



# APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

---

LÍNEA DE BASE AMBIENTAL. ESIA 2017

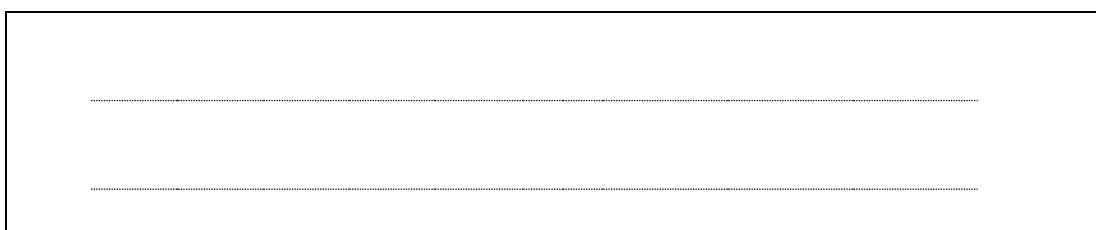
PELIGROSIDAD SÍSMICA Y VOLCÁNICA - Informe Final



Secretaría de Gobierno de Energía  
Ministerio de Hacienda  
Presidencia de la Nación



### NOTAS INSPECCION



QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN  
PREVIA AUTORIZACION DE REPRESAS PATAGONIA UTE

0	EMISION PARA APROBACIÓN	11-10-17	RJR	FP	RJR	CA
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NOMBRE		FECHA	<b>PELIGROSIDAD SISMICA Y VOLCANICA</b>		
EJECUTÓ	RJR	04-04-16			
REPRES. TEC.			<b>NFORME FINAL</b>		
Etapa Proyecto:  PE  Nivel desarollo:  200		Pag.	Form.	Esc.	Doc. N°
		1/104	A4	s/e	GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001
					Rev. 0

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 2 de 104
		Doc. N° GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>5</b>
1.1. Interpretación sismotectónica.....	5
1.2. Vulcanismo .....	5
1.3. Sismicidad histórica.....	5
1.4. Relevamiento de sismos instrumentales.....	5
1.5. Formulación de Parámetros Sísmicos.....	6
1.6. Espectros y Acelerogramas compatibles.....	6
<b>2. UBICACIÓN DE LOS EMPLAZAMIENTOS .....</b>	<b>7</b>
<b>3. CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LAS ACCIONES SÍSMICAS .....</b>	<b>8</b>
<b>4. INTERPRETACION SISMOTECTONICA .....</b>	<b>9</b>
<b>5. VULCANISMO (SÍNTESIS DEL ANEXO 2).....</b>	<b>13</b>
5.1. Localización de volcanes.....	13
5.2. Definición del tipo y fenómenos volcánicos.....	14
5.2.1. Índice de Explosividad Volcánica (VEI) .....	14
5.3. Riesgos asociados a las características de erupciones .....	15
5.3.1. Depósito de cenizas .....	15
5.3.1.1 Vientos predominantes.....	15
5.3.1.2 Alcance de las cenizas .....	16
5.3.2. Crecidas por la interacción lava-hielo.....	18
<b>6. ANTECEDENTES SISMOLOGICOS .....</b>	<b>19</b>
6.1. Sismicidad Histórica. Sismos pre-instrumentales (1492-1900).....	19
6.1.1. El sismo de los naufragos del HMS Wager .....	19
6.1.2. Los sismos de 1879 .....	20
6.2. Sismicidad instrumental.....	21
<b>7. FORMULACIÓN DE LOS PARÁMETROS SÍSMICOS .....</b>	<b>26</b>
7.1. Delimitación de fuentes sísmicas .....	26
7.2. Definición de leyes de recurrencia .....	27
7.2.1. Patagonia extraandina (figura 19) FE: Región 9, 146 .....	28
7.2.2. Faja corrida y plegada (Borde Argentino Chileno) (figura 20) FE: Región 9, 145 .....	29
7.2.3. Borde de subducción chileno (figura 21) FE: Región 9, 143-144 .....	30
7.2.4. Tierra del Fuego (figura 22) FE: Región 10, 147 .....	31
<b>8. ANALISIS PROBABILISTICO DE LA PELIGROSIDAD SISMICA.....</b>	<b>32</b>
<b>9. RESULTADOS DEL ANALISIS PROBABILISTICO .....</b>	<b>35</b>
9.1. Cálculo de probabilidades .....	35
9.2. Comparación con mediciones zonales.....	36
9.3. Desagregación por distancias y magnitudes.....	36
9.4. Formulación de espectros de riesgo uniforme (UHS) .....	37
<b>10. ACELEROGRAMAS COMPATIBLES CON LAS FORMAS ESPECTRALES .....</b>	<b>40</b>
10.1. Componentes horizontales.....	40
10.2. Componentes verticales .....	40
<b>11. ESPECTROS NORMALIZADOS .....</b>	<b>61</b>
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>13. REFERENCIAS.....</b>	<b>63</b>
Procedimiento .....	81
Ajustes realizados .....	81
Resultados Presa Jorge Cepernic.....	94
Resultados Presa Jorge Cepernic .....	95

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 3 de 104
	<b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

## FIGURAS

FIGURA 1 – UBICACIÓN DE LAS PRESAS PNK Y GJC .....	7
FIGURA 2 – UBICACIÓN DEL FREnte PLEGADO Y DEFORMADO CON RELACIÓN AL RÍO SANTA CRUZ (GIACOSA ET AL 2012) .....	9
FIGURA 3 – MAPA SIMPLIFICADO DE REGIONES SISMOTECTÓNICAS Y SISMOS HISTÓRICOS (PERUCCA Y BASTIAS (2008) .....	10
FIGURA 4 – ESQUEMA DE SUBDUCCIÓN DE LA PLACA ANTÁRTICA POR DEBAJO DE LA PLACA SUDAMERICANA. (RAMOS, 2005). .....	11
FIGURA 5 – VELOCIDAD DE DEFORMACIONES GEODESIAS MEDIDAS EN BASE A GPS (GEGD 2014) .....	11
FIGURA 6 – BOSQUEJO DE LA ESTRATIGRAFÍA, GEOMORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA A LO LARGO DEL RÍO SANTA CRUZ .....	12
FIGURA 7 – UBICACIÓN DE VOLCANES ACTIVOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LAS PRESAS .....	13
FIGURA 8 – DISTANCIA DE LAS PRESAS NK Y JC A LOS VOLCANES ACTIVOS MÁS IMPORTANTES .....	15
FIGURA 9 – DISTRIBUCIÓN DE LOS VIENTOS EN EL SUR ARGENTINO .....	16
FIGURA 10 – DISTRIBUCIÓN DE PLUMAS DE CENIZA DE GRANDES EXPLOSIONES .....	17
FIGURA 11 – CURVAS DE ESPESORES DE CENIZA DE UNA EXPLOSIÓN DEL RÉCLUS .....	17
FIGURA 12 – UBICACIÓN DEL NAUFRAGIO DEL PAGER. CERCA DE LA TRIPLE UNIÓN DE LAS PLACAS DE NAZCA, ANTÁRTICA Y SUDAMERICANA .....	20
FIGURA 13 – SITIOS AFECTADOS POR EL SISMO DE 1879 (MARTINIC 2008) .....	21
FIGURA 14 – SISMOS REGISTRADOS POR EL USGS, EN CÍRCULOS RELLENOS. OTRAS FUENTES EN ANILLOS .....	22
FIGURA 15 – DISTRIBUCIÓN DE HIPOCENTROS PROYECTADOS A LA LATITUD 50°S .....	24
FIGURA 16 – SISMICIDAD CAPTADA POR ESTACIONES (CUADRADOS) EN EL PERÍODO 1997-1998 (ADAROS 2003) .....	24
FIGURA 17 – REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE FLINN-ENGAHL .....	26
FIGURA 18 – UBICACIÓN DE FUENTES SISMOCÉNTRICAS .....	27
FIGURA 19 – RELACIÓN DE RECURRENCIA DE LA PATAGONIA EXTRAANDINA .....	28
FIGURA 20 – RELACIÓN DE RECURRENCIA DE LA FAJA CORRIDA Y PLEGADA .....	29
FIGURA 21 – RELACIÓN DE RECURRENCIA DE LA ZONA DE SUBDUCCIÓN CHILENA .....	30
FIGURA 22 – RELACIÓN DE RECURRENCIA DE TIERRA DEL FUEGO .....	31
FIGURA 23 – ESQUEMA GENERAL DE DESARROLLO DE PSH (USACE MANUAL EM 1110-2-6050) .....	33
FIGURA 24 – RESULTADOS DEL CÁLCULO DE PROBABILIDADES .....	35
FIGURA 25 – DESAGREGACIONES EN DISTANCIAS A LA FUENTE Y MAGNITUDES PARA TR 9950 .....	37
FIGURA 26 – ESPECTROS UNIFORMES HORIZONTALES PARA EL SITIO DE PNK PARA UN AMORTIGUAMIENTO DEL 5% .....	38
FIGURA 27 – ESPECTROS UNIFORMES HORIZONTALES PARA EL SITIO DE GJC PARA UN AMORTIGUAMIENTO DEL 5% .....	39
FIGURA 28 – SELECCIÓN DE ACELEROGRAMAS PARA PNK .....	42
FIGURA 29 – SELECCIÓN DE ACELEROGRAMAS PARA GJC .....	52
FIGURA 30 – NORMALIZADO .....	61
FIGURA 31. REGISTRO RSN-6746 H2ORIGINAL .....	83
FIGURA 32. REGISTRO RSN-6746 H2AJUSTADO .....	83
FIGURA 33. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-6746 H2 .....	83
FIGURA 34. REGISTRO RSN-1011 FPORIGINAL .....	84
FIGURA 35. REGISTRO RSN-1011 FPAJUSTADO .....	84
FIGURA 36. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-1011 FP .....	84
FIGURA 37. REGISTRO RSN-1011 FP ORIGINAL .....	85
FIGURA 38. REGISTRO RSN-1011 FP AJUSTADO .....	85
FIGURA 39. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-1011 FP .....	85
FIGURA 40. REGISTRO RSN-809 FPORIGINAL .....	86
FIGURA 41. REGISTRO RSN-809 FPAJUSTADO .....	86
FIGURA 42. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-809 FP .....	86
FIGURA 43. REGISTRO RSN-5618 H1ORIGINAL .....	87
FIGURA 44. REGISTRO RSN-5618 H1AJUSTADO .....	87
FIGURA 45. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-5618 H1 .....	87
FIGURA 46. REGISTRO RSN-3537 H1ORIGINAL .....	88
FIGURA 47. REGISTRO RSN-3537 H1AJUSTADO .....	88
FIGURA 48. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-3537 H1 .....	88
FIGURA 49. REGISTRO RSN-4554 H-1ORIGINAL .....	89
FIGURA 50. REGISTRO RSN-4554 H-1AJUSTADO .....	89
FIGURA 51. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-4554 H-1 .....	89
FIGURA 52. REGISTRO RSN-4554 H-1ORIGINAL .....	90
FIGURA 53. REGISTRO RSN-4554 H-1AJUSTADO .....	90
FIGURA 54. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-4554 H-1 .....	90

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 4 de 104
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

FIGURA 55. REGISTRO RSN-809 FP ORIGINAL .....	91
FIGURA 56. REGISTRO RSN-809 FP AJUSTADO .....	91
FIGURA 57. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-809 FP .....	91
FIGURA 58. REGISTRO RSN-797 H-1 ORIGINAL .....	92
FIGURA 59. REGISTRO RSN-797 H-1 AJUSTADO .....	92
FIGURA 60. AJUSTE ESPECTRAL DE REGISTRO RSN-797 H-1 .....	92

## TABLAS

TABLA 1 – PARÁMETROS QUE DEFINEN EL ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA .....	14
TABLA 2 – REGISTRO DE LOS VOLCANES DEL AVZ .....	14
TABLA 3 – REGISTRO CUANTIFICACIÓN POTENCIAL CRECIDAS DE LAGOS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA CRUZ .....	18
TABLA 4 – SISMOS HISTÓRICOS SIGNIFICATIVOS .....	19
TABLA 5 – SISMOS INSTRUMENTALES SIGNIFICATIVOS .....	23
TABLA 6 – RESULTADOS DEL CÁLCULO PROBABILÍSTICA DE PGA, EN GALS (CM/SEG2) Y EN G .....	35
TABLA 7 – COMPARACIÓN CON LECTURA DE MAPAS DE ZONIFICACIÓN .....	36
TABLA 8 – VALORES DE LOS ESPECTROS HORIZONTALES PARA EL SITIO DE PNK EXPRESADOS EN G .....	38
TABLA 9 – VALORES DE LOS ESPECTROS HORIZONTALES PARA EL SITIO DE GJC EXPRESADOS EN G .....	39
TABLA 10 – RELACIÓN ENTRE LOS COMPONENTES VERTICALES Y HORIZONTALES .....	40
TABLA 11. REGISTROS AJUSTADOS .....	82

## ANEXOS

ANEXO 1 – LISTADO DEPURADO DE SISMOS	
ANEXO 2 – RIESGO VOLCANICO	
ANEXO 3 – TECTONICA	
ANEXO 4 – DESAGREGACIONES EN DISTANCIA Y MAGNITUDES	
ANEXO 5 – ACELEROGRAMAS SELECCIONADOS	
ANEXO 6 – ACELEROGRAMAS MODIFICADOS	
ANEXO 7 – ESPECTROS NORMALIZADOS	

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING·CGGC·HCSA·UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 5 de 104
		Doc. N° GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

### 1.1. Interpretación sismotectónica

La sismotectónica permite definir las fuentes con sismicidad homogénea que actúan sobre los sitios donde se emplazarán las presas Presidente Nestor Kirchner (NK) y Gobernador Jorge Cepernic (JC).

El área donde se implantarán ambos aprovechamientos se encuentra en una zona tectónicamente estable, Meseta Patagónica Extraandina. Hacia el oeste, a unos 100 km de PNK, se encuentra la faja corrida y plegada de los Andes Patagónicos.

Más hacia el oeste se encuentra la zona de subducción de la placa Antártica y hacia el sud el límite de la placa de Sudamérica con la de Scotia generado por la falla Magallanes que divide Tierra del Fuego en la latitud del lago Fagnano.

### 1.2. Vulcanismo

En la cordillera patagónica, al oeste de los sitios de emplazamientos, se encuentra la AVZ, zona volcánica austral. Existen varios volcanes activos implantados en los hielos continentales. Cuatro de ellos (Lautaro, Aguilera, Reclus, Burney) corresponden a la cuenca pacífica, mientras que el Viedma corresponde a la cuenca del río Santa Cruz.

En caso de erupción, se pueden generar cenizas volcánicas con potencial de afectar a la cuenca y por lo tanto llegar hasta los embalses.

Los fenómenos térmicos sobre la masa de glaciares pueden generar fusión de hielo y crecidas que afectaran los lagos, sobre todo, el Viedma. El volumen de las fusiones en erupciones extremas puede generar crecidas similares a la ruptura del glaciar Perito Moreno.

### 1.3. Sismicidad histórica

El conocimiento de la sismicidad histórica (1492-1900) es reducido debido a la escasa ocupación del área por parte de europeos.

Se destacan los eventos sísmicos de 1741 narrados por los náufragos del HMS Wager que se interpreta que corresponde a actividad en la triple unión de placas tectónicas (Nazca, Antártica, Sudamérica).

Asimismo, en 1879 se produjo un gran sismo en Tierra del Fuego, en correspondencia con la falla de Magallanes.

### 1.4. Relevamiento de sismos instrumentales

Se han relevado catálogos de las principales bibliotecas de eventos sísmicos.

El listado incluye:

CERESIS. Centro Regional de Sismología para América del Sur (Perú)

INPRES. Instituto Nacional de Prevención Sísmica (Argentina).

USGS-NEIC. Servicio Geológico de USA

ISC-GEM. International Seismological Centre. U.K.

IRIS. Incorporated Research Institutions for Seismology. Washington. (USA)

AyEE. Relevamiento realizado durante las fases de proyecto anteriores.

Estos registros se han homogeneizado para analizar las relaciones de recurrencia (Se encuentran listados en el Anexo I)

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 6 de 104
		Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

## 1.5. Formulación de Parámetros Sísmicos

Con el procesamiento de la sismicidad de las distintas fuentes sismogenéticas, se determinaron las leyes de recurrencia de Gutenberg y Richter. Con ello fue posible la caracterización de las fuentes de manera de poder emplear sus resultados en el cómputo de la peligrosidad sísmica. Se definieron cuatro regiones sismogénicas y tres fallas individuales, de las cuales la falla de Magallanes es la más importante, aunque distante de los sitios. Los resultados del PSHA para ambos sitios son los expresados en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados del PSHA para ambos sitios

Sismo	PNK (Cóndor Cliff)		GJC (La Barrancosa)	
	En gals	En g	En gals	En g
TR 144	35	0.036	26	0.027
TR 475	73	0.074	48	0.049
TR 1950	182	0.186	101	0.103
TR 4950	290	0.296	168	0.171
TR 9950	383	0.390	239	0.244

## 1.6. Espectros y Acelerogramas compatibles

El cálculo probabilístico (PSHA) tanto para la aceleración máxima (PGA) como para una serie de decenas de períodos, por lo que se determinaron los espectros uniformes (UHS) de cada sitio. Asimismo, se realizó una desagregación en función de la distancia y magnitud para observar la contribución de las principales fuentes.

Con los espectros definidos para cada uno de los cinco escenarios planteados (TR144, TR475, TR1950, TR4950 y TR9950), se seleccionaron de 3 a 7 acelerogramas compatibles con los mismos, para cada sitio y para cada escenario. En forma adicional, se han modificado un acelerograma de cada sitio de manera ajustarlo con mayor precisión a los espectros calculados.

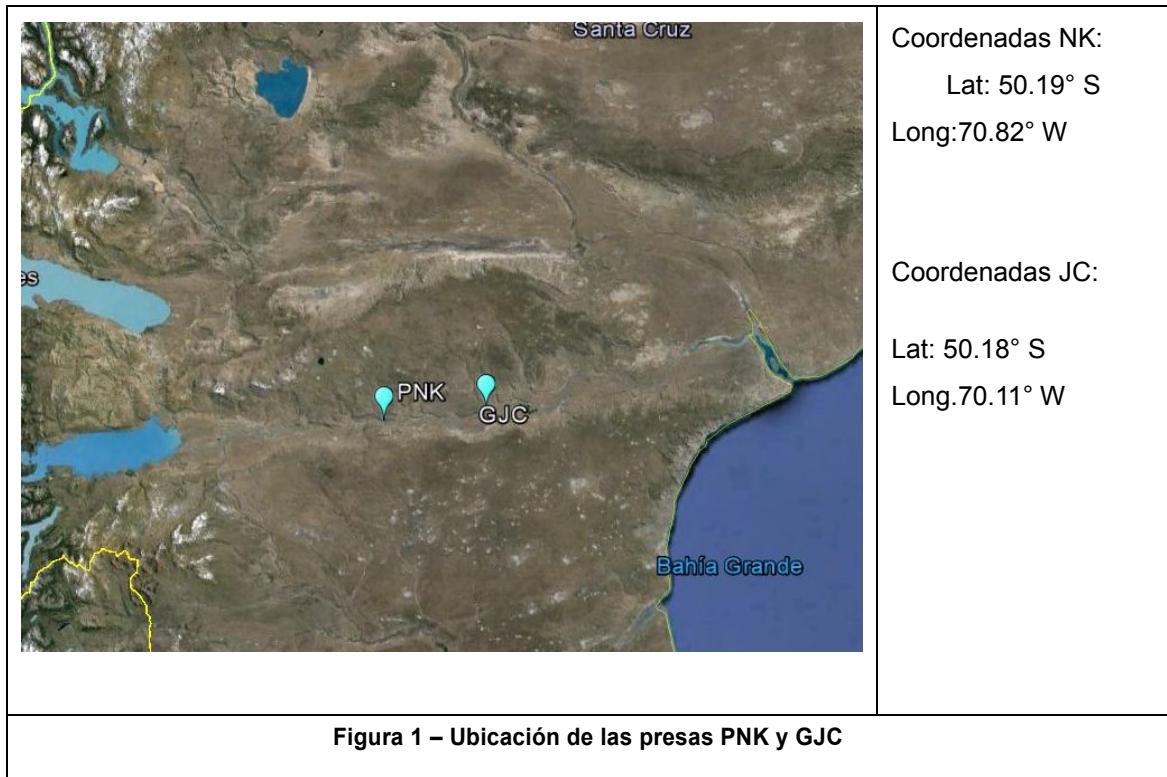
 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 7 de 104
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. Nº GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## 2. UBICACIÓN DE LOS EMPLAZAMIENTOS

Los aprovechamientos del Río Santa Cruz, RSC, comprenden el dique de embalse Presidente Nestor Kirchner, NK, situado en el sitio Cóndor Cliff, y en el dique de embalse Gobernador Jorge Cepernic, JC, situado en La Barrancosa.

Este sistema se desarrolla en la parte sur de la provincia de Santa Cruz, a 100 y 165 Km. de El Calafate.

En la figura 1 se indica la posición de los diques y sus coordenadas geográficas.



La presa PNK consiste en un cierre conformado en parte por una presa de tipo CFRD que originará un embalse cuyo volumen es de 5797.90 hm<sup>3</sup> a nivel de agua máximo normal 176.50 msnm., alcanzando una superficie de embalse de 261.50 km<sup>2</sup>.

La presa GJC también es de tipo CFRD con un nivel de agua máximo normal de 114.00 msnm., un volumen de 2968.82 hm<sup>3</sup> alcanzando una superficie de embalse de 205.8 km<sup>2</sup>.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING·CGGC·HCSA·UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: <b>0</b> Fecha: <b>11-10-17</b> Página: <b>8 de 104</b>
		Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

### 3. CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LAS ACCIONES SÍSMICAS

La formulación de las acciones sísmicas de diseño comienza con la adopción de criterios que deben cumplir las hipótesis de generación sísmicas.

Existe un consenso entre las organizaciones que diseñan y controlan presas, de definir escenarios de acuerdo al riesgo involucrado de rotura de una presa. Los niveles de riesgo se pueden determinar de acuerdo con una ponderación de factores tales como, volumen del embalse, altura de embalse, número de personas a evacuar y daño potencial aguas abajo.

Esto se combina con la tasa de actividad de las fallas causativas próximas al sitio.

Para las verificaciones se requiere definir varios tipos de sismos (ICOLD 2010):

- **Sismo de Verificación (SMC):** definido como el terremoto Máximo Creíble debido a fallas conocidas o a provincias tectónicas específicas, en base a criterios deterministas o probabilísticos. El tiempo de retorno se estima de 10.000 a 35.000 años.
- **Sismo Básico de Operación (SBO),** definido como aquel que produce un nivel de excitación tal que posee una probabilidad de excedencia del 50% en 100 años. Este terremoto representa un evento que tanto la presa como sus obras complementarias deben soportar sin mayores daños.
- **Sismo Inducido por el embalse.** Algunas presas con más de 100 metros de altura pueden generar deformaciones en el área de embalse, capaces de inducir sismos en fallas próximas al mismo. Este caso está descartado en el análisis.

En los proyectos del Río Santa Cruz se ha previsto la definición de sismos probabilísticamente de acuerdo con los siguientes períodos de retorno.

- 1) TR144: 50% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 144 años),
- 2) TR475: 19% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 475 años),
- 3) TR1950: 5% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 1950 años),
- 4) TR4950: 2% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 4950 años),
- 5) TR9950: 1% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 9950 años).

Los sismos 1) y 5) corresponden al SBO y el SMC de ICOLD.

En los estudio de sismicidad regional se tienen en cuenta las características geológicas, tectónicas y sismológicas de las distintas regiones sismotectónicas que resultan abarcadas por el área de análisis y las características de los eventos sísmicos sucedidos desde tiempos históricos, así como el potencial sismogenético.

Mientras el estudio de la sismicidad instrumental está restringido al tiempo de la existencia de los instrumentos y al período de lecturas efectuadas en una determinada región, la investigación histórica, que puede llevarse adelante a través de relatos y crónicas de las distintas épocas, permite conocer fechas y algunas características de sismos ocurridos en el pasado, abarcando un importante margen temporal anterior a la presencia de instrumentos.

#### 4. INTERPRETACION SISMOTECTONICA

La figura 2 muestra un mapa simplificado de la Patagonia (Giacosa et al 2012).

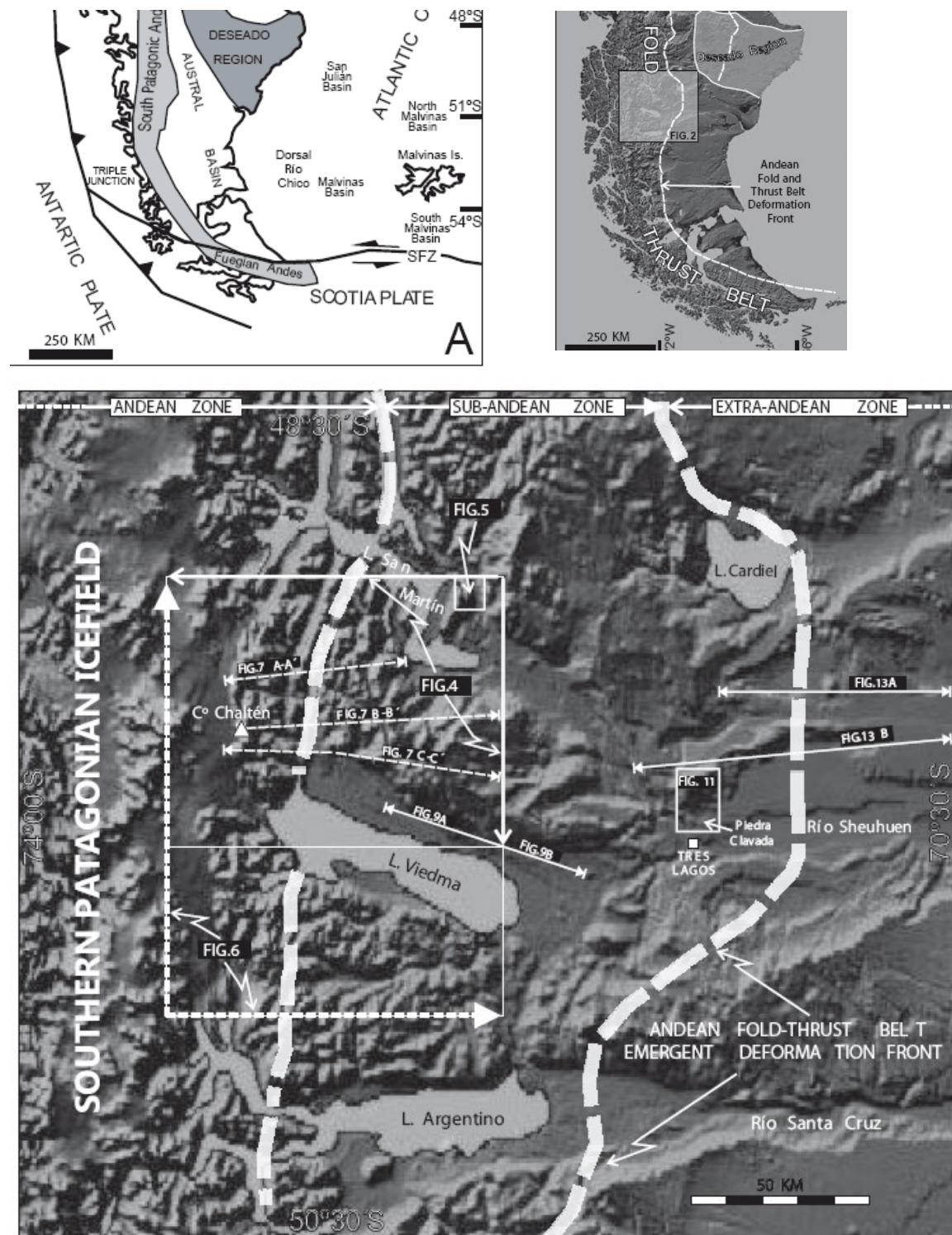


Figura 2 – Ubicación del frente plegado y deformado con relación al río Santa Cruz (Giacosa et al 2012)

Los sitios de emplazamiento de las presas se encuentran en la Patagonia extraandina. Esta región es relativamente estable comparada con la faja cordillerana situada a unos 100 km al W del sitio de NK.

En él se aprecian dos grandes fallas regionales, Liqueñe-Ofqui y Magallanes, que están presentadas como pertenecientes al mismo lineamiento y las fracturaciones regionales ligeramente NW-SE y NE-SW (Figura 3).

La falla de Magallanes es una falla de rumbo dextral que sirve de límite entre dos placas, la Sudamericana y la de Scotia. Ambas placas se desplazan a una velocidad media de 2 cm/año.

