Se genera el vector de colocación “VC”, usando el programa `vc_portico`, este programa requerirá como datos el (NI, NJ) calculados previamente.

Para calcular las coordenadas X, Y de cada nudo del modelo se usa el programa `glinea_pi_ca`, el mencionado programa usa como datos la altura total de los pilotes “H”, y la luz entre pilotes “Luz”, además de “ne” y “np”.

Se necesita también conocer la longitud de los elementos y si estos son horizontales o verticales es decir si son columnas o vigas mediante las funciones seno y coseno para este efecto se usa el programa `longitud`, el cual calcula la longitud seno y coseno de cada elemento, con lo cual se puede clasificar los pilotes de las vigas, para de esta manera calcular matrices de rigidez separadas para pilotes, vigas y el muro de corte por separado.

Debido a que las características de los pilotes y las vigas son diferentes es necesario separar los elementos pilotes de los elementos vigas al igual que el vector de colocación, longitud senos y cosenos, además en el conjunto de vigas se encuentran diferencias por lo que se debe clasificar las vigas metálicas y las de hormigón armado, este procedimiento se lo realiza puesto que se calculará la matriz de rigidez por separado para los pilotes las vigas de hormigón las vigas metálicas y el muro de corte.

La matriz de rigidez de los pilotes se calcula mediante el programa `krigidez_cir`, el cual calcula la matriz de rigidez de la estructura sin considerar el efecto del suelo, previamente al uso de este programa se debe ingresar el diámetro de los pilotes, en una variable que para este caso se la ha llamado `ELEM`, puesto que para este caso el diámetro de los pilotes varía de 2m a 1m se ingresa manualmente el diámetro de los elementos correspondientes a esta variación, se ingresa también el módulo de elasticidad, todos los datos adicionales que necesita este programa, ya han sido calculados previamente.

Para calcular la matriz de rigidez de las vigas de hormigón armado, de forma similar a los pilotes se debe ingresar en primer lugar las secciones de las vigas, el modulo de elasticidad, para luego usando el programa krigidez obtener la matriz de rigidez de las vigas de hormigón armado.

Para el caso de las vigas de acero, en la variable que almacena las secciones de los elementos se ingresara las áreas e inercias de las diferentes vigas, puesto que las secciones de las vigas de acero son tipo “I”, el programa que calcula la matriz de rigidez de las vigas de acero con los datos previamente ingresados se llama krigidez\_acero.

La matriz de rigidez del muro de corte, se la calcula con el programa rigidez\_estructura\_ef, como se puede observar en los pasos previos los vectores de colocación, las coordenadas X, Y corresponden únicamente a los pilotes y a las vigas, puestos que estos están compuestos por elementos finitos lineales, para el caso del muro de corte se usa elementos finitos rectangulares, por lo que se ingresa el vector de colocación y las coordenadas en X y en Y así como el modulo de elasticidad del muro de corte.

Finalmente la matriz de rigidez total de la estructura, se la obtiene sumando la matriz de rigidez de los pilotes más la matriz de rigidez de las vigas de H.A. más la matriz de rigidez de las vigas metálicas, más la matriz de rigidez del muro de corte, una vez sumadas las matrices condesamos las mismas a los grados de libertad principales.

La matriz de masas se calcula de forma independiente para cada uno de los elementos de la estructura, los datos que se necesitan ya han sido calculados previamente por lo que se ejecuta directamente los programas Mmasa\_pi\_ca para

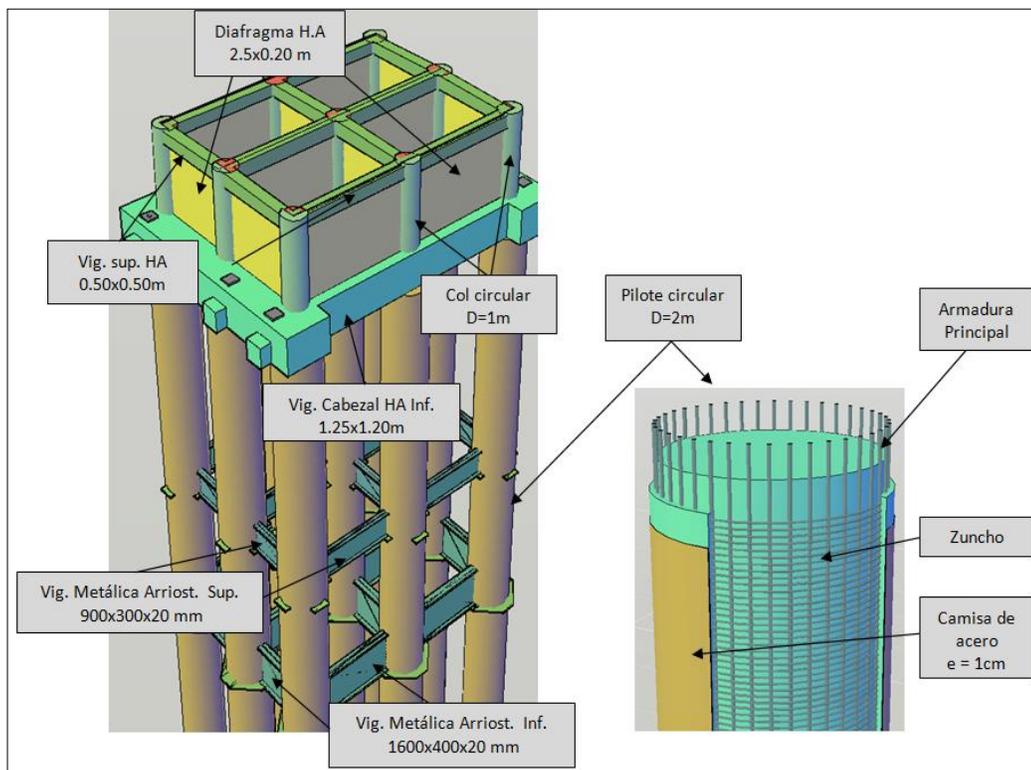
calcular la matriz de masas de los pilotes,  $M_{masa}$  para calcular la matriz de masas de las vigas de H.A. y  $M_{masa\_pi\_ca\_acero}$  para el cálculo de la matriz de masas de las vigas metálicas, se calcula la matriz de masas total sin el muro de corte, por lo que se suma la matriz de masas de los pilotes, las vigas de H.A. y de las vigas de acero, una vez realizada la suma matricial se condensa a los grados de libertad principales, para completar la matriz de masas de la estructura se calcula la matriz de masas del muro de corte, ingresando la longitud en el sentido X, y en el sentido Y, se ingresa el número de masas puntuales en que se concentra la masa del muro de corte, se ingresa el espesor, con los datos ingresados se calcula la masa de cada elemento finito del muro, finalmente se concentra las masas en la ubicación que corresponda según las coordenadas principales, obteniendo así la matriz de masas con el muro de corte, se calcula los periodos de vibración de la estructura mediante el programa `orden_eig`, el cual usa como datos las matrices de rigidez y de masas previamente calculadas, una vez calculado el periodo T de vibración de la estructura, se ingresa el valor de zeda, y usando el programa `amortiguamiento`, se calcula la matriz de amortiguamiento de la estructura, en este punto se debe ingresar la influencia del suelo en los pilotes, por lo que se debe ingresar las propiedades del suelo en una matriz que contiene, nudos fuerzas “Nudo, FH, FV, M, dhy, dhy,dtay, dhu, dhu, dtetu”, y las alturas de cada una de las diferentes capas que compongan la estratigrafía del suelo, una vez que se han ingresado las propiedades del suelo se genera la rigidez de los resortes de los otros pilotes con el programa `genera_resortes`, el cual requerirá como datos, las propiedades del suelo, el número de elementos “ne” y el número de pilotes “np”, los periodos principales de la estructura obtenidos sin considerar muro de corte se presentan en la tabla 4.2

**Tabla 4.2:** Periodos de vibración principales sin muro de corte.

PERIODOS DE VIBRACION PRINCIPALES							
Modelo	Modo	1	2	3	4	5	6
Sin muro	Período (s)	0.2181	0.4191	0.3487	0.3386	0.1954	0.1262

