

ESPECTROS ANTE FALLAS LOCALES

Aurtor: Sofía Cuaical

Director: Dr. Roberto Aguiar

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INTRODUCCIÓN

Un elemento esencial para el estudio sísmico, es la capacidad para determinar de manera estimada el movimiento de suelo que puede ocurrir en futuros terremotos, la estimación se usa realizando relaciones de movimiento conocidas como leyes de atenuación. (Aguiar R, 2009)

Una ley de atenuación en un modelo matemático, que relaciona Magnitud – Distancia - Intensidad Sísmica, también se encuentran los parámetros por movimiento del suelo que se asume es una variable dependiente, y los parámetros

de la fuente sísmica, distancia, condiciones locales del suelo que son las variables independientes. Los parámetros del movimiento de suelo más utilizados son la aceleración sísmica, velocidad sísmica y desplazamiento sísmico de suelos para el 5 % de amortiguamiento. (Aguilar R G. E., 2010)

Los recientes modelos de atenuación permiten una aplicación en distintos ambientes tectónicamente activos. Estos modelos se denominan NGA (Next Generation Attenuation of Ground Motion). EL NGA (Proyecto de próxima generación de leyes de atenuación), tiene como objetivo desarrollar modelos de atenuación empíricos mediante un interactivo programa de investigación.

Para desarrollar el programa de investigación en ingeniería sísmica los modelos deben contemplar varios parámetros:

a) Parámetros del movimiento del suelo tales como:

- La aceleración sísmica (Peak Ground Acceleration) **PGA**, la cual es una medida utilizada para sismos que consiste en la aceleración que sufre la superficie del suelo. En unidades de g.
- La velocidad sísmica (Peak Ground Velocity) **PGV**, es la medida utilizada para encontrar la máxima velocidad horizontal del suelo en cm/s.
- El desplazamiento máximo del suelo (Peak Ground Displacement) **PGD**, la medida para el cálculo del desplazamiento horizontal del suelo en cm.
- Aceleración espectral para respuesta elástica 5% de amortiguamiento dentro de un rango de periodo de 0 a 10 segundos.

- b) Terremotos corticales provenientes de fallas transcurrentes, inversas, normales.
- c) Magnitud con rango entre 5.0 – 8.5.
- d) Distancia a la fuente de rango entre 0 y 200 km.

El proyecto NGA es una serie de leyes de atenuación la cual un grupo de investigadores desarrolló separadamente. De entre todas ellas, para la presentación de este capítulo se va a detallar tres modelos, Campbell y Bozorgnia, Abrahamson y Silva e Idriss. En este artículo se va a detallar el método de Idriss ya que los demás métodos ya han sido estudiados.

METODO DE IDRIS

El Proyecto de Próxima Generación de relaciones de atenuación, NGA por sus siglas en inglés, fue iniciado en 2003 con el propósito de derivar los modelos de base empírica para la estimación de los valores horizontes medios de la aceleración espectral absoluta (PSA), generada por terremotos superficiales.

Los resultados obtenidos de una base empírica modelo constructivo para la estimación de la aceleración horizontal (PGA) y la aceleración horizontal del pseudo espectro (PAA) para periodos de 0.02, 0.03, 0.04 , 1 y 3 segundos.

Como enfoque adoptado en este estudio es el uso de velocidad de onda Vs30, y solo los parámetros para este modelo pertenecen al rango de Vs30= 450 a 900 m/s. (M., 2008)

BASE DE DATOS

Tabla 1.1: Base de datos

ID DEL SISMO	NOMBRE DEL SISMO	AÑO	M	MEC	Vs30 (m/s)		DISTANCIA (KM)	
					MÍN	MÁX	MÍN.	MÁX.
0170	BIG BEAR CITY	2003	4.9	0	453	685	32.5	118.6
0166	GILROY	2002	4.9	0	478	730	8.6	130.1
0168	NENANA MOUNTAIN. ALASKA	2002	6.7	0	660	660	199.3	199.3
0161	BIG BEAR-02	2001	4.5	0	488	685	24.8	40.6
0160	YOUNTVILLE	2000	5.0	0	642	713	46.9	62.9
0173	CHI-CHI. TAIWAN-04	1999	6.2	0	455	845	6.2	172.8
0138	DUZCE. TURKEY	1999	7.1	0	471	782	8.0	131.5
0158	HÉCTOR MINE	1999	7.1	0	453	725	11.7	196.8
0136	KOCAELI. TURKEY	1999	7.5	0	523	811	7.2	165.0
0129	KOBE. JAPAN	1995	6.9	0	609	609	7.1	119.6
0147	NORTHRIDGE-02	1994	6.1	0	450	602	8.8	42.1
0148	NORTHRIDGE-03	1994	5.2	0	450	822	21.1	44.5
0126	BIG BEAR-01	1992	6.5	0	623	822	35.2	95.6
0125	LANDERS	1992	7.3	0	685	685	2.2	50.9
0145	SIERRA MADRE	1991	5.6	0	822	822	10.4	10.4
0144	MANJIL. IRÁN	1990	7.4	0	724	724	12.6	12.6
0143	UPLAND	1990	5.6	0	660	660	71.8	71.8
0110	BAJA CALIFORNIA	1987	5.5	0	660	660	4.5	4.5
0098	HOLLISTER-04	1986	5.5	0	685	685	12.2	12.2
0108	SAN SALVADOR	1986	5.8	0	545	545	6.3	6.3
0090	MORGAN HILL	1984	6.2	0	462	730	3.3	45.5
0085	COALINGA-08	1983	5.2	0	617	617	18.3	18.3

0070	IRPINIA. ITALY-03	1981	4.7	0	660	660	13.7	13.7
0055	ANZA (HORSE CANYON)-01	1980	5.2	0	685	725	12.7	17.4
0053	LIVERMORE-01	1980	5.8	0	517	517	30.5	30.5
0054	LIVERMORE-02	1980	5.4	0	517	713	14.1	30.0
0065	MAMMOTH LAKES-09	1980	4.9	0	685	685	9.2	9.2
0064	VICTORIA. MÉXICO	1980	6.3	0	660	660	14.4	14.4
0048	COYOTE LAKE	1979	5.7	0	663	663	3.1	10.7
0050	IMPERIAL VALLEY-06	1979	6.5	0	660	660	15.2	15.2
0049	NORCIA. ITALY	1979	5.9	0	660	660	4.6	4.6
0044	IZMIR. TURKEY	1977	5.3	0	660	660	3.2	3.2
0041	GAZLI. USSR	1976	6.8	0	660	660	5.5	5.5
0140	SITKA. ALASKA	1972	7.7	0	660	660	34.6	106.7
0025	PARKFIELD	1966	6.2	0	528	528	16.0	16.0
0130	KOZANI. GREECE-01	1995	6.4	1	660	660	19.5	74.1
0152	LITTLE SKULL MTN. NV	1992	5.65	1	660	660	24.7	100.2
0091	LAZIO-ABRUZZO. ITALY	1984	5.8	1	660	660	18.9	18.9
0088	BORAH PEAK. ID-02	1983	5.1	1	660	660	22.3	49.0
0068	IRPINIA. ITALY-01	1980	6.9	1	460	660	8.5	64.4
0047	DURSUNBEY. TURKEY	1979	5.34	1	660	660	9.2	9.2
0036	OROVILLE-01	1975	5.89	1	623	623	8.0	8.0
0039	OROVILLE-03	1975	4.7	1	478	623	6.1	7.6
0171	CHI-CHI. TAIWAN-02	1999	5.9	2	455	845	7.7	147.1
0172	CHI-CHI. TAIWAN-03	1999	6.2	2	455	845	9.3	139.1
0174	CHI-CHI. TAIWAN-05	1999	6.2	2	455	845	32.3	186.2
0175	CHI-CHI. TAIWAN-06	1999	6.3	2	455	845	13.0	139.8
0127	NORTHRIDGE-01	1994	6.7	2	450	822	5.4	80.0
0151	NORTHRIDGE-06	1994	5.3	2	450	822	14.7	82.6
0123	CAPE MENDOCINO	1992	7.01	2	457	713	7.0	28.8
0097	NAHANNI. CANADÁ	1985	6.76	2	660	660	4.9	9.6
0076	COALINGA-0L	1983	6.36	2	685	685	27.5	27.5

0077	COALINGA-02	1983	5.09	2	617	617	19.9	19.9
0078	COALINGA-03	1983	5.38	2	617	617	13.3	13.3
0079	COALINGA-04	1983	5.18	2	617	617	15.4	15.4
0080	COALINGA-05	1983	5.77	2	617	617	11.4	11.4
0081	COALINGA-06	1983	4.89	2	617	617	11.8	11.8
0082	COALINGA-07	1983	5.21	2	617	617	12.1	12.1
0046	TABAS. IRÁN	1978	7.35	2	660	767	2.1	13.9
0040	FRIULI ITALY-01	1976	6.5	2	660	660	14.5	102.2
0030	SAN FEMANDO	1971	6.61	2	450	874	11.0	92.6
0020	SAN FRANCISCO	1957	5.28	2	874	874	11.0	11.0
0137	CHI-CHI. TAIWÁN	1999	7.6	3	455	845	0.3	172.2
0149	NORTHRIDGE-04	1994	5.93	3	450	450	24.8	24.8
0150	NORTHRIDGE-05	1994	5.13	3	450	526	20.5	31.1
0118	LOMA PRIETA	1989	6.9	3	450	895	3.9	79.8
0113	WHITTIER NARROWS-01	1987	6.0	3	450	822	14.7	72.2
0114	WHITTIER NARROWS-02	1987	5.27	3	550	822	11.8	19.9
0101	N. PALM SPRINGS	1986	6.06	3	685	685	17.0	54.8
0029	LYTLE CREEK	1970	5.33	3	450	813	12.4	103.6

RANGO DE APLICACIÓN

El proyecto NGA estipula una serie de requisitos para cada desarrollador.

Estos requisitos se resumen a continuación:

Estilos de Fallas: transcurrente (SS), inversa (RV) o normal

Rango de magnitud (SS): 4.5 a 7.7

Rango de magnitud (RV): 4.81 a 7.6

Rango de distancia: 0.3 a 199.3 (Km)

Rango de Velocidad: 453 a 895 (m/s)

En este capítulo se presenta la metodología con la cual se hallan espectros de aceleración, para períodos comprendidos entre 0 y 10 segundos y con 5% de amortiguamiento

El mecanismo del sismo que figura en la base de datos hace referencia 0-4 o por el ángulo rake. El ángulo rake no fue proporcionado en cada sismo por lo tanto no ha sido utilizado en este estudio como un parámetro independiente.

En su lugar, a los sismos asignados un mecanismo de 0 y los sismos asignados un mecanismo de 1, fueron combinados en un solo grupo y considerados para representar a la falla “transcurrente”.

Los sismos asignados un mecanismo de 2 y los sismos asignados un mecanismo de 3, fueron combinados en un solo grupo y considerados para representar a la falla “inversa”.

ECUACIÓN PROPUESTA POR IDRIS

La ecuación propuesta por Idriss para encontrar el espectro elástico de aceleraciones con 5% de amortiguamiento es la siguiente:

(1-1)

$$\ln[\text{PSA}(T)] = \alpha_1(T) + \alpha_2(T)M - [\beta_1(T) + \beta_2(T)M] \ln(R_{rup} + 10) + \gamma(T) + \varphi(T)F$$

Donde:

- **M**: momento de magnitud
- **Rrup**: es la distancia más cercana al plano de ruptura [Km]

- $\gamma(T)$: es una “distancia” factor de ajuste (en parte responsable de la atenuacion inelástica.
- $\varphi(T)$: es un mecanismo (o estilo de falla)
- **F**: Indicador de una réplica o del evento sísmico principal. Si es réplica vale 1 caso contrario vale 0.
- $\alpha_1(T)$, $\alpha_2(T)$, $\beta_1(T)$, $\beta_2(T)$: factores obtenidos del proceso de regresión.

A continuación se presenta los valores (α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , φ , γ) que van a depender de la velocidad y la Magnitud.