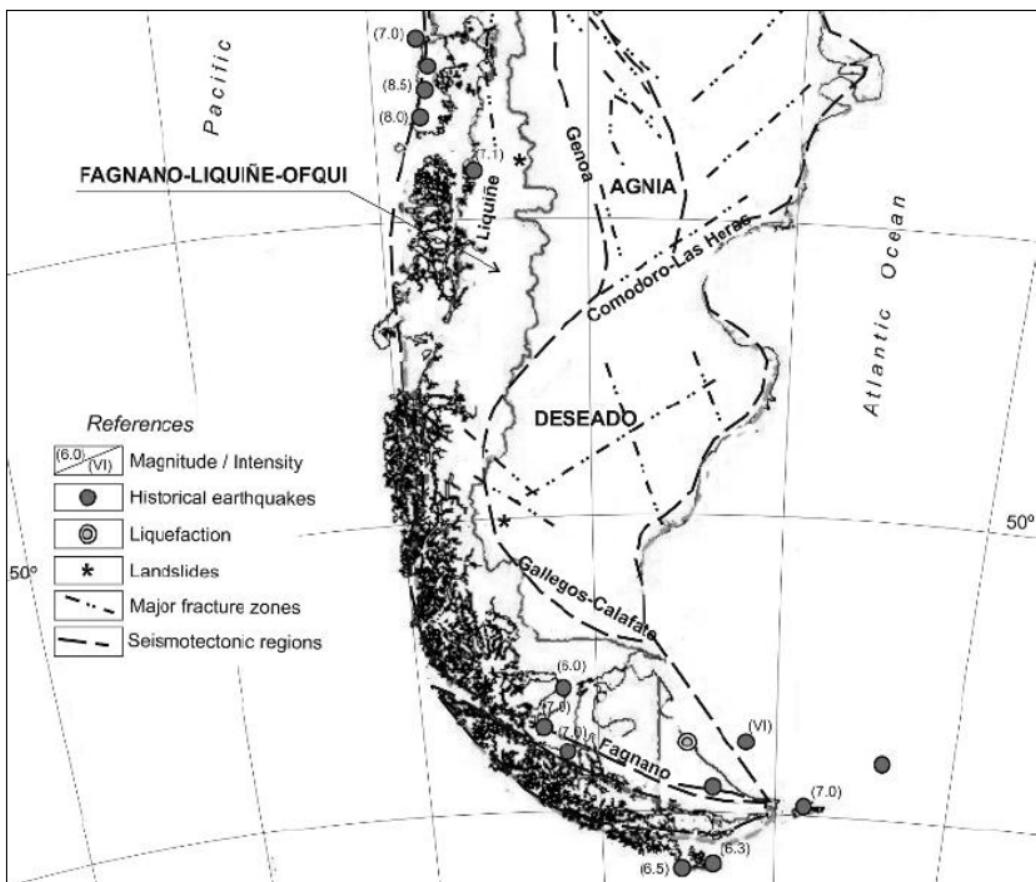


Figura 3 – Mapa simplificado de regiones sismotectónicas y sismos históricos (Perucca y Bastias (2008)

La placa antártica se subducta por debajo de la placa sudamericana y al sur de una triple unión, por debajo de la placa de Scotia. La velocidad relativa es de 2.5 cm/año (figura 4) (Perucca et al 2015).

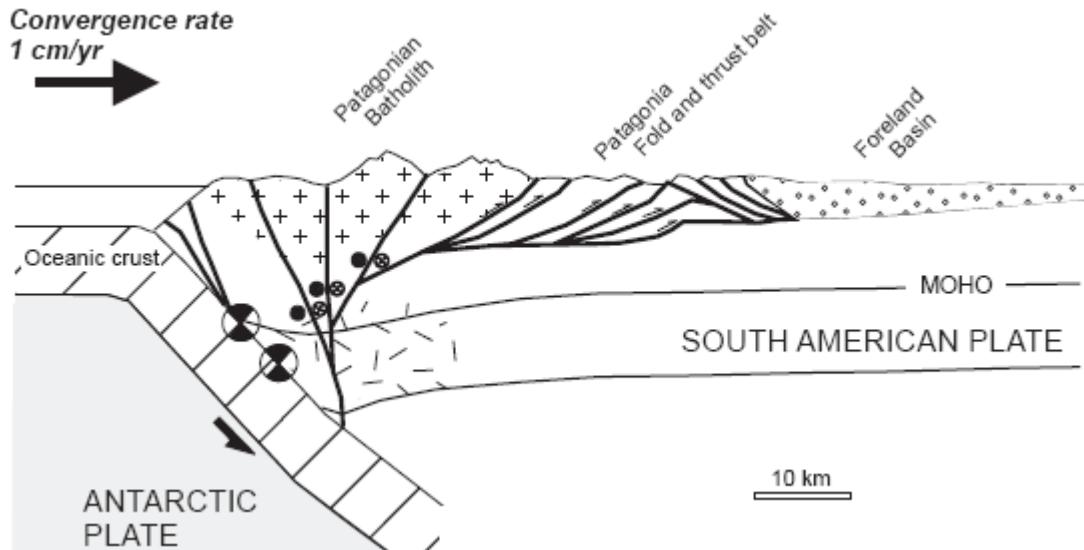


Figura 4 – Esquema de subducción de la placa Antártica por debajo de la placa Sudamericana. (Ramos, 2005).

El mapa de deformaciones geodésicas señala que la zona donde se ha podido constatar deformaciones significativas se encuentra al oeste del Lago Argentino, esencialmente en la zona deformada y plegada de los Andes. También se observan las deformaciones en la falla de Magallanes. (Figura 5)

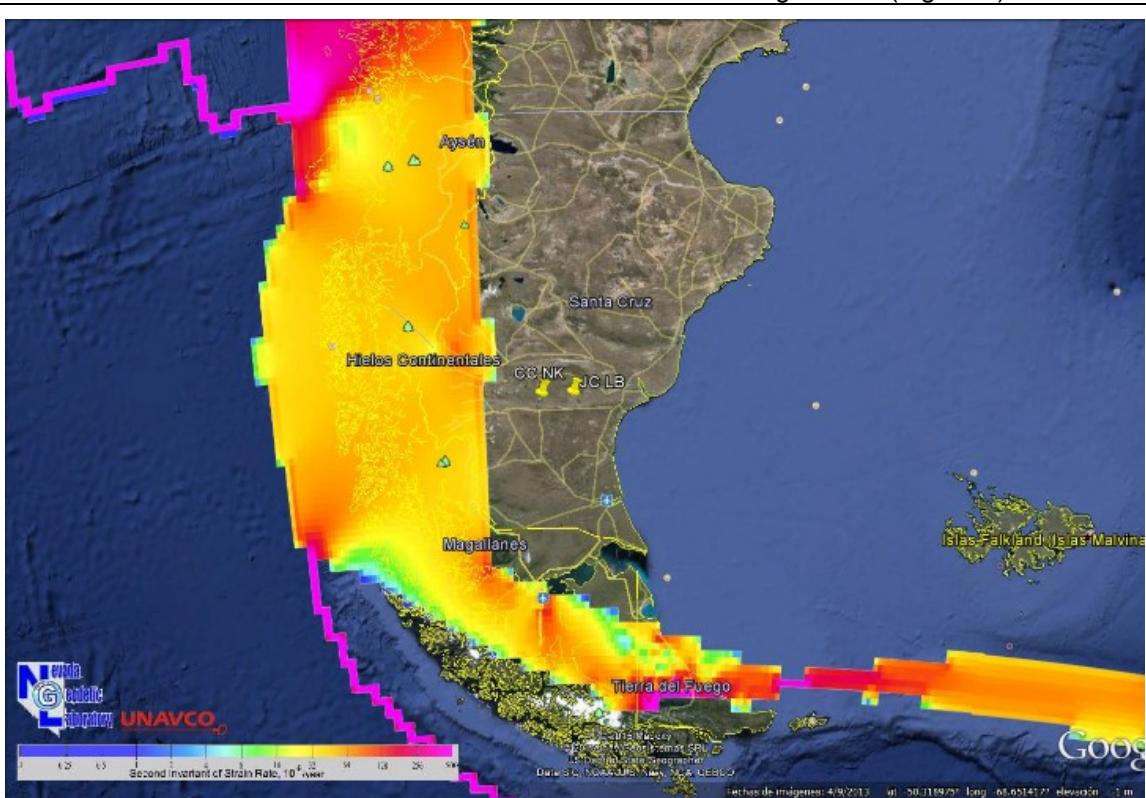
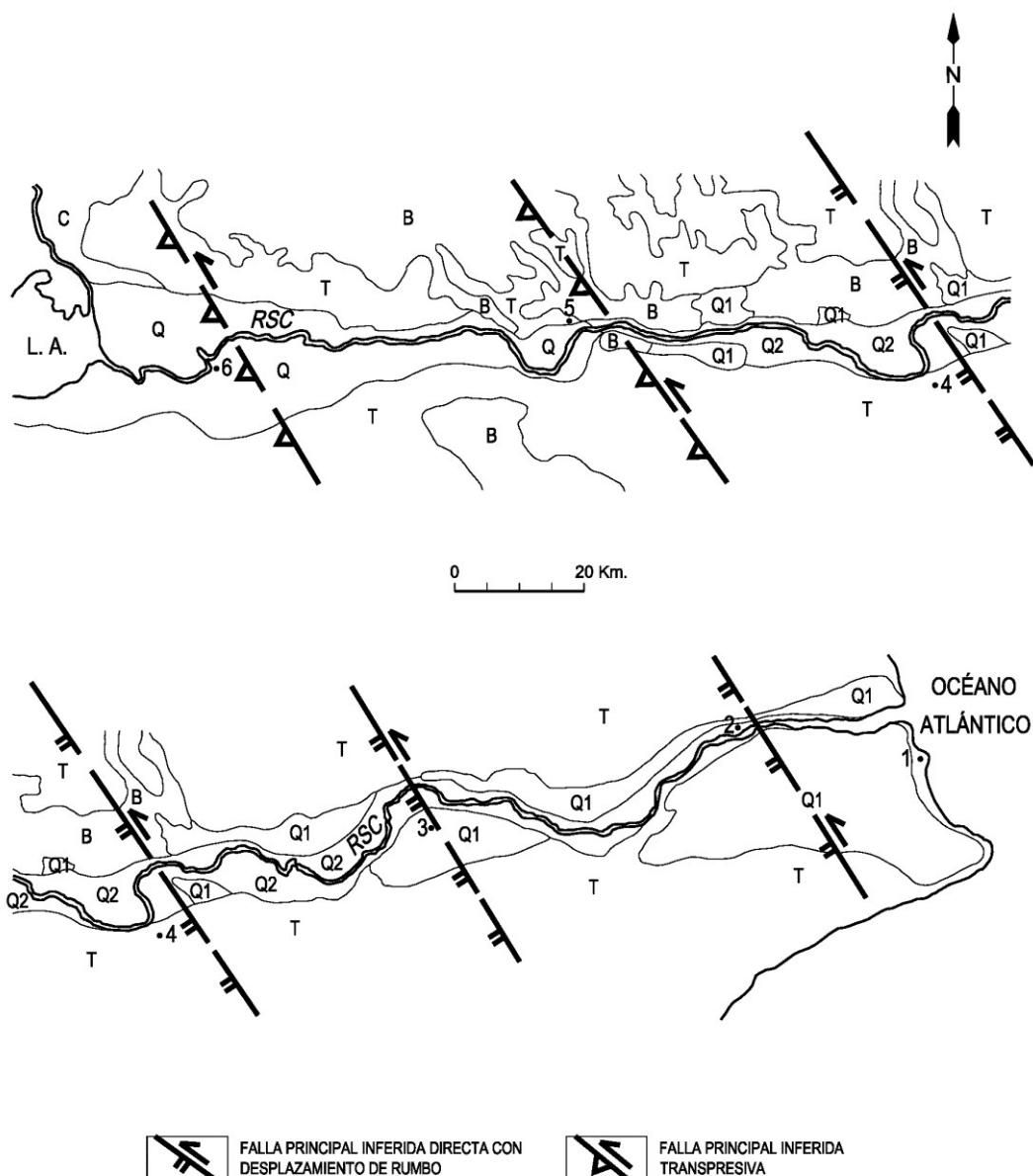


Figura 5 – Velocidad de deformaciones geodésicas medidas en base a GPS (GEGD 2014)

En una publicación reciente, se ha planteado la existencia de rasgos geotectónicos a lo largo del río Santa Cruz (figura 6) (Massabie et al 2008). Esta incluye lineamientos en las proximidades de Bajada Fortaleza, unos 12 km aguas arriba de NK y en Estancia Rincón Grande, aguas arriba de JC.



Referencias: **LA**, lago Argentino; **RSC**, río Santa Cruz; **1**, Puerto Santa Cruz; **2**, Comandante Luis Piedrabuena; **3**, Estancia Rincón Chico; **4**, Estancia Rincón Grande; **5**, Estancia Cóndor Cliff; **6**, Estancia La Julia o Río Bote; **C**, formaciones cretácico tardías; **T**, Formación Monte León y Formación Santa Cruz, aflorantes y parcialmente cubiertas; **B**, basaltos cenozoicos parcialmente cubiertos; **Q**, depósitos cuaternarios glaciares y glacifluviales, indiferenciados aguas arriba de Estancia Cóndor Cliff; **Q1**, depósitos fluviales cuaternarios tempranos; **Q2**, depósitos fluviales cuaternarios tardíos.

**Figura 6 – Bosquejo de la estratigrafía, geomorfología y estructura a lo largo del río Santa Cruz.**

La visita realizada al sitio, no ha podido localizar rasgos geomorfológicos que avalen esta posición, lo que de existir, puede implicar mayor antigüedad que la última glaciaciόn en NK (unos 23.000 años).

## 5. VULCANISMO (SÍNTESIS DEL ANEXO 2)

### 5.1. Localización de volcanes

La zona de influencia de las obras tiene algunos volcanes pertenecientes a la AVZ Austral Volcanic Zone que es un segmento de arco volcánico que corre por unos 800 kilómetros y que surge de la subducción de la Placa Antártica con el continente de América del Sur por un lado (desde aproximadamente los 49°S hasta los 53°S) y de la microplaca de Scotia por el otro (desde aproximadamente los 53°S a los 55°S). Hay coincidencia que en este segmento hay seis centros volcánicos (Lautaro, Viedma, Aguilera, Réclus, Monte Burney y Volcán Fueguino) y un campo volcánico (Pali Aike) que han estado activos durante el Cuaternario tardío (figura 7).



Figura 7 – Ubicación de volcanes activos en la zona de influencia de las presas.

Es de destacar el Viedma por pertenecer a la cuenca del Atlántico, mientras que el resto de los cordilleranos, pertenecen a la cuenca del Pacífico.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b> <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 14 de 104
		Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

## 5.2. Definición del tipo y fenómenos volcánicos

### 5.2.1. Índice de Explosividad Volcánica (VEI)

Una medida del tamaño de las erupciones que combina algunos de los parámetros anteriores (dependiente de la disponibilidad de información), es el Índice de Explosividad Volcánica, -VEI- (Newhall, C. y Self, S. 1982). Las erupciones históricas tienen asignado un número del 0 al 8. Los números del VEI corresponden a las características expresadas en la Tabla 1.

**Tabla 1 – Parámetros que definen el Índice de Explosividad volcánica**

VEI	Descripción	Volumen eyectado	Altura columna	Clasificación	Invade Tropósfera	Invade Estratosfera
0	No explosiva	>1.000 m <sup>3</sup>	<100 m	Hawaiano	Despreciable	No
1	Pequeña	>10.000 m <sup>3</sup>	100 – 1000 m	Hawaiano/Stromboliano	Menor	No
2	Moderada	>1.000.000 m <sup>3</sup>	1 – 5 Km	Stromboliano/ Vulcaniano	Modera	No
3	Moderada (+)	>10.000.000 m <sup>3</sup>	3 -15 Km	Vulcaniano	Significativa	Possible
4	Grande	>0,1K m <sup>3</sup>	10 – 25 Km	Vulcaniano/Pliniano	Significativa	Frecuente
5	Muy grande	>1 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Pliniano	Significativa	Significativa
6	Muy grande	>10 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Pliniano/Ultraplíniano	Significativa	Significativa
7	Muy grande	>100 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Ultraplíniano	Significativa	Significativa
8	Muy grande	>1000 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Ultraplíniano	Significativa	Significativa

La descripción de la actividad de los volcanes del área de influencia estén descriptas en el Anexo y sintetizada en la Tabla 2.

**Tabla 2 – Registro de los volcanes del AVZ**

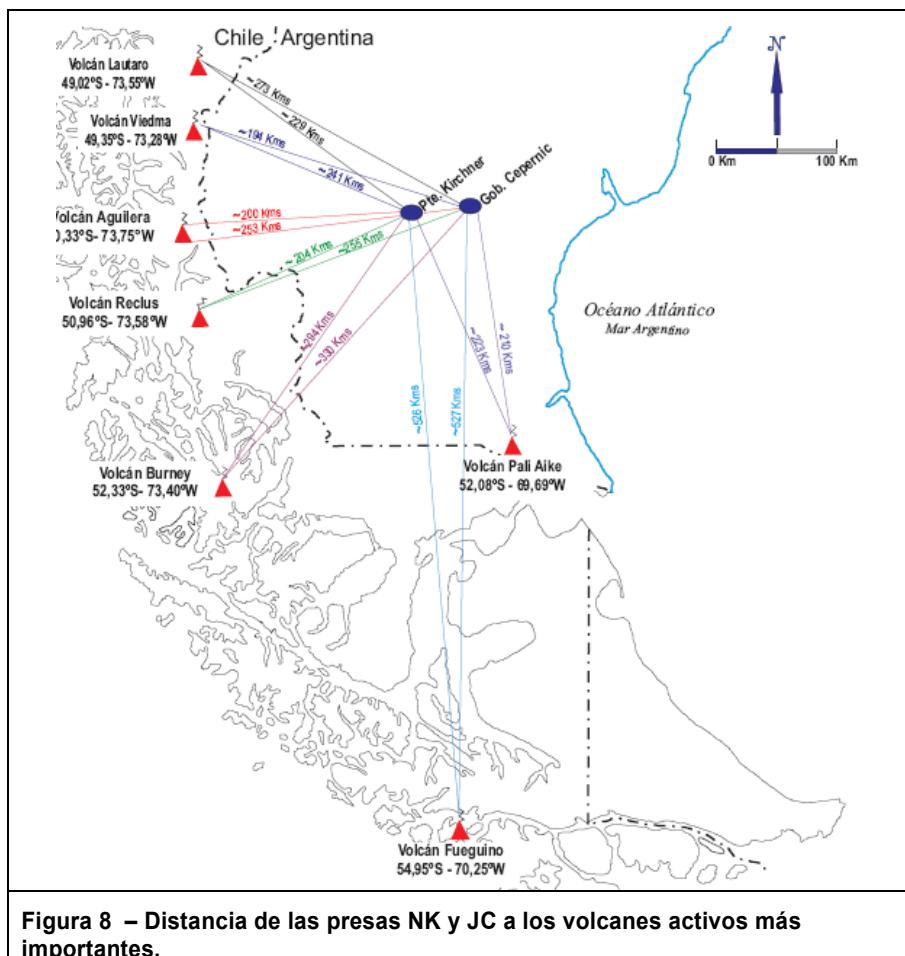
Volcán	País	Estructura	Latitud S	Longitud W	Altura mts	Actividad	Certeza	Evidencia	VEI
LAUTARO (dacita)	Chile	Estratovolcán	49.02°	73.55°	3607	08/03/1979	Confirmada	O. Históricas	2?
						Jun 1978	Confirmada	O. Históricas	No informado
						1972	Confirmada	O. Históricas	No informado
						Oct 1961	Confirmada	Desconocida	2
						28/12/1959	Confirmada	O. Históricas	2
						15/01/1945	Confirmada	O. Históricas	1
						Feb 1933	Confirmada	O. Históricas	2
						1879	Confirmada, solo se detectó cenizas en la atmósfera	Visualización entre los lagos S. Martín y Viedma.	No informado
						Ene 1878	No confirmada	Desconocida	1
						Oct 1876	Confirmada	O. Históricas	2
VIEDMA (dacita)	Argentina	Subglaciar	49.35°	73.28°	1500	15/11/1988	Confirmada	O. Históricas	No informado
AGUILERA (dacita)	Chile	Estratovolcán	50.33°	73.75°	2546	1250 AC	Confirmada	Radiocarbono	5 (A1)>4Km <sup>3</sup>
						2610 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado
RECLUS (dacita)	Chile	Cono piroclástico	50.96°	73.58°	1000	1908	Confirmada	O. Históricas	1
						1879	Confirmada	O. Históricas	2
						1869	Confirmada	O. Históricas	2
						1830 AC	Confirmada	Tefrocronología	No informado
						hace 1000 a 2000 años	Confirmada	Radiocarbono	No informado
						Hace 12552 ±33	Confirmada	Radiocarbono	6 (R1)>5Km <sup>3</sup>
MONTE BURNAY	Chile	Estratovolcán	52.33°	73.40°	1758	Mar 1910	Confirmada	O. Históricas	2
(dacita)						90 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado
						800 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado
						2320 AC	Confirmada	Radiocarbono	5 (MB2)>1Km <sup>3</sup>
(dacita)						3740 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado
						7390 AC	Confirmada	Tefrocronología	No informado
(dacita)						7450 AC	Confirmada	Radiocarbono	5 (MB1)>1Km <sup>3</sup>
FUEGUINO	Chile	Domo de lava	54.95°	70.25°	150	25/11/1820	Confirmada	O. Históricas	2
(dacita – andesita)						26/11/1712	No confirmada	Desconocida	No informado
PALIAIKE (B. Alcalino)	Chile/Arg	Conos piroclásticos	52.08°	69.69°	282	5550 AC	Confirmada	Antropológica	No informado

National Museum of Natural History. Global Volcanism Program. Smithsonian Institution. Data base of Holocene volcano list and Supplementary Table 1. Stern 2004, 2008 y Stern, et al. 2011 y obras citadas por estos.

En la AVZ, hay tres volcanes muy bien estudiados desde lo tefrocronológico y desde la integración isopáquica de los depósitos piroclásticos, ellos son el A1 (Volcán Aguilera), el R1 (Volcán Réclus) y los MB1 – MB2 (Volcán Monte Burney).

### 5.3. Riesgos asociados a las características de erupciones

Las distancias entre las obras y los volcanes son significativas, tal como se señala en la figura 8. Esto hace que las amenazas de origen volcánico estén relacionadas con el transporte, el viento y el agua.

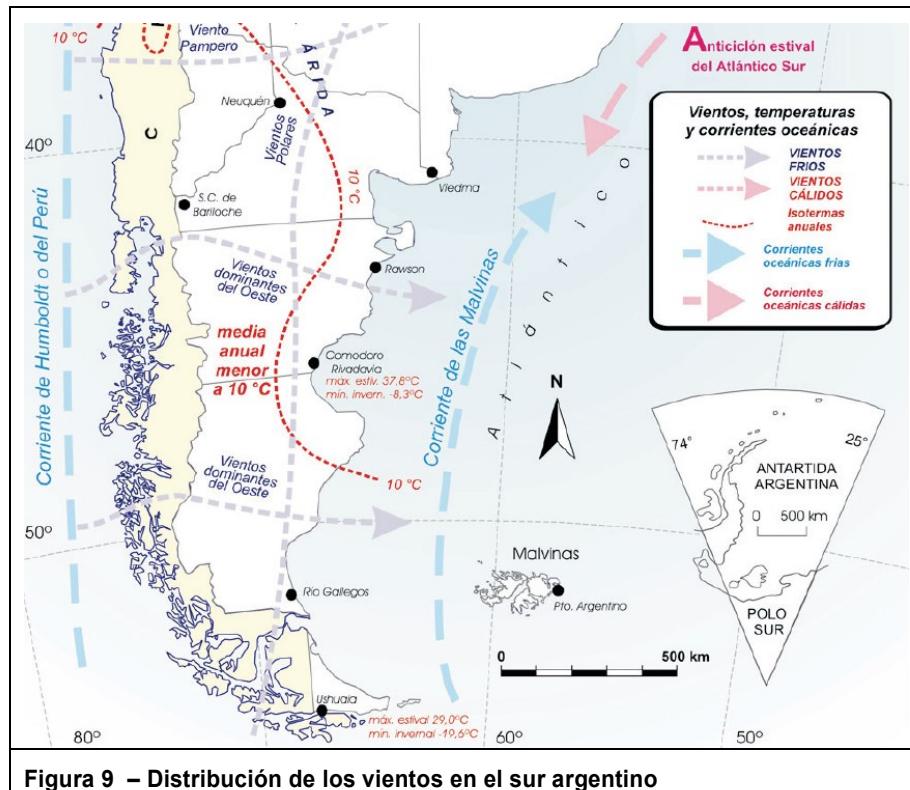


Las amenazas vigentes en el área se pueden dividir en dos acciones, depósito de productos volcánicos, esencialmente cenizas y fusión de hielo por un evento volcánico.

#### 5.3.1. Depósito de cenizas

##### 5.3.1.1 Vientos predominantes

Las direcciones dominantes en el área de influencia son del W y el WSW, lo cual indica una dirección claramente preferencial desde ese cuadrante. Analizado estacionalmente, la dirección O predomina durante el otoño e invierno, mientras que la WSW lo hace durante el verano, y en la primavera tienden ambas a equilibrarse (figura 9).



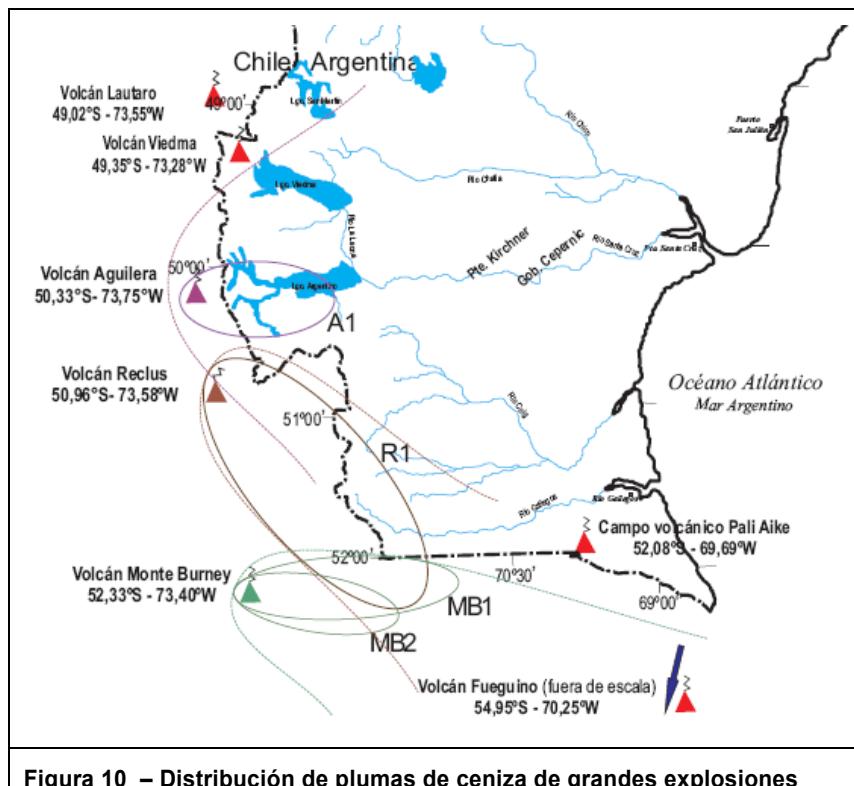
### 5.3.1.2 Alcance de las cenizas

La distribución de las plumas de cenizas de las grandes explosiones históricas se refleja en la figura 10.

Entre ellos, se destacan los estudios de una de las explosiones del Reclus que se han graficado en detalle en la figura 11.

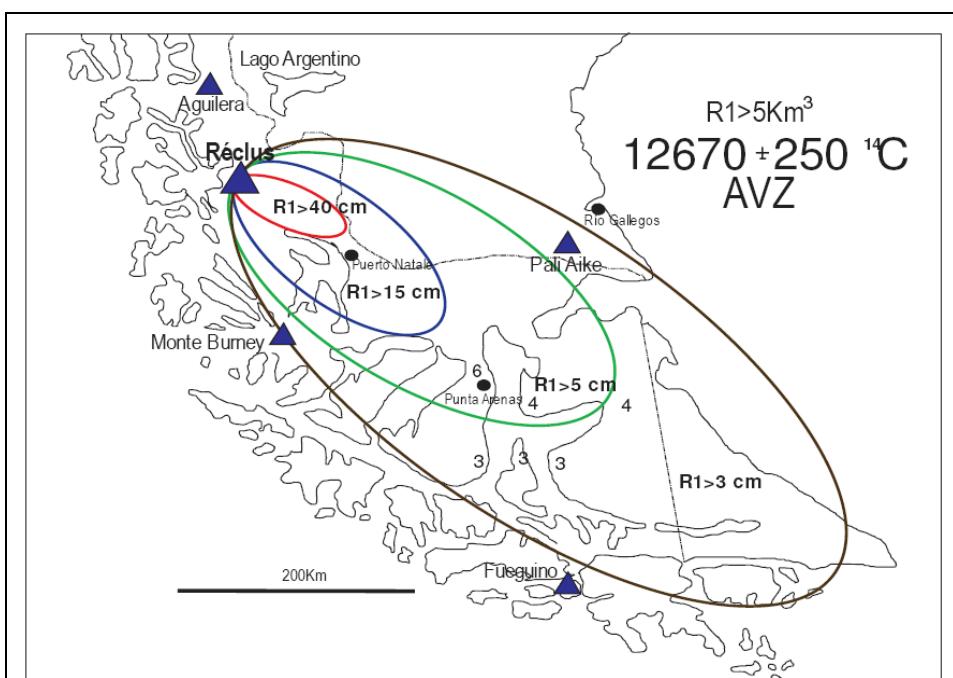
Esto sirve como para tener de referencia de cuál sería la distribución de una pluma y el espesor que alcanzan las cenizas depositadas.

Si los vientos hubieran sido SW, en vez de NW, seguramente se hubieran depositado en la zona de las presas 5 cm de tefras sobre los lagos. Es posible razonar en base a estos datos isopáquicos concretos, que con un VEI menor a 5, los espesores serían menores a la R1.



**Figura 10 – Distribución de plumas de ceniza de grandes explosiones**

Las plumas de cenizas que caigan dentro de la cuenca del río Santa Cruz pueden ser arrastradas fluvialmente y llegar hasta los embalses. Este fenómeno ha sido significativo en otras erupciones recientes que han afectado aprovechamientos hidroeléctricos en el Comahue.



**Figura 11 – Curvas de espesores de ceniza de una explosión del Réclus**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 18 de 104
	Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>	

### 5.3.2. Crecidas por la interacción lava-hielo

Como varios de los principales volcanes están en los Hielos Continentales, su erupción puede fundir parte del hielo y generar crecidas. Estos fenómenos han sido bien modelados en Islandia y por ello se conoce que es muy importante la cobertura de hielo que tenga el aparato volcánico. De acuerdo a ello, se puede cuantificar el volumen de hielo afectado. Esta situación es crítica en el Viedma por pertenecer a la cuenca del Atlántico, tal como se plantea en la Tabla 3.