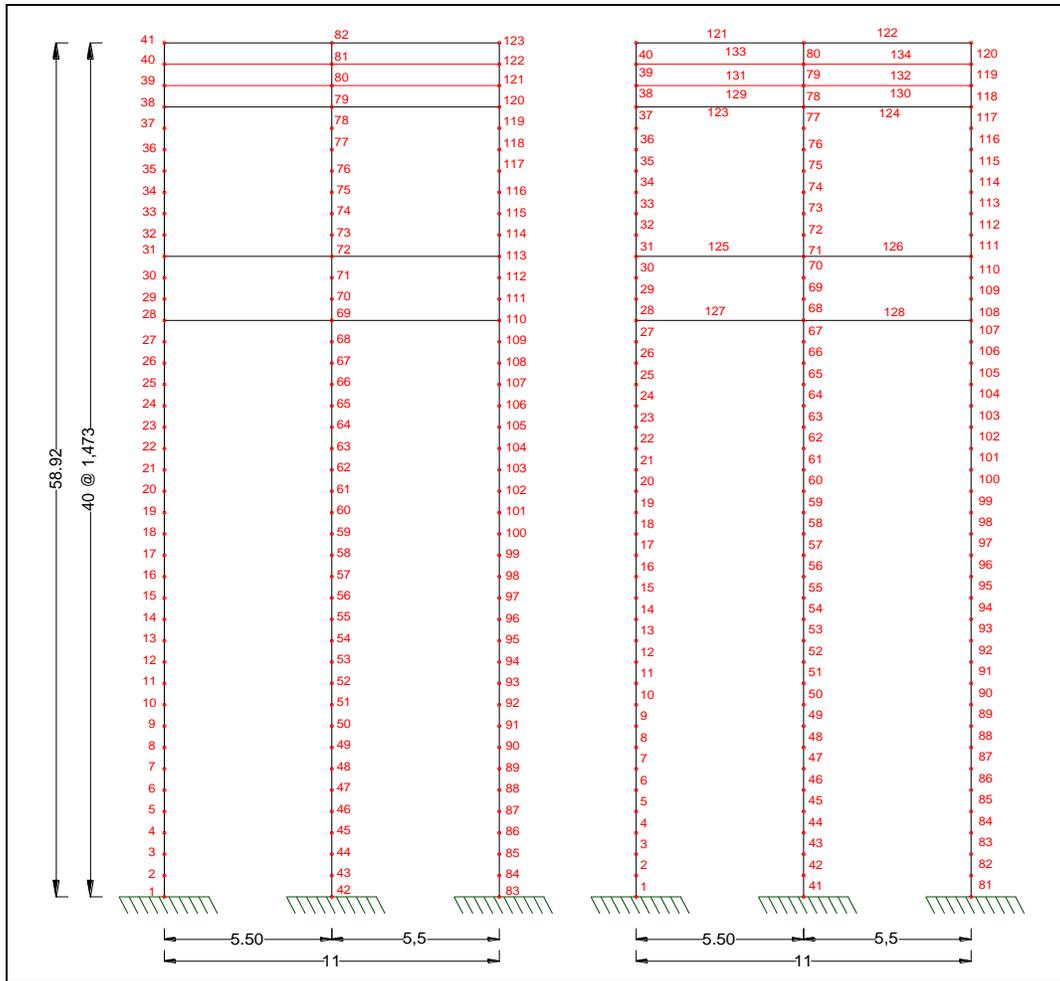
#### 4.4 Análisis sísmico en el sentido longitudinal con muro de corte.

El modelo final con el que se construye finalmente los apoyos centrales del puente carrizal son con muros de corte, en la que se reducen el diámetro de los pilotes de dos metros a un metro y se arriostra los mismos con muro de corte.



**Figura 4.11:** Descripción de los elementos apoyo central.

Las dimensiones finales de construcción son las que se muestran en la figura 4.11, en la que se destaca además la ubicación del neopreno, en los que se apoyaran las vigas de acero, el modelo matemático considera al muro de corte como elementos finitos rectangulares.



**Figura 4.12:** Coordenadas totales y masas concentrada en apoyo central.

Se numera los elementos del modelo del apoyo que considera el muro de corte en el apoyo central, dividiendo el muro de corte en 6 elementos finitos rectangulares, haciendo coincidir con las divisiones de los pilotes los puntos de división del muro, se muestra los periodos de vibración principales considerando muro de corte.

**Tabla 4.3:** Periodos de vibración principales con muro de corte.

PERIODOS DE VIBRACION PRINCIPALES CONSIDERANDO MURO DE CORTE							
Modelo	Modo	1	2	3	4	5	6
Con Muro	Período (s)	2.2149	0.4162	0.3486	0.3385	0.1929	0.1262

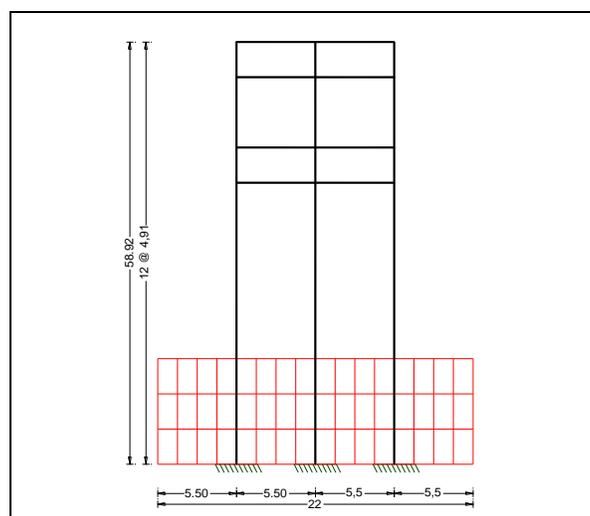
## CAPITULO V

### ANALISIS SISMICO TRANSVERSAL DEL PUENTE CARRIZAL MODELO 3

---

#### 5.1 Descripción del modelo 3.

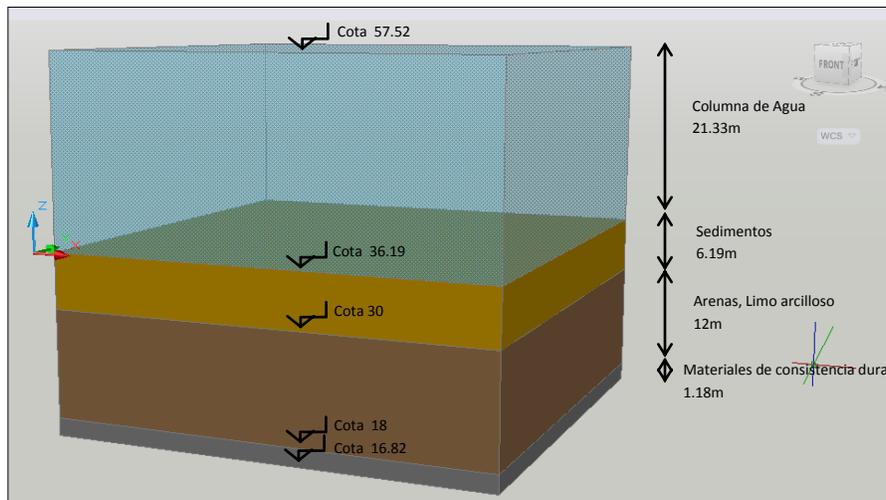
Al igual que en los estribos se integra el suelo en los apoyos centrales, modelando 5.5m de suelo a cada lado de los pilotes exteriores y hasta una altura de 14.30 m, se dividió en tres elementos finitos rectangulares en el sentido vertical para asignar cada capa a los diferentes estratos que componen el suelo en estos puntos, en la figura 5.2 muestra el modelo que representa al suelo en los apoyos.



**Figura 5.1:** Elementos finitos rectangulares del suelo en apoyos.

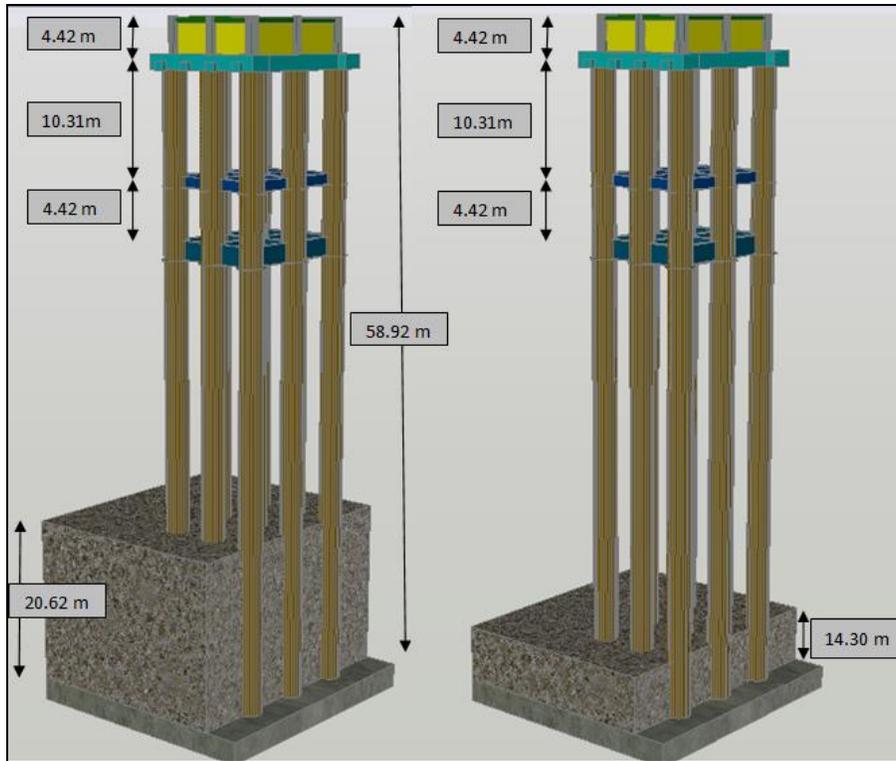
La numeración de los elementos finitos del suelo se la realiza a continuación del último número con el que termina la numeración del estribo, la secuencia de numeración de los elementos del suelo es de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba.