Tabla 1.2: 450 M/S ≤ V_{s30} ≤ 900 M/S AND M ≤ 6.75						
PERIOD (SEC)	α_1	α_2	β_1	β_2	γ	φ
0.01(PGA)	3.7066	-0.1252	2.9832	-0.2339	0.00047	0.12
0.02	3.7066	-0.1252	2.9832	-0.2339	0.00047	0.12
0.03	3.7566	-0.1252	2.9832	-0.2339	0.00047	0.12
0.04	3.8066	-0.1252	2.9832	-0.2339	0.00047	0.12
0.05	4.1248	-0.1781	3.0156	-0.2445	0	0.12
0.06	4.4681	-0.2228	3.0708	-0.2536	0	0.12
0.08	4.4853	-0.1949	3.1071	-0.2576	0	0.12
0.1	4.4592	-0.1624	3.1212	-0.2570	0	0.12
0.15	3.4793	-0.0188	2.8609	-0.2267	0	0.12
0.2	3.2354	0.0346	2.8739	-0.2282	0	0.12
0.25	2.7628	0.0791	2.8203	-0.2292	-0.00049	0.12
0.3	2.3813	0.1187	2.8126	-0.2301	0.00052	0.12
0.35	2.0302	0.1545	2.8056	-0.2309	0.00099	0.12
0.4	1.7037	0.1873	2.7992	-0.2317	0.00112	0.12
0.45	1.3940	0.2177	2.7932	-0.2324	0.00114	0.12
0.5	1.0893	0.2461	2.7876	-0.2330	0.00132	0.12
0.6	0.5308	0.2979	2.7772	-0.2342	0.00154	0.12
0.7	0.0240	0.3443	2.7677	-0.2353	0.00170	0.12

0.8	-0.4141	0.3866	2.7590	-0.2363	0.00152	0.12
0.9	-0.8184	0.4255	2.7510	-0.2373	0.00157	0.11
1	-1.2290	0.4615	2.7434	-0.2381	0.00188	0.10
1.5	-2.9168	0.6103	2.7112	-0.2418	0.00250	0.06
2	-4.2783	0.7246	2.6851	-0.2447	0.00268	0.04
3	-6.2431	0.8935	2.6437	-0.2493	0.00050	0
4	-7.6967	1.0137	2.6110	-0.2529	-0.00248	0
5	-8.8110	1.1027	2.5839	-0.2558	-0.00453	0
6	-9.7232	1.1696	2.5607	-0.2582	-0.00566	0
7	-10.4706	1.2197	2.5406	-0.2603	-0.00633	0
8	-11.0814	1.2566	2.5228	-0.2621	-0.00671	0
9	-11.5896	1.2826	2.5070	-0.2636	-0.00689	0
10	-12.0149	1.2995	2.4928	-0.2650	-0.00709	0

Tabla 1.3: 450 M/S ≤ V_{s30} ≤ 900 M/S AND 6.75 < M ≤ 8.5

PERIOD (SEC)	α_1	α_2	β_1	β_2	γ	φ
0.01(PGA)	5.6315	-0.4104	2.9832	-0.2339	0.00047	0.12
0.02	5.6315	-0.4104	2.9832	-0.2339	0.00047	0.12
0.03	5.6815	-0.4104	2.9832	-0.2339	0.00047	0.12
0.04	5.7315	-0.4104	2.9832	-0.2339	0.00047	0.12
0.05	5.8447	-0.4329	2.9487	-0.2346	0	0.12
0.06	6.0362	-0.4551	2.9494	-0.2356	0	0.12
0.08	6.4307	-0.4831	2.9788	-0.2386	0	0.12
0.1	6.3053	-0.4359	2.9153	-0.2265	0	0.12
0.15	5.0845	-0.2566	2.4829	-0.1707	0	0.12
0.2	5.0842	-0.2393	2.5066	-0.1738	0	0.12
0.25	4.5453	-0.1850	2.3687	-0.1623	-0.00049	0.12
0.3	4.2719	-0.1614	2.3475	-0.1612	0.00052	0.12
0.35	4.0174	-0.1399	2.3284	-0.1602	0.00099	0.12
0.4	3.7792	-0.1202	2.3105	-0.1593	0.00112	0.12
0.45	3.5519	-0.1020	2.2937	-0.1584	0.00114	0.12
0.5	3.3235	-0.0849	2.2793	-0.1577	0.00132	0.12
0.6	2.9047	-0.0538	2.2507	-0.1562	0.00154	0.12
0.7	2.5222	-0.0258	2.2250	-0.1549	0.00170	0.12
0.8	2.1972	-0.0003	2.2014	-0.1537	0.00152	0.12
0.9	1.8971	0.0232	2.1786	-0.1525	0.00157	0.11
1	1.5822	0.0450	2.1588	-0.1515	0.00188	0.10
1.5	0.2888	0.1354	2.0720	-0.1471	0.00250	0.06
2	-0.7737	0.2054	2.0027	-0.1436	0.00268	0.04
3	-2.3037	0.3099	1.8938	-0.1382	0.00050	0
4	-3.4564	0.3855	1.8091	-0.1341	-0.00248	0

5	-4.3563	0.4427	1.7401	-0.1308	-0.00453	0
6	-5.1145	0.4868	1.6825	-0.1281	-0.00566	0
7	-5.7538	0.5209	1.6327	-0.1258	-0.00633	0
8	-6.2921	0.5471	1.5900	-0.1239	-0.00671	0
9	-6.7588	0.5669	1.5532	-0.1223	-0.00689	0
10	-7.1679	0.5814	1.5201	-0.1209	-0.00709	0

FALLAS EXISTENTES EN EL GOLFO DE GUAYAQUIL

Son deformaciones frágiles. Los materiales se rompen y se produce un desplazamiento suficiente de los “fragmentos” rotos (sin desplazamiento no es posible visualizar las fallas). Generalmente las identificamos porque se ponen en contacto materiales de distintas edades.

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LAS FALLAS

Definir una serie de elementos geométricos en las fallas servirá para clasificarlas.

- **Bloques o labios:** cada una de las partes divididas y separadas por la falla.
 - *Labio hundido:* el que queda en posición inferior con respecto al otro.
 - *Labio levantado:* se mantiene elevado con respecto al hundido.

- **Plano de falla:** el plano de rotura por el que se ha producido el desplazamiento. Sirve para orientar la falla.
- **Salto:** es la magnitud del desplazamiento.
 - *Salto lateral o en dirección:* es el desplazamiento a lo largo del plano de falla medio horizontal.
 - *Salto horizontal:* es el alejamiento de un bloque con respecto a otro medio en la horizontal. Es perpendicular al salto lateral.
 - *Salto vertical:* la distancia, en la vertical que separa ambos labios. Es perpendicular a los dos anteriores.

Salto neto: es la resultante de los tres anteriores. Frecuentemente se puede observar sobre el plano de falla unas estrías denominadas estrías de falla. Nos indican la dirección del salto neto.

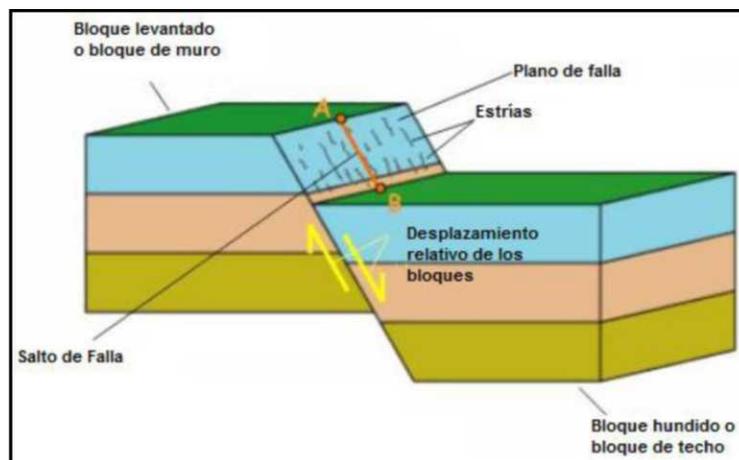


Figura 1.1: Elementos de una falla (slideshare.net)

CARACTERÍSTICAS

- *Buzamiento*: ángulo que forma el plano de falla con la horizontal.
- *Dirección*: ángulo que forma una línea horizontal contenida en el plano de falla con el eje norte-sur.
- *Salto de falla*: distancia vertical, medida entre los bordes del bloque levantado y el hundido.

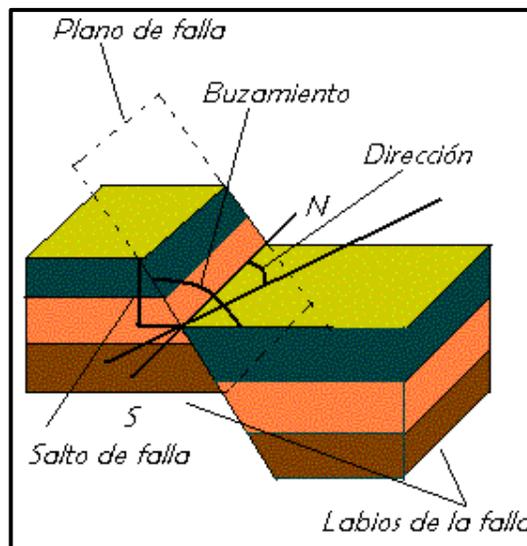


Figura 1.2: Características de una falla (recursostic.educacion.es)

TIPOS DE FALLAS

A continuación se describe los principales tipos de fallas.

Falla normal o Falla directa (Normal Fault): En la cual uno de los bloques se mueve hacia abajo con respecto al otro bloque. El desplazamiento es vertical este

tipo de fallas se produce por fuerzas de tensión dada que hay un aumento de superficie, ver Figura 1.3.

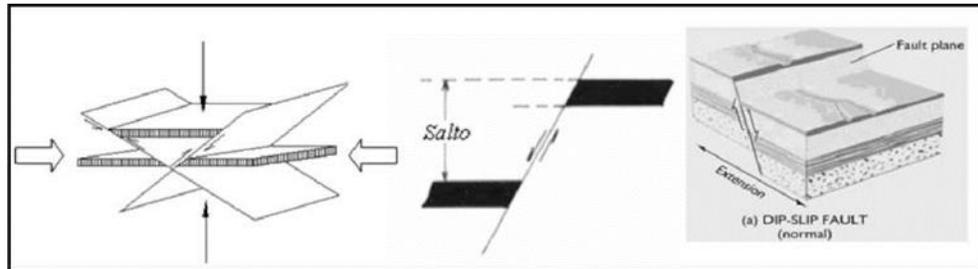


Figura 1.3: Falla normal (cuevadelcivil)

Falla Inversa (Reverse Fault): El desplazamiento es vertical y el bloque levantado se mueve hacia arriba con respecto al otro bloque. Son fallas que se producen por fuerzas de compresión dado que hay disminución de superficie, ver figura 1.4.

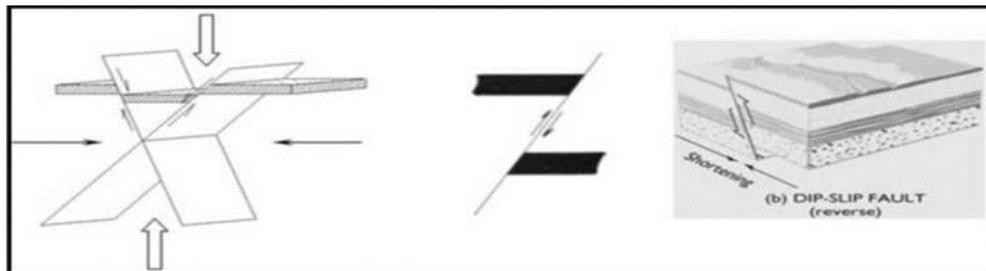


Figura 1.4: Falla inversa (cuevadelcivil)

Falla en Cizalla o Desgarre: No tiene salto vertical. El movimiento de los bloques se produce en forma horizontal. No hay labio levantado ni hundido. Se origina por fuerzas de cizalladura (fuerzas que actúan en la misma dirección y en sentido contrario), ver figura 1.5.

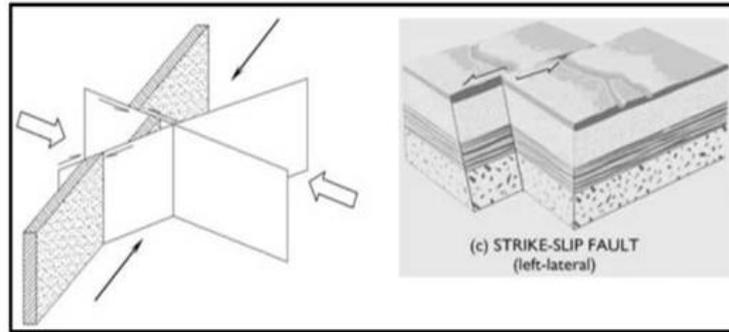


Figura 1.5: Falla de Cizalla (cuedelcivil)

En este capítulo se van a estudiar 76 fallas que pueden presentarse en el golfo de Guayaquil, en la tabla 1.4 se especifica sus propiedades y tipo de falla de cada una.