**Tabla 3 – Registro Cuantificación potencial crecidas de lagos de la cuenca del río Santa Cruz**

Fenómeno causante	Volumen de agua afectado	Superficie del lago adyacente	Incremento de altura en el lago	Observaciones
Erupción tipo basáltica bajo alta cobertura de hielo Gjalp (1996). Gudmundsson et al. 1997	3 km <sup>3</sup>	Viedma: 1100 km <sup>2</sup>	3 metros	El lago Viedma desagua en el lago Argentino
Erupción tipo Pliniana sobre baja cobertura de hielo. Ej. Mt Santa Elena 1980). Lipman y Mulineaux 1981.	2.8 km <sup>3</sup>	Viedma: 1100 km <sup>2</sup>	2.8 metros	El lago Viedma desagua en el lago Argentino
Rotura embalse del Brazo Rico	4 km <sup>3</sup> (nivel embalsado de 30m)*	Argentino: 1400 km <sup>2</sup>	2.85 metros	* en base a una superficie de 135 km <sup>2</sup>

A modo de comparación, se ha incluido la rotura del embalse en el brazo Rico donde se produce una crecida que afecta al lago Argentino. Se puede apreciar que una crecida de origen volcánico sería similar a la rotura del Glaciar Perito Moreno.

## 6. ANTECEDENTES SISMOLOGICOS

### 6.1. Sismicidad Histórica. Sismos pre-instrumentales (1492-1900)

La sismicidad de la región se completa históricamente con los antecedentes de eventos no registrados instrumentalmente, pero que han sido cronicados desde la época colonial. Se ha realizado una revisión desde el siglo XVII. La información es escasa y aumenta recién en el siglo XIX. Finaliza en la primera década del siglo XX cuando se instrumentan progresivamente distintos observatorios del país.

Los principales eventos señalados en la literatura son los sismos de 1741 y 1879.

La ubicación del epicentro y los parámetros sísmicos han sido estimados en base a las intensidades observadas. La Tabla 4 señala los sismos que han quedado registrados.

**Tabla 4 – Sismos históricos significativos**

Día	M	Año	Lat.	Long.	Prof. (km)	Magnitud	Intensidad Máxima	Distan. al sitio NK
25	08	1741	47.6	75.10	30	7,0	IX	560
01	02	1879	53.0	70.67	30	7.3	VIII	340

#### 6.1.1. El sismo de los náufragos del HMS Wager

En el libro “The red notebook of Charles Darwin”. Edited by Sandra Herbert. British Museum. Cornell University Press. 1980, aparece la cita:

*The shipwrecked crew of the HMS Wager identified their position as 47°00'30''S. Capt Fitzroy recalculated the probable position of the ship as 47°39'30''S, 75°06'30''W*

*The earthquakes of august 25, 1741 experienced by the shipwrecked crew of the Wager were described as “four great earthquakes, three of which were very terrible, notwithstanding the violent shocks and trembling of the earth, we find no ground shifted. Hard gales of wind at north, with heavy showers of rains”.*

La posición de los náufragos indicaría que se trata de un sismo de subducción de la triple unión (figura 12).

El naufragio del HMS Wager está muy documentado. Ocurrió el 13 de mayo de 1741 en una isla localizada en 47°40'43''S y 75°02'57''W. La isla adoptó después su nombre Wager Island. El caso es conocido porque el buque encalló y la tripulación se consideró fuera de contrato según la tradición naval de la época. Hubo un motín, con la división y deserción de parte de la tripulación. Los perdedores que quedaron en la isla, entre ellos el capitán y los oficiales, soportaron y cronicaron el sismo.



Figura 12 – Ubicación del naufragio del Pager. Cerca de la triple unión de las Placas de Nazca, Antártica y Sudamericana

### 6.1.2. Los sismos de 1879

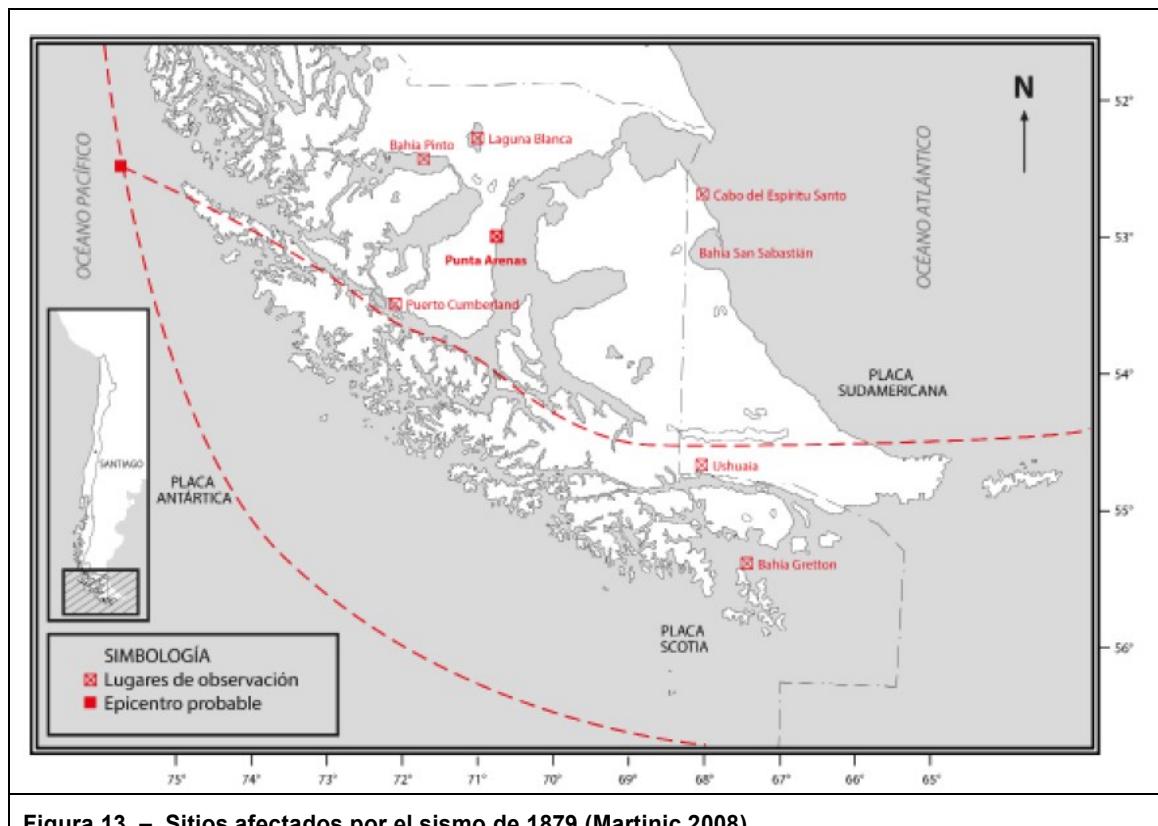
El 1 de febrero de 1879 a las 3 hrs. 30 minutos, hora local, hubo un terremoto de magnitud estimada entre 7 y 7.5 que afectó toda la región. Este sismo alcanzó una intensidad de VII en Punta Arenas, y de VIII en Tierra del Fuego.

Su fuerza expansiva y su extensión geográfica han podido ser determinadas con nuestra compulsa de anotaciones referidas al fenómeno, que permitieron

establecer que el mismo fue percibido prácticamente en simultaneidad en diferentes lugares de la Patagonia austral y la Tierra del Fuego: en Punta Arenas, con sorpresa y alarma para sus habitantes; hacia el norte y noreste de la Colonia, en la zona de Laguna Blanca por lady Florence Dixie y compañeros; en el lago Argentino por Juan Tomás Rogers; hacia el oeste, en el mar de Skyring, por los tripulantes de la corbeta Magallanes y en el sector occidental del estrecho de Magallanes (Puerto Gallant), por los tripulantes del vapor de guerra francés La Magicienne; hacia el este, en la zona atlántica de la Tierra del Fuego por Ramón Serrano Montaner y

compañeros, y hacia el sur de la misma isla, en la Misión de Ushuaia, por el pastor Thomas Bridges. Ello representa un rango longitudinal de no menos de 600 kilómetros y latitudinal de unos 400 kilómetros.

El epicentro parece ser cercano al del terremoto de 1949, que se atribuye a la Falla de Magallanes, límite entre las placas Sudamericana y de Scotia (Figura 13).

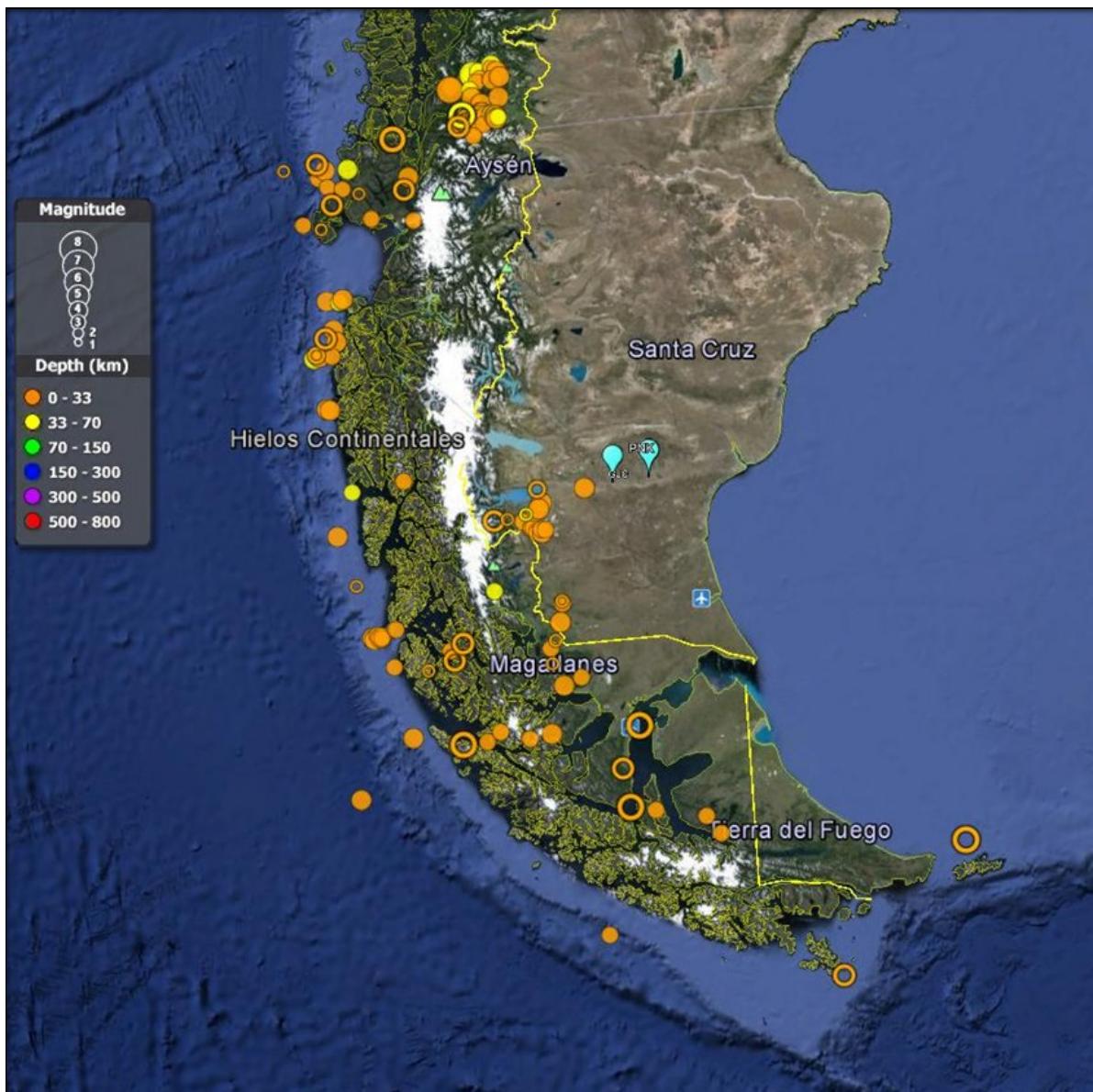


Lo informado por el Reverendo Thomas Bridges (1879), residente en Ushuaia, sirve de ejemplo de lo percibido: "tuvimos una sucesión de choques, suficientemente fuertes como para despertar a casi todos y que fuera difícil caminar. Se derramó la leche de las cacerolas y fue sentido en todo el territorio".

## 6.2. Sismicidad instrumental

Para la ejecución de esta tarea fueron consultados los principales bancos de datos tanto nacionales (INPRES) como internacionales (USGS, NEIC, IRIS, CERESIS), ponderando la precisión de la información según la antigüedad y origen de los datos consignados. Se tomó un entorno del orden de 500 Km. alrededor de los sitios.

Se eliminaron los eventos con magnitudes inferiores a  $M = 4$  por carecer de importancia ingenieril. Los principales sismos están localizados en la figura 14.



**Figura 14 – Sismos registrados por el USGS, en círculos llenos. Otras fuentes en anillos.**

En el Anexo 1 están listados los eventos registrados en los distintos bancos de datos sísmicos. Sus magnitudes están en el rango M = 4 a M = 7.8.

En la Tabla 5.2 se listan los sismos registrados instrumentalmente que son significativos por su magnitud. Sobresalen los situados en la subregión de Tierra del Fuego.

**Tabla 5 – Sismos Instrumentales significativos**

Día	Mes	Año	Lat	Long	Prof. (Km)	MAG
13	7	1930	-56.00	-67.00	0.00	6.30
17	12	1949	-53.92	-69.60	10.00	7.65
17	12	1949	-53.91	-69.75	10.00	7.32
3	1	1950	-46.00	-75.50	0.00	6.00
30	1	1950	-53.47	-71.07	15.00	6.80
8	4	1959	-50.50	-73.00	33.00	6.20
23	5	1960	-48.09	-75.70	20.00	6.14
2	6	1960	-46.19	-74.16	20.00	6.11
6	6	1960	-45.72	-72.88	50.00	7.80
19	5	1963	-46.53	-75.30	20.00	6.40
28	11	1965	-45.85	-72.96	25.00	6.20
14	6	1970	-52.03	-74.07	15.00	6.96
15	6	1970	-54.48	-64.50	10.00	7.18
9	2	1972	-51.85	-73.86	20.00	6.00
15	8	1991	-45.93	-72.82	15.00	6.02

En el listado aparece como sobresaliente el sismo de 1949 que es uno de los más importantes registrados en Argentina.

El epicentro fue al oeste de la isla de Tierra del Fuego, y afectó no solamente a las poblaciones de la isla sino también a las poblaciones ubicadas más al norte, principalmente Río Gallegos. En esa época la zona epicentral estaba escasamente habitada por lo que los perjuicios quedaron minimizados.

Es de destacar que la falla de Magallanes se encuentra a unos 360 km de los sitios por lo que su influencia es muy reducida en los cálculos de la peligrosidad sísmica.

El potencial sismogenético de la falla ha sido analizado mediante estudios de paleosismicidad mediante dataciones de movimientos (Schwartz et al 2002, Costa et al 2006) y microsísmica por medio de red de estaciones (Buffoni et al 2009).

Los sismos de 1960 están relacionados con el sismo de Valdivia que ocurrió un poco más al norte de la zona de estudio.

El sismo de 1970 ocurrió al este de Tierra del Fuego y también está relacionada con la falla de Magallanes.

La distribución espacial de los hipocentros indica claramente que la zona deformada geodésicamente (figura 2) es la que tiene mayor actividad. Esto se observa en la figura 15, donde se han proyectado los hipocentros en un plano situado a la altura de la latitud 50° donde están situados ambos sitios.

En la figura se ha colocado la posición de El Calafate (C) y Puerto Santa Cruz (PSC) a modo de referencia. La gran cantidad de eventos a 33 km está relacionado con la convención que se emplea cuando no se conoce la profundidad del hipocentro, es decir que indica ignorancia.

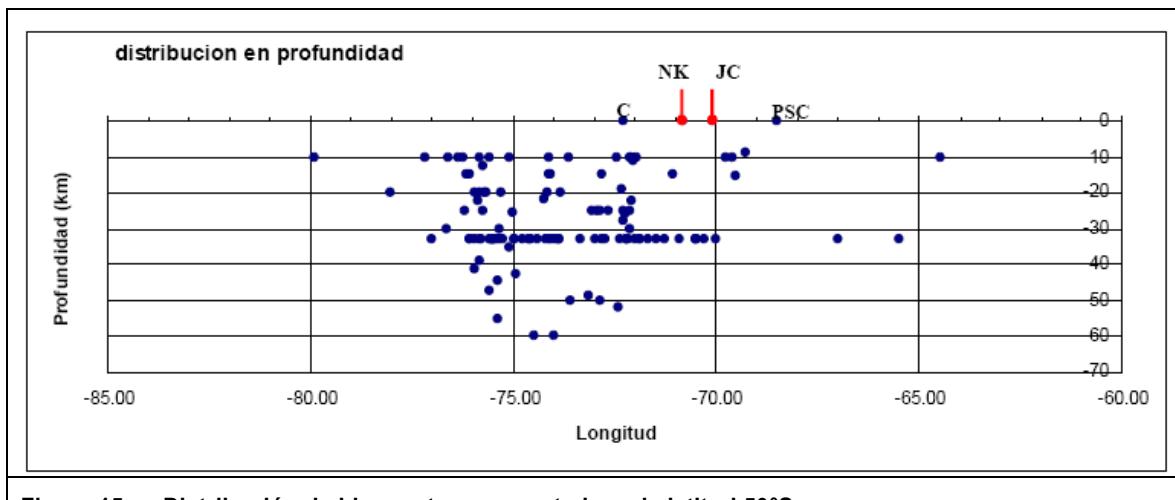


Figura 15 – Distribución de hipocentros proyectados a la latitud 50°S

La distribución de hipocentros marca la importancia de la zona corrida y plegada de la Cordillera de los Andes y la zona de subducción off-shore de la costa chilena.

En la meseta patagónica extraandina donde se encuentran los sitios, la actividad cortical es mucho más reducida, con magnitudes cercanas a M = 4 a 5.

En un estudio realizado en base a mediciones con un arreglo de alta precisión, se han podido captar numerosos sismos más pequeños (figura 16) (Adaros 2003).

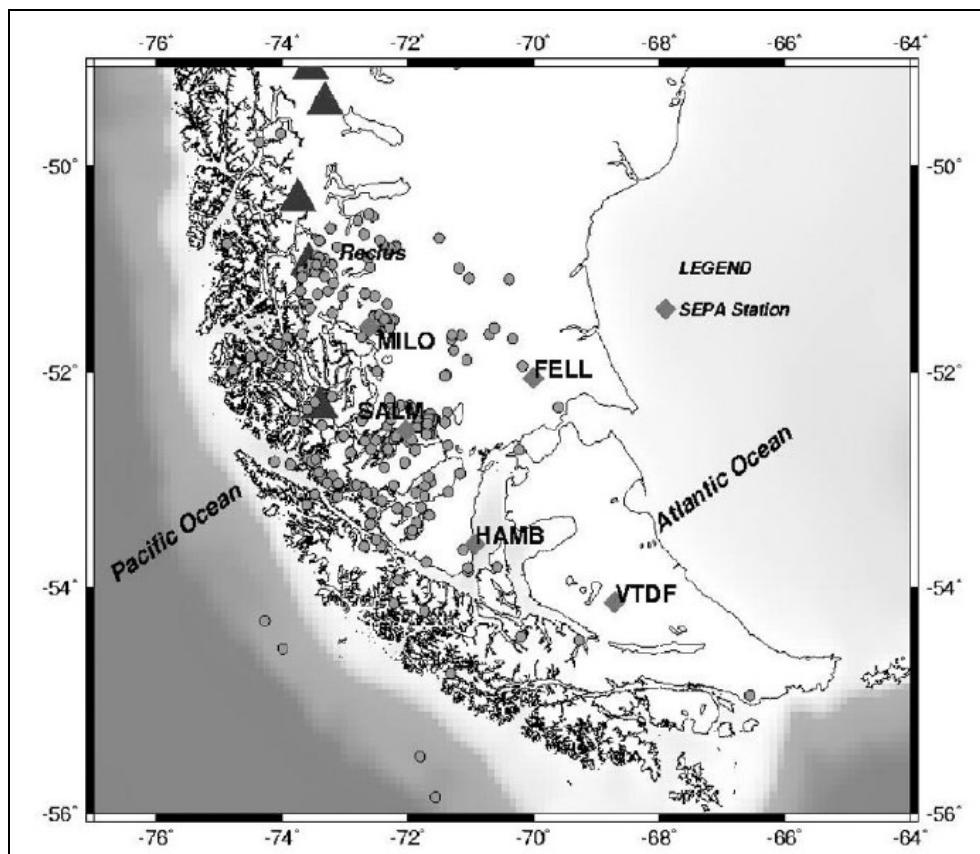


Figura 16 – Sismicidad captada por estaciones (cuadrados) en el periodo 1997-1998 (Adaros 2003)



MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

25 de 104

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

Una parte de la sismicidad parece estar relacionada con volcanes activos presentes en la cordillera. Estos se presentan a veces como enjambres de epicentros que denotan la actividad magmática de los volcanes activos.

## 7. FORMULACIÓN DE LOS PARÁMETROS SÍSMICOS

### 7.1. Delimitación de fuentes sísmicas

Para definir arealmente la sismicidad se comenzó con la regionalización propuesta por Flinn-Engdahl (figura 17) que fue modificada en función de los conocimientos tectónicos actualizados. En esta zonificación mundial la Región Sísmica 9. Extremo de Sudamérica comprende las zonas:

143 OFF COAST OF SOUTHERN CHILE

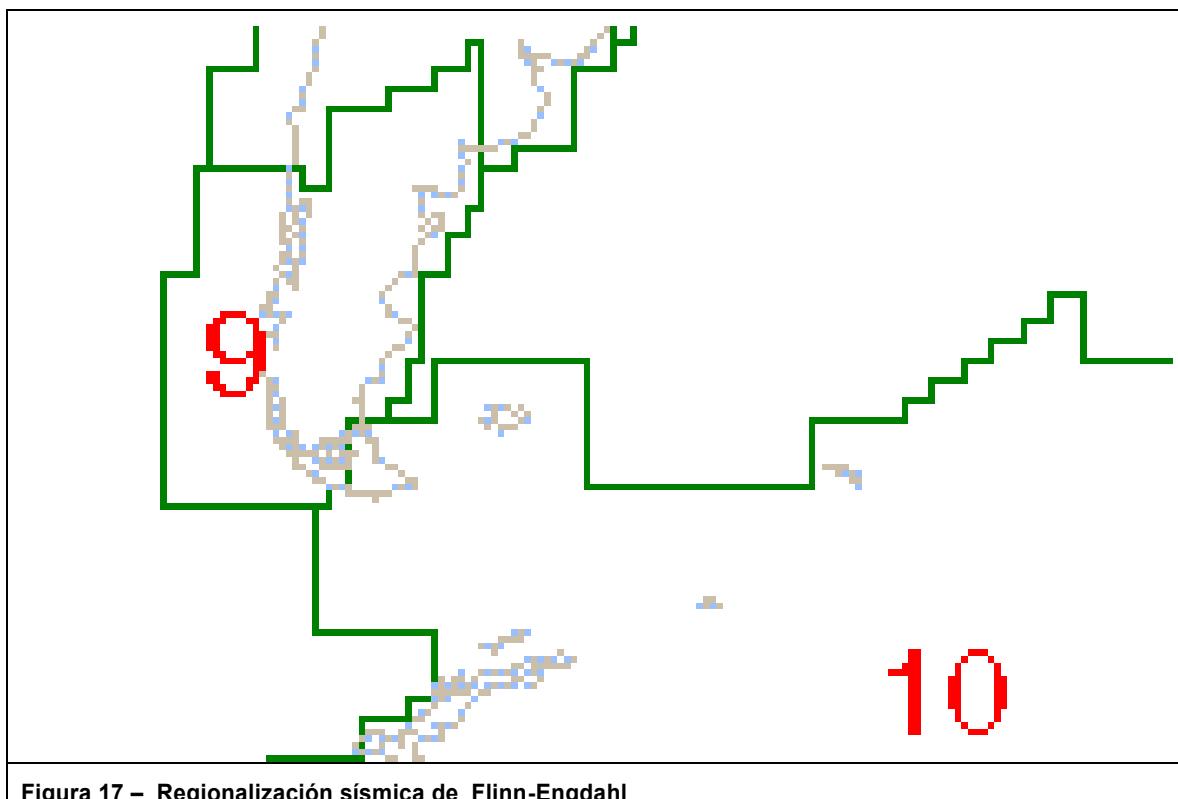
144 SOUTHERN CHILE

145 S. CHILE-ARGENTINA BORDER REGION

146 SOUTHERN ARGENTINA

También participa en menor medida la Región Sísmica 10. Antillas de Sur involucra entre otras:

147 TIERRA DEL FUEGO

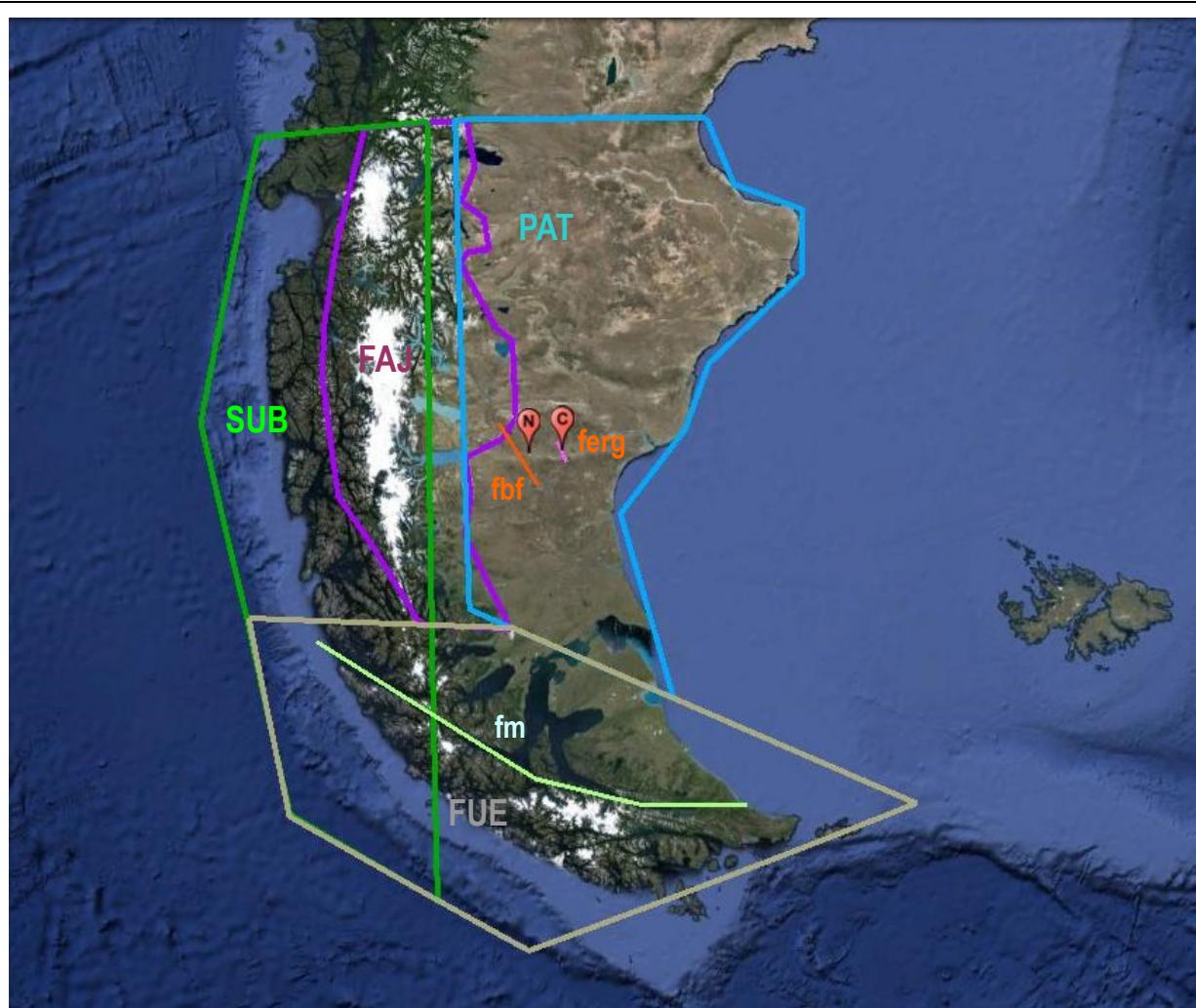


En base al estudio tectónico se consideraron las siguientes fuentes sísmicas (figura 18):

1. Patagônia extraandina (Subhorizontal, Prof. Promedio 20 km.)
2. Faja corrida y plegada de Argentina y Chile (Subhorizontal, Prof. Promedio 5 km.)
3. Borde de subducción chileno (Inclinado 30°. Prof. Promedio de 10 a 35 km.)
4. Tierra del Fuego (Subhorizontal. Prof. Promedio 5 km.)

También se consideraron en forma particular, fallas que pueden tener actividad sísmica:

5. Falla Bajada Fortaleza (100 km) a 12 km aguas arriba de sitio NK
6. Falla Rincón Grande (60 km) a 3 km aguas arriba del sitio JC
7. Falla Magallanes, límite entre la placa sudamericana y de Scotia.