Se presenta el modelo análisis en el sentido transversal del puente, con diferentes alturas de suelo esto es considerando 14.3 m y 20.62 m metros de suelo, ya que se considera el efecto de la sedimentación en la presa la esperanza, el estudio de suelos en el lugar en el que se ubican los apoyos muestra la estratigrafía de la figura 5.2, el suelo ha sido modelado como resortes, se indica en la grafica 5.3 las dos condiciones con las que se analizará las pilas.



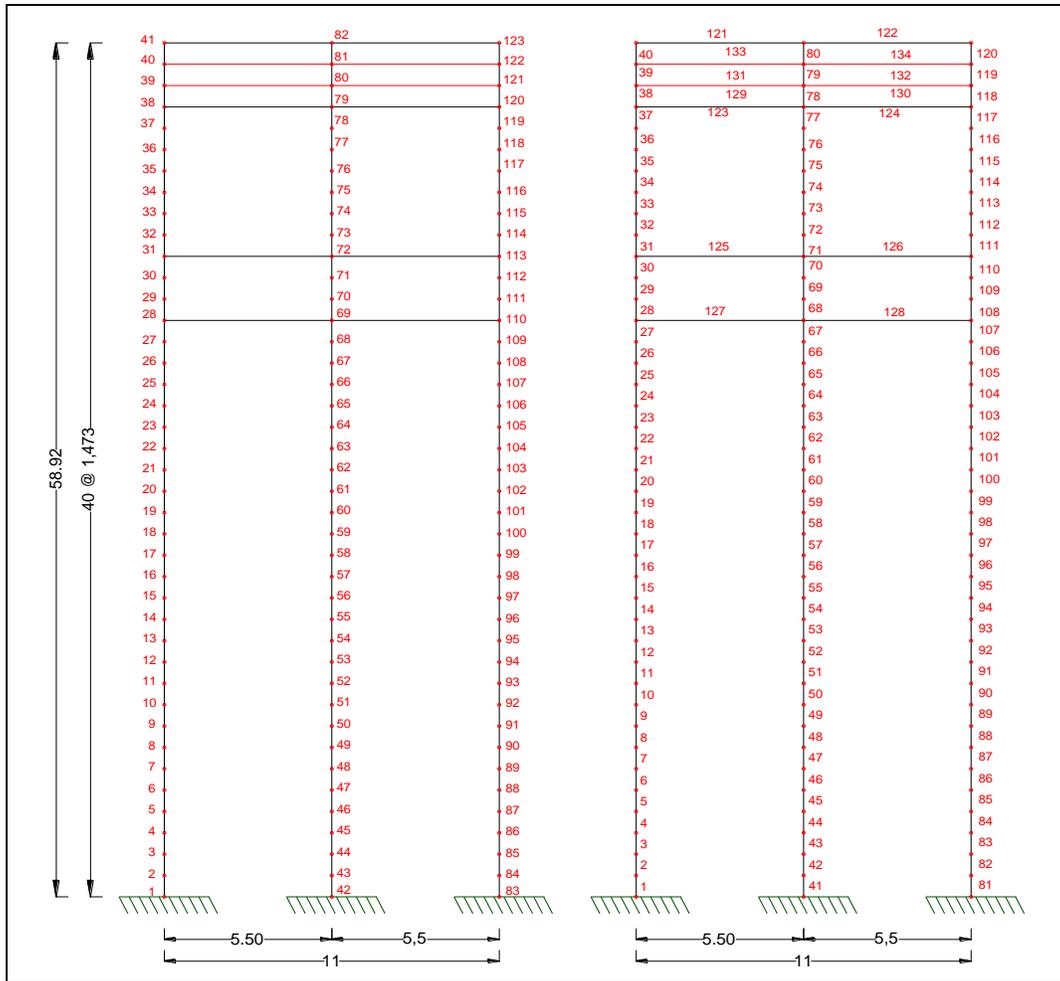
**Figura 5.2:** Estratigrafía del suelo.

La condición uno es la que los pilotes se encuentran rodeados de 20.62m de suelo y la segunda es en la que la altura de suelo es de 14.30m, se indican además las alturas de los diferentes elementos, teniendo una altura total de 58.92m, las dimensiones que se muestran son entre ejes de los elementos, teniendo de esta manera 4.42m entre las dos vigas rectangulares de hormigón la viga de 50x50 y las viga de 1.20x1.25 luego la distancia entre la viga cabezal de hormigón y la viga metálica de arriostramiento superior es de 10.31, y la distancia entre ejes de vigas de arriostramiento metálicas es de 4.42m, en la figura 5.3 se aprecia que los pilotes llegan hasta el estrato duro del suelo razón por la cual una fila de pilotes se la muestra visible.



**Figura 5.3:** Condiciones para el análisis sísmico.

El modelo matemático usado consiste en elementos finitos lineales para los pilotes y elementos finitos rectangulares para el muro de corte, el análisis se lo realiza en un plano por lo que la representación, es la que se muestra en la figura 5.4 en la que se aprecia la numeración de los nudos y de los elementos, en el orden previamente indicado, al igual que los análisis previamente realizados, estos se los realizará en CEINCI LAB (Aguar 2010), sabiendo que el programa numera los nudos y los elementos de la manera indicada en el modelo, es en los nudos donde se colocan las diferentes condiciones para el suelo es esta la razón por la que interesa la numeración ya que de esta forma se conoce los puntos en los que se debe colocar las respectivas cargas y de igual forma es en el respectivo nudo en el que el programa indica los diferentes resultados.



**Figura 5.4:** Numeración de nudos y elementos de apoyo del Puente sobre el río Carrizal.

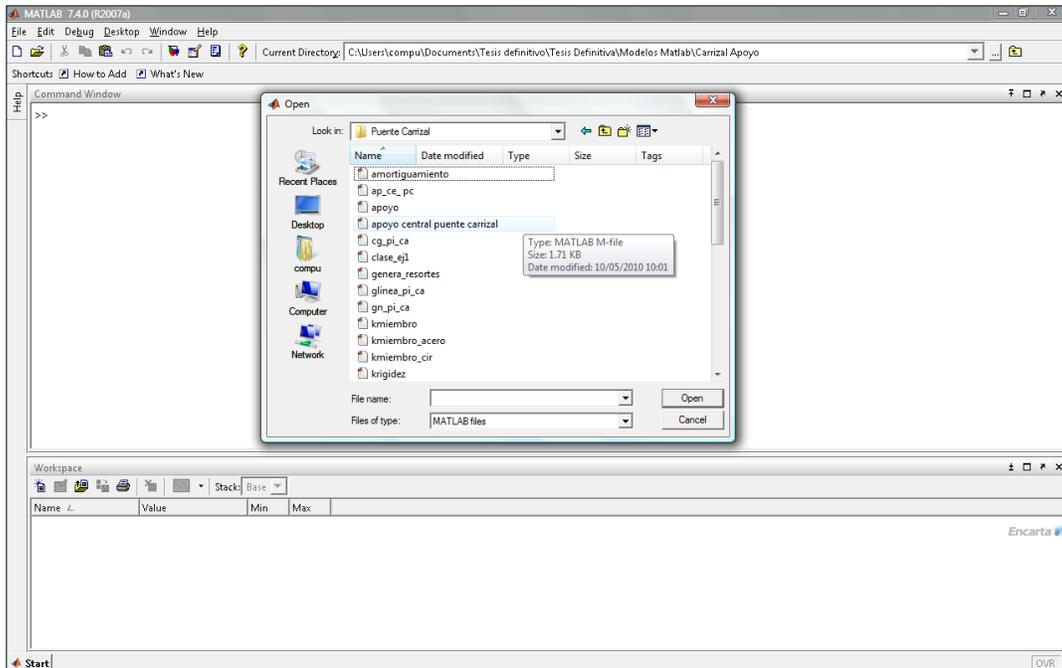
El presente análisis se lo realiza tomando en cuenta los muros de corte, en un estudio anterior realizado por Aguiar y Dalia Espinoza (2010), se realizó el análisis sísmico transversal del puente carrizal, pero en ese estudio no se tomó en cuenta los muros de corte ya que los mismos son un cambio reciente en el diseño. Con el fin de lograr un modelo que represente la realidad actual del puente, se realiza el presente trabajo el análisis sísmico transversal de los apoyos del puente carrizal tomando en cuenta el muro de corte y con dos condiciones para la altura del suelo.