Tabla 1.4: Fallas Capaces en el Golfo de Guayaquil

Id.	falla capaz	Tipo	prof. falla (km)	Distancia falla -sitio (km)	Buzamiento aparente	Ancho de falla	M.
1	F. SanJose	Inversa	20	159	45	12	6.84
2	F. Valdivia	Cizalla dextral	20	141	85	10	6.69
3	F. Bachiller	Inversa	18	132	90	10	6.71
4	F. El Achote	Inversa	10	139	45	6	6.09
5	F. Colonche	Inversa	15	127	45	10	6.62
6	F. Colinas	Inversa	20	117	45	6	6.39
7	F. Carrizal	Normal	12	114	45	14	6.64
8	F. Guayaquil	Inversa	30	130	45	10	6.94
9	F. Babahoyo	Cizalla dextral	23	142	85	20	7.13
10	F. Montalvo	Inversa	25	187	45	18	6.95
11	F Chillanes	Inversa	10	187	45	20	6.70
12	F San Antonio	Normal	5	147	45	10	6.34
13	F. Puna - El Triunfo	Cizalla dextral	15	99	85	16	6.98
14	F. Boliche	Cizalla dextral	15	100	85	16	6.94
15	F. Milagro	Cizalla dextral	15	90	45	16	7.05

16	F. Estero Salado	Normal	10	77	45	13	6.72
17	F. Progreso	Normal	18	73	45	15	6.95
18	F. La Cruz	Normal	16	67	45	16	7.05
19	F. Zapotal	Cizalla sinestral	20	91	85	12	6.75
20	F. Salinas	Inferida	20	120	85	10	6.51
21	F. Anconcito	Inferida	20	107	85	10	6.35
22	F. Chanduy	Normal	20	96	45	8	6.64
23	F. Playas	Normal	20	56	45	14	7.07
24	F. Puna Norte	Cizalla dextral	15	66	45	16	6.64
25	F. Zapote	Cizalla dextral	15	61	85	16	6.74
26	F. El Tabor	Normal	18	52	45	14	6.87
27	F. Balao	Inferida	15	80	85	10	6.88
28	F. Naranjal	Inversa	18	97	45	10	6.75
29	F. El Carmen	Normal	5	101	45	8	5.95
30	F. Ponce Enriquez	Inversa	10	76	45	12	6.67
31	F. Giron	Inversa	10	131	45	18	6.83
32	F. Nabon	Inversa	20	133	45	18	7.05
33	F. Pasaje	Cizalla dextral	12	77	85	14	6.76
34	F. Jambeli Sur	Normal	12	39	45	14	6.69
35	F. Jambeli Norte	Normal	15	53	45	14	6.64
36	F. Zambapala	Cizalla dextral	18	18	85	14	6.91
37	F. Posorja	Normal	20	23	45	14	7.18
38	F. Arenal	Normal	15	31	45	14	6.65
39	F. Santo Tomas	Normal	15	45	45	16	7.00
40	F. Real	Normal	15	47	45	16	6.90
41	F. Engabao	Normal	15	40	45	16	6.76
42	F. Engunga	Normal	15	47	45	16	6.66
43	F. Data	Normal	15	37	45	14	6.63
44	F. Domito Norte	Normal	16	40	45	14	6.41
45	F. Esperanza S4	Normal	15	27	45	10	6.33
46	F. Esperanza S1	Normal	20	15	45	15	6.46
47	F. Tenguel	Normal	12	8	45	12	6.42
48	F. Santa Clara	Inversa	10	2	45	4	6.26
49	F. Amistad Norte	Inversa	16	2	45	4	6.44

50	F. Amistad Sur	Cizalla dextral	16	2	85	10	6.39
51	F. Esperanza S2	Normal	15	11	45	5	6.12
52	F. Esperanza S3	Normal	20	26	45	10	6.59
53	F. Domito Sur	Normal	16	39	45	10	6.81
54	F. Banco Peru S1	Normal	20	46	45	30	7.25
55	F. Mancora Tumbes	Normal	18	39	45	25	7.28
56	F. Mancora Zorritos	Normal	16	55	45	20	6.95
57	F. Balsas	Cizalla dextral	12	91	85	12	6.42
58	F. Macara	Inversa	25	120	45	16	6.97
59	F. Celica	Inversa	25	115	45	18	7.09
60	F. Alamor	Inversa	22	101	45	10	6.51
61	F. Pindal	Inversa	17	102	45	13	6.58
62	F. Pitayo	Inversa	20	91	45	13	6.29
63	F. Chaguarhuayco	Cizalla dextral	20	89	85	10	6.41
64	F. Catanas	Inversa	18	93	45	8	6.50
65	F. Marcabeli	Cizalla sinestral	30	82	85	16	6.92
66	F. Cazaderos	Inversa	27	86	45	8	6.69
67	P-01	Inferida	25	87	85	16	7.06
68	P-02	Normal	20	115	45	20	6.80
69	P-03	Inferida	20	147	85	20	6.68
70	P-04	Inferida	20	153	85	30	7.21
71	P-05	Inferida	20	115	85	12	6.83
72	P-06	Inferida	20	128	85	20	6.99
73	P-07	Inferida	20	53	85	20	7.21
74	F. Banco Peru S2	Normal	20	88	45	20	7.03
75	F. Hualtaco	Cizalla dextral	10	138	85	16	6.24
76	F. Prisma	Inversa	10	116	45	30	7.11

CALCULO DE LOS VALORES DEL PGA

Una vez revisada la teoría y los diferentes datos de las fallas capaces en el Golfo de Guayaquil. Se procede a aplicar subrutinas de CEINCI-LAB el cual es un programa que sirve para el cálculo de los valores de PGA con los diferentes métodos estudiados en el segundo capítulo.

El cálculo ha sido desarrollado en base a Matlab, bajo la autoría y dirección del Dr. Roberto Aguiar.

Tabla 1.5: Valores de PGA

Id	Falla Capaz	Tipo	Pga (g) Abrahamson	PGA (g) Campbell	PGA (g) Idriss
1	F. SanJose	Inversa	0,0292	0,0228	0,0169
2	F. Valdivia	Cizalla dextral	0,0294	0,0235	0,0171
3	F. Bachiller	Inversa	0,0331	0,0254	0,019
4	F. El Achote	Inversa	0,0087	0,0155	0,0094
5	F. Colonche	Inversa	0,0315	0,0252	0,0182
6	F. Colinas	Inversa	0,0264	0,0234	0,0158
7	Carrizal	Normal	0,0479	0,0365	0,0339
8	F. Guayaquil	Inversa	0,0422	0,0287	0,0228
9	F. Babahoyo	Cizalla dextral	0,0464	0,0298	0,0242
10	F. Montalvo	Inversa	0,0257	0,0209	0,0151
11	F Chillanes	Inversa	0,0103	0,0181	0,0122
12	F San Antonio	Normal	0,0077	0,012	0,01
13	F. Puna - El Triunfo	Cizalla dextral	0,0488	0,0385	0,0332
14	F. Boliche	Cizalla dextral	0,0465	0,0374	0,0319
15	F. Milagro	Cizalla dextral	0,0705	0,0436	0,039
16	Estero Salado	Normal	0,0667	0,0555	0,0576
17	F. Progreso	Normal	0,0762	0,0334	0,0406
18	F. La Cruz	Normal	0,0898	0,0379	0,0479
19	F. Zapotal	Cizalla sinestral	0,0551	0,037	0,0311
20	F. Salinas	Inferida	0,0298	0,025	0,0174
21	F. Anconcito	Inferida	0,0289	0,0249	0,0172
22	F. Chanduy	Normal	0,0535	0,038	0,0313

23	F. Playas	Normal	0,1234	0,071	0,0724
24	F. Puna Norte	Cizalla dextral	0,0635	0,0483	0,0416
25	F. Zapote	Cizalla dextral	0,0618	0,0544	0,0502
26	F. El Tabor	Normal	0,0961	0,0439	0,0562
27	F. Balao	Inferida	0,0704	0,0446	0,0397
28	F. Naranjal	Inversa	0,052	0,0349	0,0288
29	F. El Carmen	Normal	0,0093	0,0132	0,0113
30	F. Ponce Enriquez	Inversa	0,0415	0,0428	0,0363
31	F. Giron	Inversa	0,0216	0,0274	0,0213
32	F. Nabon	Inversa	0,0466	0,0303	0,0246
33	F. Pasaje	Cizalla dextral	0,0461	0,044	0,0387
34	F. Jambeli Sur	Normal	0,1096	0,0894	0,0924
35	F. Jambeli Norte	Normal	0,0922	0,0433	0,0556
36	F. Zambapala	Cizalla dextral	0,1705	0,1351	0,1764
37	F. Posorja	Normal	0,2579	0,1173	0,1259
38	F. Arenal	Normal	0,1396	0,0953	0,0944
39	F. Santo Tomas	Normal	0,1316	0,0568	0,0788
40	F. Real	Normal	0,1176	0,0528	0,0716
41	F. Engabao	Normal	0,1154	0,0558	0,074
42	F. Engunga	Normal	0,0841	0,0452	0,0555
43	F. Data	Normal	0,1231	0,0837	0,0824
44	F. Domito Norte	Normal	0,0673	0,0561	0,0584
45	F. Esperanza S4	Normal	0,1202	0,0923	0,0815
46	F. Esperanza S1	Normal	0,1634	0,1066	0,0933
47	F. Tenguel	Normal	0,3233	0,3164	0,3079
48	F. Santa Clara	Inversa	0,2239	0,1711	0,1544
49	F. Amistad Norte	Inversa	0,2897	0,2025	0,1718
50	F. Amistad Sur	Cizalla dextral	0,3603	0,2243	0,2233
51	F. Esperanza S2	Normal	0,1807	0,1329	0,1166
52	F. Esperanza S3	Normal	0,13	0,0903	0,0832
53	F. Domito Sur	Normal	0,1182	0,0556	0,0736
54	F. Banco Peru S1	Normal	0,1206	0,0521	0,0688
55	F. Mancora Tumbes	Normal	0,1197	0,0985	0,104
56	F. Mancora Zorritos	Normal	0,0894	0,0436	0,0563
57	F. Balsas	Cizalla dextral	0,027	0,0312	0,0229
58	F. Macara	Inversa	0,0488	0,0317	0,0259
59	F. Celica	Inversa	0,0648	0,0382	0,0332
60	F. Alamor	Inversa	0,0403	0,0322	0,024
61	F. Pindal	Inversa	0,0514	0,0358	0,0298
62	F. Pitayo	Inversa	0,0329	0,028	0,0199
63	F. Chaguarhuayco	Cizalla dextral	0,0386	0,0313	0,023
64	F. Catanas	Inversa	0,0496	0,0374	0,0298
65	F. Marcabeli	Cizalla sinestral	0,0695	0,0432	0,0383

66	F. Cazaderos	Inversa	0,0532	0,037	0,0305
67	P-01	Inferida	0,065	0,0255	0,291
68	P-02	Normal	0,051	0,023	0,026
69	P-03	Inferida	0,0247	0,0211	0,0147
70	P-04	Inferida	0,0276	0,0282	0,0225
71	P-05	Inferida	0,0389	0,0278	0,0216
72	P-06	Inferida	0,0415	0,0284	0,0224
73	P-07	Inferida	0,1133	0,0638	0,0628
74	F. Banco Peru S2	Normal	0,0784	0,032	0,0396
75	F. Hualtaco	Cizalla dextral	0,0083	0,0177	0,0111
76	Prisma	Inversa	0,0129	0,0332	0,0359

La metodología de Idriss estipula que en una de sus condiciones para utilizar este método la velocidad de onda de corte tiene que estar en el rango de 453 a 895 (m/s) y ya que la velocidad en el suelo no se encuentra en este rango no se debe utilizar este método, por lo cual se calcularan los espectros de diseño con los método de Abrahamson y Silva y Campbell y Bozorgnia.