**Figura 18 – Ubicación de fuentes sismogénicas.**

PAT: Patagonia extraandina. FAJ: Faja corrida y plegada de Argentina y Chile. SUB: Borde de subducción chileno. FUE: Tierra del Fuego. fbf: Falla Bajada Fortaleza. ferg: Falla Rincón Grande. fm: Falla Magallanes

## 7.2. Definición de leyes de recurrencia

El procesamiento de los sismos registrados en los catálogos condujo a la definición de leyes de recurrencia de Gutenberg-Richter, de cada región sismotectónica. Con ello se puede obtener parámetros para la determinación de la frecuencia o razón anual de excedencia de sismos históricos e instrumentales, registrados en cada provincia sismotectónica:

logartimo  $\lambda_m = a - bM$

Donde  $\lambda_m$  : razón media anual con magnitud mayor que M

### 7.2.1. Patagonia extraandina (figura 19) FE: Región 9, 146

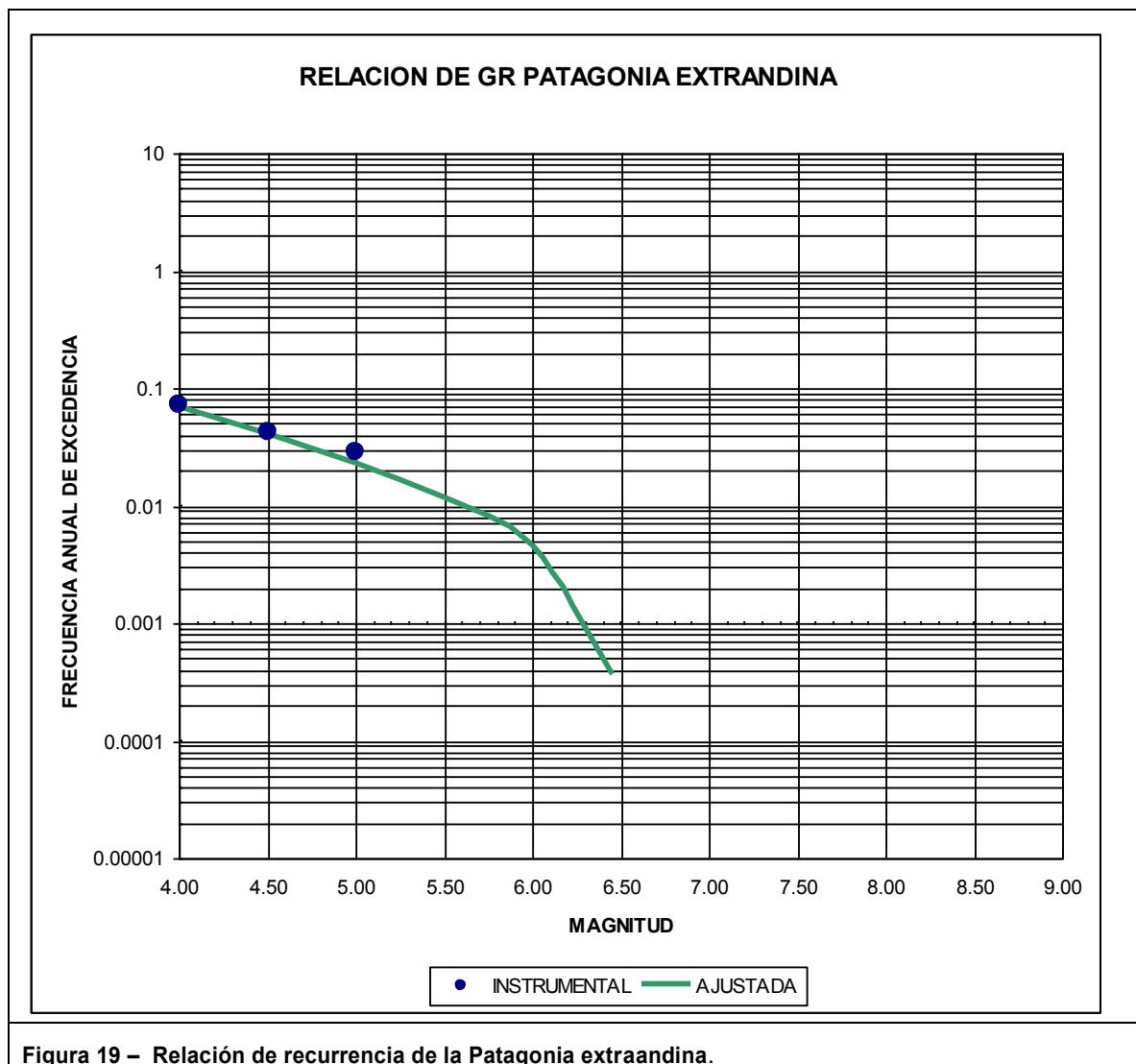


Figura 19 – Relación de recurrencia de la Patagonia extraandina.

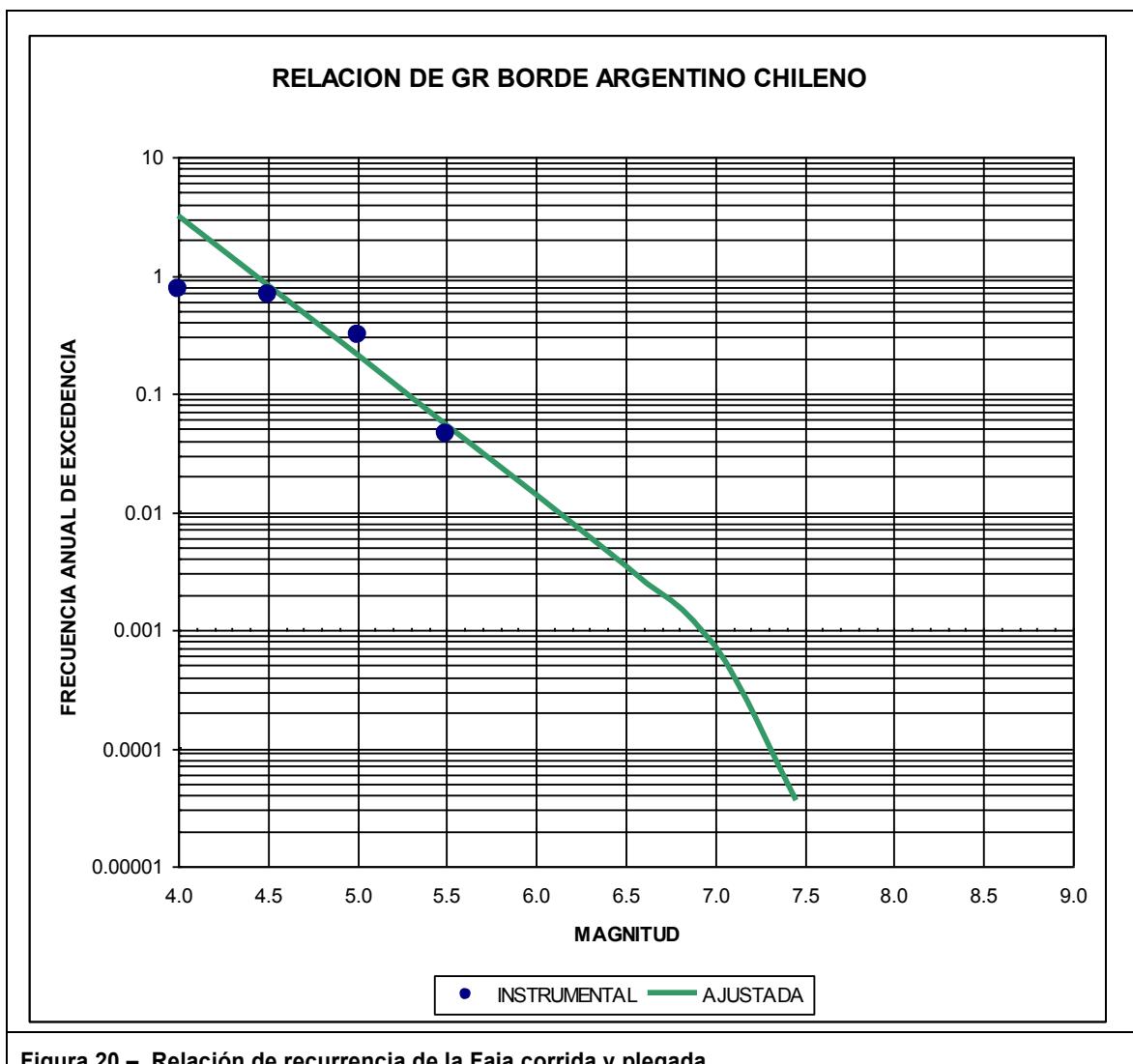
Valores de regresión

b =	0.3979
a =	0.4380

$M_o = 4$

$M_u$  o  $M_{max} = 6.5$

## 7.2.2. Faja corrida y plegada (Borde Argentino Chileno) (figura 20) FE: Región 9, 145



**Figura 20 – Relación de recurrencia de la Faja corrida y plegada**

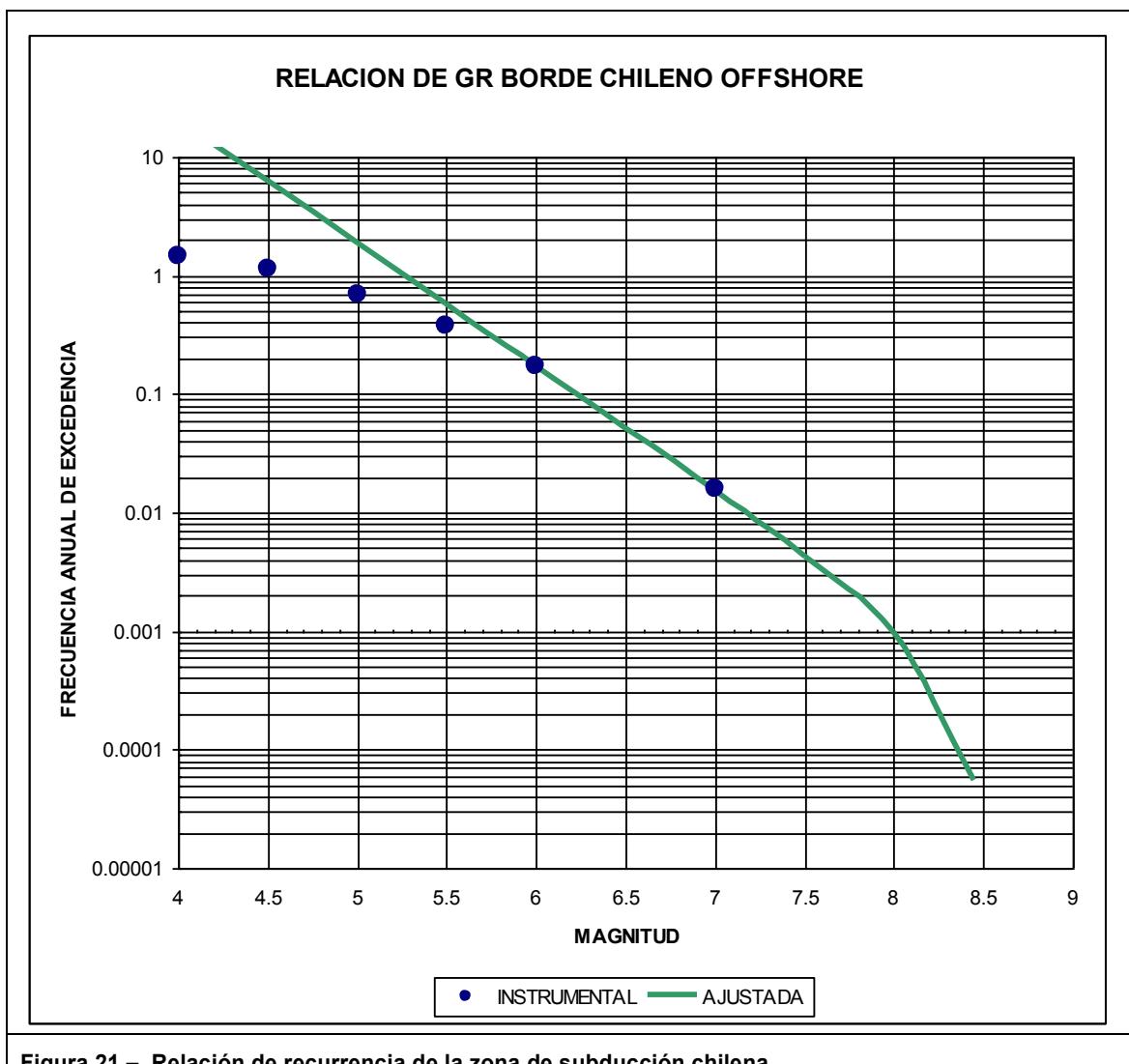
Valores de regresión

b =	1.176
a =	5.211

$$M_o = 4$$

$$M_u \text{ o } M_{max} = 7.5$$

### 7.2.3. Borde de subducción chileno (figura 21) FE: Región 9, 143-144



Valores de regresión

b =	1.0413
a =	5.4835

$M_o = 4$

$M_u$  o  $M_{max} = 8.5$



REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

31 de 104

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. Nº

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

### 7.2.4. Tierra del Fuego (figura 22) FE: Región 10, 147

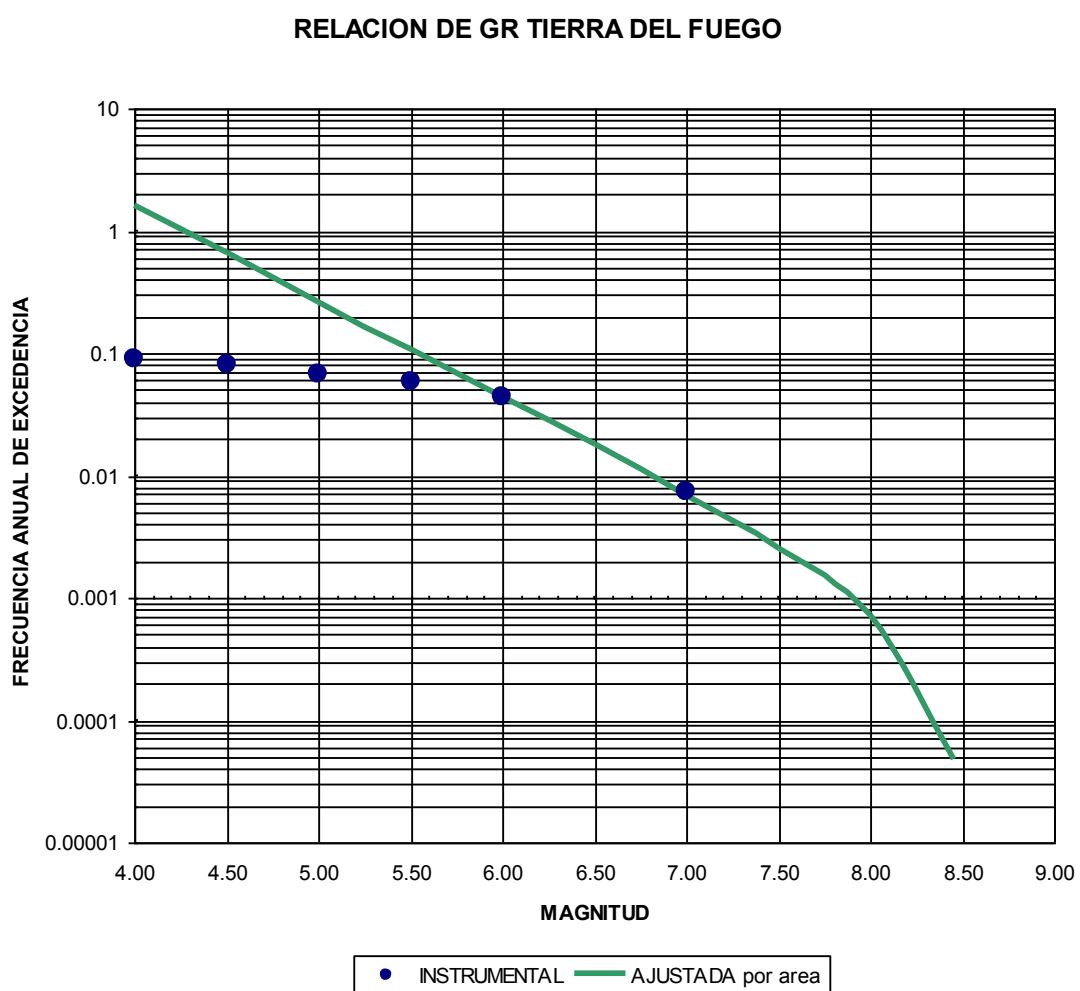


Figura 22 – Relación de recurrencia de Tierra del Fuego

Valores de regresión

b =	0.7781
a =	3.3167

$M_o = 4$

$M_u$  o  $M_{max} = 8.5$

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING·CGGC·HCSA·UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 32 de 104
	Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>	

## 8. ANALISIS PROBABILISTICO DE LA PELIGROSIDAD SISMICA

La determinación de la peligrosidad sísmica definida por el método probabilístico (PSH: Probabilistic Seismic Hazard), conduce mediante un proceso matemático formal al nivel de un parámetro del movimiento del terreno (aceleración) que posee una probabilidad dada de ser excedida en un intervalo de tiempo especificado.

Una forma de expresión es mediante el cálculo de  $\lambda$ , que la razón media anual del nivel del parámetro del movimiento del terreno que es excedido. Su inversa es el período de retorno expresado en años (TR).

De acuerdo a lo expresado previamente, se definieron distintos niveles de peligrosidad, los que se denominaron en función al Período de retorno.

TR 144 años (50% de probabilidad de superación en 100 años)

TR 475 años (19% de probabilidad de superación en 100 años)

TR 1950 años (5% de probabilidad de superación en 100 años)

TR 4950 años (2% de probabilidad de superación en 100 años)

TR 9950 años (1% de probabilidad de superación en 100 años)

Un esquema general del procedimiento para determinar los valores del PSH está planteado en la figura 23, donde finalmente se materializa en UHS (USACE).

Una evaluación probabilística de peligrosidad sísmica en un sitio debido a una fuente particular,  $n$ , involucra la convolución de las siguientes tres funciones de probabilidad: (Cornell, 1968; Der Kiureghian and Ang, 1977; Araya and Der Kiureghian, 1988, Idriss and Archuleta, 2007)

1) la relación de recurrencia se usa para calcular la probabilidad de que un terremoto de una magnitud particular fuera a ocurrir en esa fuente durante un intervalo de tiempo especificado.

Esa función de probabilidad se expresa normalmente en términos de un número medio de terremotos, por año, con magnitud  $M_i$  en fuente  $n$ .

2) la probabilidad que la ruptura superficial esté a una distancia específica del sitio se estudiada considerando la geometría de la falla y la relación de longitud ruptura-magnitud (o área).

3) la probabilidad de que el movimiento del terreno por un terremoto de una cierta magnitud ocurriendo a una cierta distancia excediera un nivel especificado en el sitio, se basa en las relaciones de atenuación seleccionadas.

Combinando las tres funciones de probabilidad de cada fuente, se computa la razón media anual de exceder un nivel especificado de movimiento en el sitio,  $\lambda_n$ .

Si existen  $N$  fuentes, entonces el proceso expuesto se repite para cada fuente, y las contribuciones son añadidas hasta obtener la peligrosidad total en el sitio, por ej:

$$\lambda = \sum \lambda_n \quad \text{para } n = 1 \text{ a } N.$$

Las ventajas de usar una evaluación probabilística de peligrosidad son:

a) se incluyen las contribuciones de terremotos con  $M = M_o$  hasta  $M = M_u$ .

b) se consideran las contribuciones de cada fuente y todas las distancias.

c) los resultados proveen los medios para seleccionar los parámetros de diseño que pueden producir niveles de riesgo comparable para dos o más sitios.

Una vez que la razón media anual es obtenida, se puede calcular la probabilidad de que ese nivel sea excedido en cualquier período de tiempo. Esta se obtiene mediante:

$$P = 1 - \exp(-\lambda t)$$

en la cual  $P$  es la probabilidad de que ese nivel del parámetro del terreno sea excedido en  $t$  años y  $\lambda$  es la razón media anual de que sea excedido.

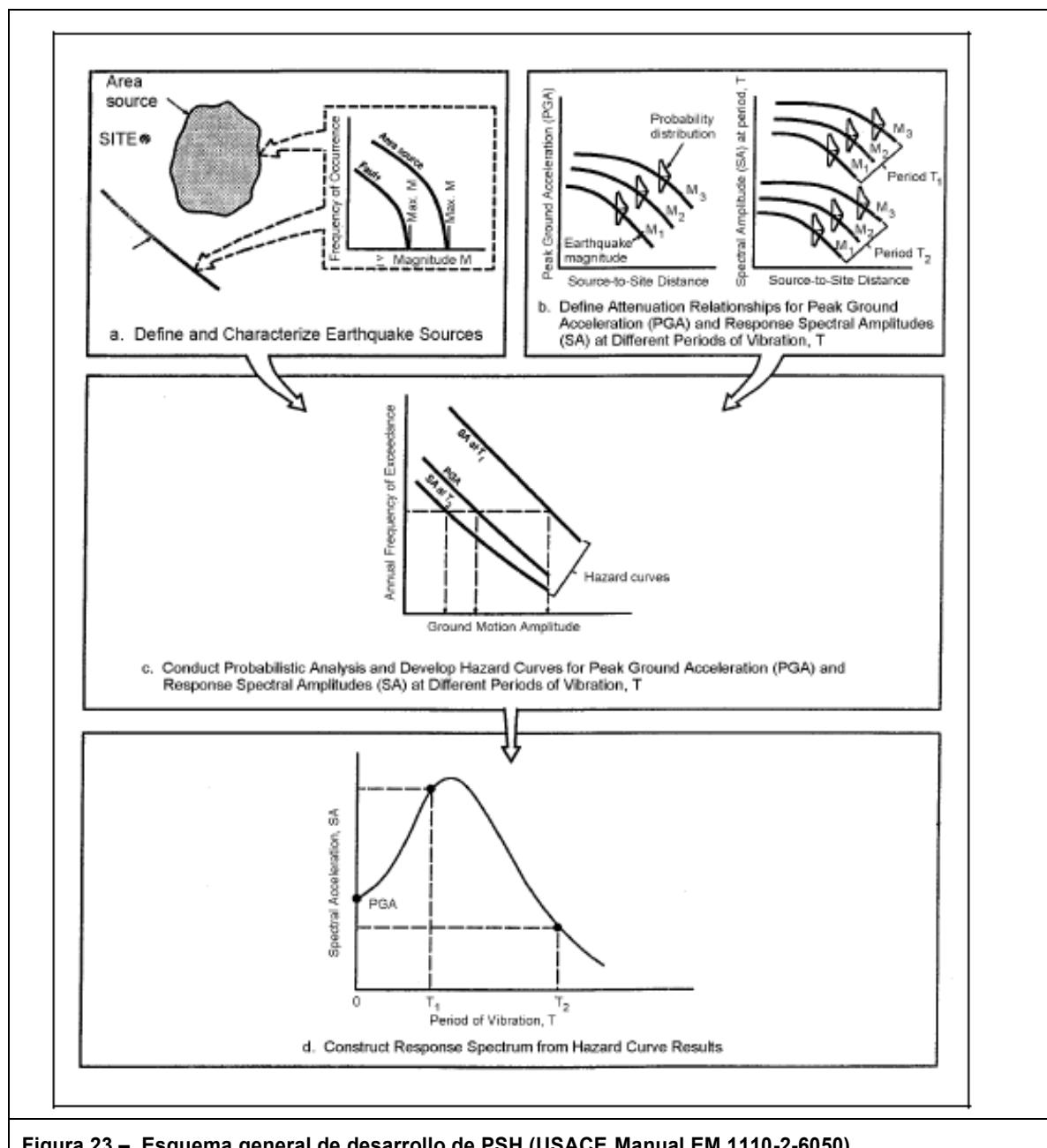


Figura 23 – Esquema general de desarrollo de PSH (USACE Manual EM 1110-2-6050)

Para el cómputo de estas expresiones existen varios programas de computación disponibles (software). En este informe se empleó el modelo CRISIS que ha sido desarrollado por un consorcio de origen mexicano (UNAM) con aportes de universidades italianas (Ordaz et. al). Este programa es el que emplea la agencia GAR de la ONU.

La información que se procesó comprende los ítems señalados previamente.

1. Geometría de las fuentes sismogénicas: se usaron las detalladas en el punto 7.1 (figura 18)
2. Sismicidad: se emplearon los datos extraídos de las leyes de recurrencia definidos en el punto 7.2.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 34 de 104
	Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>	

3. GMPE: las leyes de atenuación varían según se trate de zonas de subducción, zonas con actividad cortical y zonas continentales estables. Al no contar con leyes derivadas regionalmente, se analizaron distintos tipos de GMPE para cada tipo de fuentes. Una forma de resolver esta incertidumbre epistémica es la ejecución de combinaciones de varias de las GMPE, con ponderaciones diferenciadas. Otra alternativa es comparar resultados de distintas combinaciones de GMPE, lo que lleva a realizar numerosas corridas. Esto se realizó ejecutando alrededor de 50 corridas. Finalmente, se adoptó la que se consideró como más probable y más conservativa. Las GMPE que se definieron son:

- Zona de Subducción chilena y Tierra del Fuego: BCHydro2012
- Zona plegada y corrida: Abrahamson and Silva 1997
- Zona Patagónica extraandina: Atkinson and Boore 2006
- Fallas: Abrahamson and Silva 1997

El programa requiere la definición de los TR expresados en años, tanto para  $t = 50$  como  $t = 10$ . Asimismo, es necesario definir los Períodos sobre los que se realizaran los cálculos.

Antes de las corridas, se realiza una verificación interna de los datos. Los tiempos de cálculos varían en función al número de Períodos que se evalúen. Para los casos que finalmente se corrieron, se requieren aproximadamente 3 a 4 minutos para un equipo con procesador dual de 32 bit.

## 9. RESULTADOS DEL ANALISIS PROBABILISTICO

### 9.1. Cálculo de probabilidades

Los resultados del análisis probabilístico están graficados en la figura 22. En la misma se presenta las probabilidades correspondientes a los sitios de las presas PNK y GJC. Como referencia, se han colocado los valores que corresponden al El Calafate, situado al borde de una zona de mayor sismicidad (Faja Plegada y corrida).

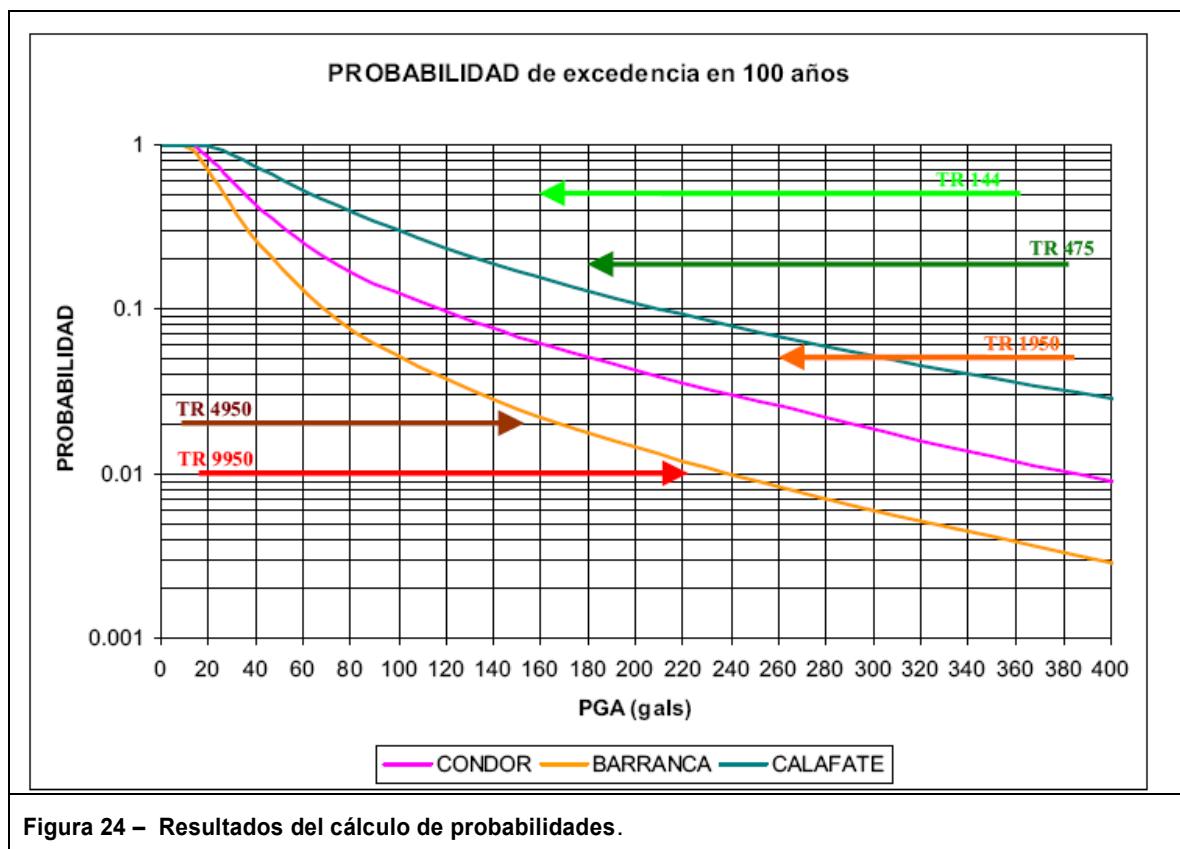


Figura 24 – Resultados del cálculo de probabilidades.

**CONDOR:** sitio de represa PNK. **BARRANCA:** sitio de represa GJC. **CALAFATE:** El Calafate

Se han señalado los valores de PGA (aceleración máxima del terreno) correspondientes a los períodos de recurrencia definidos previamente. Los valores correspondientes se expresan en la tabla 6.

Tabla 6 – Resultados del cálculo probabilística de PGA, en gals (cm/seg<sup>2</sup>) y en g.

Sismo	PNK (Condor Cliff)		GJC (La Barrancosa)	
	En gals	En g	En gals	En g
TR 144	35	0.036	26	0.027
TR 475	73	0.074	48	0.049
TR 1950	182	0.186	101	0.103
TR 4950	290	0.296	168	0.171
TR 9950	383	0.390	239	0.244

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING·CGGC·HCSA·UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 36 de 104
		Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

## 9.2. Comparación con mediciones zonales

Existen mapas de peligrosidad sísmica que fijan valores que sirven para regionalización y zonificación sísmica. Los distintos mapas difieren en la formulación de las fuentes sísmicas y en las GMPE (ground motion prediction estimator) o relaciones de atenuación.

A modo de comparación se presenta en la tabla 7 los valores leídos en dos mapas para dos de los principales sitios WEB, para similar período de retorno. En general se toma como referencia el TR 475 empleado en los códigos de edificación.