## **5.2 Uso de CEINCI LAB en el análisis sísmico.**

CEINCI LAB, como se lo ha mencionado anteriormente es un conjunto de algoritmos, que realizan trabajos específicos, como numerar nudos, calcular funciones para determinar la orientación de los elementos etc. Según la tarea específica que se desee realizar, ya sea el análisis sísmico de edificios, puentes, presas y un sin número de estructuras, para el análisis sísmico se debe usar una secuencia adecuada de los diferentes programas, para el cual el usuario debe conocer cuál es la tarea que realiza cada programa específico, y de esta manera se pueda ir formando el algoritmo requerido, eligiendo el programa adecuado.

Los diferentes algoritmos que componen CEINCI LAB, han sido programados en Matlab por el Dr. Roberto Aguiar, razón por la cual para poder usar esta herramienta de análisis se necesita tener conocimientos básicos de uso del Matlab, el mismo que utiliza un lenguaje de programación similar al de la mayoría de lenguajes de programación, el uso de los programas es sencillo, ya que cada uno posee comentarios de las tareas que realiza con una descripción bastante objetiva y clara.

CEINCI LAB, se presenta como un conjunto de carpetas con diferentes tareas, y dentro de carpeta, se encuentran programas con distintas funciones, como se muestra en la figura 5.5 en la que se muestra la carpeta del “Puente Carrizal”, con los diferentes programas necesarios para el análisis sísmico, los mismo que fueron usados para el desarrollo del presente proyecto de grado.



**Figura 5.5:** Sub programas de CEINCI LAB.

El algoritmo de cada programa se lo puede analizar claramente en el editor de Matlab, en el editor se puede observar que tarea específica realiza cada programa, ya que se encuentran descritas que significan las variables que contiene cada uno, de igual manera se puede observar que datos necesita cada programa, en la tabla 5.1 se puede observar un listado de algunos de los programas de CEINCI LAB, con una breve descripción de las tareas que realiza cada programa, el programa ha sido desarrollado con fines didácticos razón por la cual es un software abierto, en comparación con programas comerciales como el Sap 2000 en el cual el usuario solo ingresa datos y se muestran los resultados, en CEINCI LAB, el usuario tiene la ventaja de controlar el proceso de cálculo ya que es el mismo usuario quien compone la secuencia del análisis que desee.

**Tabla 5.1:** Descripción de programas CEINCI LAB.

Listado de Programas Usados Y breve descripción	
cg_pi_ca	sirve para encontrar las coordenadas generalizadas de un grupo de pilotes con su viga cabezal este programa además nos presenta el número de grados de libertad del modelo
gn_pi_ca	muestra como resultados el nudo inicial “NI” y el nudo final “NJ” de cada elemento del modelo, pilotes viga cabezal, las vigas adicionales se deben agregar manualmente
vc_portico	Calcula el vector de colocación del modelo, mostrando una matriz con los desplazamientos X, Y, $\theta$ , del nudo inicial y final de cada elemento finito.
glinea_pi_ca	Calcula las coordenadas X, Y, de cada nudo del modelo.
Longitud	Calcula la longitud, seno y coseno de cada elemento finito
krigidez_cir	Programa para encontrar la matriz de rigidez de un pórtico plano o pila de cimentación con elementos circulares
Krigidez	Programa para encontrar la matriz de rigidez, para vigas de hormigón armado
krigidez_acero	Programa para encontrar la matriz de rigidez, para las vigas metálicas
rigidez_estructura_ef	Programa para encontrar la matriz de rigidez de una estructura con elementos finitos tipo rectangular con 2 gdl por nudo.
Mmasa_pi_ca	Calcula la matriz de masas de los pilotes considerando la masa uniformemente distribuida.
Mmasa	Programa para encontrar la matriz de masas de las vigas de hormigón armado.
Mmasa_pi_ca_acero	Programa para encontrar la matriz de masas de las vigas metálicas.
orden_eig	Programa para calcular y ordenar los valores y vectores propios de menor a mayor.
amortiguamiento	Programa para encontrar la matriz de amortiguamiento de una estructura.
genera_resortes	Programa que genera propiedades del suelo en los pilotes a partir de las propiedades del suelo del primer pilote.

Para elaborar cualquier secuencia de análisis el orden es primordial, además el uso de comentarios, así como la realización de esquemas ayudan a la comprensión de la tarea que se esté realizando, en la figura 5.5 se muestra parte de un programa realizado por el Dr. Aguiar para el análisis del apoyo central, en el que se indica como desde un programa principal se llama a cada una de las rutinas de la librería de CEINCI LAB.



Finalmente cada programa realizado con CEINCI LAB, muestra los resultados en variables, las cuales se puede observar una vez corrido el programa, los mismos que se presentan en celdas similares a las que se encuentran en Excel, en la figura 5.7 se muestra un ejemplo de cómo se presentan los resultados.

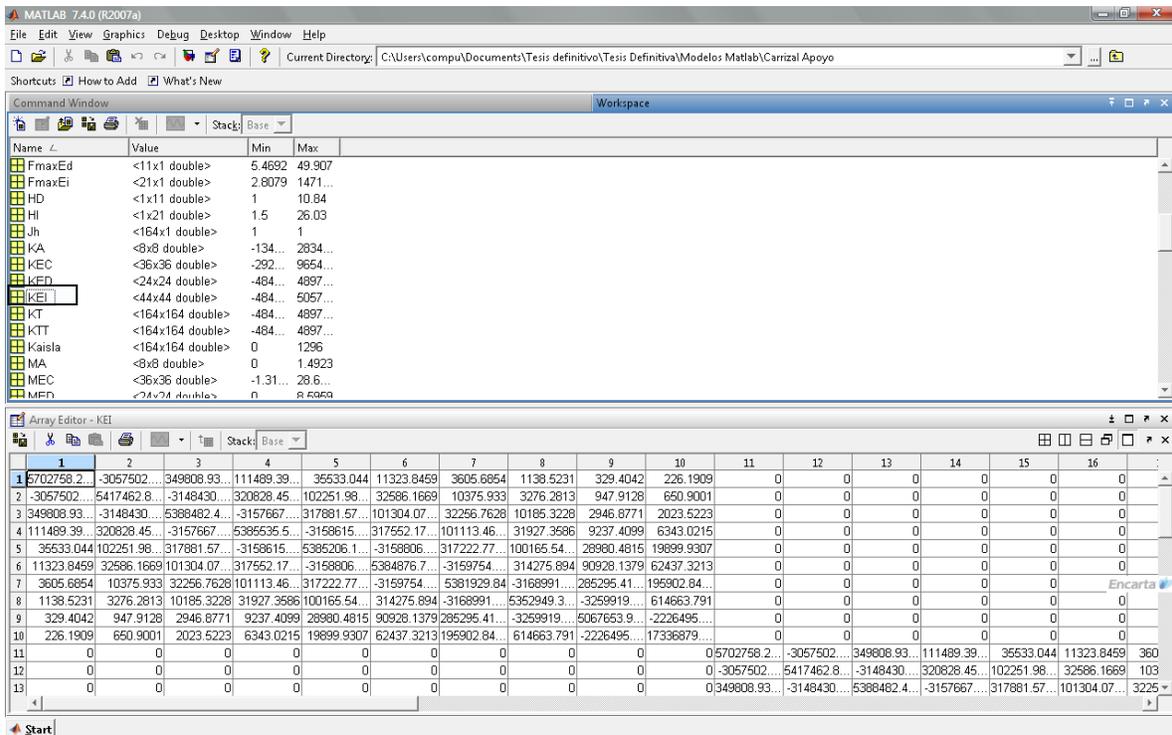
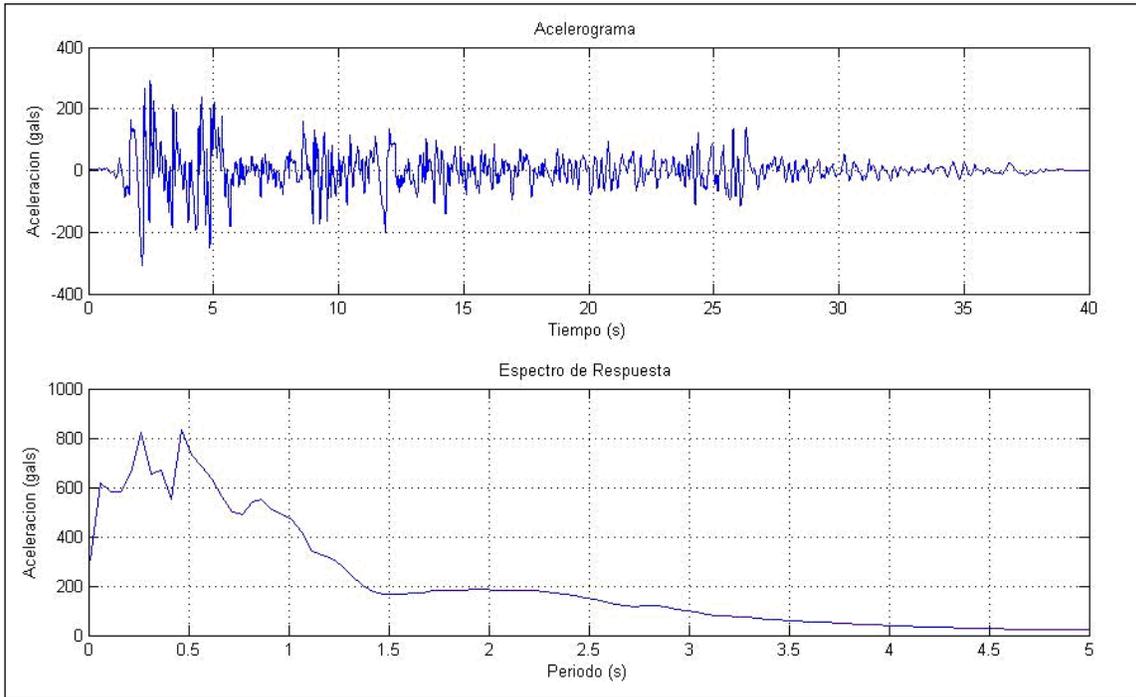