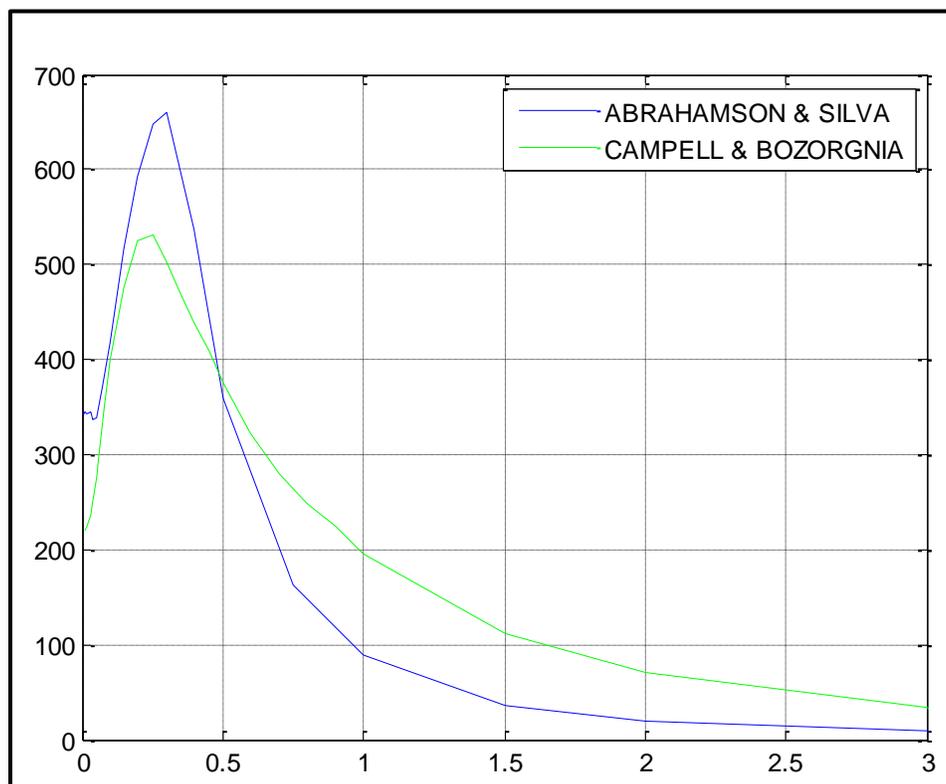


Figura 1.6: Espectro de Diseño de la Falla Amistad Norte

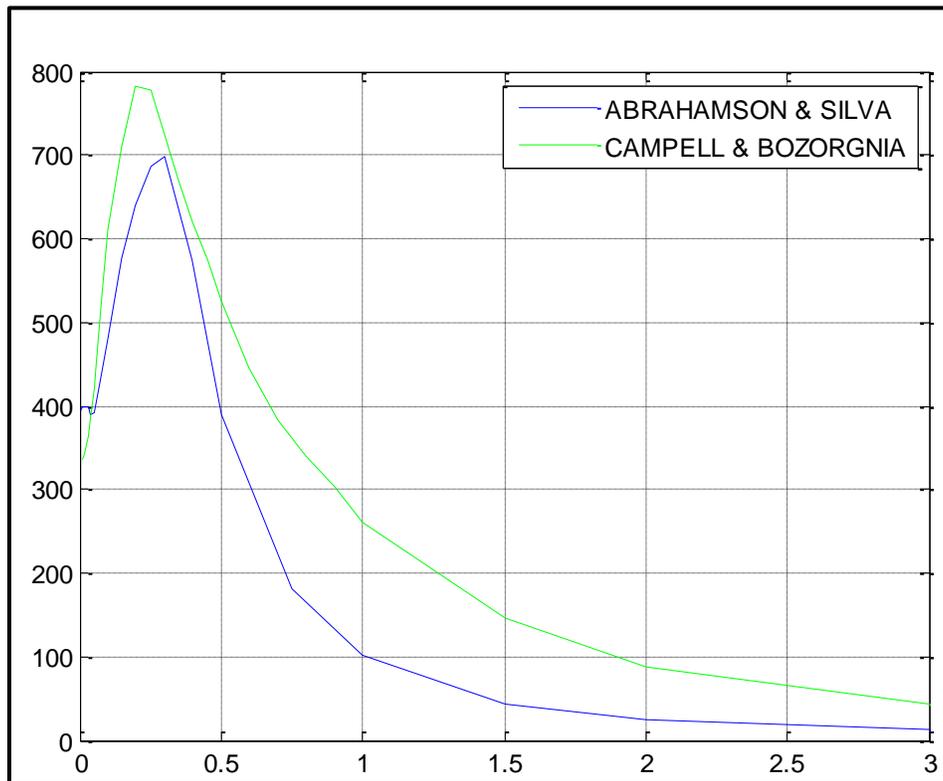


Figura 1.7: Espectro de Diseño de la Falla Amistad Sur

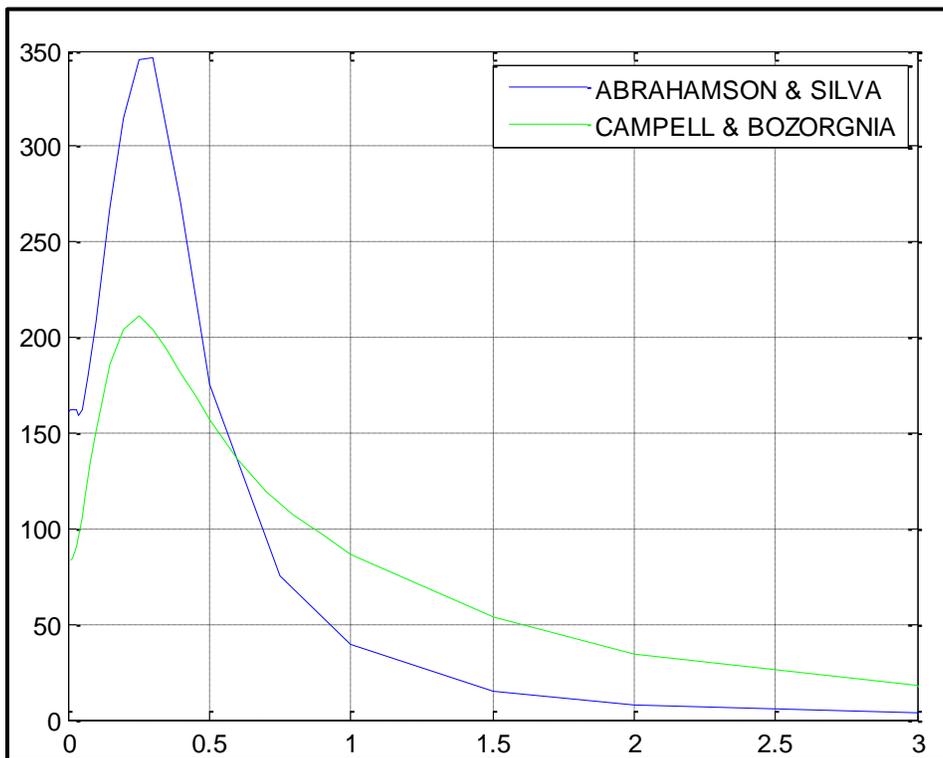


Figura 1.8: Espectro de Diseño de la Falla Arenal

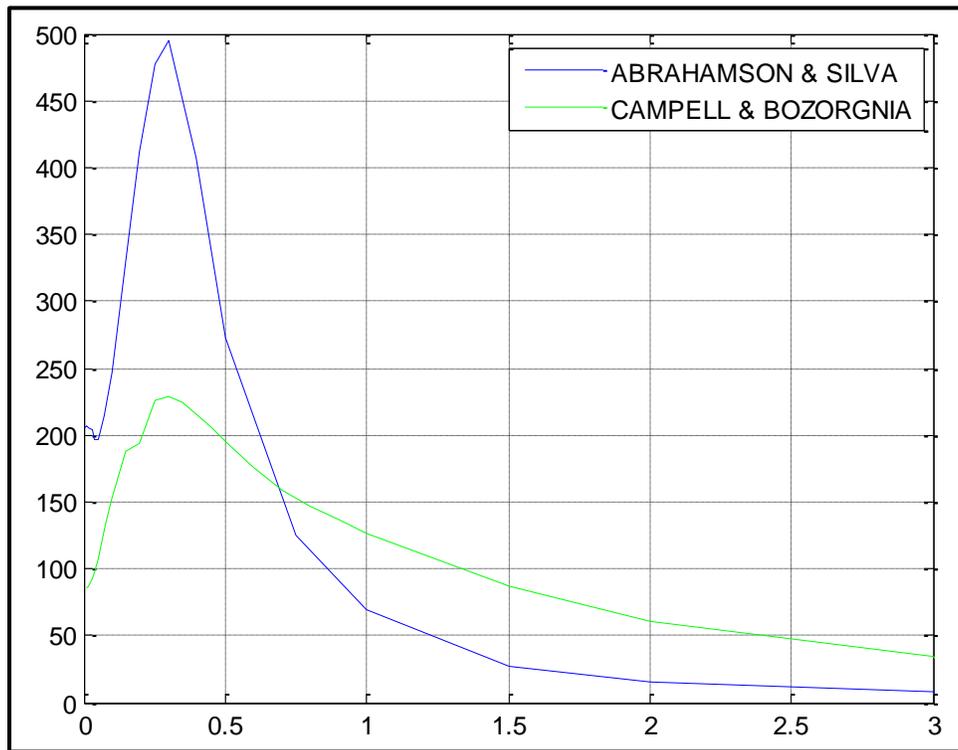


Figura 1.9: Espectro de Diseño de la Falla Banco Perú S1

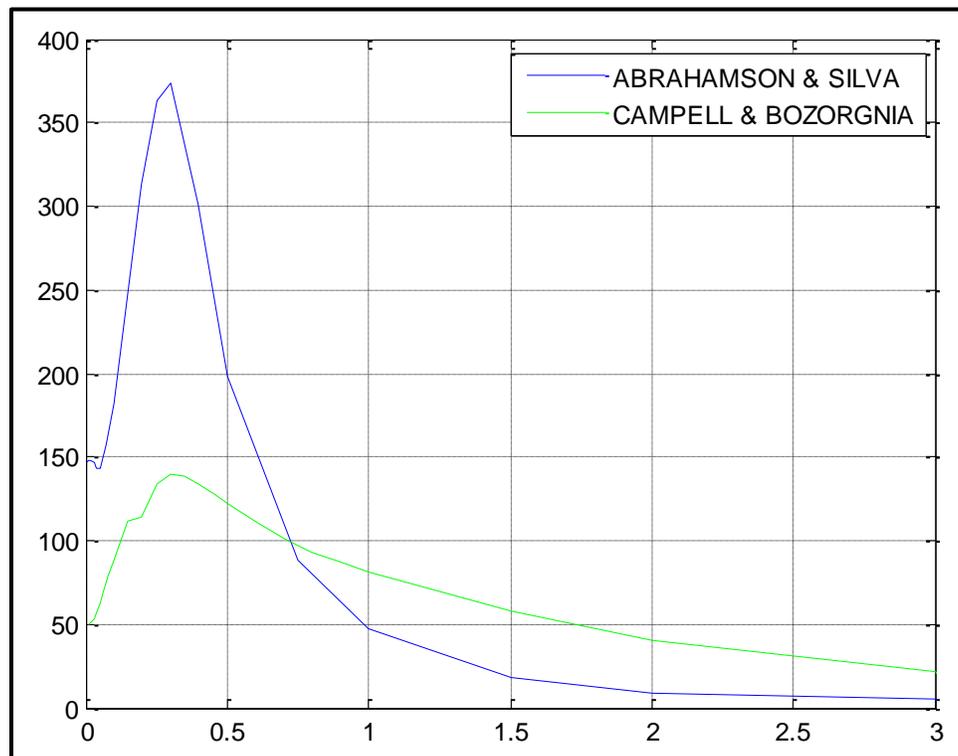


Figura 1.10: Espectro de Diseño de la Falla Banco Perú S2

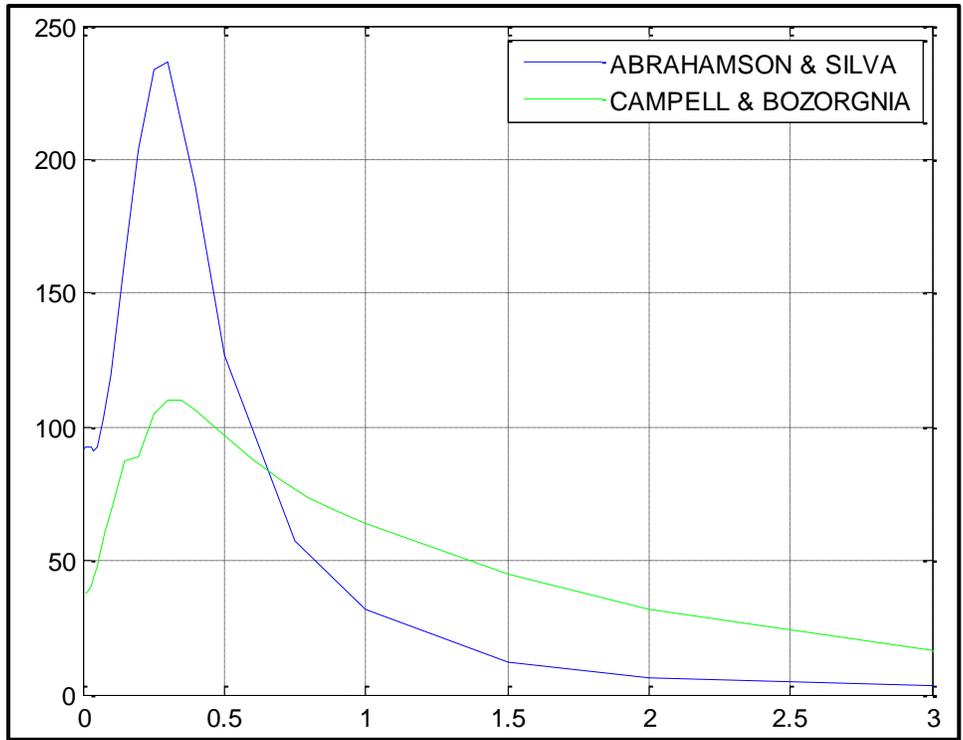


Figura 1.11: Espectro de Diseño de la Falla Carrizal

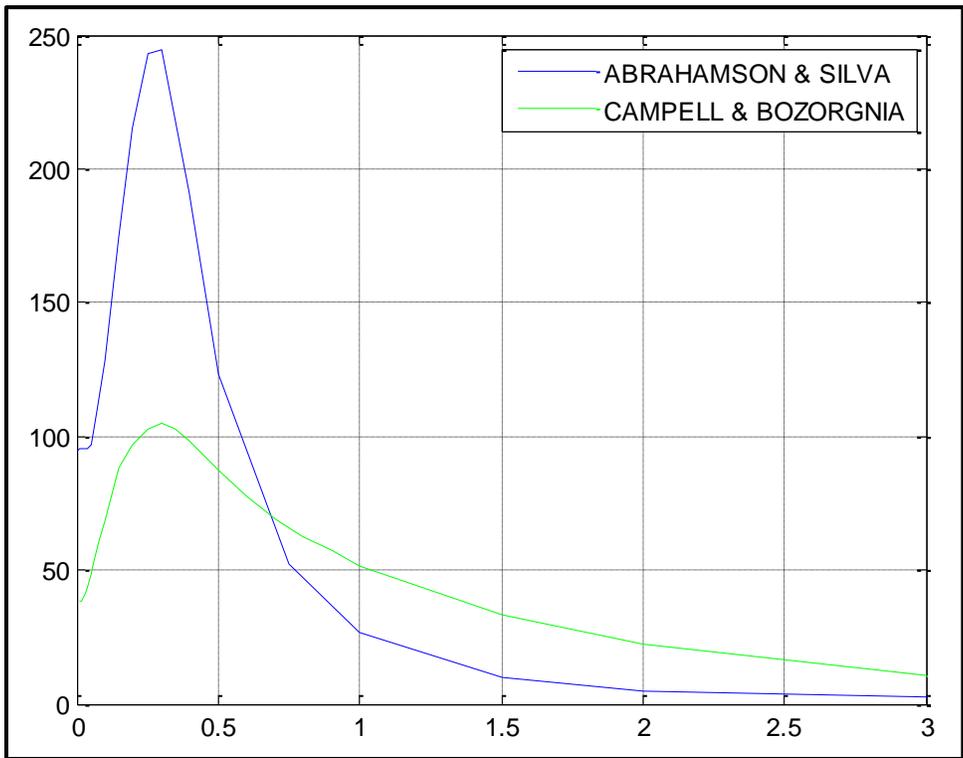


Figura 1.12: Espectro de Diseño de la Falla Catanas

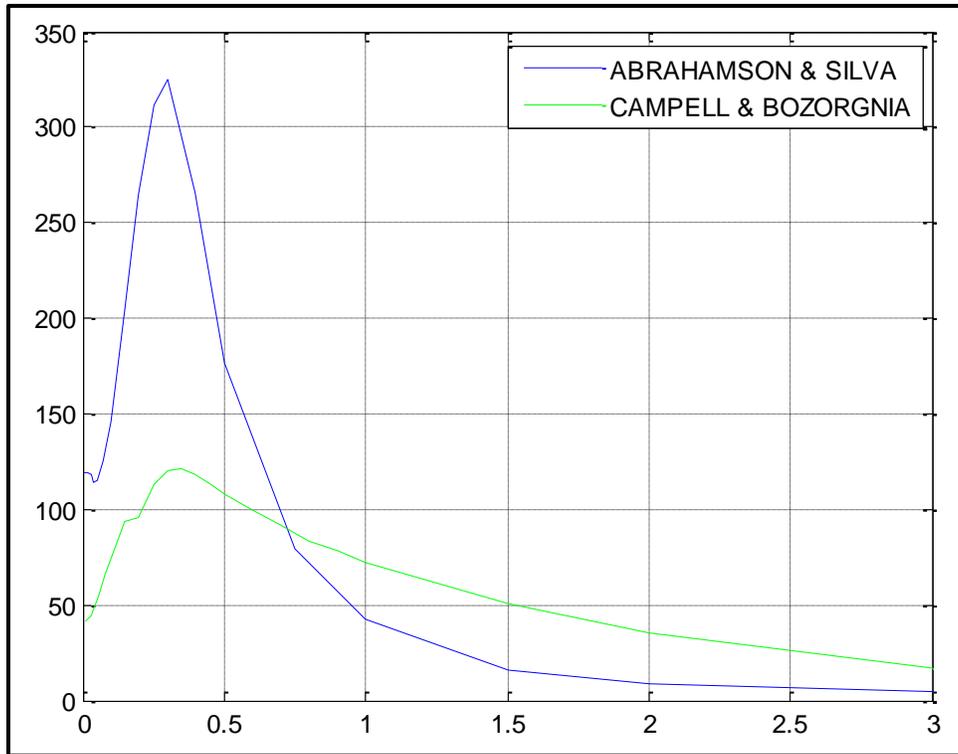


Figura 1.13: Espectro de Diseño de la Falla Celica

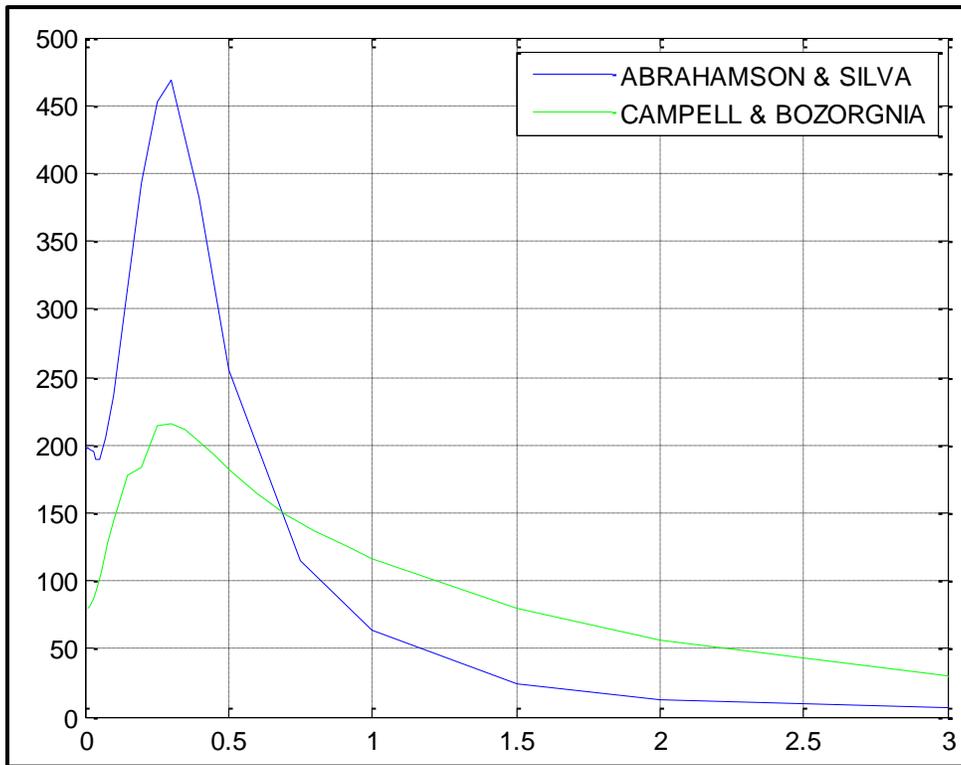


Figura 1.14: Espectro de Diseño de la Falla Playas

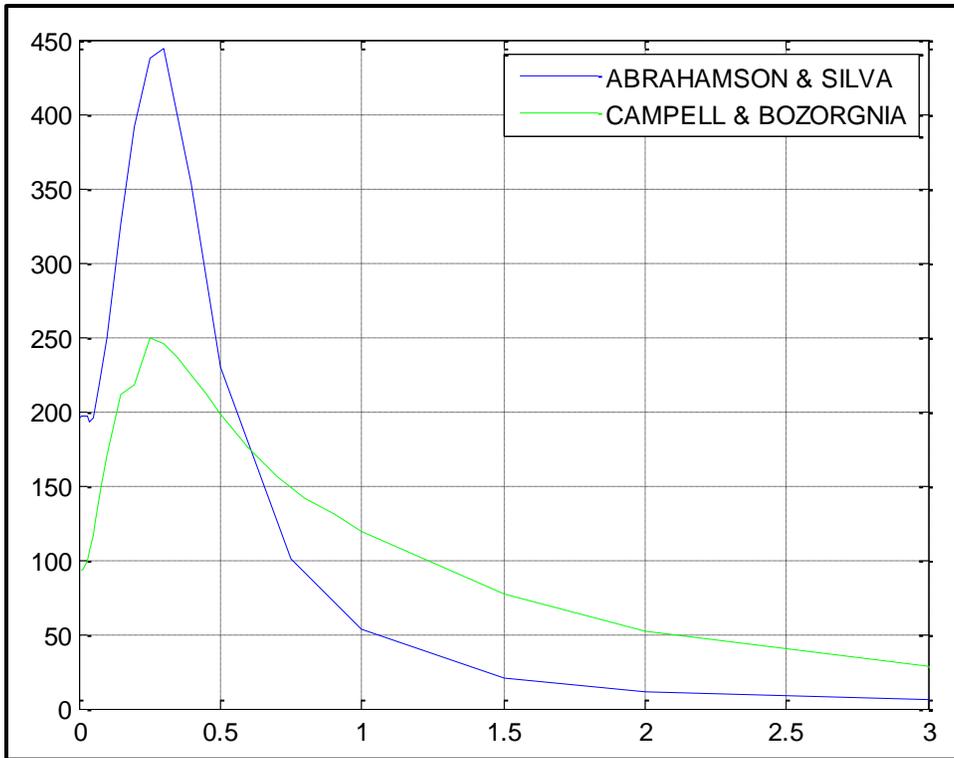


Figura 1.15: Espectro de Diseño de la Falla Data

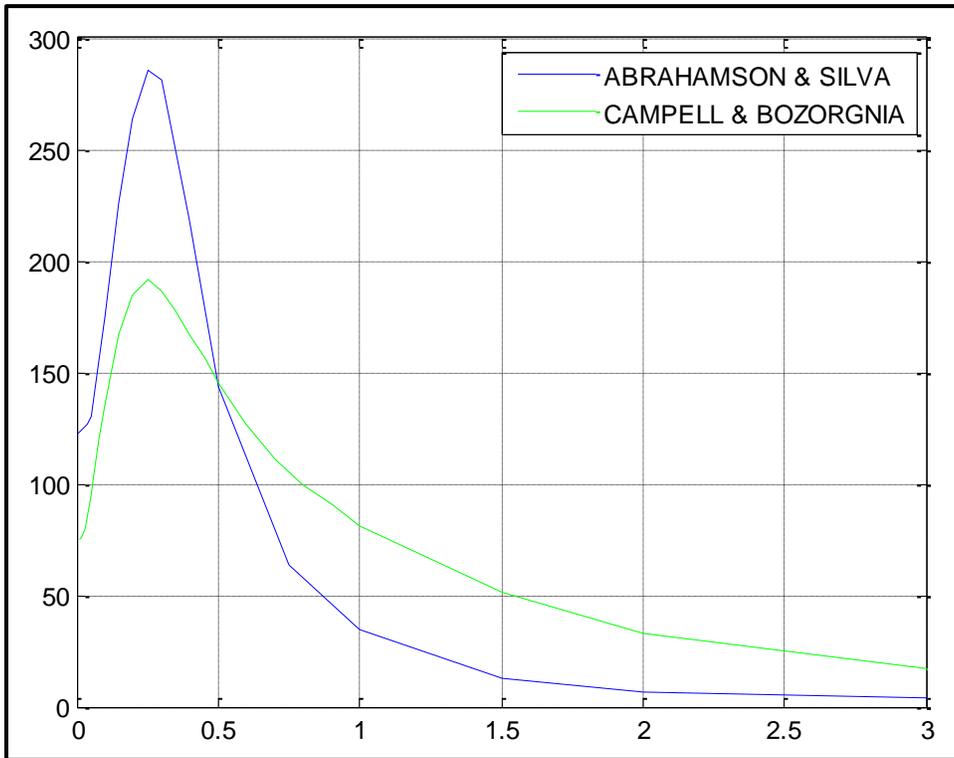


Figura 1.16: Espectro de Diseño de la Falla Domito Norte

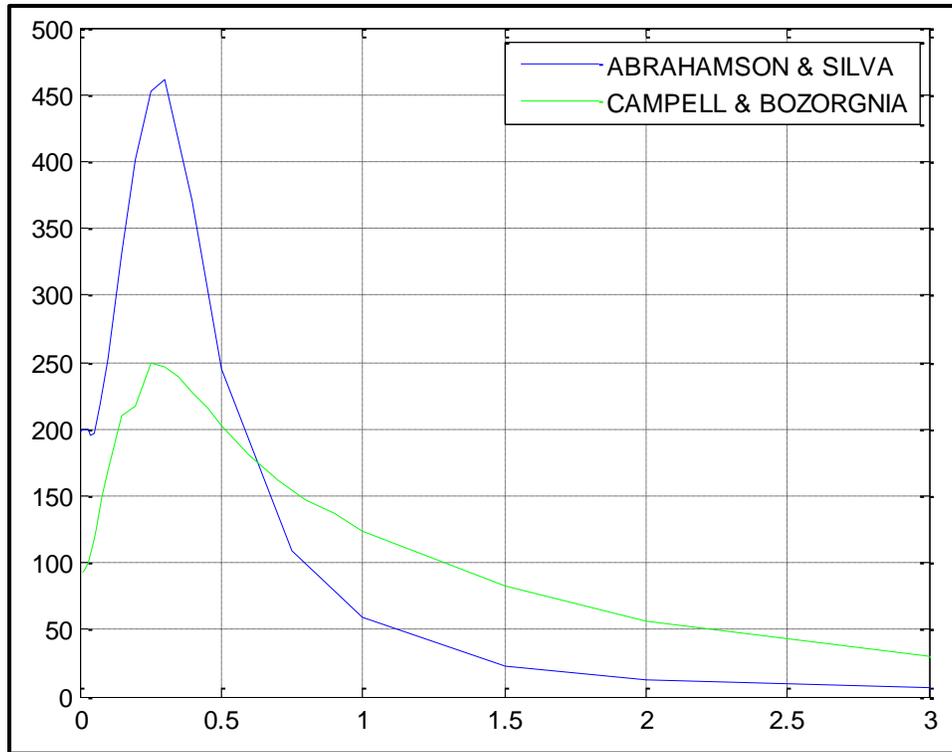


Figura 1.17: Espectro de Diseño de la Falla Engabao