**Tabla 7 – Comparación con lectura de mapas de zonificación**

Sismo TR 475	PNK (Cóndor Cliff)		GJC (La Barrancosa)	
	En gals	En g	En gals	En g
Calculado en 7.1	73	0.074	48	0.049
Mapa GSHAP (1999)	168	0.172	116	0.119
Mapa GAR (2014)	38	0.038	19	0.019

GSHAP: Global Seismic Hazard Program.

GAR: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. UNISDR

En la comparación se observa una dispersión de resultados, producto principalmente de las relaciones de atenuación (GMPE) que se han empleado en cada cálculo. En el caso del modelo GSHAP (Giardini et al, 1999) que se realizó hace más de 15 años, las GMPE de esa época arrojaban valores muy superiores a los que se están usando recientemente. Esto se manifiesta en el mapa del GAR-UNISDR, que usa un modelo similar al empleado en este informe (Ordaz et al, 2014).

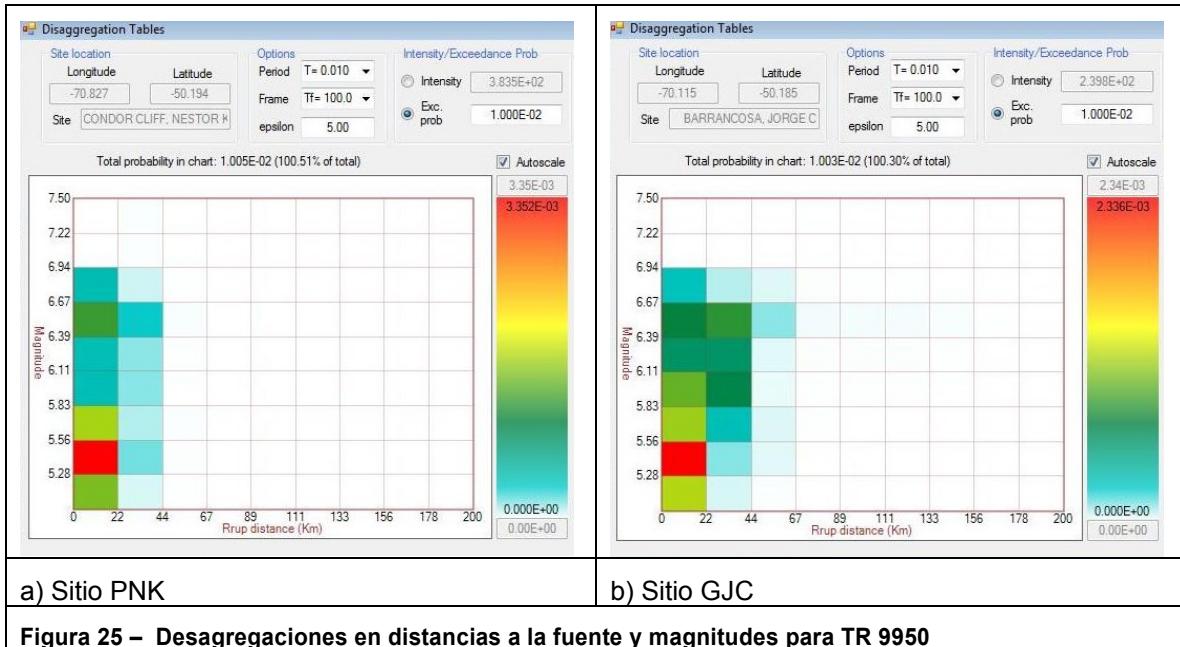
Las diferencias entre lo Calculado y el Mapa GAR están relacionadas principalmente en la participación de fuentes sísmicas lineales (fallas) adoptadas en este informe.

## 9.3. Desagregación por distancias y magnitudes

La desagregación es un proceso que permite observar la influencia de las magnitudes y las distancias que tienen las distintas fuentes en el cálculo de probabilidades (Bazzurro and Cornell, 1999).

Sirve para identificar las combinaciones de magnitudes y distancias que producen la mayor contribución a la peligrosidad de un sitio y por ello definir con mejor precisión los espectros de respuesta y acelerogramas asociados a un nivel de peligrosidad dado.

En las figuras 25 a y b, la desagregación señala la influencia de las distancias y de la magnitud en la definición de la peligrosidad correspondientes al sismo con TR 9950 que es el sismo máximo de verificación (TS). En el Anexo 4 se han colocado las desagregaciones correspondientes a los otros sismos para cada sitio.



**Figura 25 – Desagregaciones en distancias a la fuente y magnitudes para TR 9950**

En ambos casos se nota la influencia de las fallas consideradas como fuentes situadas a poca distancia de las presas.

#### 9.4. Formulación de espectros de riesgo uniforme (UHS)

Cuando se dispone de las curvas de probabilidad para distintos contenidos de frecuencia es posible calcular los Espectros de Riesgo Uniforme, UHS, (Abrahamson 2000).

Esto fue realizado para los distintos eventos de cada sitio.

La figura 26 y la tabla 8 muestran los valores de los UHS horizontales correspondientes al sitio PNK, mientras que la figura 27 y la tabla 9 señalan los valores de GJC, para un amortiguamiento del 5%.

### PNK (CONDOR CLIFF) ESPECTROS UNIFORMES

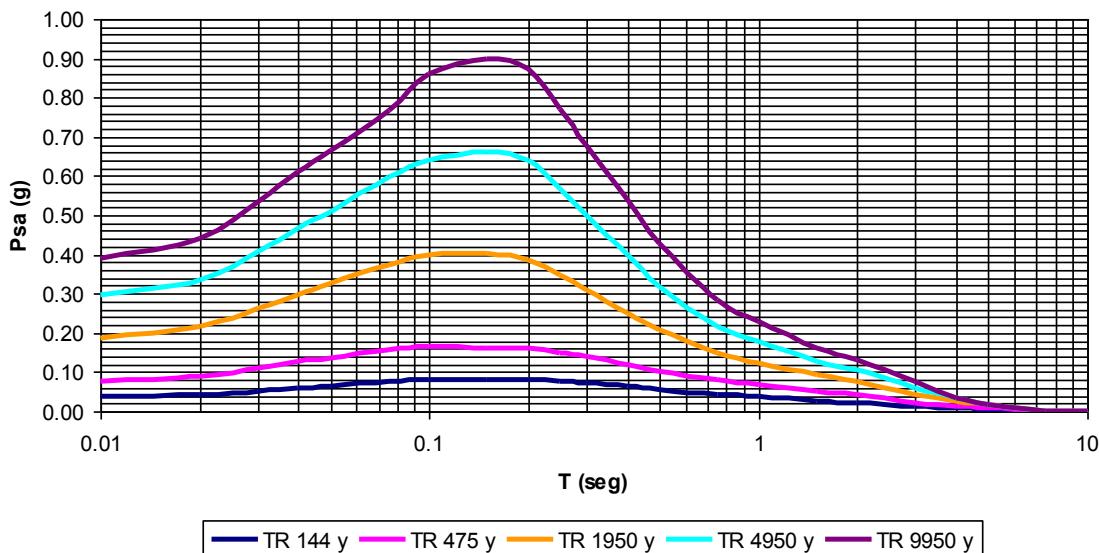
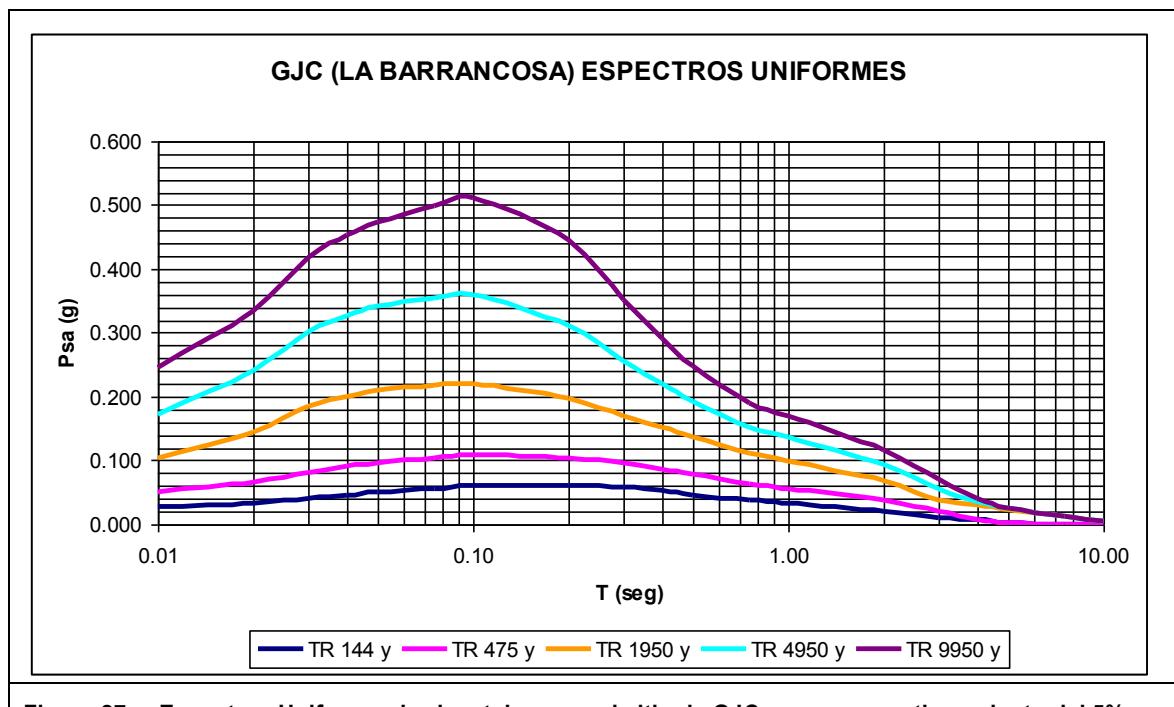


Figura 26 – Espectros Uniformes horizontales para el sitio de PNK para un amortiguamiento del 5%

Tabla 8 – Valores de los espectros horizontales para el sitio de PNK expresados en g

T (seg)	TR144 años	TR475 años	TR1950 años	TR4950 años	TR9950 años
0.01	0.04	0.07	0.19	0.30	0.39
0.02	0.04	0.09	0.21	0.34	0.44
0.03	0.05	0.11	0.26	0.41	0.53
0.04	0.06	0.13	0.30	0.46	0.61
0.05	0.06	0.14	0.32	0.51	0.67
0.075	0.08	0.15	0.37	0.60	0.77
0.1	0.08	0.16	0.40	0.64	0.86
0.2	0.08	0.16	0.39	0.64	0.87
0.3	0.07	0.14	0.31	0.50	0.68
0.4	0.07	0.12	0.25	0.40	0.54
0.5	0.06	0.10	0.21	0.32	0.43
0.75	0.04	0.08	0.15	0.22	0.28
1	0.04	0.07	0.12	0.18	0.23
2	0.02	0.04	0.07	0.10	0.13
3	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08
4	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04
5	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02
7.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



**Figura 27 – Espectros Uniformes horizontales para el sitio de GJC para un amortiguamiento del 5%**

**Tabla 9 – Valores de los espectros horizontales para el sitio de GJC expresados en g**

T (seg)	TR144 años	TR475 años	TR1950 años	TR4950 años	TR9950 años
0.01	0.027	0.049	0.103	0.172	0.244
0.02	0.033	0.065	0.145	0.240	0.334
0.03	0.041	0.082	0.184	0.302	0.418
0.04	0.047	0.091	0.200	0.327	0.452
0.05	0.050	0.097	0.210	0.343	0.474
0.075	0.057	0.105	0.217	0.354	0.498
0.1	0.060	0.108	0.221	0.360	0.512
0.2	0.061	0.104	0.197	0.311	0.446
0.3	0.057	0.096	0.171	0.255	0.351
0.4	0.052	0.087	0.153	0.220	0.292
0.5	0.047	0.078	0.136	0.191	0.247
0.75	0.037	0.064	0.110	0.152	0.190
1	0.033	0.057	0.099	0.136	0.169
2	0.020	0.037	0.067	0.094	0.117
3	0.011	0.020	0.039	0.055	0.070
4	0.007	0.008	0.029	0.035	0.040
5	0.003	0.003	0.022	0.025	0.025
7.5	0.001	0.001	0.012	0.012	0.012
10	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006

## 10. ACELEROGRAMAS COMPATIBLES CON LAS FORMAS ESPECTRALES

### 10.1. Componentes horizontales

Se seleccionaron de la Base de Acelerogramas de PEER de 3 a 7 acelerogramas, cuyos promedios de sus espectros de las componentes horizontales se acercaran a cada espectro target de los distintos TR.

Las distancias a las fuentes y magnitudes que se analizaron dependieron de los gráficos de desagregaciones.

En el proceso, se buscaron también ajustes para promedios de cuatro y tres acelerogramas.

En la figura 28 se han graficado los espectros de la Represa PNK para los cinco TR y los acelerogramas cuyos promedios tienden a ajustarse a los mismos. Algo similar ocurre en la figura 29 para la Represa GJC

En el Anexo 5 se presentan las características de los acelerogramas seleccionados, cuyos gráficos se encuentran en la figura 28 y 29.

Para cada sitio y escenario, se han modificado un acelerograma de manera que ajuste con mayor precisión a los espectros calculados. Los mismos se encuentran en el Anexo 6.

### 10.2. Componentes verticales

La relación entre las componentes verticales y las horizontales de los acelerogramas seleccionados se encuentran en el Anexo 5.

Los valores promedios de la relación para cada escenario se presentan en la tabla 10.

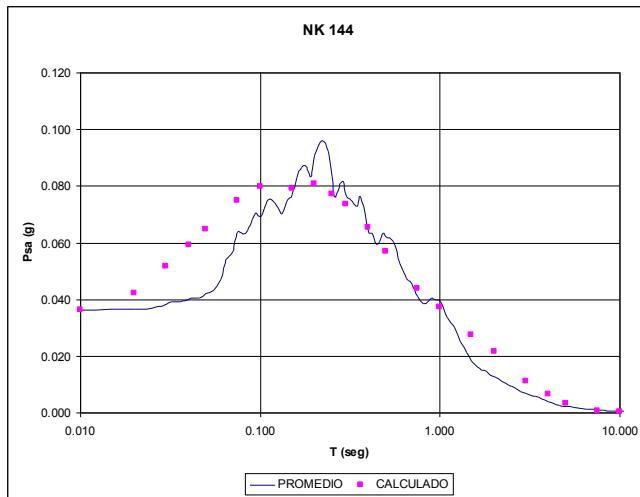
**Tabla 10 – Relación entre los componentes verticales y horizontales**

	PNK	GJC
TR144	0.50	0.47
TR475	0.73	0.71
TR1950	0.66	0.57
TR4950	0.71	0.67
TR9950	0.72	0.45

El rango de valores de la relación se encuentra entre 0.5 y 0.75 aproximadamente. Se deberán usar los que correspondan a cada sismo en particular, manteniendo la relación cuando las componentes horizontales sean escaladas.

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**PNK TR 144 años (PGA=0.036g)**

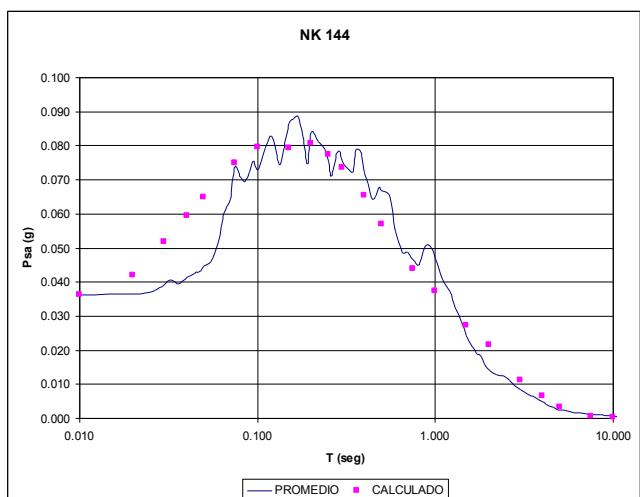


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-59 H-1	RSN-59 H-2	RSN-3138 H-1	RSN-3138 H-2	RSN-3251 H1	RSN-3318 H1	RSN-6746 H2
------------	------------	--------------	--------------	-------------	-------------	-------------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**PNK TR 144 años (PGA=0.036g)**

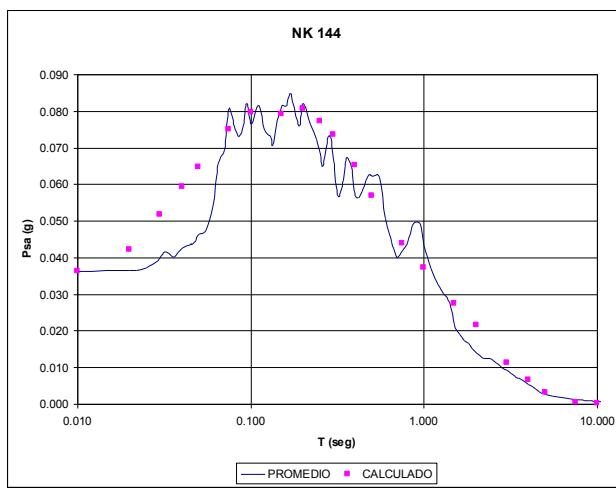


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-59 H-1	RSN-59 H-2	RSN-3138 H-1	RSN-3318 H1
------------	------------	--------------	-------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

**PNK TR 144 años (PGA=0.036g)**

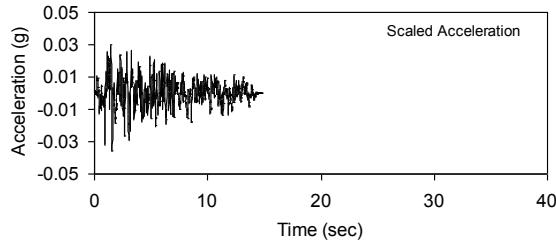


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

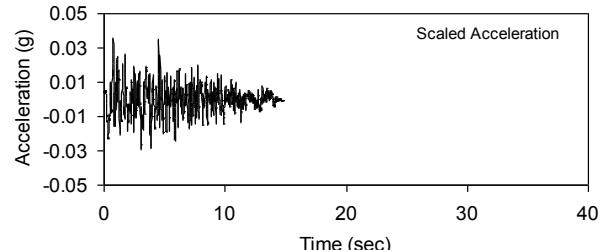
RSN-59 H-1	RSN-59 H-2	RSN-3318 H1
------------	------------	-------------

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b> <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 42 de 104
		Doc. N° GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

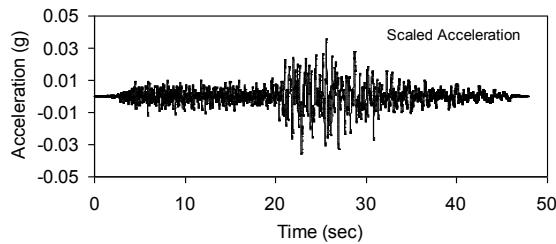
RSN-59 H-1: San Fernando (1971) Cedar Spring



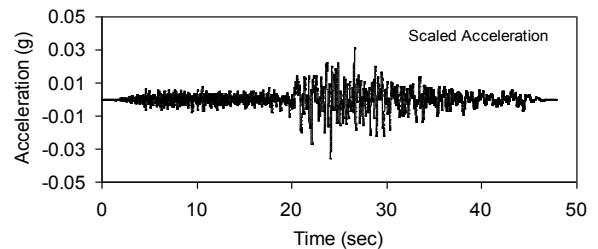
RSN-59 H-2: San Fernando (1971) Cedar Spring



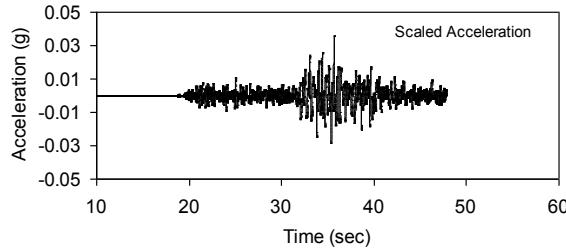
RSN-3138 H-1: Chi Chi T-05 (1999) TAP075. M=6.2



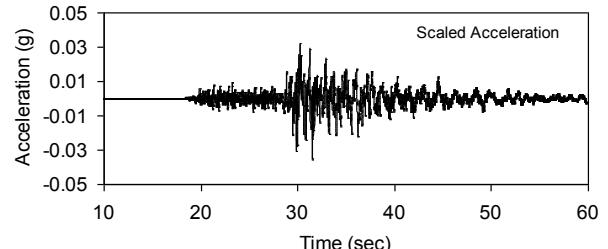
RSN-3138 H-2: Chi Chi Taiwan 05 (1999) TAP075



RSN-3251 H1: Chi Chi Taiwan 05 (1999) TTN042



RSN-3318 H1: Chi Chi T-06 (1999) CHY102. M=6.3



RSN-6746 H2: Niigata (2004) SITH09. M=6.63

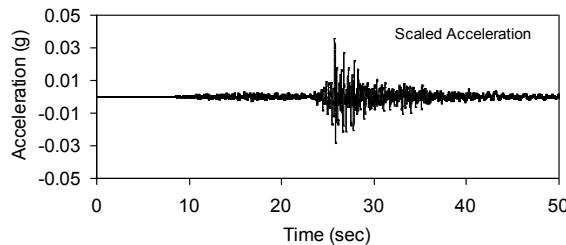
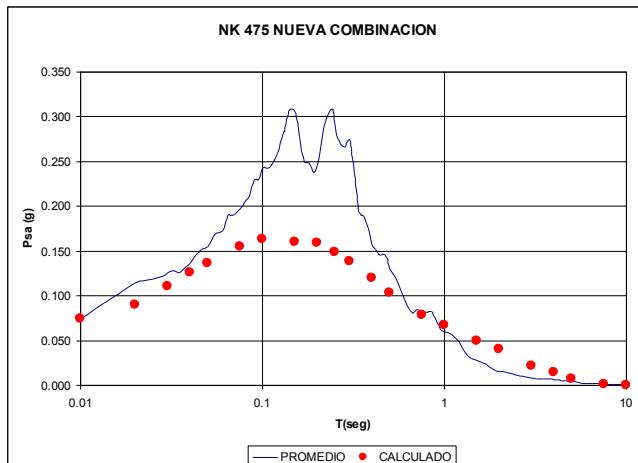


Figura 28 – Selección de Acelerogramas para PNK

PNK TR 144 años (PGA=0.036g)

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**PNK TR 475 años (PGA=0.075g)**

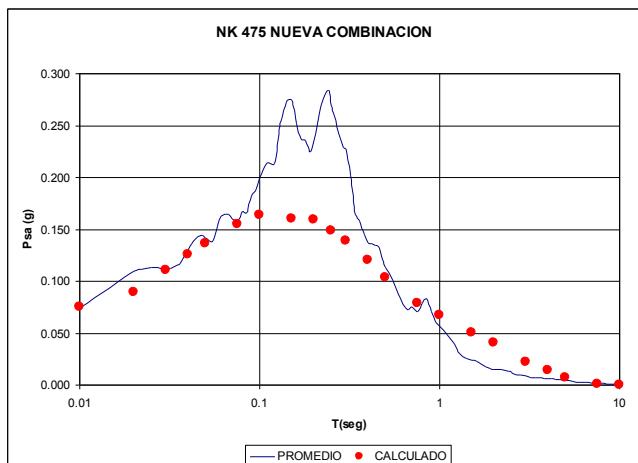


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN 1645 FN	RSN 1645 FP	RSN 1011 FN	RSN 1011 FP	RSN 23 FN	RSN 23 FP	RSN-2995 H1
-------------	-------------	-------------	-------------	-----------	-----------	-------------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**PNK TR 475 años (PGA=0.075g)**

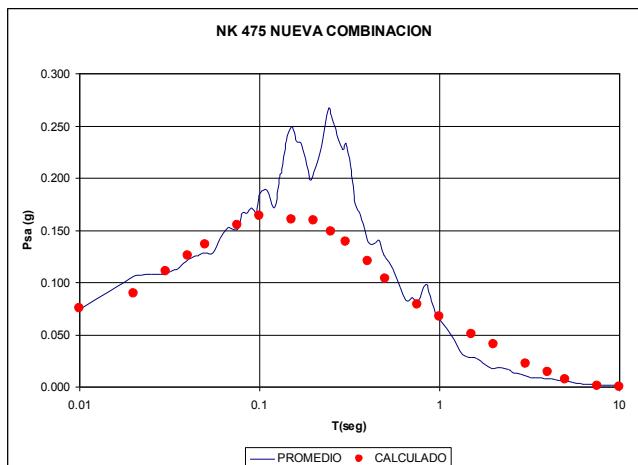


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN 1011 FN	RSN 23 FN	RSN 23 FP	RSN-2995 H1
-------------	-----------	-----------	-------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

**PNK TR 475 años (PGA=0.075g)**

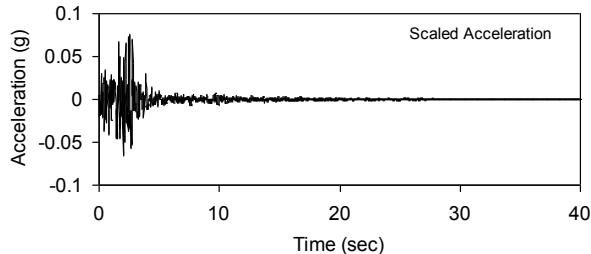


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

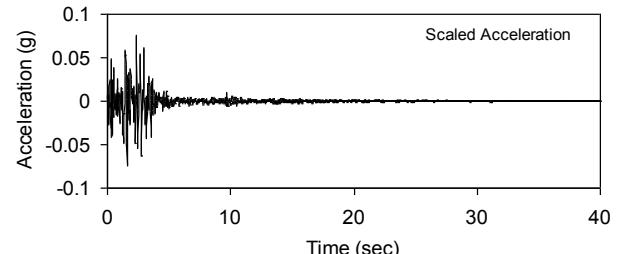
RSN 1011 FN	RSN 23 FN	RSN-2995 H1
-------------	-----------	-------------

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b> <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 44 de 104
		Doc. N° GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

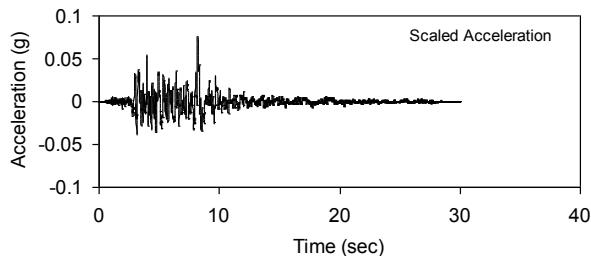
RSN-1645 FN: Sierra Madre (1991) Mt.Wilson. M=5.6



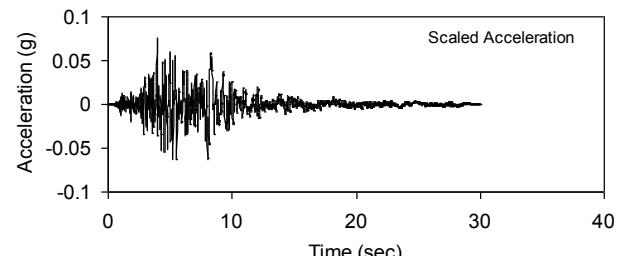
RSN-1645 FP: Sierra Madre (1991) Mt. Wilson



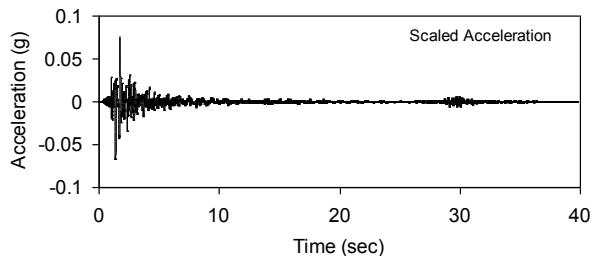
RSN 1011 FN: Northridge 01(1994) Wonderl. M=6.69



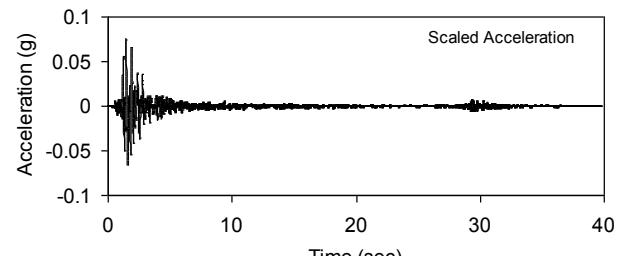
RSN 1011 FP: Northridge 01 (1994) Wonderland



RSN 23 FN: San Francisco (1957) Golden G. M=5.28



RSN 23 FP: San Francisco (1957) Golden G



RSN-2995 H1: Chi Chi Taiwan 05 (1999). M=6.2

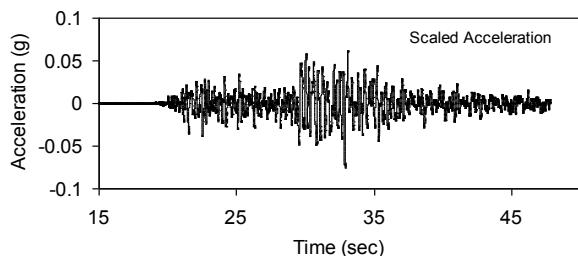
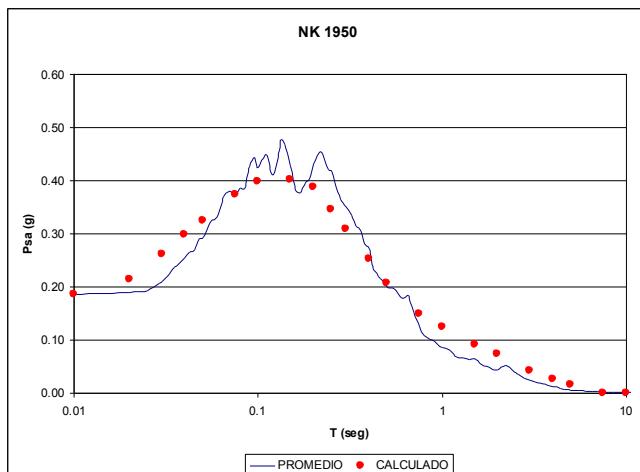