Figura 5.7: Presentación de resultados.

En la figura se muestra en la ventana superior cada una de las variables usadas en el programa y las variables que contiene resultados, en el recuadro se observa “KEI”, la cual es una variable que contiene la matriz de rigidez del estribo izquierdo del modelo 1, junto a la variable la dimensión de la matriz obtenida, en la ventana inferior se indican los valores de la matriz de rigidez en celdas, las cuales pueden ser copiadas a Excel directamente para cualquier cálculo requerido.

### 5.3 Análisis sísmico en el sentido Transversal.

Se halla la respuesta en el tiempo aplicando el sismo del centro de 1940, tanto para el caso de suelo de 14.3m de altura y el de 20.62 m de altura,



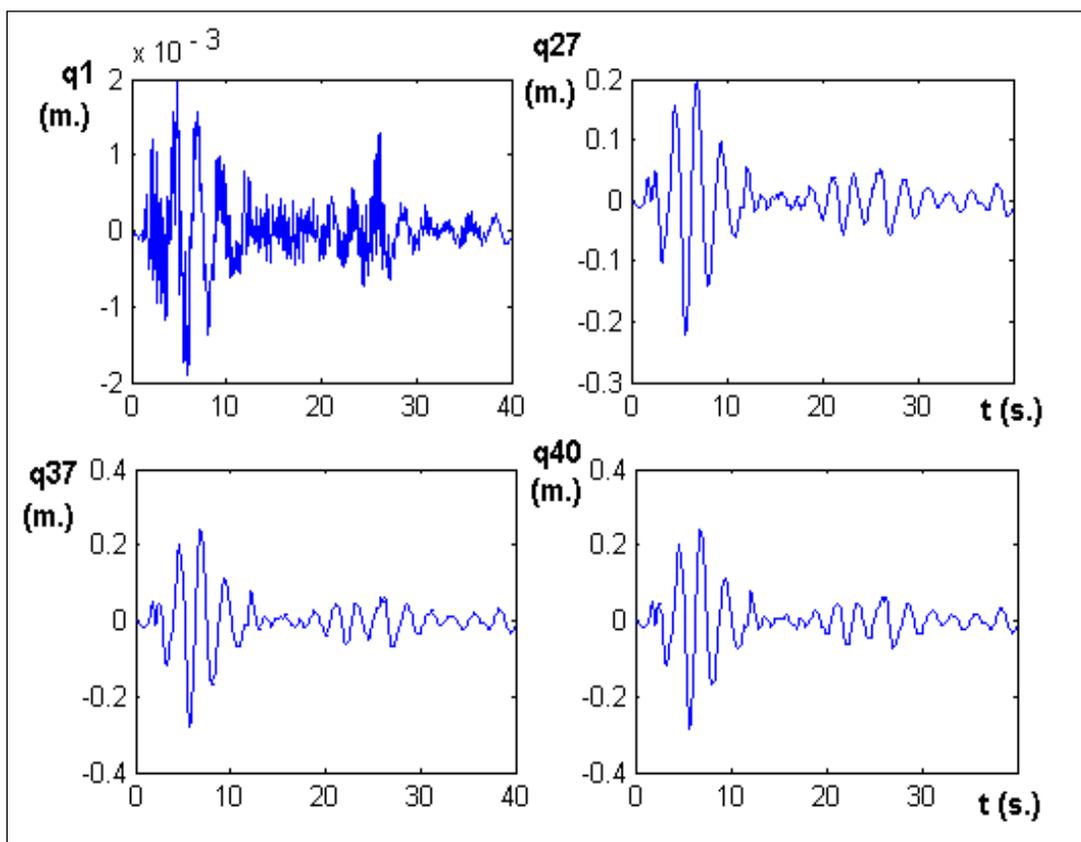
**Figura 5.8:** Acelerograma y espectro de respuesta del sismo del centro 1940.

La rigidez que proporciona el suelo alrededor de los pilotes, da la idea de la importancia de la prevención de la socavación en los pilotes, cuando se inca los mismos en los lechos de los ríos, en la siguiente tabla se presentan los modos de vibración principales de la estructura en el sentido transversal, considerando 20,62m de suelo, y sin tomar en cuenta el suelo.

**Tabla 5.2:** Periodos de vibración considerando el suelo y sin considerar el suelo

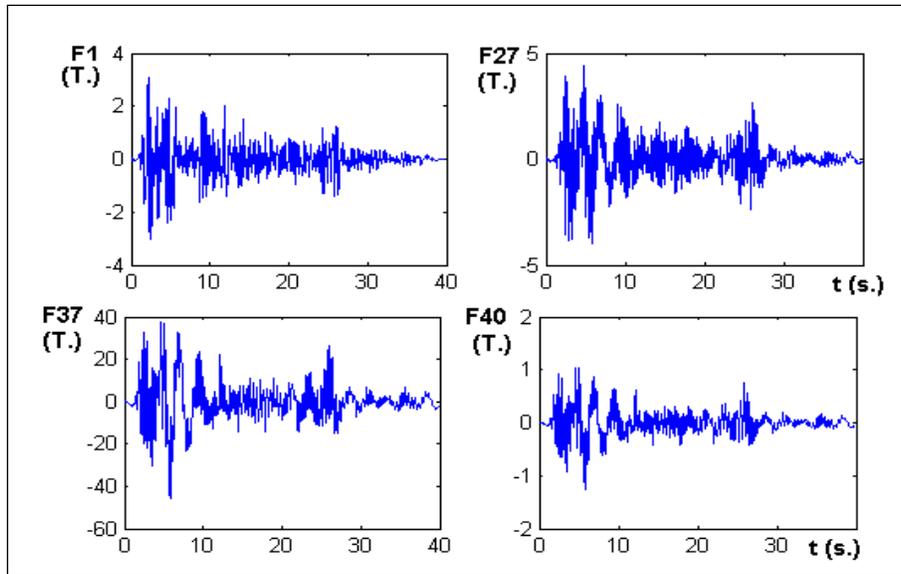
<b>Modelo sin suelo</b>					
<b>MODO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>PERÍODO (s.)</b>	2.84	0.49	0.35	0.34	0.21
<b>Modelo con suelo</b>					
<b>PERÍODO (s.)</b>	2.40	0.43	0.29	0.28	0.19

Los puntos en los que se presenta los desplazamientos y las fuerzas obtenidos con el presente análisis sísmico son, en la base de los pilotes, y en los puntos correspondientes a las vigas de arriostramiento metálicas, así como en las vigas de hormigón, la numeración de los grados de libertad correspondiente a los mencionados puntos son, 1, 27, 37 y cuarenta, se muestran en la figura 5.8, en la que se agrupa los mencionados desplazamientos, los cuales se muestran en las unidades mostradas en las figuras y el tiempo en segundos.