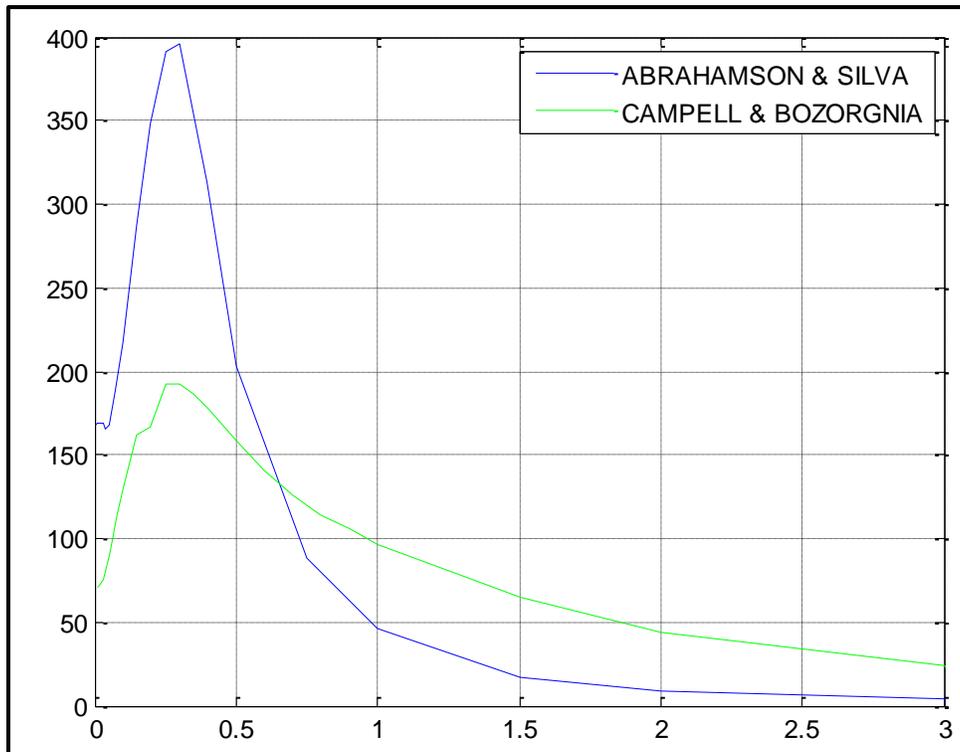


Figura 1.18: Espectro de Diseño de la Falla Jambeli Norte

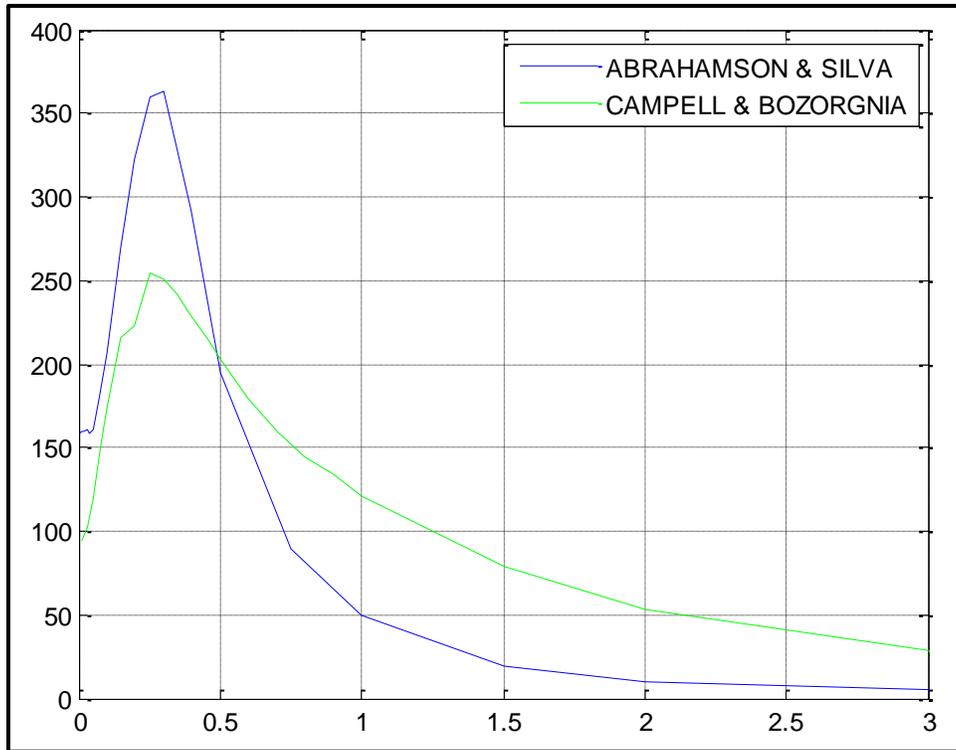


Figura 1.19: Espectro de Diseño de la Falla Jambeli Sur

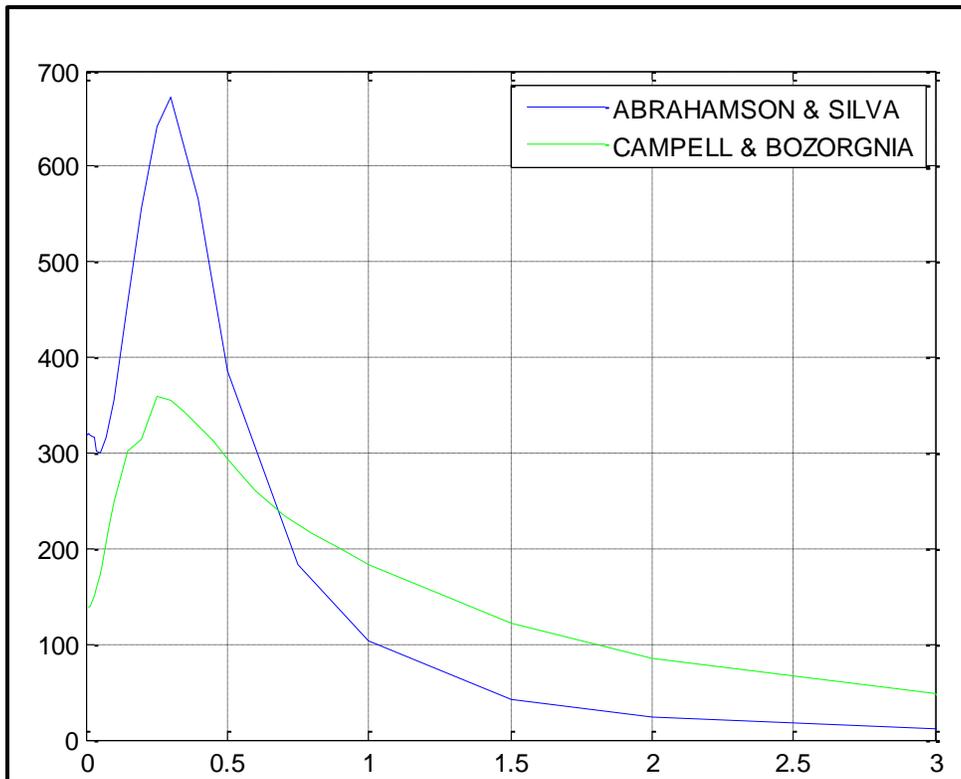


Figura 1.20: Espectro de Diseño de la Falla Posorja

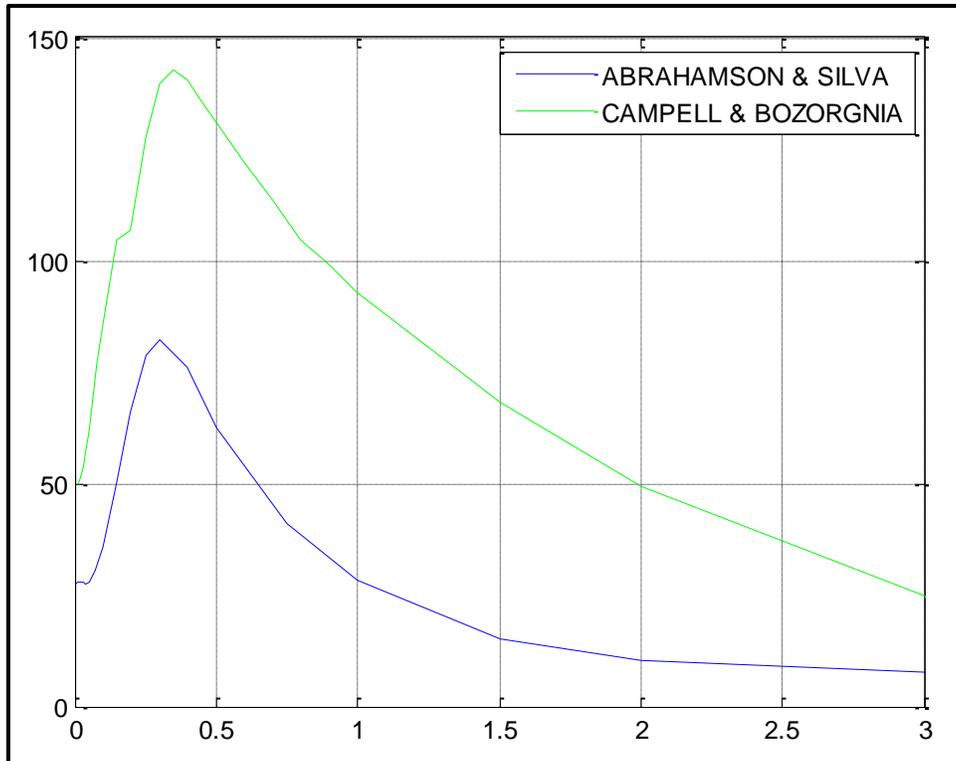


Figura 1.21: Espectro de Diseño de la Falla Prisma

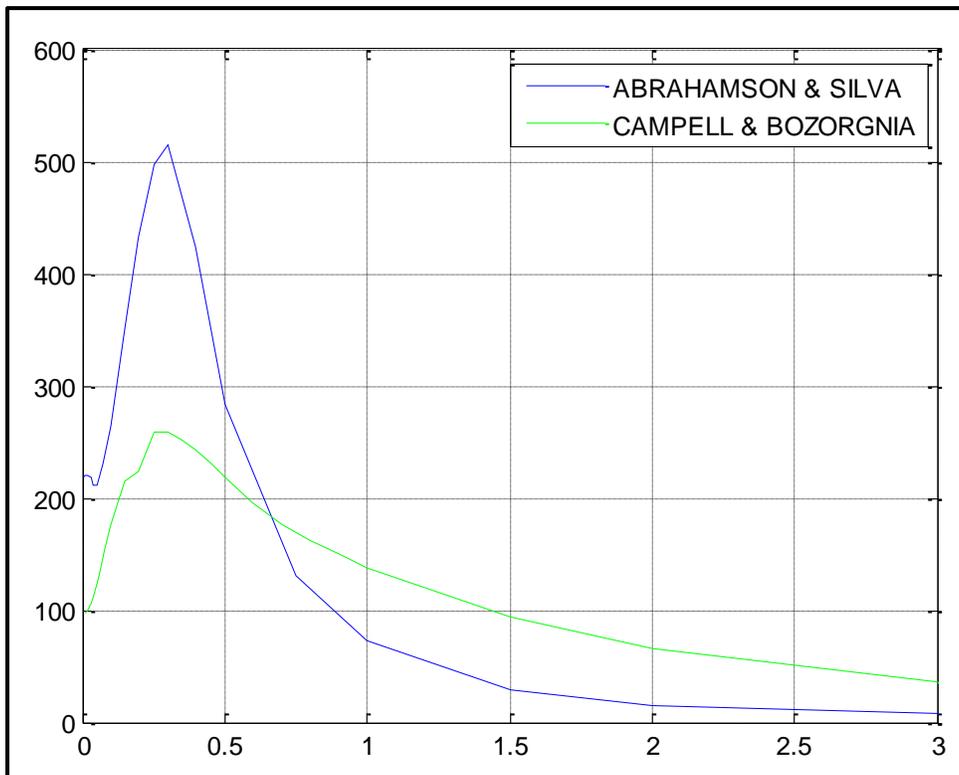


Figura 1.22: Espectro de Diseño de la Falla Santo Tomas

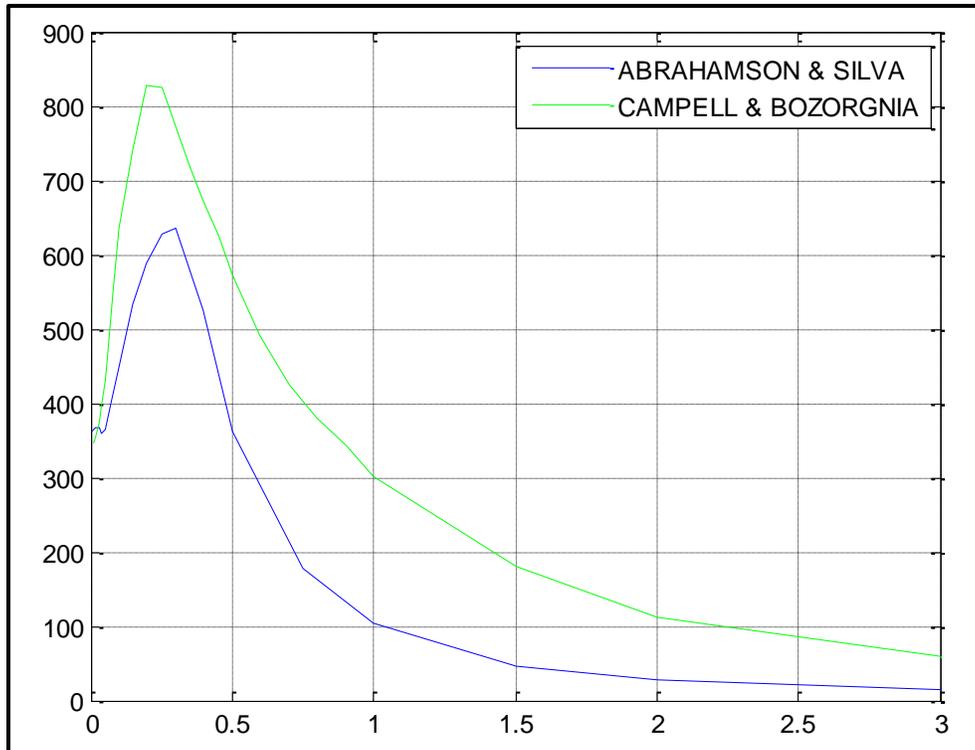


Figura 1.23: Espectro de Diseño de la Falla Tenguel

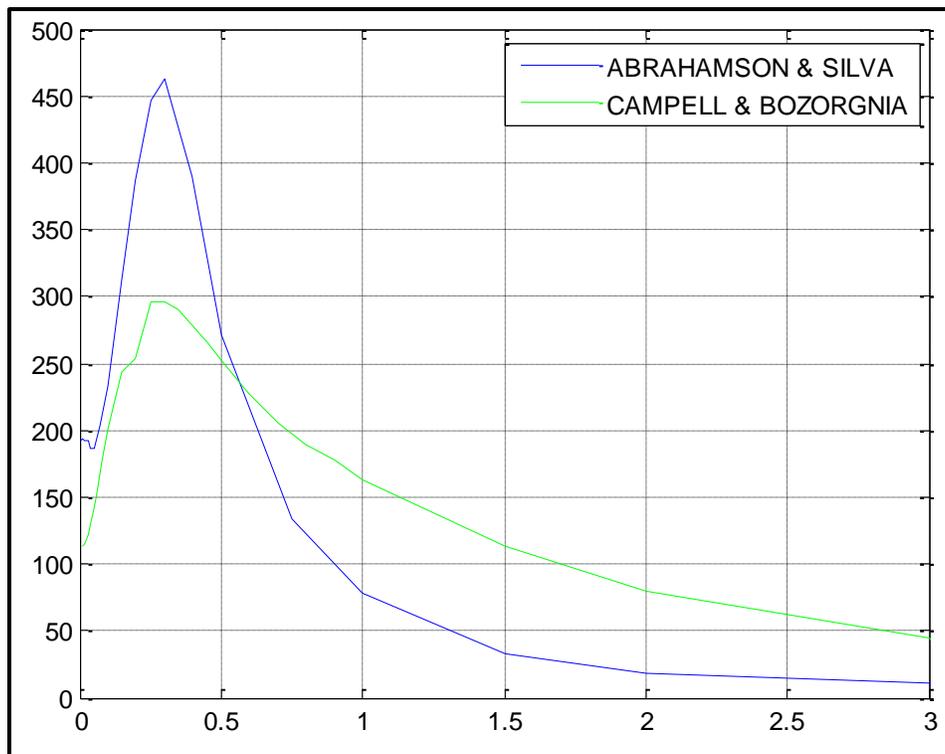


Figura 1.24: Espectro de Diseño de la Falla Mancora Tumbes

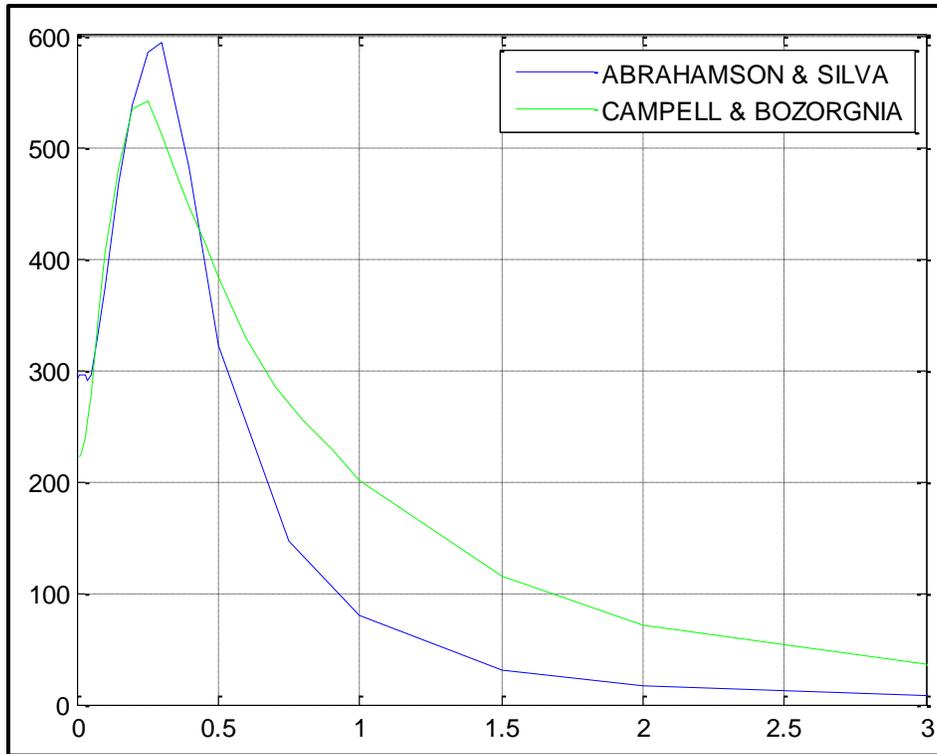


Figura 1.25: Espectro de Diseño de la Falla Santa Clara

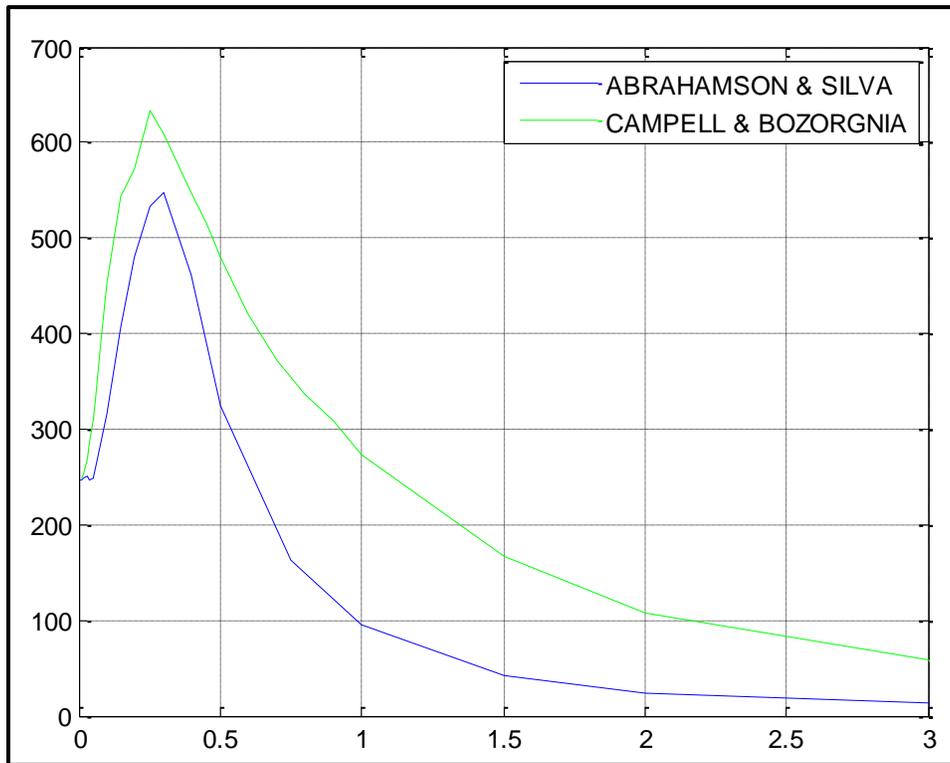


Figura 1.26: Espectro de Diseño de la Falla Zambapala

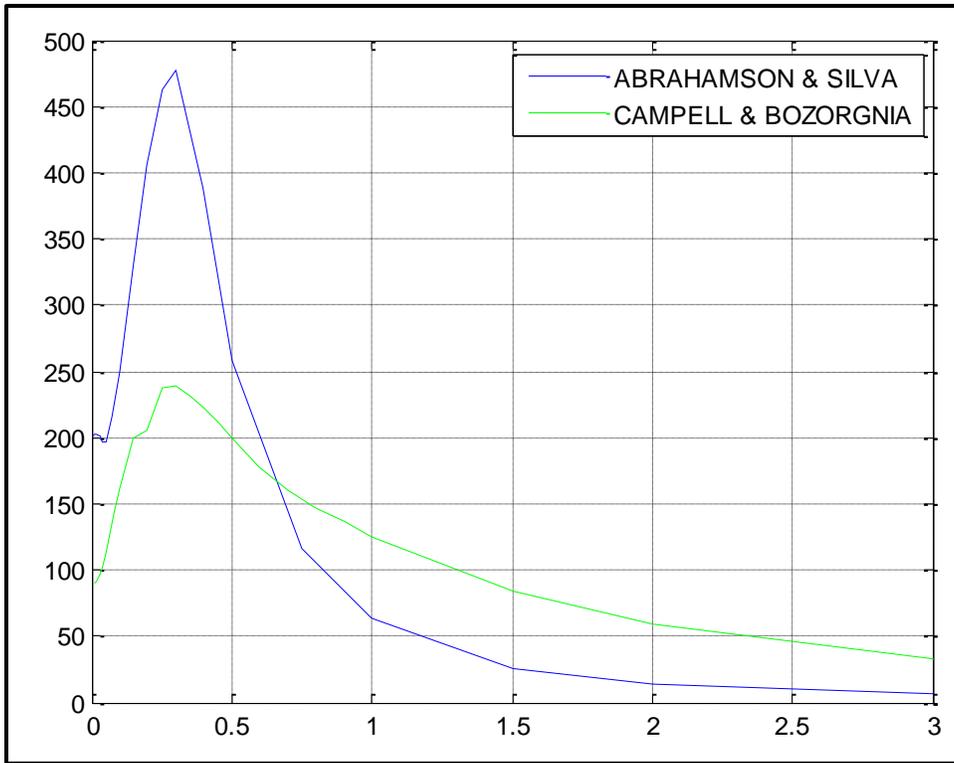


Figura 1.27: Espectro de Diseño de la Falla Real

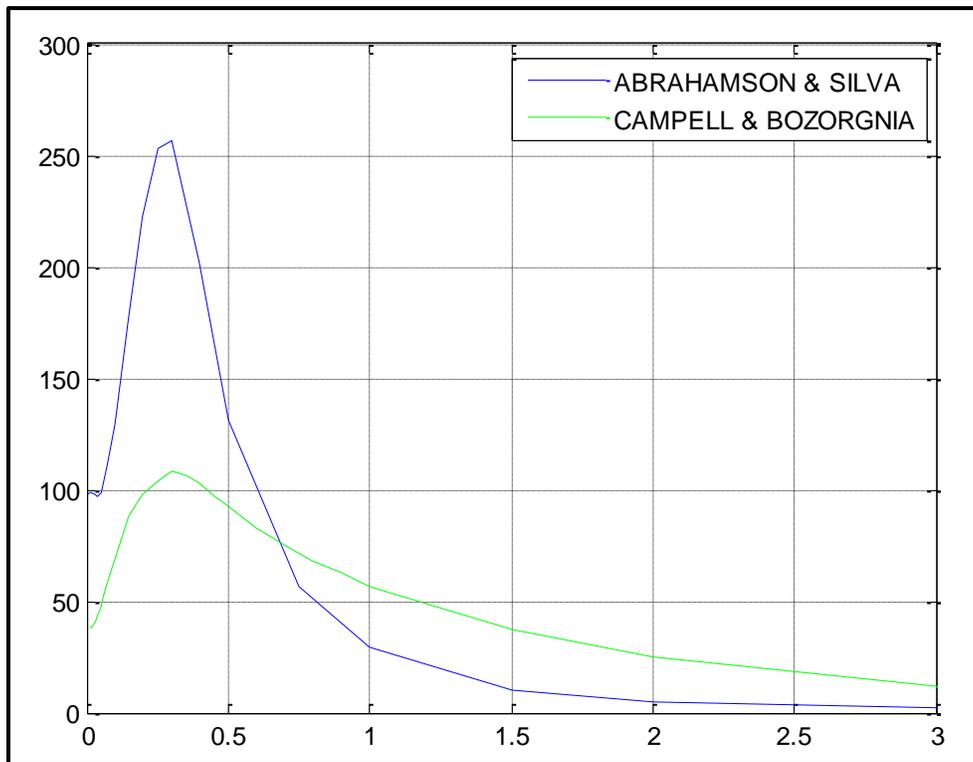


Figura 1.28: Espectro de Diseño de la Falla Pindal

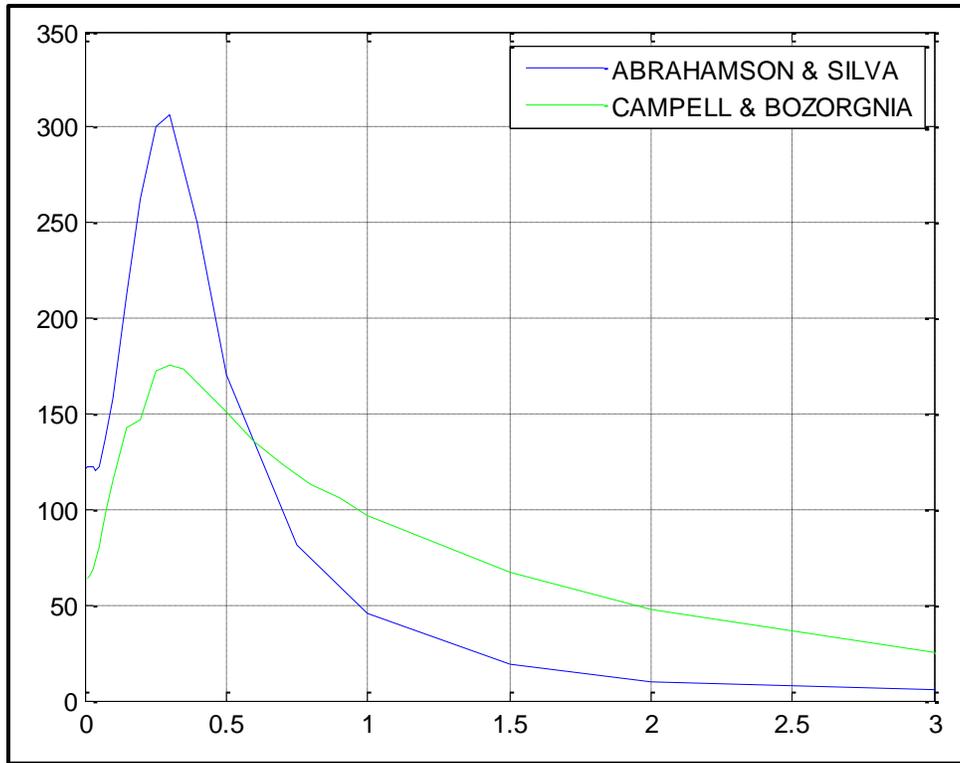


Figura 1.29: Espectro de Diseño de la Falla Estero Salado