Figura 28 (cont)- Acelerogramas para PNK

PNK TR 475 años (PGA=0.075g)

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**PNK TR 1950 años (PGA=0.185g)**

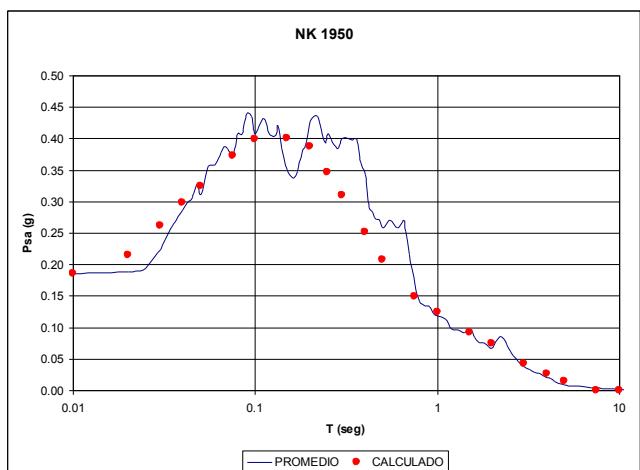


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-23 H1	RSN-23 H2	RSN-43 H1	RSN-680 H1	RSN-1715 H1	RSN-5618 H1	RSN-5618 H2
-----------	-----------	-----------	------------	-------------	-------------	-------------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**PNK TR 1950 años (PGA=0.185g)**

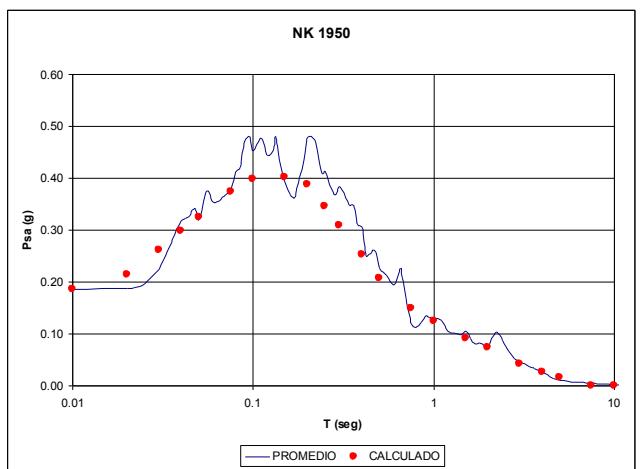


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-680 H1	RSN-1715 H1	RSN-5618 H1	RSN-5618 H2
------------	-------------	-------------	-------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

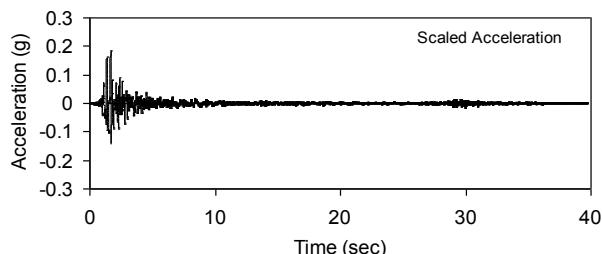
**PNK TR 1950 años (PGA=0.185g)**



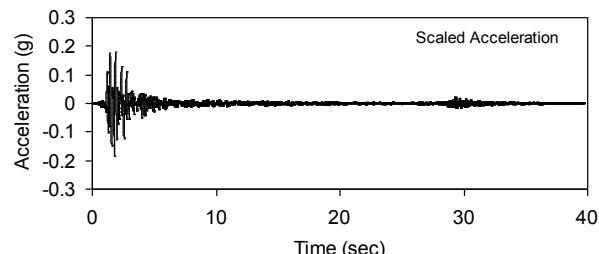
Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-1715 H1	RSN-5618 H1	RSN-5618 H2
-------------	-------------	-------------

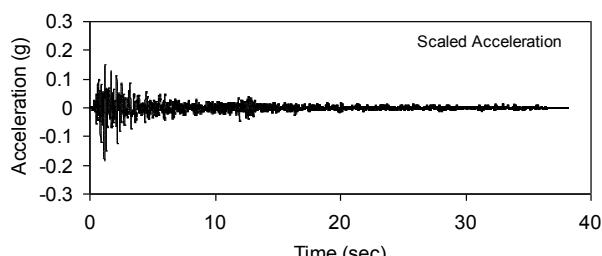
RSN-23 H1: San Francisco (1957) Golden G. M=5.28



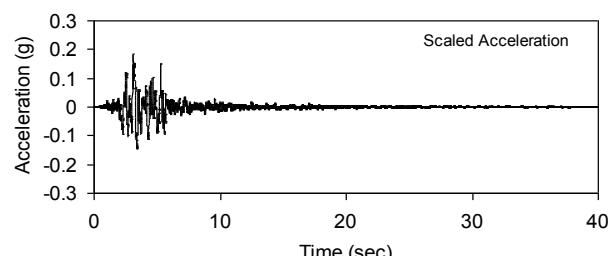
RSN-23 H2: San Francisco (1957) Golden G. M=5.28



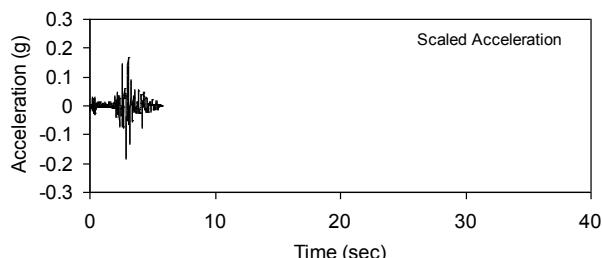
RSN-43 H1: Lytle Creek (1970) Cedar Spring.  
M=5.33



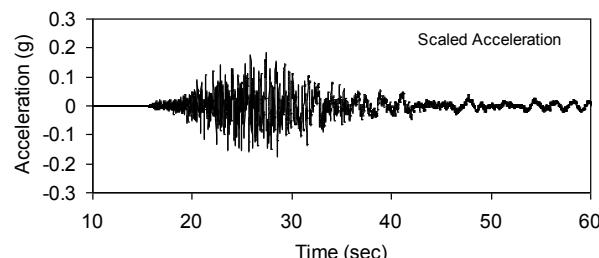
RSN-680 H1: Whittier N (1987) Pasadena CIT. M=5.99



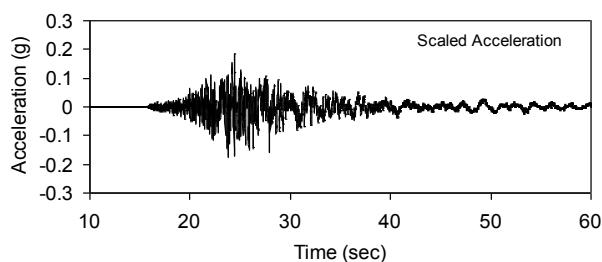
RSN-1715 H1: Northridge06 (1994) Wonderl. M=5.28



RSN-5618 H1: Iwate (2008) IWT010. M=6.9



RSN-5618 H2: Iwate (2008) IWT010

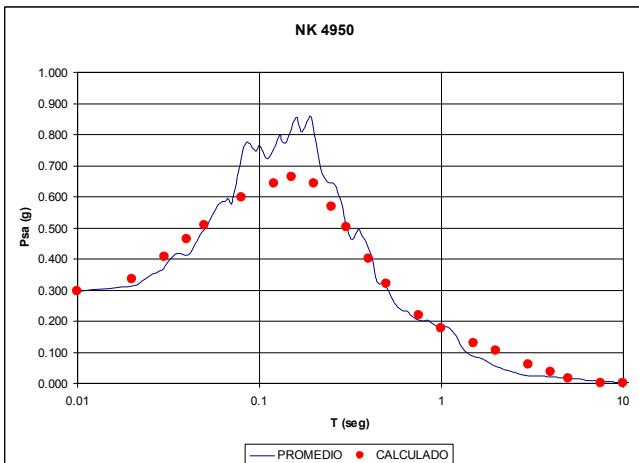


PNK TR 1950 años (PGA=0.185g)

Figura (28 cont.) – Acelerogramas para PNK

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**PNK TR 4950 años (PGA=0.296 g)**

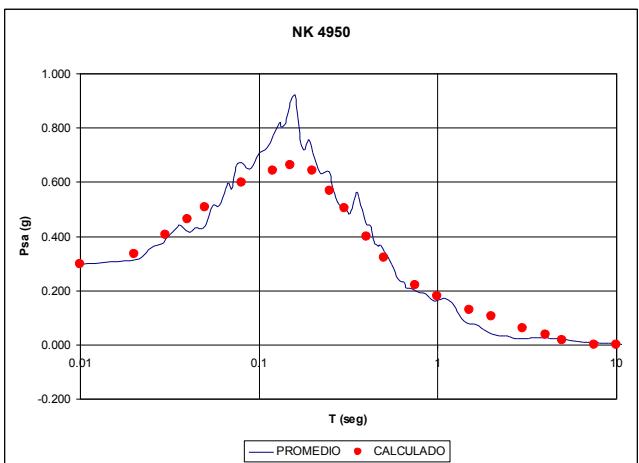


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-146 H-1	RSN-146 H-2	RSN-1078 H2	RSN 809 FN	RSN 809 FP	RSN 1011 FP	RSN 77 FP
-------------	-------------	-------------	------------	------------	-------------	-----------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**PNK TR 4950 años (PGA=0.296 g)**

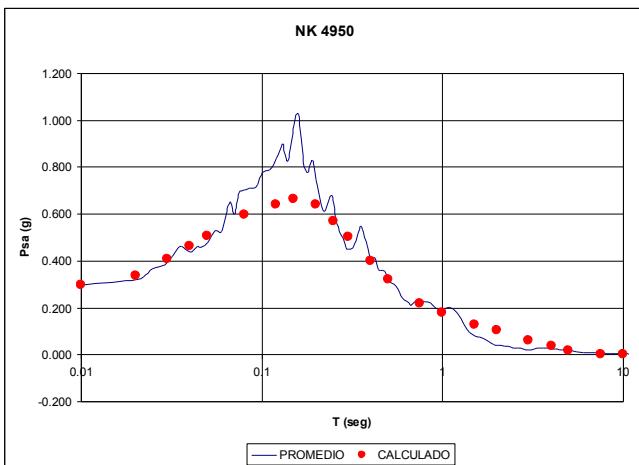


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN 809 FN	RSN 809 FP	RSN 1011 FP	RSN 77 FP
------------	------------	-------------	-----------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

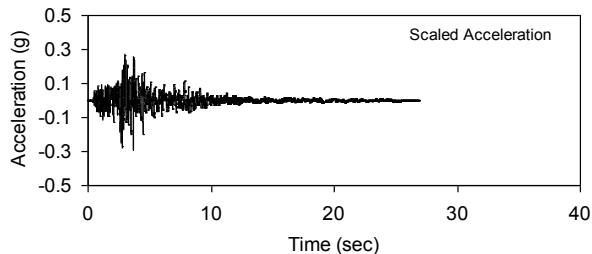
**PNK TR 4950 años (PGA=0.296 g)**



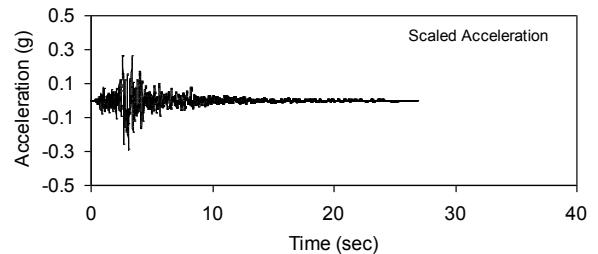
Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN 809 FN	RSN 809 FP	RSN 1011 FP
------------	------------	-------------

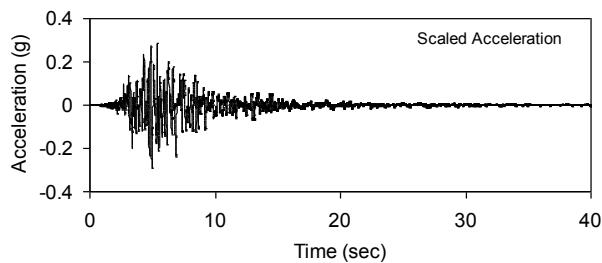
RSN-146 H-1: Coyote Lake (1979) Gilroy 01. M=5.71



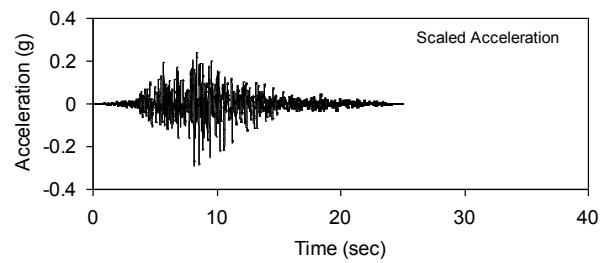
RSN-146 H-2: Coyote Lake (1979) Gilroy 01. M=5.71



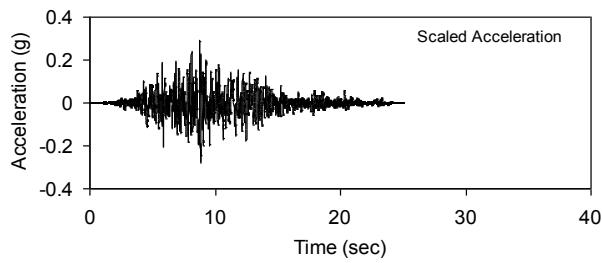
RSN-1078 H2: Northr- 01 (1994) S.Susana G. M=6.69



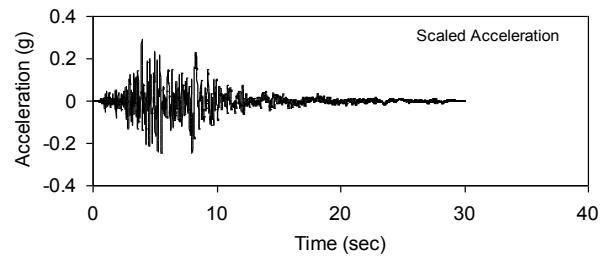
RSN-809 FN: Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93



RSN-809 FP: Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93



RSN-1011 FP: Northridge01. LA-Wonderl. M = 6.69



RSN-77 FP: San Fernando (1971) Pacoima. M=6.61

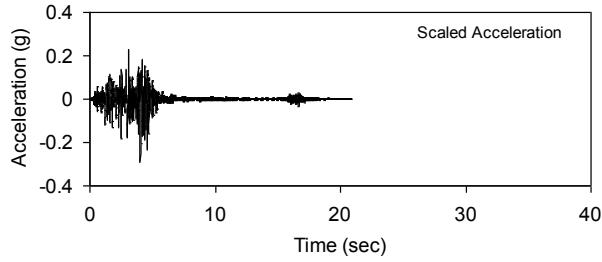
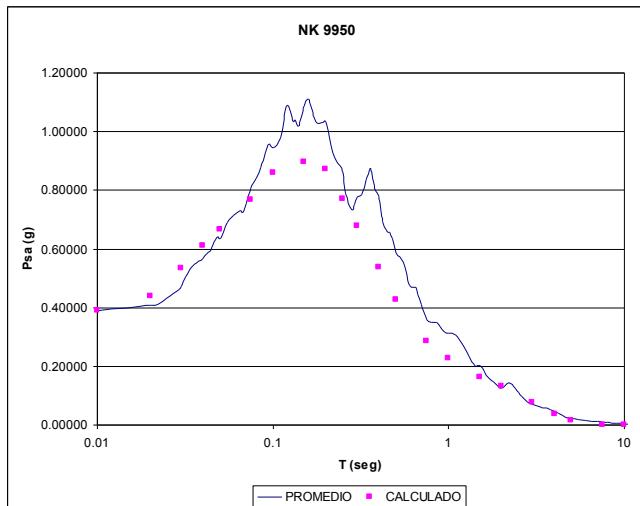


Figura 28 (cont.) – Acelerogramas para PNK

PNK TR 4950 años (PGA=0.296 g)

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**PNK TR 9950 años (PGA: 0.39g)**

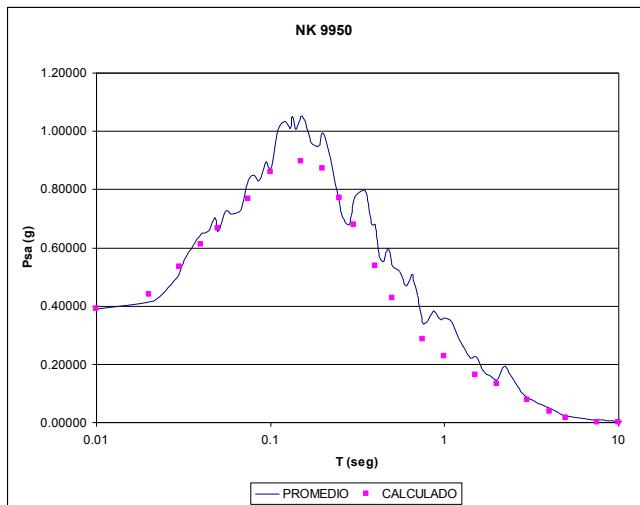


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

763 H-1	763 H-2	809 H-2	1011 H1	1011 H2	5618 H1	5618 H2
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**PNK TR 9950 años (PGA: 0.39g)**

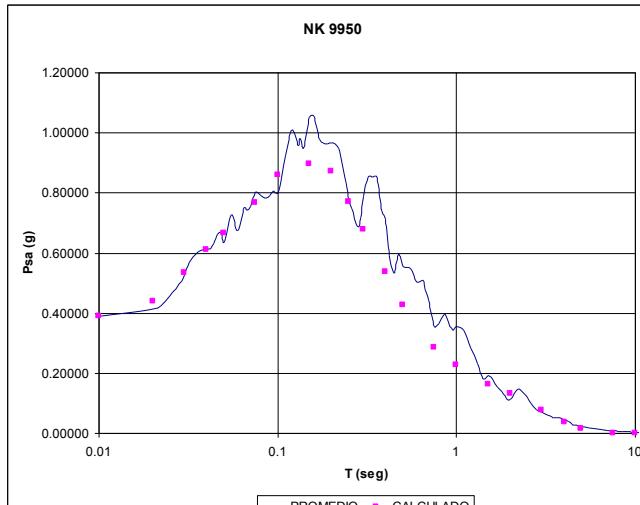


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-809 H-2	RSN-1011 H2	RSN-5618 H1	RSN-5618 H2
----------------	----------------	----------------	----------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

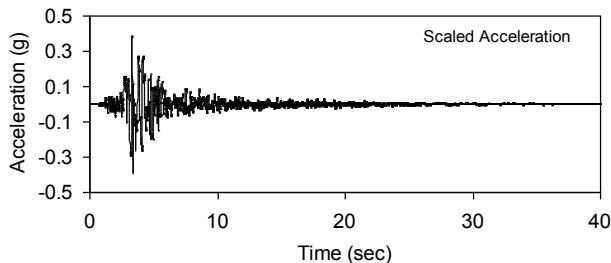
**PNK TR 9950 años (PGA: 0.39g)**



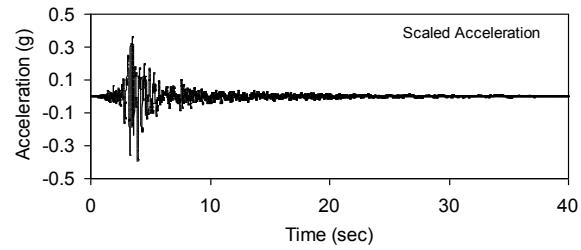
Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-809 H-2	RSN-1011 H2	RSN-5618 H1
----------------	----------------	----------------

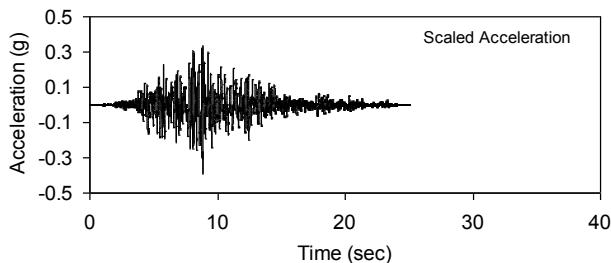
RSN-763 H-1: Loma Prieta (1989) Gilroy-Gav. M=6.93



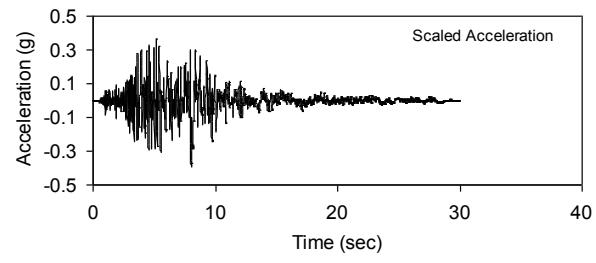
RSN-763 H-2:Loma Prieta(1989) Gilroy-Gav.M=6.93



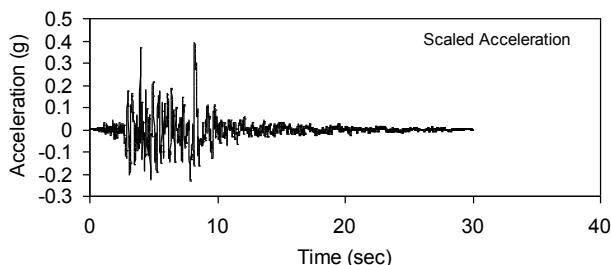
RSN-809 H-2: Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93



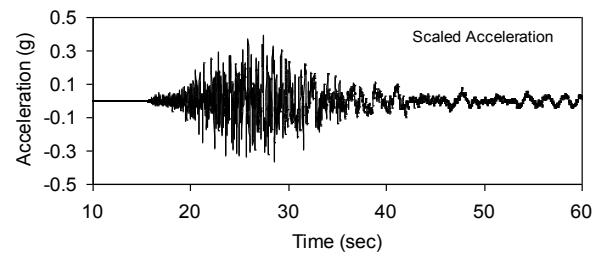
RSN-1011 H1: Northridge01. LA-Wonderl. M = 6.69



SN-1011 H2: Northridge01. LA-Wonderl. M = 6.69



RSN-5618 H1: Iwate (2008) IWT010. M=6.9



RSN-5618 H2: Iwate (2008) IWT010. M=6.9

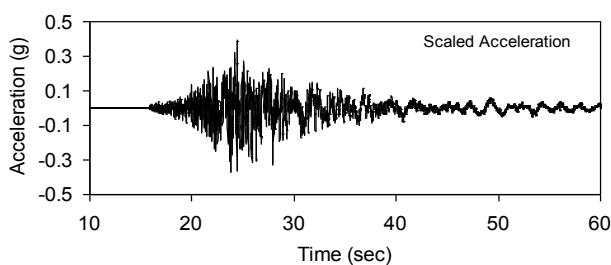
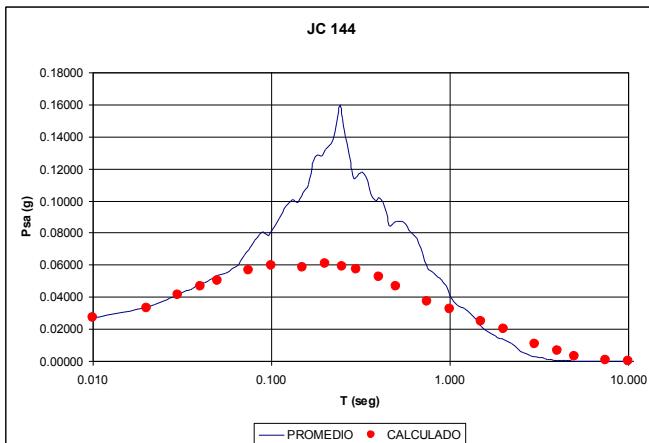


Figura 28 (cont)– Acelerogramas para PNK

PNK TR 9950 años (PGA: 0.39g)

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**GJC TR 144 años (PGA =0.027g)**

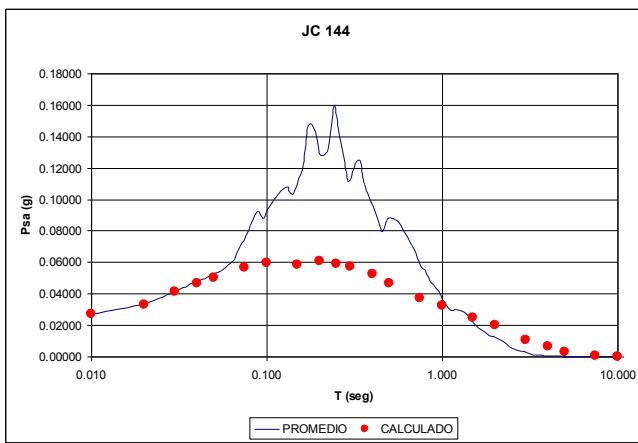


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-2367 H2	RSN-3249 H1	RSN-3249 H2	RSN-3537 H1	RSN-3537 H2	RSN-3542 H1	RSN-3542 H2
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**GJC TR 144 años (PGA =0.027g)**

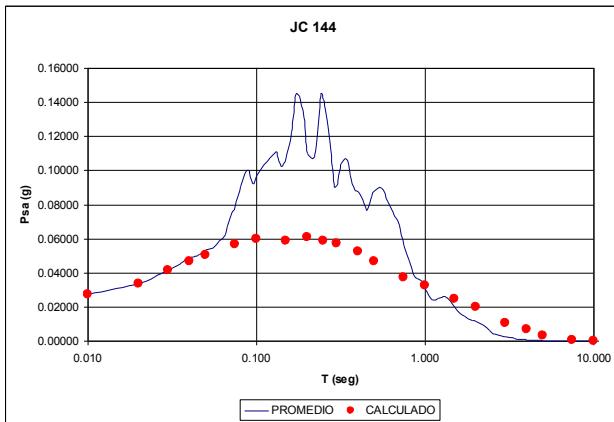


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-3249 H1	RSN-3249 H2	RSN-3537 H1	RSN-3542 H1
-------------	-------------	-------------	-------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

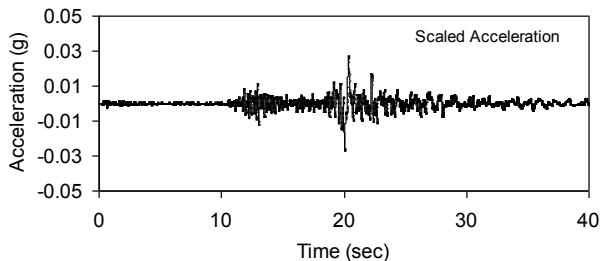
**GJC TR 144 años (PGA =0.027g)**



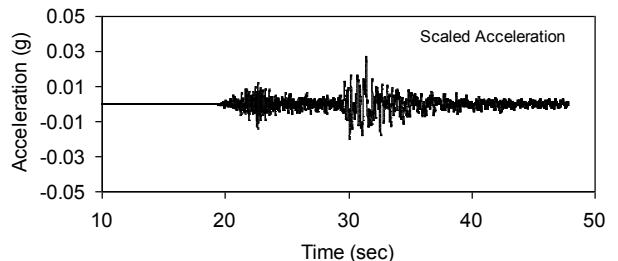
Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-3249 H1	RSN-3249 H2	RSN-3537 H1
-------------	-------------	-------------

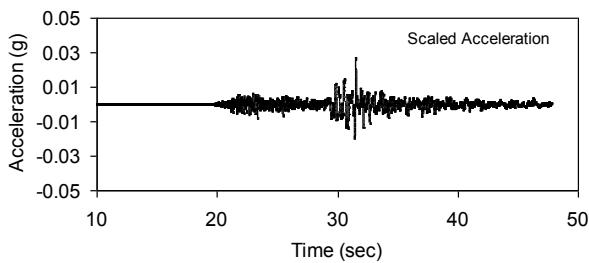
RSN-2367 H2: ChiChi02. (1999) TCU045. M =5.9



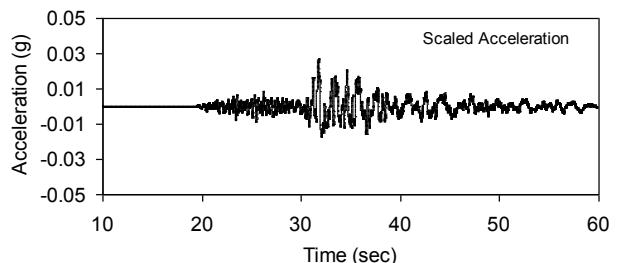
RSN-3249 H1: ChiChi05. (1999) TTN040. M=6.2



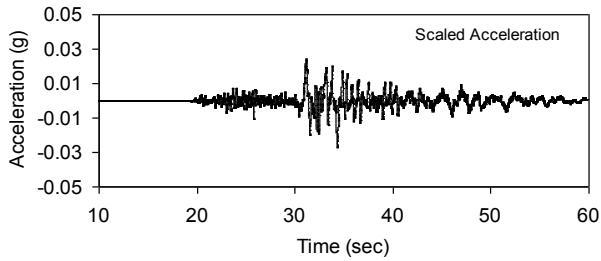
RSN-3249 H2: ChiChi05. (1999) TTN040. M=6.2



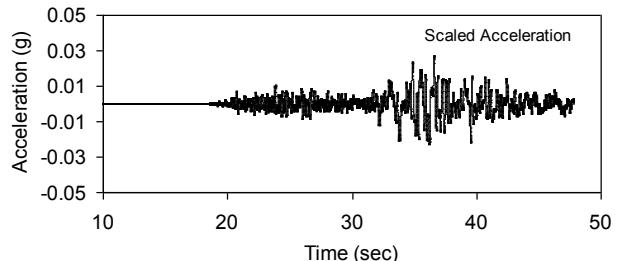
RSN-3537 H1: ChiChi06. (1999) TTN032. M =6.3