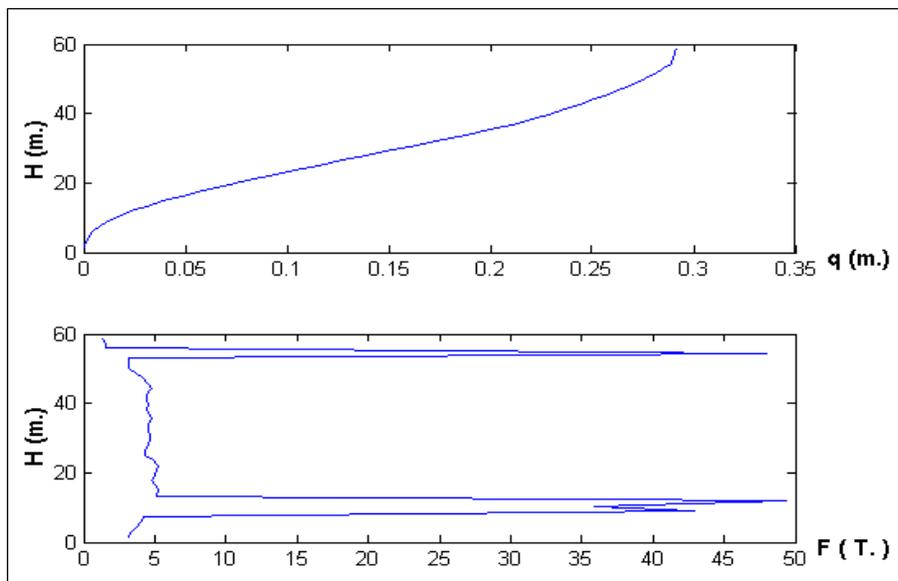
**Figura 5.9:** Desplazamientos considerando 20.62m de suelo.

Las fuerzas halladas en la base de los pilotes, en las vigas de arriostramiento metálicas, superiores e inferiores, así como de la viga cabezal y la viga superior de hormigón se presentan en la figura 5.8, las cuales se muestran en toneladas, y el tiempo en segundos.



**Figura 5.10:** Fuerzas considerando 20.62m de suelo.

Se puede observar en la tabla 5.2, que al no considerar suelo rodeando los pilotes los periodos de vibración aumentan, el resultado se corrobora al considerar 14.30 m de suelo en lugar de los 20.62m planteados inicialmente como se puede observar en la figura 5.9, en la que se muestran los desplazamientos y las fuerzas laterales máximas.



**Figura 5.11:** Fuerzas y desplazamientos considerando 14.30m de suelo.

Los puntos en los que se realiza el análisis sísmico se muestra en la figura 5.10

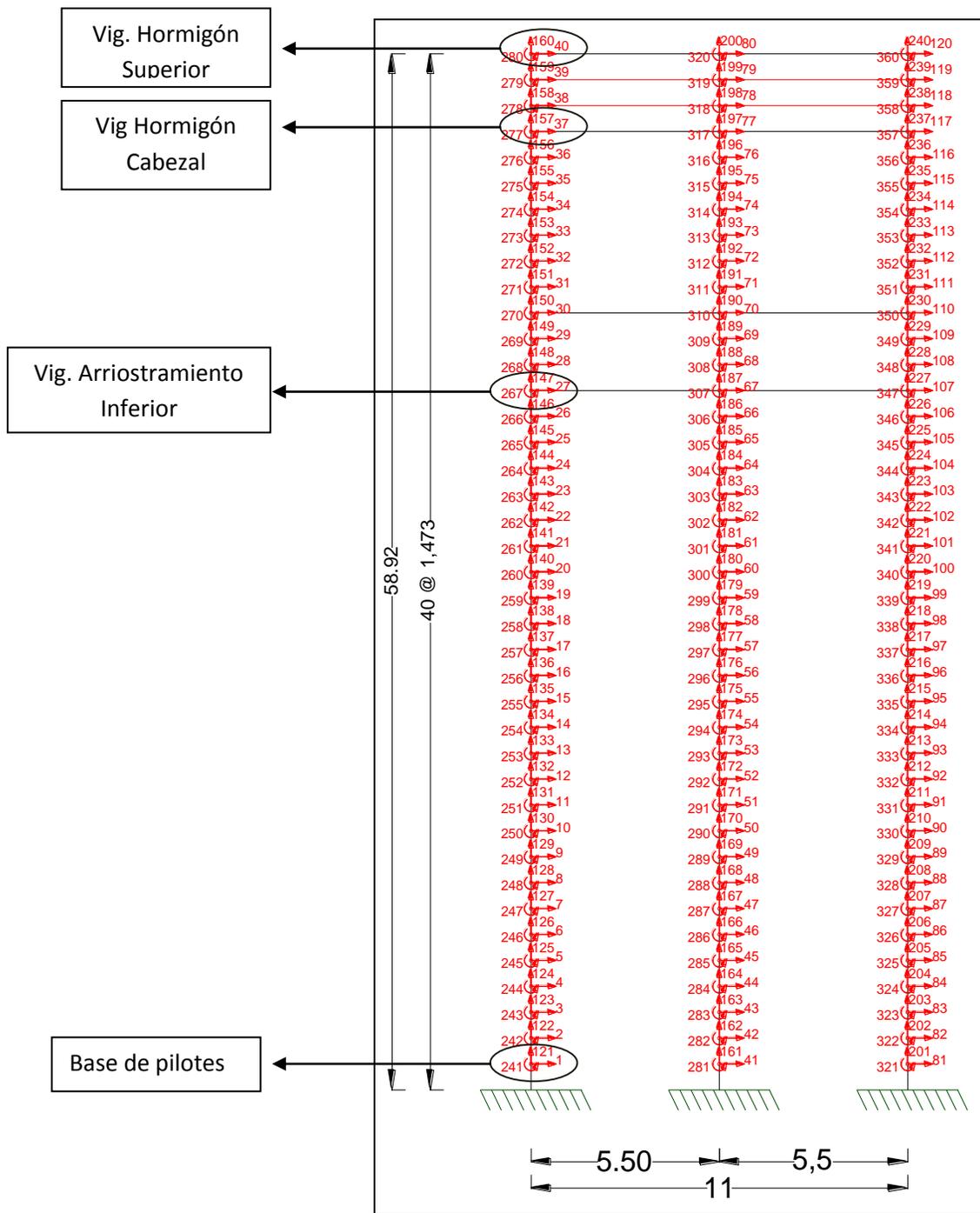


Figura 5.12: Puntos en los que se muestran los resultados del análisis sísmico.

## CAPITULO VI

### COMENTARIOS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

#### **6.1- Comentarios.**

Con respecto a las leyes de atenuación, se han hallado leyes de atenuación para sismos corticales y de subducción, puesto que en el País al tener sismos por estas dos causas es de necesidad encontrar leyes de atenuación para las mismas.

Las relaciones entre la magnitud máxima y la longitud de rotura al igual que las leyes de atenuación derivan relaciones para los dos tipos de sismos de origen cortical y de subducción.

La importancia que representan los puentes en el desarrollo de un País y la optimización de recursos en la construcción de los mismos conllevan a analizar las diferentes situaciones sísmicas que puedan afectar la estructura por lo que en el presente estudio se han realizado diferentes análisis para el Puente Carrizal.

#### **6.1- Conclusiones y recomendaciones.**

Se recomienda usar las ecuaciones halladas en el presente estudio ya que en las comparaciones realizadas con las halladas a partir de registros sísmicos estas se aproximan de mejor manera.

Las leyes de atenuación obtenidas instrumentalmente presentan valores mayores, en comparación con las obtenidas en este estudio para sismos corticales, mientras para sismos de subducción se observa una aproximación entre las curvas para una distancia de 20 Km.

En el proyecto se describen los diferentes elementos que componen el puente carrizal así como las características de cada uno de estos, tales como dimensiones propiedades geométricas y pesos de los elementos, para con dichos datos realizar el análisis sísmico.

Para cada caso mostrado en los diferentes capítulos se elaboro un modelo que simula cada una de las condiciones planteadas, los diferentes modelos se los analizó mediante CEINCI-LAB.

Para cada sub estructura del puente se ha presentado los diferentes modelos numéricos, finalmente se comparan las respuestas de los modelos mediante graficas en las que se muestran las fuerzas y los desplazamientos, se muestra en la siguiente tabla los periodos de vibración principales obtenidos sin considerar el muro de corte y considerando el muro de corte.