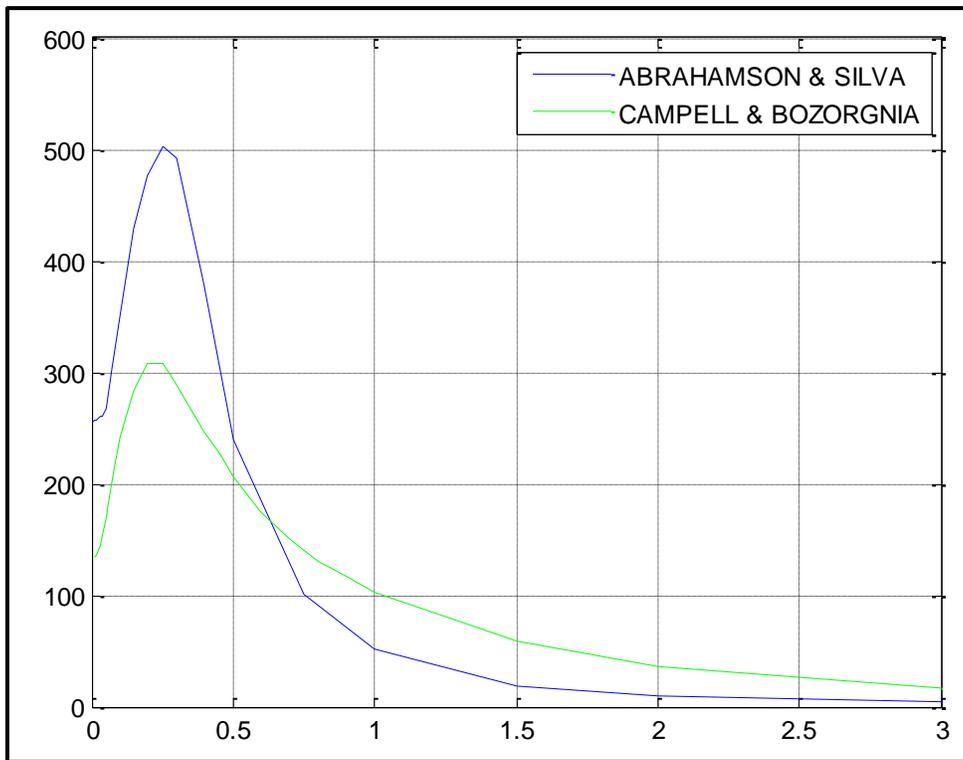


Figura 1.30: Espectro de Diseño de la Esperanza S2

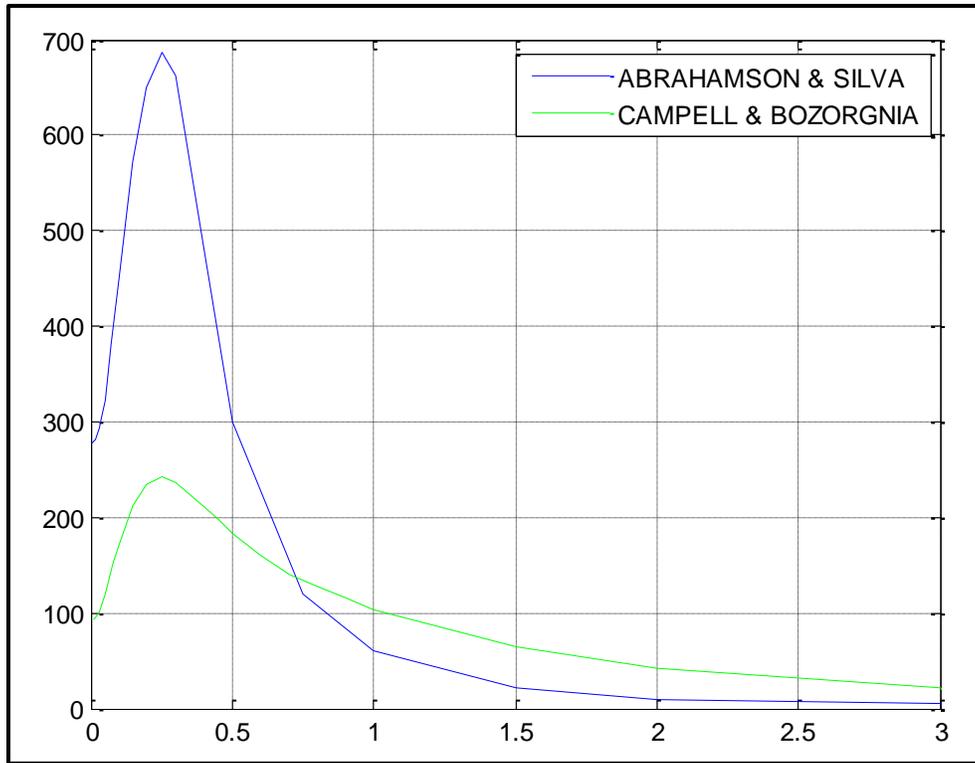


Figura 1.31: Espectro de Diseño de la Esperanza S3

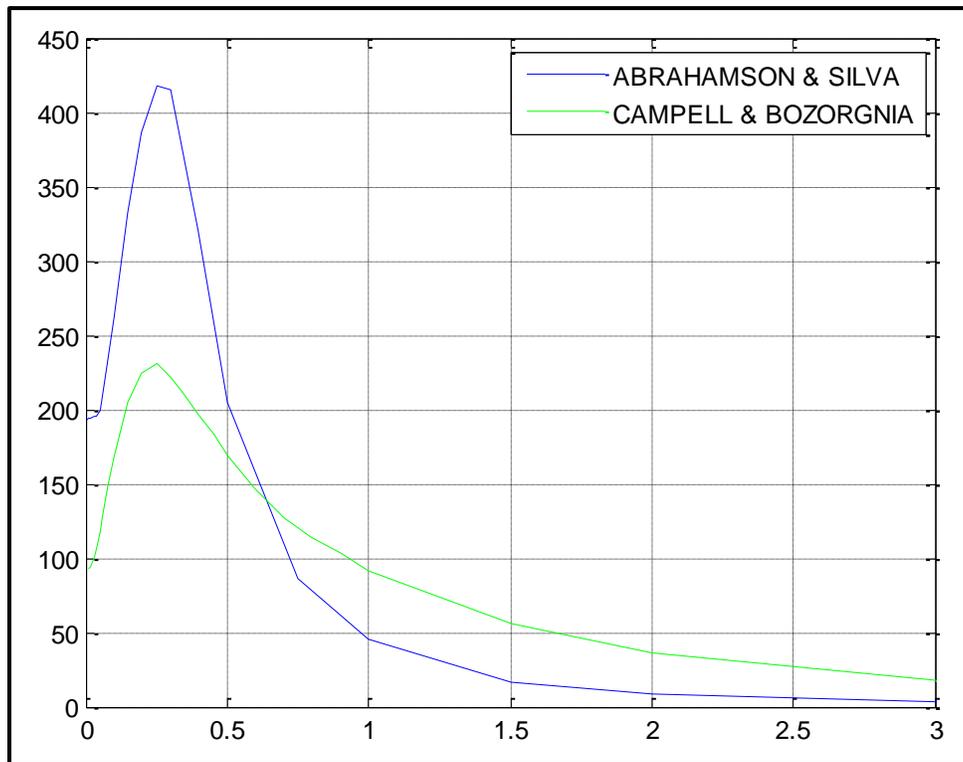


Figura 1.32: Espectro de Diseño de la Esperanza S4

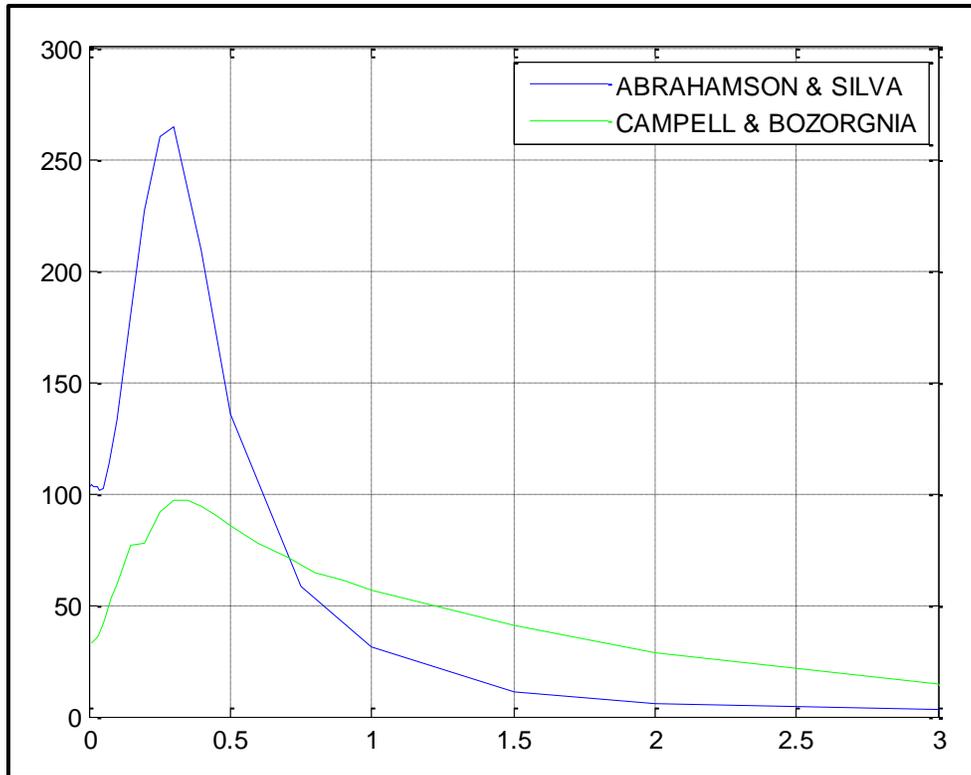


Figura 1.33: Espectro de Diseño de la Falla P-02

CONCLUSIONES

El método de Abrahamson y Silva trabaja con una base de datos que contiene sismos principales, replicas; el método de Campbell y Bozorgnia trabaja solo con sismos principales; y el método de Idriss trabaja usando la velocidad de onda V_{s30} y solo para los que se encuentran en un rango de $V_{s30} = 450$ a 900 m/s. De todos estos métodos el más confiable de utilizar es el método de Abrahamson y Silva.

Se observa que existe una diferencia significativa en los valores de PGA (aceleración máxima horizontal del suelo) de cada uno de los métodos empleados para moldear los espectros; las gráficas obtenidas también son distintos.

Para el cálculo del PGA el método de Abrahamson y Silva aplicado a las fallas existentes en el Golfo de Guayaquil muestra un valor mayor en relación a los demás métodos, por seguridad se debe emplear el que mayor PGA presente.