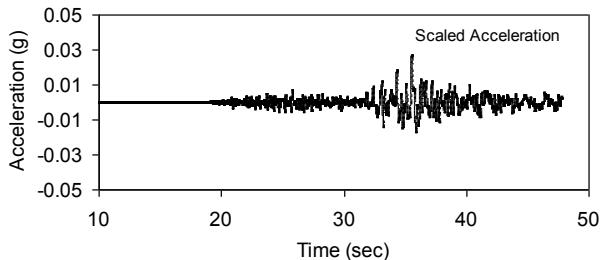
RSN-3537 H2: ChiChi06. (1999) TTN032. M =6.3



RSN-3542 H1: ChiChi06. (1999) TTN042. M =6.3



RSN-3542 H2: ChiChi06. (1999) TTN042. M =6.3

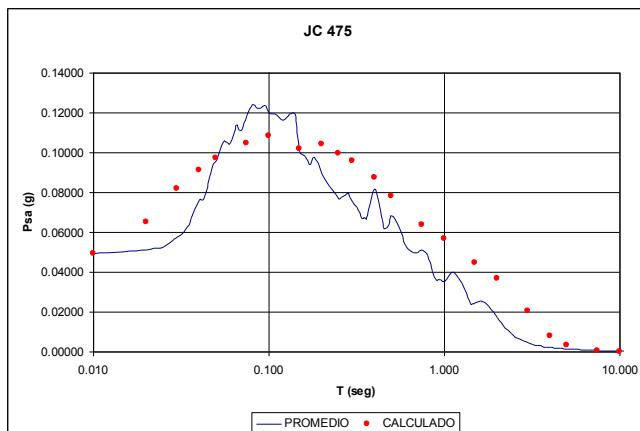


**Figura 29 – Selección de Acelerogramas para GJC**

**GJC TR 144 años (PGA =0.027g)**

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**GJC TR 475 años (PGA=0.049)**

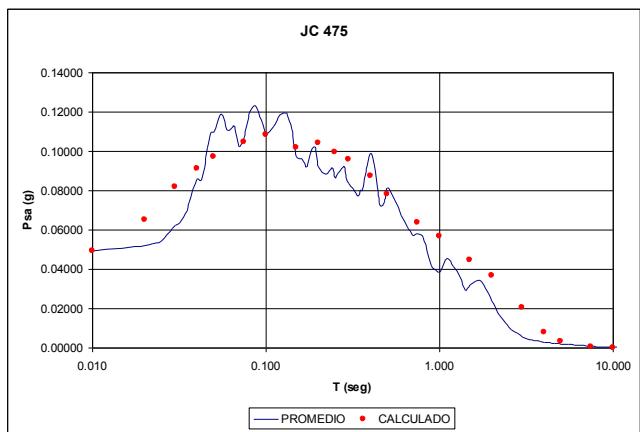


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-296 H-2	RSN-2966 H1	RSN-4554 H-1	RSN-4554 H-2	RSN-43 H1	RSN-43 H2	RSN-643 H1
-------------	-------------	--------------	--------------	-----------	-----------	------------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**GJC TR 475 años (PGA=0.049)**

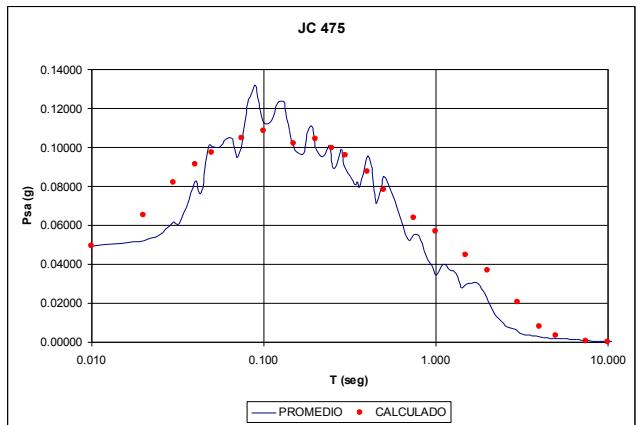


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-2966 H1	RSN-4554 H-1	RSN-4554 H-2	RSN-43 H2
-------------	--------------	--------------	-----------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

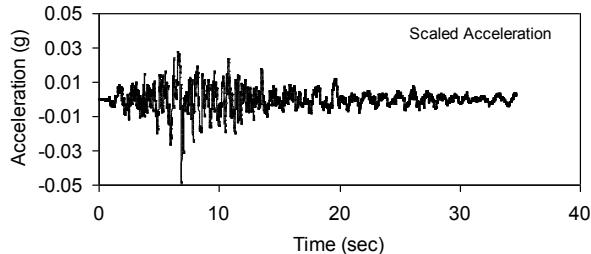
**GJC TR 475 años (PGA=0.049)**



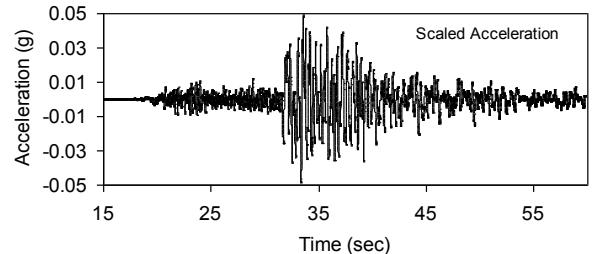
Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-2966 H1	RSN-4554 H-1	RSN-43 H2
-------------	--------------	-----------

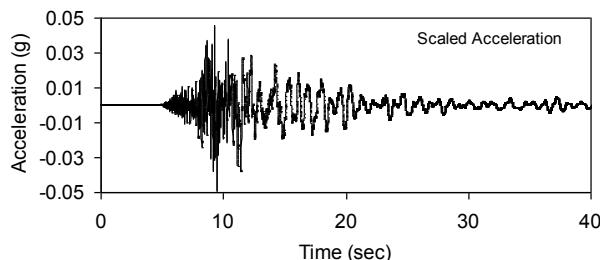
RSN-296 H-2: Irpinia01 (1980) Bagnoli Irpinio. M =6.2



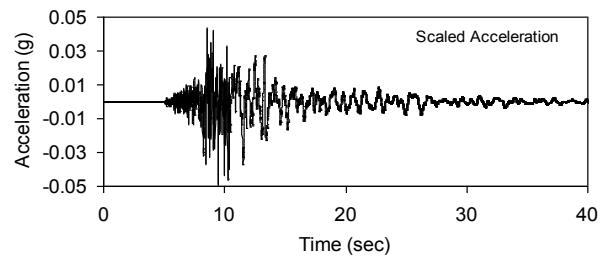
RSN-2966 H1: ChiChi T05 (1999) CHY062. M =6.2



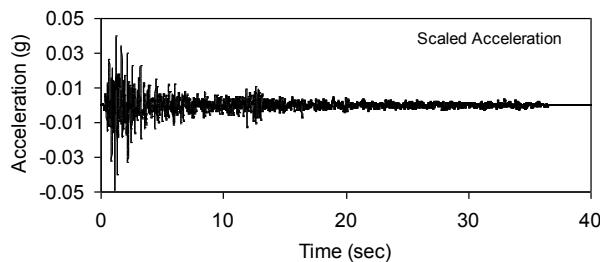
RSN-4554 H-1: L'Aquila (2009) L.A Parking. M =5.4



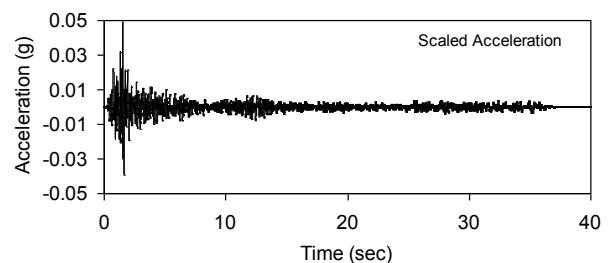
RSN-4554 H-2: L'Aquila (2009) L.A Parking. M =5.4



RSN-43 H1:Lytle Creek (1970) Cedar Spring.M=5.33



RSN-43 H2: Lytle Creek (1970) Cedar Spring.  
M=5.33



RSN-643 H1: Whittier N. (1987) LA Wonderl. M=5.99

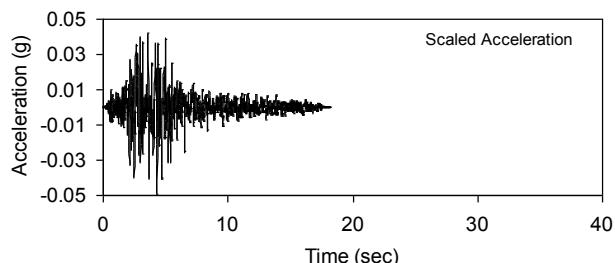
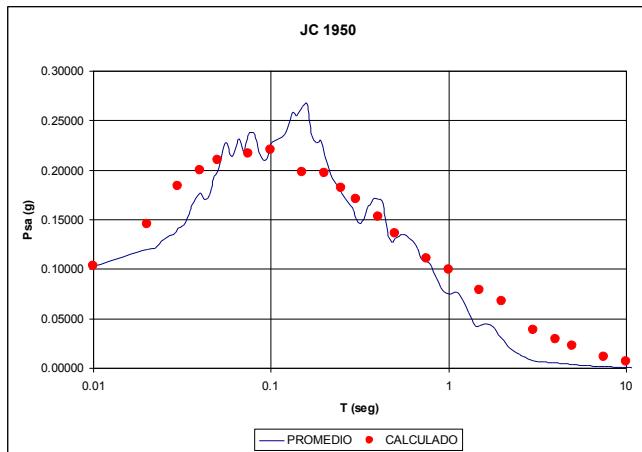


Figura 29 (cont.) – Acelerogramas para GJC

**GJC TR 475 años (PGA=0.049)**

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**GJC TR 1950 años (PGA = 0.10g)**

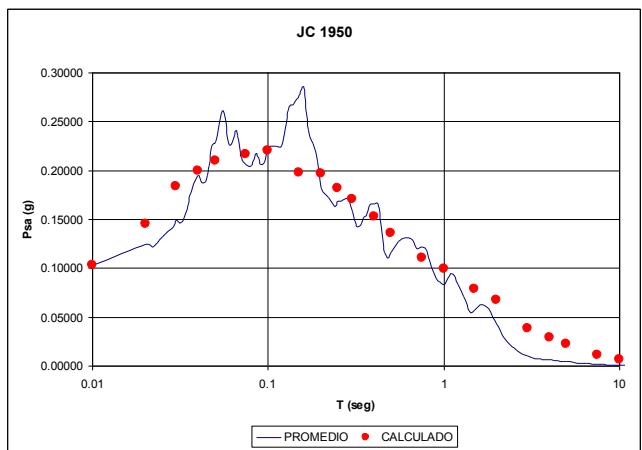


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-225 H2	RSN-4551 H1	RSN-4551 H2	RSN-4554 H1	RSN-4554 H2	RSN 809 FN	RSN 809 FP
------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------	------------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**GJC TR 1950 años (PGA = 0.10g)**

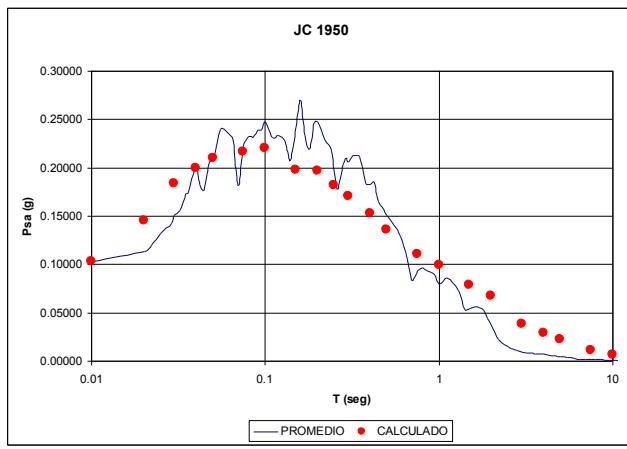


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-4551 H1	RSN 809 FN	RSN-4554 H1	RSN-4554 H2
-------------	------------	-------------	-------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

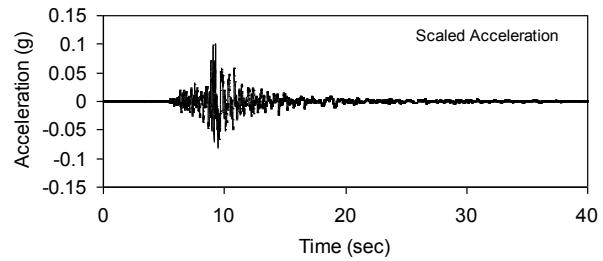
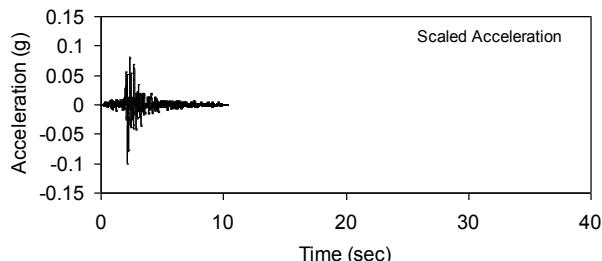
**GJC TR 1950 años (PGA = 0.10g)**



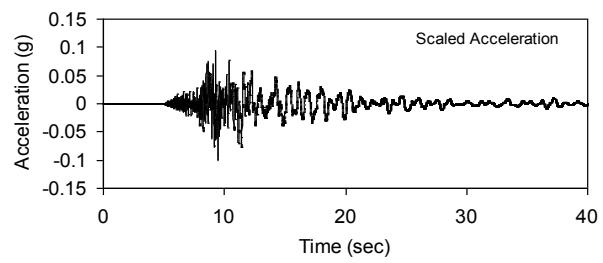
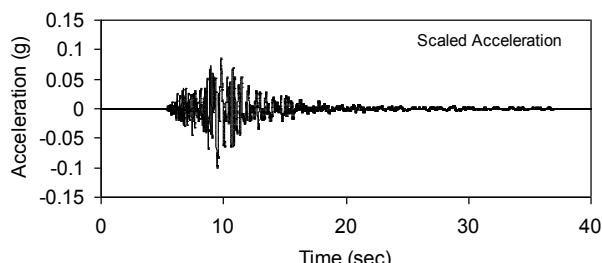
Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN 809 FP	RSN 765 FP	RSN-4554 H1
------------	------------	-------------

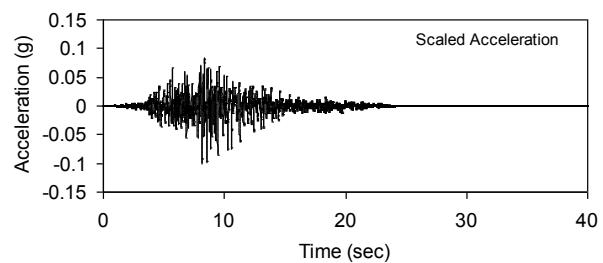
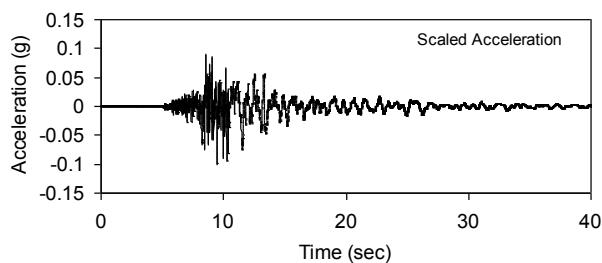
RSN-225 H2: Anza(HorseC)01(1980)Pinyon F.M=5.19      RSN-4551 H1: L'Aquila (2009). V.Aterno. M= 5.4



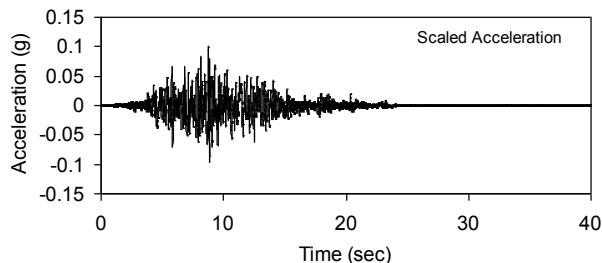
RSN-4551 H2: L'Aquila (2009). V.Aterno. M= 5.4



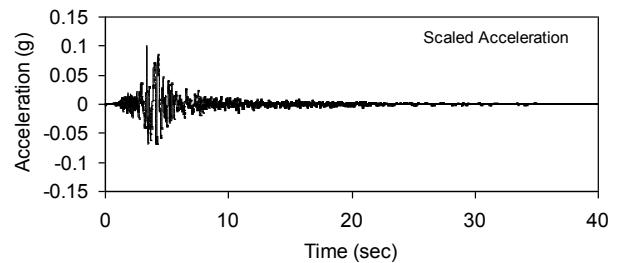
RSN-4554 H2: L'Aquila (2009) L.A Parking. M =5.4



RSN-809 FP: Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93



RSN 765 FP: Loma Prieta (1989) Gilroy01. M=6.93

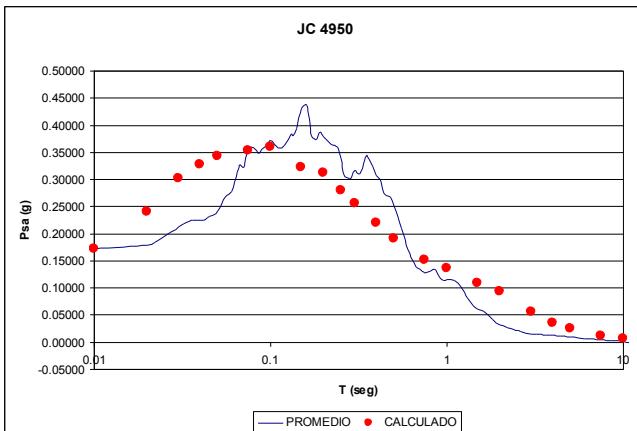


**Figura 29 (cont.)– Acelerogramas para GJC**

**GJC TR 1950 años (PGA = 0.10g)**

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**GJC TR 4950 años (PGA=0.172g)**

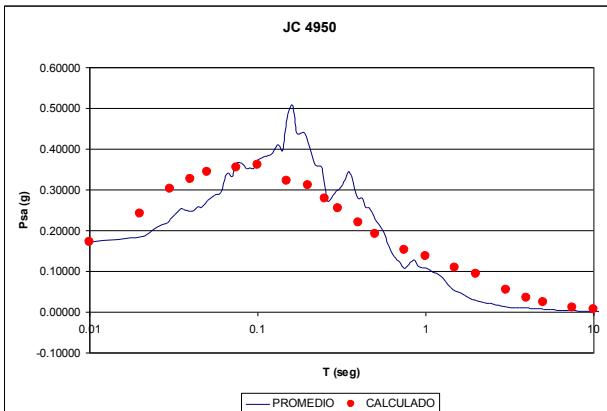


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN 809 FN	RSN 809 FP	RSN 765 FN	RSN 1011 FN	RSN 1011 FP	RSN 77 FN	RSN 77 FP
------------	------------	------------	-------------	-------------	-----------	-----------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**GJC TR 4950 años (PGA=0.172g)**

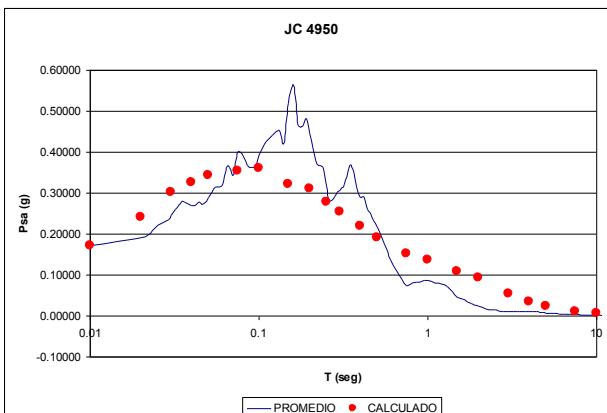


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN 809 FN	RSN 809 FP	RSN 765 FP	RSN 1011 FN
------------	------------	------------	-------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

**GJC TR 4950 años (PGA=0.172g)**

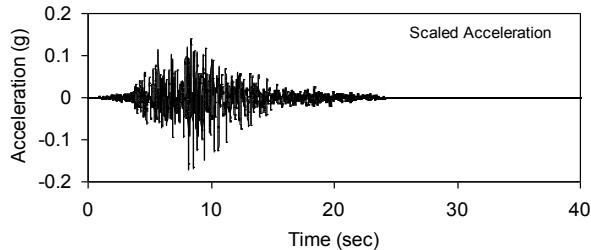


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

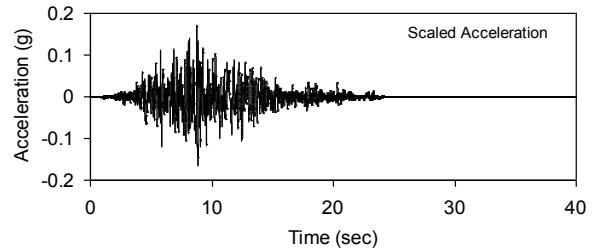
RSN 809 FN	RSN 809 FP	RSN 765 FP
------------	------------	------------

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b> <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 58 de 104
		Doc. N° GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

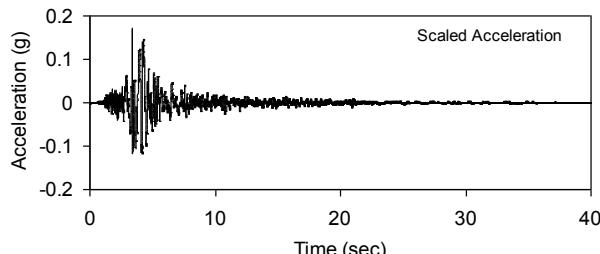
RSN-809: FN Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93



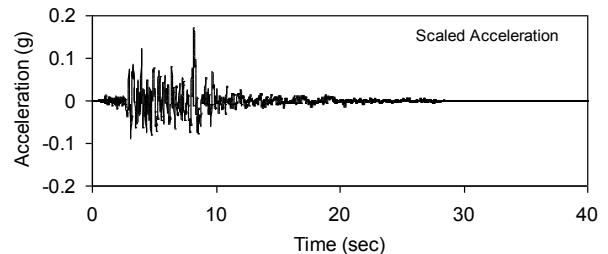
RSN-809: FP Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93



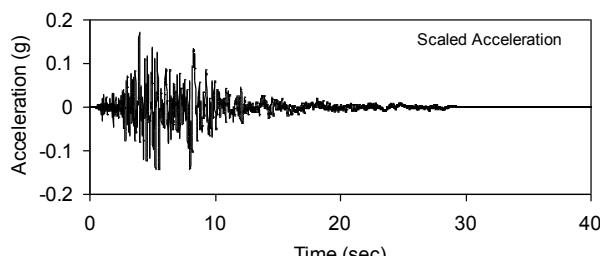
RSN-765 FP: Loma Prieta (1989) Gilroy01. M=6.93



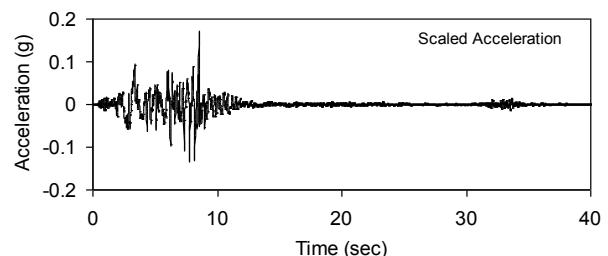
RSN-1011 FN: Northridge01. LA-Wonderl. M = 6.69



RSN-1011 FP: Northridge01. LA-Wonderl. M = 6.69



RSN-77 FN: San Fernando (1971) Pacoima. M=6.61



RSN-77 FP: San Fernando (1971) Pacoima. M=6.61

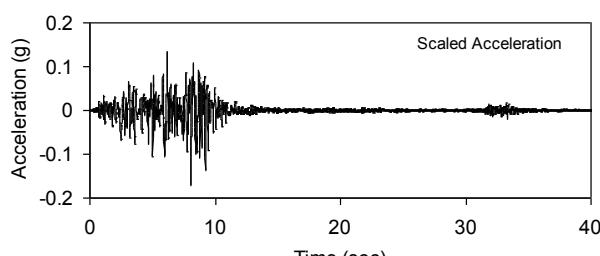
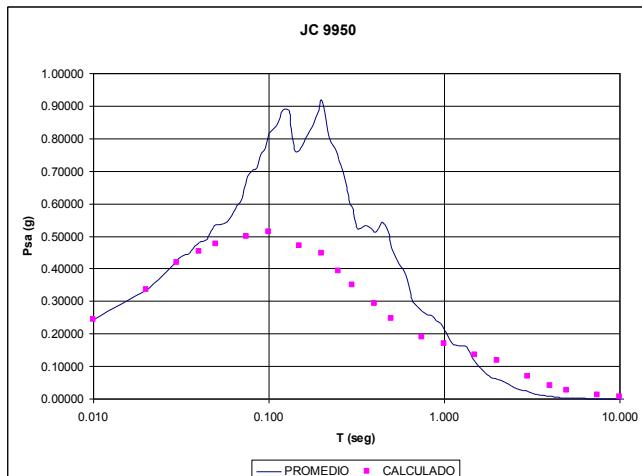


Figura 29 (cont) – Acelerogramas para GJC

GJC TR 4950 años (PGA=0.172g)

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

**GJC TR 9950 años (PGA:0.244 g)**

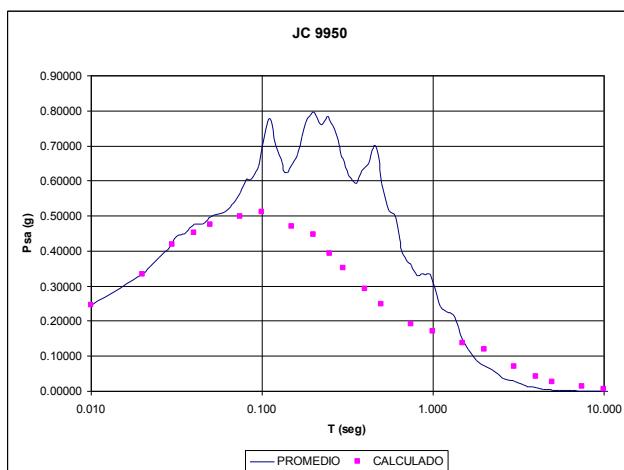


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

| RSN- |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 748  | 793  | 793  | 797  | 797  | 4852 | 5820 |
| H-2  | H-1  | H-2  | H-1  | H-2  | H2   | H2   |

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

**GJC TR 9950 años (PGA:0.244 g)**

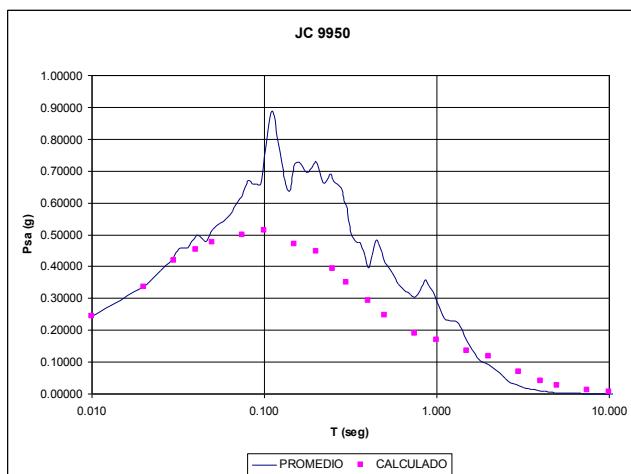


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-748 H-2	RSN-793 H-1	RSN-793 H-2	RSN-797 H-1
----------------	----------------	----------------	----------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES

**GJC TR 9950 años (PGA:0.244 g)**

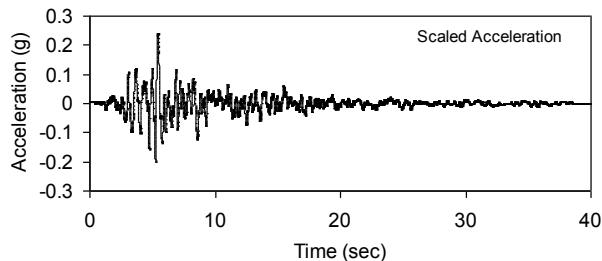


Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

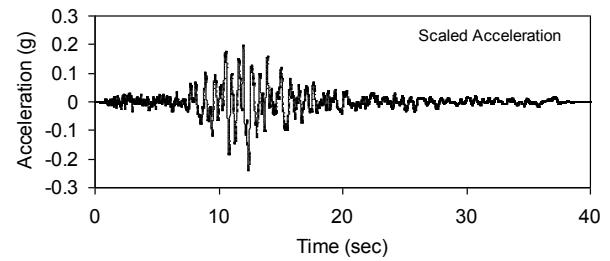
RSN-793 H-2	RSN-797 H-1	RSN-797 H-2
----------------	----------------	----------------

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b> <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 60 de 104
		Doc. N° GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

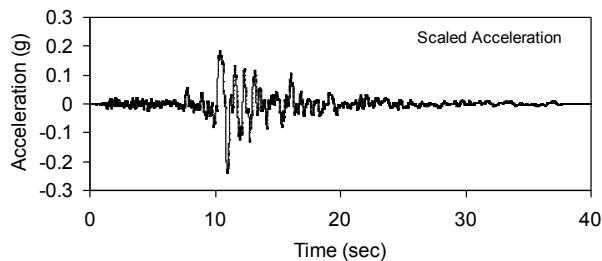
RSN-748 H-2: Loma Prieta (1989) Belmont. M =6.93



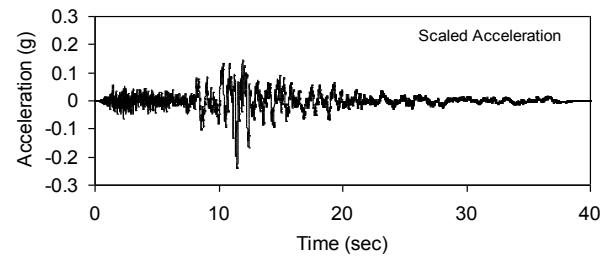
RSN-793 H-1: Loma Prieta (1989) SF Cliff H. M=6.93



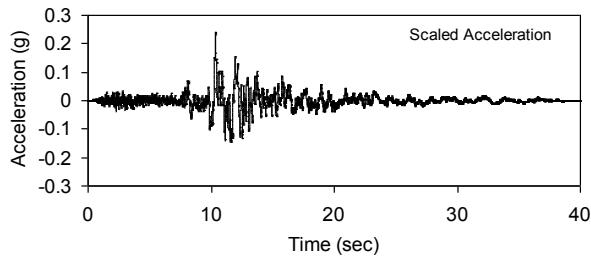
RSN-793 H-2: Loma Prieta (1989) SF Cliff H. M=6.93



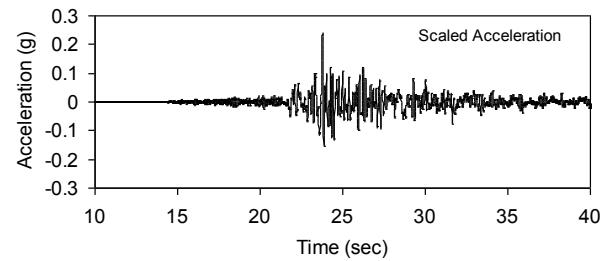
RSN-797 H-1: Loma Prieta (1989) SF.Rincón.M=6.93



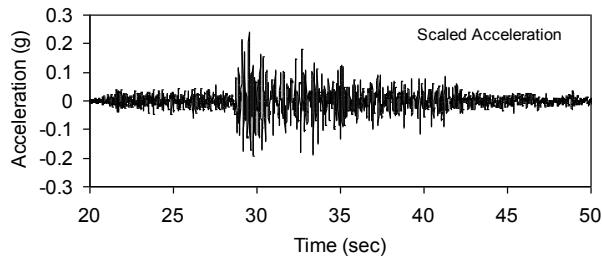
RSN-797 H-2: Loma Prieta (1989) SF.Rincón. M=6.93



RSN-4852 H2: Chuetsu-oki (2007) Joetsu. M =6.8



RSN-5820 H2: Iwate (2008) Okura. M =6.9



**GJC TR 9950 años (PGA:0.244 g)**

Figura 29 (cont)- Acelerogramas para GJC

## 11. ESPECTROS NORMALIZADOS

Para facilitar el empleo de los resultados en el análisis estructural de algunas componentes de las obras, se han generados espectros normalizados. A tal fin se ha seguido la propuesta del NEHRP y también se ha considerado una envolvente de la forma indicada en la figura 30.