**Tabla 5.2:** Periodos de vibración considerando y sin considerar el muro de corte

PERIODOS DE VIBRACION PRINCIPALES							
Modelo	Modo	1	2	3	4	5	6
Sin muro	Período (s)	0.2181	0.4191	0.3487	0.3386	0.1954	0.1262
PERIODOS DE VIBRACION PRINCIPALES CONSIDERANDO MURO DE CORTE							
Modelo	Modo	1	2	3	4	5	6
Con Muro	Período (s)	2.2149	0.4162	0.3486	0.3385	0.1929	0.1262

## REFERENCIAS

1. Aguiar R., (1982), *Cuantificación de la amenaza sísmica del Ecuador en términos probabilísticas y mapa de zonificación*, Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Central de Venezuela, 179 p., más anexos, Caracas, Venezuela.
2. Aguiar R., Romo P., Torres M., Caiza P., (1998), *El sismo de Bahía*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 125 p., Quito.
3. Aguiar R., (2000), *Sismo de Macas de 1995 y la reconstrucción*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 72 p., Quito.
4. Aguiar R., y Castro C., (2009), “Zonas fuentes para estudios de peligrosidad sísmica en el Ecuador”, En revisión arbitral. Centro de Investigaciones Científicas, 21 p.
5. Castro C., (2009), *Determinación de la peligrosidad sísmica del Ecuador en base a curvas de isoaceleración*, Tesis de Grado para obtener el título de Ing. Civil. Escuela Politécnica del Ejército.
6. Callo F., Tavera H., (2002), “Estimación de Mw a partir de isosistas de intensidad máxima para sismos de subducción ocurridos en el Perú”, Compendio de trabajos de Investigación. CNDG-Biblioteca, Instituto Geofísico del Perú, V.3, 59-70, Lima.
7. Dorbath L., Cisterna A., Dorbath C., (1990), “Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Perú”, Bulletin of the Seismological Society of America, 80 (3), 551-576.
8. Egred J., (1998), Terremoto de la provincia del Napo. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, 56 p., Quito.
9. Egred J., (1998), Los terremotos y su incidencia en el Ecuador. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional.

10. Egred J., (1998), *Catálogo Sísmico de Intensidades 2010*. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional.
11. Pasquaré G., (1998), *Sismología y Tectónica, Proyecto Hidroeléctrico Coca-Codo Sinclair, Anexo H*. INECEL Instituto Ecuatoriano de Electrificación, 152 p., más anexos, Quito Ecuador.
12. Aguiar R., (1988), “Leyes de Atenuación, una contribución a la zonificación sísmica del Ecuador”, *IV Encuentro Nacional de Ingeniería Estructural*. Escuela Politécnica del Ejército, 364-379, Quito.
13. Aguiar R., Castro C., (2009), “Ley de atenuación para estudios de Peligrosidad sísmica en el Ecuador”, *Revista Ciencia*. Escuela Politécnica del Ejército, 12 (2), 122-145, Quito.
14. Gallego M., Ordaz M., (1999), “Construcción de leyes de atenuación para Colombia a partir de espectros fuentes de “vibraciones aleatorias”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras* 45 (1), 45-66.
15. Ruiz S., Saragoni R., (2005), “Formulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismo génesis y los efectos del suelo”, IX jornadas, ACHISINA 2005. Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Universidad de Concepción, 15 p., Concepción, Chile.
16. Saragoni R., Crempien J., y Ayala R., (1982), “Características experimentales de los movimientos sísmicos sudamericanos”, *Revista del IDIEM*, 21 (2), 67-86, Mexico.
17. Aguiar R., (2004), *Análisis Matricial de Estructuras*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. Editorial Ediespe, Tercera edición 550 p, Quito, Ecuador.

18. Aguiar R., (2007), *Dinámica de Estructuras con MATLAB*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. Editorial Ediespe, Primera edición 292 p, Quito, Ecuador.
19. Aguiar R., (1981), *Apuntes de clase de Dinámica de Estructuras*. Prof. Simón Lamar. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
20. Aguiar R., (2008), *Análisis Sísmico de Edificios*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 320 p., Quito, Ecuador.
21. Aguiar R., Almazán J., Dechent P., Suárez V., (2008), *Aisladores de base elastoméricos y FPS*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Quito, 292 p.
22. Aguiar R., (2010), *CEINCI-LAB un software educativo y práctico*. Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, Versión Digital. Quito.
23. Aguiar R., Espinoza D., (2010), “Análisis sísmico de apoyos centrales de puente sobre el río Carrizal”, *I Congreso Nacional de Geotecnia. Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha*, 25-44, Quito.
24. Beltrán F., (2009), *Informe de suelos. Curvas Carga Deformación ante ensayos cíclicos*. Geosuelos Cia. Ltda., Quito.
25. CEC-2000 Código Ecuatoriano de la Construcción. *Capítulo 1 Peligrosidad Sísmica*. Quito, Ecuador.
26. Aguiar R., Espinosa D., (2010), “Análisis sísmico de apoyos centrales de puente sobre el río Carrizal”, *III Congreso Nacional de Geotecnia. Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha*, 25-44, Quito.

27. Aguiar R., García E., (2010), “Análisis sísmico en sentido longitudinal del Puente Carrizal con dos modelos. Empleando CEINCI-LAB”, *Revista Ciencia. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército*, **13 (1)**, 63-86, Quito.
28. Aguiar R., Mroginski J., Zambrano A., Carrillo J., Freire A., Flores E., Ortíz M., (2010), “Análisis estático de una columna de suelo confinado con dos modelos de elementos finitos y uso de Programa GID”, *En proceso de revisión arbitral de la Revista Ciencia. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército*, 27 p., Quito.
29. Aguiar R., (2007), *Dinámica de estructuras con MATLAB*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Quito.
30. Aguiar R., (2010), *CEINCI-LAB un software educativo desarrollado en la ESPE*, *Revista ESPEctativa*, Escuela Politécnica del Ejército, N.- **3**, 12-13, Quito.
31. García E., (2010), *Análisis sísmico longitudinal del puente Carrizal y contribuciones a la peligrosidad sísmica del Ecuador*, Tesis de Grado para obtener título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica del Ejército, 120 p., Quito.
32. Manual de Diseño de Puentes, (2003), Ministerio de Transporte y Comunicación, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Dirección de Normatividad Vial, 287 p., Lima.
33. Morales E., (2009, 2010), Reuniones de trabajo en varios meses, *Jefe del Grupo Vial Manabí. Cuerpo de Ingenieros del Ejército*, Quito.

## ARTICULOS PUBLICADOS

1. Aguiar R., García E., (2010), “Leyes de Atenuación para Sismos Corticales y de Subducción para el Ecuador”, *Revista Ciencia. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército*, **13 (1)**, 1-18, Quito.
2. Aguiar R., García E., (2010), “Análisis sísmico en sentido longitudinal del Puente Carrizal con dos modelos. Empleando CEINCI-LAB”, *Revista Ciencia. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército*, **13 (1)**, 63-86, Quito.
3. Roberto Aguiar Falconí, Enrique Morales, Wilson Silva, Edwin García., (2010), “La Socavación en los Puentes, Normatividad y Experiencias del Sismo de Chile de 2010” IX Congreso Internacional Obras de Infraestructura Vial y Expo Vial y Transporte, Perú 2010.



```

elem pilo=ne*np;%Número total de elementos en los pilotes
elementosvig=elementos-elem pilo;% Número total de vigas
elementosvigh=4;%Número total de vigas de H.A
elementosvigm=4;%Número total de vigas metalicas
%-----
% Separando el Vector de colocación para los pilotes, las vigas de
hormigón y las metalicas
VCpilo=VC(1:elem pilo,:);% VC solo de los pilotes
VCcabe=VC(elem pilo+1:elementos,:);% VC de las vigas totales
VCvigh=VCcabe(1:elementosvigh,:);% VC solo de las vigas de H.A
VCvigm=VCcabe(elementosvigh+1:elementosvig,:);% VC de las vigas metalicas
%-----
% Separando Longitud, Seno y Coseno para los pilotes y las vigas
Lpilo=L(1:elem pilo);%longitud pilotes
Lcabe=L(elem pilo+1:elementos);%longitud de todas las vigas
Lvigha=Lcabe(1:elementosvigh);%longitud de las vigas de hormigon
Lvigm=Lcabe(elementosvigh+1:elementosvig);%longitud de las vigas
metalicas
senopilo=seno(1:elem pilo);% seno de los pilotes
senocabe=seno(elem pilo+1:elementos);% seno de las vigas
cosepilo=coseno(1:elem pilo);%coseno de los pilotes
cosecabe=coseno(elem pilo+1:elementos);%coseno de las vigas
senovigha=senocabe(1:elementosvigh);%seno de las vigas de hormigon
senovigm=senocabe(elementosvigh+1:elementosvig);%seno de las vigas
metalicas
cosevigha=cosecabe(1:elementosvigh);%coseno de las vigas de hormigon
cosevigm=cosecabe(elementosvigh+1:elementosvig);%coseno de las vigas
metalicas
%-----
% Matriz de Rigidez de los pilotes circulares
%-----
% Secciones de los pilotes
D=2.00;% Diámetro del pilote. Los de la parte superior son de 1 m., de
diámetro
for i=1:ne*np; ELEM(i)=D;end %ELEM vector con diámetros
ELEM(38)=1;ELEM(39)=1;ELEM(40)=1;ELEM(78)=1;ELEM(79)=1;
ELEM(80)=1;ELEM(118)=1;ELEM(119)=1;ELEM(120)=1;
%-----
% Matriz de rigidez de la estructura sin contribución de suelo
E=2007980;% Modulo de elasticidad del material para fc=280
[K]=krigidez_cir(ngl,ELEM,Lpilo,senopilo,cosepilo,VCpilo,E);%Con
elementos circulares
%-----
% Matriz de Rigidez de las vigas de hormigon armado
%-----
% Secciones de las vigas
bvhs=0.50;hvhs=0.50;% Viga Superior de H.A.
bvhi=1.20;hvhi=1.25;% Viga Inferior de H.A.
ELEMCA=[bvhs hvhs; bvhs hvhs; bvhi hvhi; bvhi hvhi]; % Dimensiones de
viga cabezal y superior
[Kcabe]=krigidez(ngl,ELEMCA,Lvigha,senovigha,cosevigha,VCvigh,E);
%-----
% Matriz de Rigidez de las vigas Metalicas
%-----
% Secciones de las vigas
Em=21000000;%modulo de elasticidad de las vigas de acero en T/m2
areap=0.0361;inerp=0.0081;% Viga Principal de acero