Cuando los Valores de PGA de cada uno de los métodos estudiados son similares, las curvas de los espectros que se obtienen por los diferentes métodos tienden a ser similares.

La clasificación más utilizada de las fallas existentes en el Golfo de Guayaquil, es por el tipo de desplazamiento que presentan los bloques, si su desplazamiento es vertical es falla de Rumbo, si el horizontal es falla Normal o Inversa.

RECOMENDACIONES

Es recomendable familiarizarse con el uso de la nueva clasificación de los perfiles de suelo establecidos por la norma NEC-11, ya que van desde el perfil A hasta el perfil F.

Debido a que algunos de los parámetros de los eventos sísmicos pueden cambiar, con las nuevas investigaciones es necesario buscar esa nueva información.

Se recomienda de ser posible trabajar con más de dos métodos o de modelo de cálculo para cualquier estudio con el fin de comparar resultados con el fin de conocer las ventajas y desventajas de cada uno de los resultados obtenidos y de esta manera saber por cual optar a la hora de realizar y presentar un análisis final.

BIBLIOGRAFÍA

- Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-11. (6 de Abril de 2011). *Capítulo 2: Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo resistente*. Ecuador.
- Abrahamson N., Silva. W. (2008). Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion relations. *Earthquake Spectra, EERI, 24 (1), 67-97*.
- Aguiar R, Castro C. (2009). Ley de Atenuacion para estudios de Peligrosidad Sismica del Ecuador. *Ciencia, 126-149*.
- Aguiar R, Garcia E. (2010). Leyes de Atenuacion para sismos corticales y de subduccion para el Ecuador. *Ciencia, 1-18*.
- Aguiar, R. (2013). *Dinamica de Estructuras con CEINCI-LAB*. Sangolqui: Centro de Investigacion Cientificas. Escuela Politecnica del Ejercito.
- Aguiar, R. Mroginski, J. (2010). Matriz de Rigidez para un Elemento Finito de Suelo Saturado en Dos Dimensiones. *Ciencia, 119-140*.

- Campbell K., Bozorgnia Y. (2008). NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake Spectra, EERI, 24 (1)*, 139-171.
- Idriss, M. (2008). An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes. University of California. *Earthquake Spectra, Volume 24, No 1*, 217-242.