```

```

areas=0.0207;iners=0.0015; % Viga secundaria de acero
ELEMCAm=[areas iners;areas iners;areap inerp;areap inerp]; % Area e
inercia de vigas acero
[Kcabem]=krigidez_acero(ngl,ELEMCAm,Lvigm,senovigm,cosevigm,VCvigm,Em);
%-----
%Matriz de rigidez del muro de corte
%-----
Vcefr=[37 157 77 197 78 198 38 158; % Vectores de colocación de
muro
      77 197 117 237 118 238 78 198;
      38 158 78 198 79 199 39 159;
      78 198 118 238 119 239 79 199;
      39 159 79 199 80 200 40 160;
      79 199 119 239 120 240 80 200];
% XP Coordinadas en X de primera fila de elementos finitos.
% Primera columna son coord. de elemento finito 129; la segunda del 130
XP=[0 5.50;5.50 11.00; 5.50 11.0; 0 5.50];
% YP Coord en Y de primera columna de elementos finitos
% Primera columna es de elemen 129; segunda de 131 y tercera de 133
YP=[54.501 55.974 57.447; 54.501 55.974 57.447;
    55.974 57.447 58.920;55.974 57.447 58.920];
for i=1:6; espesorm(i)=0.20; end %Espesor del Muro de Corte
Emuro=2244994.4; %Módulo para hormigón de 350 kg/cm2
dx=2;dy=3;poisson=0.2;
[Kmuro]=rigidez_estructura_ef(Vcefr,dx,dy,XP,YP,Emuro,espesorm,poisson,ng
l);
%-----Matriz de rigidez total-----
KT=K+Kcabe+Kcabem+Kmuro;
for i=1:ne*np; r1(i)=i; end; for i=1:2*(ne*np); r2(i)=(ne*np)+i; end
Kaa=KT(r1,r1);Kab=KT(r1,r2);Kbb=KT(r2,r2);KA=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kab';
%-----
%-----Matriz de Masas pilotes-----
[M]=Mmasa_pi_ca(ngl,ELEM,Lpilo,senopilo,cosepilo,VCpilo,ne,np);
%-----Matriz de Masas Vigas H.A-----
[Mcabe]=Mmasa(ngl,ELEMCA,Lvigha,senovigha,cosevigha,VCvigh);
%-----Matriz de Masas Vigas metalicas-----
[Mcabem]=Mmasa_pi_ca_acero(ngl,ELEMCAm,Lvigm,senovigm,cosevigm,VCvigm);
%Para vigas rectas
%-----Matriz de masa sin muro de corte-----
MT=M+Mcabe+Mcabem;
%-----Matriz de masas condensada a coordenadas horizontales
Maa=MT(r1,r1);Mab=MT(r1,r2);Mbb=MT(r2,r2);MA=Maa-Mab*inv(Mbb)*Mab';
%-----Matriz de Masas muro de corte-----
Lx=11; % Longitud en sentido X del elemento estructural
Ly=4.419; % Longitud en sentido Y del elemento estructural
npun=8; % Son 8 masas puntuales en que se concentra la masa del muro de
corte
espesor=0.20;
Pesou=(Lx/dx)*(Ly/dy)*espesor*2.4; % Peso de un elemento finito
Masau=Pesou/9.8;% Masa de cada elemento
%-----Matriz de Masas con Muro de Corte para sismo horizontal-----
-----
MA(37,37)=MA(37,37)+Masau/4;MA(77,77)=MA(77,77)+Masau/2;MA(117,117)=MA(11
7,117)+Masau/4;
MA(38,38)=MA(38,38)+Masau/2;MA(78,78)=MA(78,78)+Masau;MA(118,118)=MA(118,
118)+Masau/2;

```

```

MA(39,39)=MA(39,39)+Masau/2;MA(79,79)=MA(79,79)+Masau;MA(119,119)=MA(119,
119)+Masau/2;
MA(40,40)=MA(40,40)+Masau/4;MA(80,80)=MA(80,80)+Masau/2;MA(120,120)=MA(12
0,120)+Masau/4;
%-----VECTORES Y VALORES PROPIOS-----
[T,phi,omega]=orden_eig(KA,MA);% Frecuencias de vibración
T
zeda=0.05;
[CA]=amortiguamiento(MA,phi,omega,zeda);
%-----PROPIEDADES DEL SUELO-----
[PROP]=[13 22.0 22.0 0.0 0.60 0.60 0.0 1.70 1.70 0; %Arcilla Blanda
12 25.0 25.0 0.0 0.60 0.60 0.0 1.70 1.70 0;
11 25.0 25.0 0.0 0.60 0.60 0.0 1.70 1.70 0;
10 25.0 25.0 0.0 0.60 0.60 0.0 1.70 1.70 0;
9 160.0 160.0 0 0.075 0.075 0.0 0.090 0.090 0; %Arena
meteorizada
8 160.0 160.0 0 0.075 0.075 0.0 0.090 0.090 0;
7 260.0 260.0 0 0.070 0.070 0.0 0.090 0.090 0;
6 129.0 129.0 0 0.80 0.80 0.0 1.00 1.00 0; %Arcilla dura
5 350.0 350.0 0 0.80 0.80 0.0 1.00 1.00 0;
4 350.0 350.0 0 0.80 0.80 0.0 1.00 1.00 0;
3 350.0 350.0 0 0.80 0.80 0.0 1.00 1.00 0;
2 350.0 350.0 0 0.80 0.80 0.0 1.00 1.00 0];
% Genera la rigidez de los resortes de los otros pilotes
[PROP1]=genera_resortes(PROP,np,ne);
%-----RESPUESTA EN EL TIEMPO-----
q=zeros(ngl,1); %Vector de desplazamientos y giros iniciales
qp=q; %Vector de velocidades iniciales
qa=zeros(ne*np,1); %Vector de desplazamientos iniciales (Coord.
Principales)
qap=qa; %Vector de velocidades iniciales (Coord. Principales)
Y=[qa;qap]; % Vector Y de condiciones iniciales
Y1=Y; % Para segunda corrida en que se halla vector q asociado a desp.
max.

```

## **BIOGRAFIA**

### **DATOS PERSONALES**

**APELLIDOS:** García Pozo

**NOMBRES:** Edwin Patricio

**CEDULA DE CIUDADANIA:** 0920518156

**LUGAR DE NACIMIENTO:** Zamora Chinchipe -Ecuador

**FECHA DE NACIMIENTO:** 16 de Octubre de 1980

**ESTADO CIVIL:** Soltero

**EDAD:** 29 años

**DIRECCION:** Sangolquí calle Palta LT2 pb y Biblian

**TELEFONO:** 098272559

**EMAIL:** [edwin\\_garcia1610@hotmail.com](mailto:edwin_garcia1610@hotmail.com)

**DISPONIBILIDAD:** Tiempo completo



### **ESTUDIOS REALIZADOS**

**PRIMARIA:** Academia Naval Almirante Illingworth

Guayaquil - Ecuador

**SECUNDARIA:** Bachiller en Ciencias exactas

Colegio Nacional Dr. Teodoro Alvarado Olea

Guayaquil - Ecuador

**SUPERIOR:** Ingeniería Civil

Escuela Politécnica del Ejército

Sangolquí – Ecuador

# **HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS**

**ELABORADO POR**

---

**Edwin Patricio García Pozo**

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

---

**Ing. Jorge Zuñiga**

**DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISION Y REGISTRO**

---

**Abg. Laura López**

**Lugar y Fecha:** \_\_\_\_\_