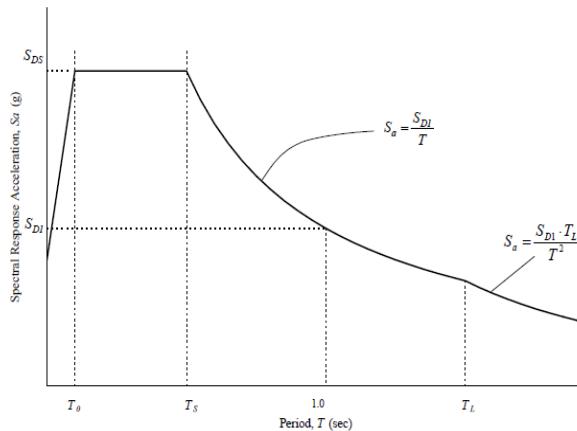


Figure 3.3-15 Long-Period transition Period.

Figura 30 – Normalizado

Los resultados para las ambas presas y cada uno de los espectros se encuentran en el Anexo 7.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: <b>0</b> Fecha: <b>11-10-17</b> Página: <b>62 de 104</b>
		Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

## 12. CONCLUSIONES

El sitio de emplazamiento de las presas NK y JC se encuentra en la Meseta Patagónica extraandina, que es una zona relativamente estable con relación a las comarcas vecinas, la faja plegada y corrida de los Andes Australes y Tierra del Fuego.

La fuente sismogénica más importante es la falla Magallanes que constituye el límite entre la Placa Sudamericana y la Placa de Scotia. Es una falla de rumbo destral a lo largo de la cual se acumulan deformaciones debido al movimiento relativo entre las dos placas que es de unos 2 cm/año.

La falla de Magallanes tiene un potencial sismogenético de  $M = 8$ . En el caso de los sismos de subducción en la costa chilena, el potencial sismogenético es de  $M = 8.5$ , un poco menor al registrado en 1960 en Valdivia.

La faja plegada y corrida de los Andes Australes, tiene un potencial sismogenetico capaz de producir sismos con  $M = 7.8$ .

Con relación a la meseta Patagónica extraandina, los sismos registrados están en el rango  $M= 4$  a  $5.5$ . Por esa razón se le asigna un potencia sismogenético de  $M = 6$ .

Las fallas neotectónicas a lo largo del río Santa Cruz, en especial en Bajada Fortaleza y Ea Rincón Grande, postuladas por Massabie (2006) no ha podido ser constatadas en el campo, pero podrían tener actividad de muy baja recurrencia, con una magnitud máxima de  $M = 7.0$ .

La distancia a los sitios a los centros de efusión volcánica es significativa, por lo que los espesores de caída de ceniza no serían importantes en las obras (10-15 cm).

La afectación de los embalses por cenizas trasladadas fluvial puede ser importante, aunque diferida en el tiempo.

Las crecidas por fusión de hielo son comparables con la de rotura de glaciar.

En la determinación de las fuentes sismogenéticas se ha partido de la regionalización sísmica de Flinn y Engdahl, la que ha sido actualizada en función de las regiones definidas tectónicamente.

La sismicidad obtenida en los catálogos se procesado para obtener los parámetros de recurrencia de Gutenberg-Richter para cada zona y para las fallas que se consideran posibles fuentes sismogénicas. Dentro de estas se encuentra la Falla de Magallanes y los rasgos geotectónicos definidos por Massabie.

El cálculo probabilístico, PHS se ha realizado para los distintos períodos de retorno fijados previamente, cinco por cada sitio. El máximo valor corresponde al denominado TS, que alcanza en PNK valores de  $PGA = 0.39$  g y en GJC, una  $PGA = 0.24$ g. Estos valores están definidos en el sustrato rocoso.

Se han computado los UHS, espectros de riesgo uniforme para cada uno de los períodos de retorno, con un amortiguamiento del 5%.

En cada sitio se ha desagregado el cálculo en base a distancias y magnitudes para definir su influencia y seleccionar apropiadamente acelerogramas.

En base a los espectros, se han seleccionado de 3 a 7 acelerogramas del banco de PEER, cuyo promedio se acerca a los valores calculados. Asimismo, se han modificado un acelerograma para cada sitio y escenario de manera que ajuste al espectro respectivo.

Los registros obtenidos en roca deben ser adaptados a las condiciones de borde de los modelos numéricos que se implementen.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS  APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 63 de 104
		Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

### 13. REFERENCIAS

- Abrahamson NA and Silva W.J. (1997) Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes. *Seismol Res Lett*: 68 (1):94–127.
- Adaros, R.E. 2003. Sismicidad y tectónica del extremo sur de Chile. Tesis de Magister en Ciencias, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile, 82 pp.
- Atkinson G, Boore D. (2006) Earthquake ground-motion prediction equations for Eastern North America. *Bull Seismol Soc Am*: 96 (6): 2181–205.
- Bazzurro, P., and C. A. Cornell (1999). Disaggregation of seismic hazard, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 89, 501–520.
- Buffoni C, N.C. Sabbione, G. Connon y J. L. Ormaechea (2009) Localización de hipocentros y determinación de su magnitud en Tierra del fuego y zonas aledañas. *GEOACTA* 34, 75-86.
- Cisternas, A. y Vera, E. 2008. Sismos históricos y recientes en Magallanes. *Magallania* 36, 43–51.
- Costa, C., Smalley, R., Schwartz, D., Stenner, H., Ellis, M., Ahumada, E., Velasco, M. 2006. Paleoseismic observations of an onshore transform boundary: the Magallanes–Fagnano Fault, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61, 647–657
- Flinn EA and Engdahl E R. (1965) A proposed basis for geographical and seismic regionalization. *RevGeophys*: 3:123–49
- Giacosa R., Fracchia D. and Heredia N. (2012) Structure of the southern Patagonian Andes at 49°, Argentina. *Geologica Acta*, Vol. 10: 265-282.
- Giardini D, Grüntal G, Shedlock K, Zhang P. (1999). The GSHAP global seismic hazard map. *Ann Geofis*: 42(6):1225–30.
- González Bonorino, G., Rinaldi, V., Abascal, L., Alvarado, P., Bujalesky, G., Guell, A. 2012. Paleoseismicity and seismic hazard in southern Patagonia (Argentina–Chile; 50–55 S) and the role of the Magallanes–Fagnano transform fault. *Natural Hazards* 61, 337–349.
- Kreemer C, E Klein, ZK Shen,M. Wang, L. Estey, S. Wier, F. Boler (2014) Global geodetic strain rate model. *GEM Technical Report* 2014-07.
- Martinic M. (2008) Registro histórico de antecedentes volcánicos y sísmicos en la patagonia austral y la tierra del fuego. *MAGALLANIA*, Vol. 36(2):5-18.
- Massabie A., Sanguinetti, A.S. y Nestiero, O.E. (2008) Evidencias geomórficas de actividad tectónica cuaternaria en el valle del río Santa Cruz, Patagonia, Argentina. Congreso Uruguayo de Geología.
- ICOLD (2010) Selecting Seismic Parameters for Large Dams Guidelines. *Boletín* 148. Paris.
- Idriss I.M. and Archuleta R.J. (2007) Evaluation of earthquake ground motions. Division of Dam Safety and Inspection. F.E.R.C. Washington.
- INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica) 2014. Catálogo On line. San Juan. Argentina.
- IRIS. Catalogo On line. University of Washington. USA
- Ordaz M, Martinelli F, Aguilar A, Arboleda J, Meletti C, D'Amico V. CRISIS 2012, Program for computing seismic hazard. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ordaz M.G., Cardona O.D., Salgado-Gálvez M.A., Bernal-Granados G.A., Singh S.K., Zuloaga-Romero D. (2014) Probabilistic seismic hazard assessment at global level. *International J. of Disaster Risk Reduction*.
- Perucca, L., Bastías, H. 2008. Neotectonics, seismicity and paleoseismicity. Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. *Development in Quaternary Science Series*, Rabassa, J. (ed). Elsevier: Amsterdam, The Netherlands; 73–94.
- Perucca L., Alvarado P. and Saez M. (2015) Neotectonics and seismicity in southern Patagonia. *Geological J.* DOI: 10.1002/gj.2649.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 64 de 104
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. Nº GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

Ramos V.A. (2005) Seismic ridge subduction and topography: foreland deformation in the Patagonian Andes. *Tectonophysics* 399 (2005): 73-86.

Schwartz, D., Stenner, H., Costa, C. 2002. Rupturas asociadas a los sismos Ms 7.8 de 1949 en Tierra del Fuego: investigaciones paleoseísmológicas iniciales. 15° Congreso Geológico Argentino 1, 136–138.

Smalley, R. Jr. (2003). Geodetic determination of relative plate motion and crustal deformation across the Scotia-South America plate boundary in eastern Tierra del Fuego. *G3*. Volume 4, Number 9. 1070, doi: 10.1029/2002GC000446

USGS (2015). Catálogo on line. NEIC. Golden. USA.

USACE (1999). Response spectra and seismic analysis for concrete hydraulic structures. Manual EM 1110-2-6050.

Youngs RR, Chiou SJ, Silva WJ, Humphrey JR. (1997) Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismol Res Lett*: 68(1):58–73.



## ANEXO 1 – LISTADO DEPURADO DE SISMOS

Año	Mes	Día	Lat	Long	Dep	MAG	FUENTE
1879	2	1	-53.00	-76.67	30.00	7.30	GUC
1907	11	19	-53.00	-70.50	33.00	0.00	SJA
1907	11	19	-53.00	-70.50	33.00	0.00	SJA
1907	11	19	-53.00	-70.50	33.00	0.00	SJA
1919	8	11	-51.50	-75.50	0.00	0.00	CERESIS
1929	6	7	-53.00	-65.50	0.00	0.00	CERESIS
1930	7	13	-56.00	-67.00	0.00	6.30	CERESIS
1944	1	24	-50.20	-72.15	30.00	5.00	SJA
1949	12	17	-53.92	-69.60	10.00	7.65	isc
1949	12	17	-53.91	-69.75	10.00	7.32	isc
1950	1	3	-46.00	-75.50	0.00	6.00	CERESIS
1950	1	30	-53.47	-71.07	15.00	6.80	isc
1950	5	13	-51.88	-72.00	33.00	0.00	SJA
1959	4	8	-50.50	-73.00	33.00	6.20	CGS
1959	9	4	-47.00	-75.00	0.00	0.00	CERESIS
1960	5	23	-48.09	-75.70	20.00	6.14	isc
1960	5	24	-50.88	-73.07	25.00	5.98	isc
1960	5	25	-47.00	-75.00	0.00	0.00	CERESIS
1960	5	27	-45.06	-76.19	25.00	5.81	isc
1960	5	28	-46.00	-74.50	60.00	0.00	CERESIS
1960	6	2	-46.19	-74.16	20.00	6.11	isc
1960	6	6	-45.72	-72.88	50.00	7.80	isc
1960	6	7	-46.00	-74.00	60.00	0.00	CERESIS
1960	6	12	-46.00	-74.00	0.00	0.00	CERESIS
1961	8	1	-47.20	-73.90	33.00	0.00	CERESIS
1961	12	13	-50.90	-73.60	50.00	0.00	CERESIS
1962	3	23	-48.50	-76.10	33.00	0.00	CERESIS
1963	5	19	-46.53	-75.30	20.00	6.40	isc
1965	2	14	-46.00	-76.10	33.00	4.80	CERESIS
1965	11	28	-45.85	-72.96	25.00	6.20	isc
1966	9	29	-50.47	-72.40	52.00	4.70	CERESIS
1967	2	15	-54.00	-68.00	33.00	5.20	LAO
1967	9	15	-54.00	-72.00	33.00	5.40	LAO
1970	6	14	-52.03	-74.07	15.00	6.96	isc

REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0  
Fecha: 11-10-17  
Página: 66 de 104

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

1970	6	14	-52.03	-73.90	33.00	4.60	ISC
1970	6	15	-54.48	-64.50	10.00	7.18	isc
1970	7	26	-52.10	-74.60	33.00	4.90	CERESIS
1970	9	19	-51.94	-74.10	33.00	4.80	CERESIS
1972	2	9	-51.85	-73.86	20.00	6.00	isc
1972	8	13	-51.92	-74.24	21.60	5.50	centennial
1972	11	30	-48.00	-74.00	0.00	5.40	LAO
1973	3	26	-47.00	-74.00	0.00	5.70	LAO
1973	4	13	-52.46	-72.04	11.00	5.10	pde
1973	5	2	-48.91	-75.84	44.60	5.20	ISC
1973	6	3	-46.00	-75.00	0.00	4.50	LAO
1973	7	13	-47.00	-73.00	0.00	4.40	LAO
1973	11	29	-46.00	-72.00	0.00	5.30	LAO
1974	8	19	-47.00	-72.00	0.00	4.70	LAO
1975	4	25	-47.62	-75.40	55.00	4.90	CERESIS
1977	5	12	-46.35	-73.91	33.00	5.00	pde
1977	10	15	-53.97	-70.52	33.00	4.90	pde
1979	6	6	-52.89	-75.03	25.70	5.56	isc
1979	7	19	-51.91	-74.12	33.00	4.80	pde
1981	3	27	-46.45	-74.80	33.00	4.70	CERESIS
1983	8	1	-48.30	-75.90	22.20	5.50	centennial
1983	11	3	-46.79	-75.54	33.00	4.50	CERESIS
1983	11	28	-50.40	-73.80	33.00	5.40	NAO
1986	9	10	-50.24	-71.29	33.00	5.00	pde
1987	2	14	-45.64	-76.07	15.00	5.86	isc
1987	6	29	-51.74	-71.97	10.00	5.00	pde
1988	10	22	-53.00	-73.65	10.00	4.80	pde
1988	11	19	-52.90	-73.37	33.00	4.70	pde
1988	12	31	-52.42	-74.42	33.00	5.10	CERESIS
1989	4	20	-46.22	-75.63	33.00	4.90	NEIC
1991	8	15	-45.93	-72.82	15.00	6.02	isc
1992	1	25	-50.42	-72.16	33.00	5.10	pde
1992	7	30	-50.36	-72.10	10.00	5.50	GS
1993	6	1	-45.71	-77.17	10.00	5.92	isc
1993	3	10	-52.43	-71.27	33.00	4.90	isc
1995	2	7	-48.00	-75.53	33.00	5.30	pde
1995	11	4	-49.89	-74.59	33.00	4.20	pde



REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

68 de 104

## APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

2004	12	6	-50.50	-72.75	33.00	4.70	SJA
2005	6	28	-50.66	-72.15	10.00	4.60	pde
2005	7	5	-50.67	-72.07	22.40	4.90	pde
2006	1	9	-54.29	-69.27	8.70	4.60	pde
2006	5	29	-46.35	-75.09	10.00	4.50	pde
2006	6	25	-46.69	-75.86	10.00	4.30	pde
2006	12	17	-50.54	-72.47	10.00	4.60	pde
2007	10	15	-46.13	-74.96	42.70	5.10	pde
2007	10	16	-46.00	-75.89	0.00	4.00	idc
2008	2	19	-47.03	-73.54	48.10	4.10	idc
2008	8	5	-47.69	-75.37	44.60	4.50	pde
2008	12	18	-51.30	-73.15	48.60	4.20	pde
2009	4	13	-52.78	-79.73	35.00	4.10	isc
2009	4	23	-48.27	-75.83	39.10	4.70	pde
2009	4	28	-48.29	-75.96	41.20	5.10	pde
2009	10	13	-49.70	-73.25	0.00	4.00	idc
2009	11	6	-54.08	-69.53	15.40	4.50	pde
2010	1	15	-51.57	-75.12	35.00	4.30	pde
2010	7	9	-46.06	-75.59	14.90	5.30	GCMT
2010	10	17	-46.02	-75.58	35.00	4.20	ISC
2011	2	21	-46.18	-72.82	0.00	4.00	ISC
2011	9	5	-49.92	-75.58	47.10	4.80	pde
2011	10	7	-46.09	-75.36	30.30	5.00	pde
2012	1	5	-46.17	-75.62	33.00	4.70	ISCJB
2012	3	5	-46.02	-76.86	0.00	4.00	IDC
2013	1	15	-46.16	-75.53	10.00	4.50	NEIC
2013	7	22	-47.02	-69.75	21.10	5.40	NEIC
2014	7	9	-51.00	-75.75	12.34	4.70	us
2014	7	26	-52.01	-74.52	14.90	4.80	us



MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

69 de 104

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## ANEXO 2 – RIESGO VOLCANICO



MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0  
Fecha: 11-10-17  
Página: 70 de 104

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

### ANEXO 3 – TECTONICA



REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

71 de 104

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

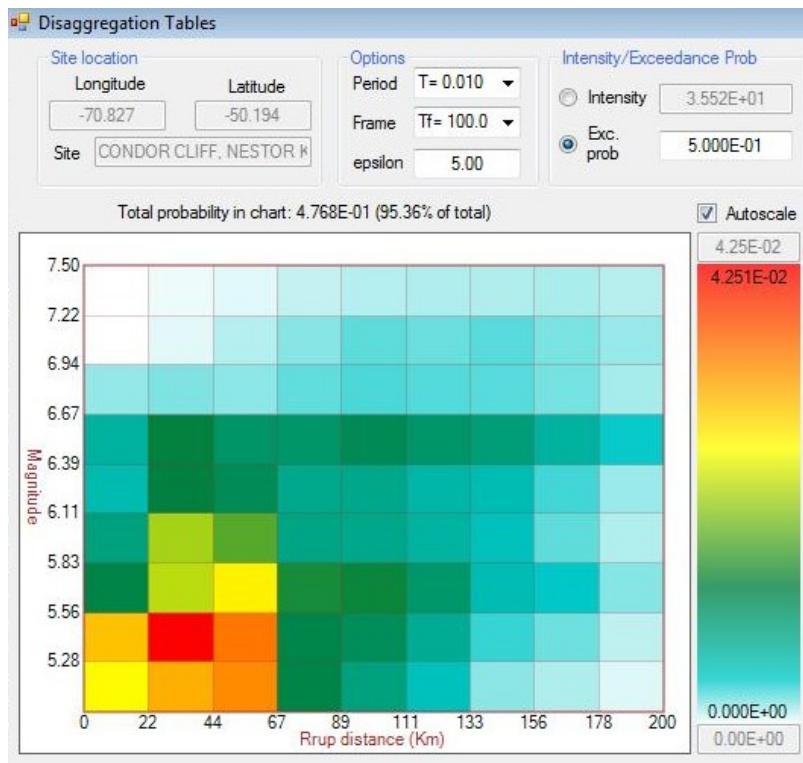
Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## ANEXO 4 – DESAGREGACIONES EN DISTANCIA Y MAGNITUDES

### Represa Presidente N Kirchner (PNK)

PNK TR144 años



REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

72 de 104

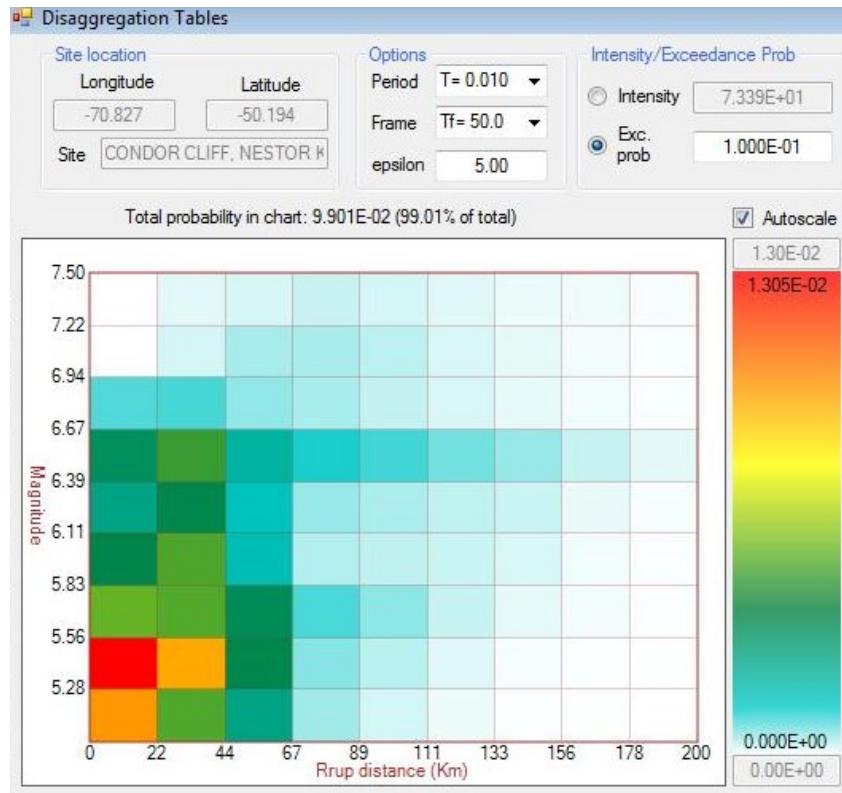
APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

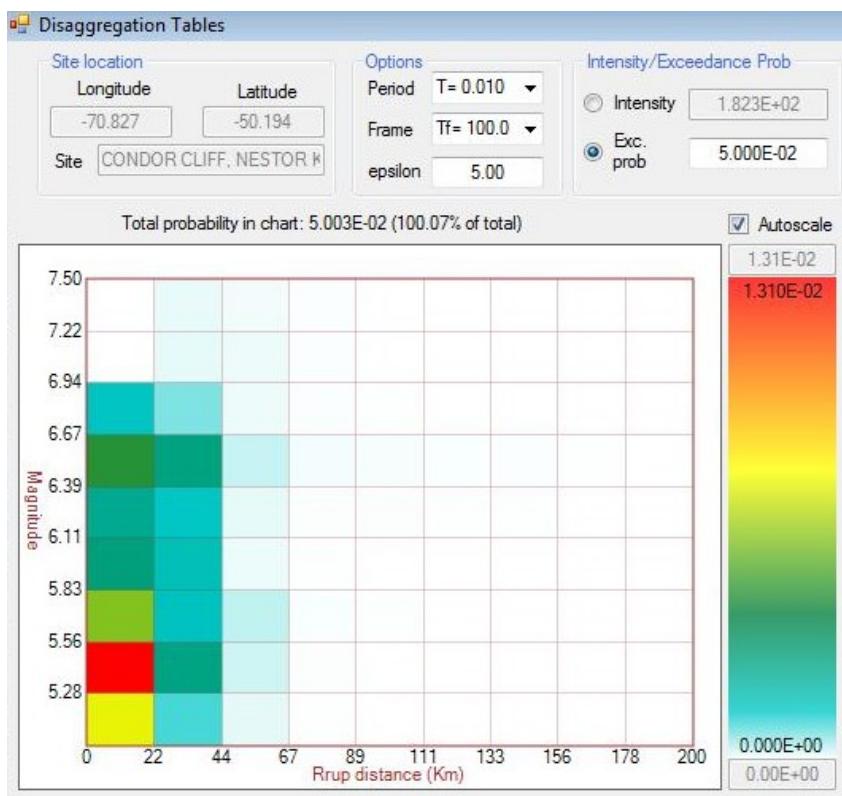
Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## PNK TR 475 años



## PNK TR 1950 años



REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

73 de 104

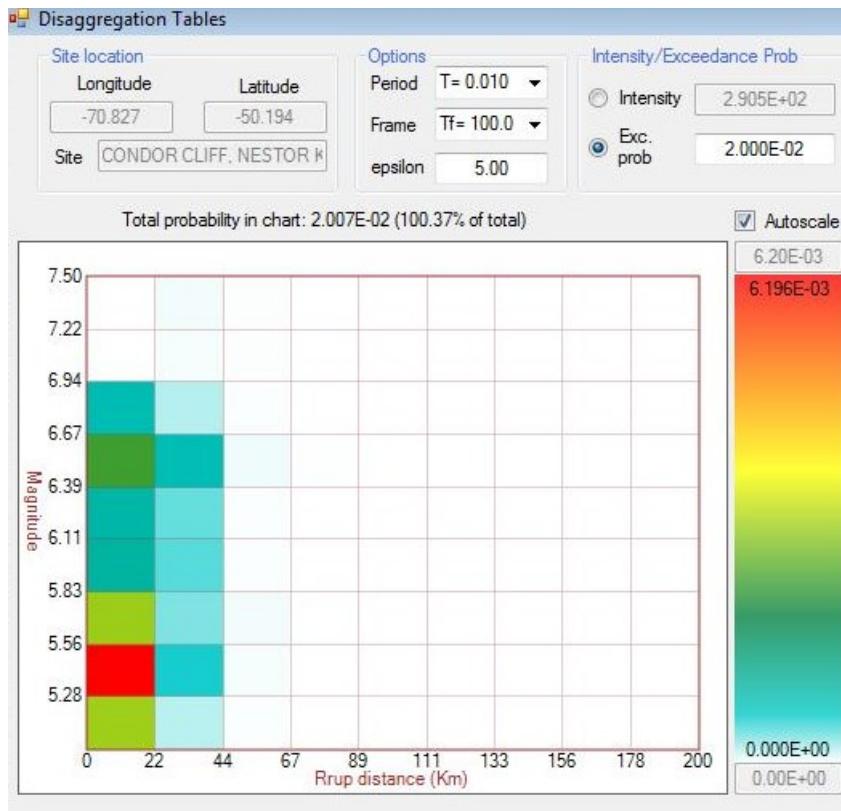
APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

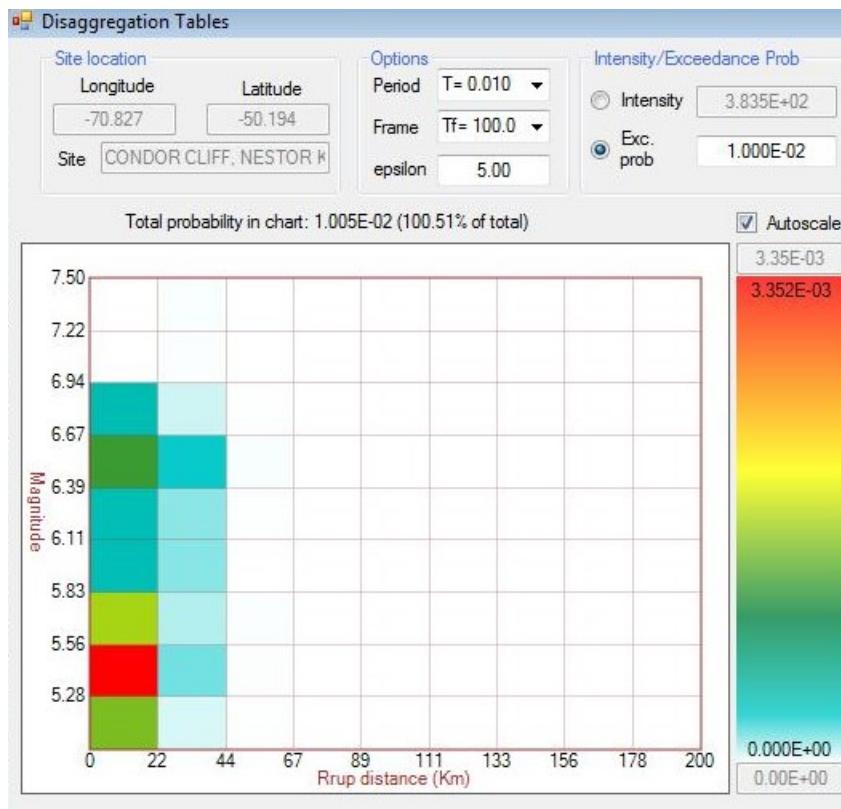
Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## PNK TR 4950 años



## PNK TR 9950 años





REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

74 de 104

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

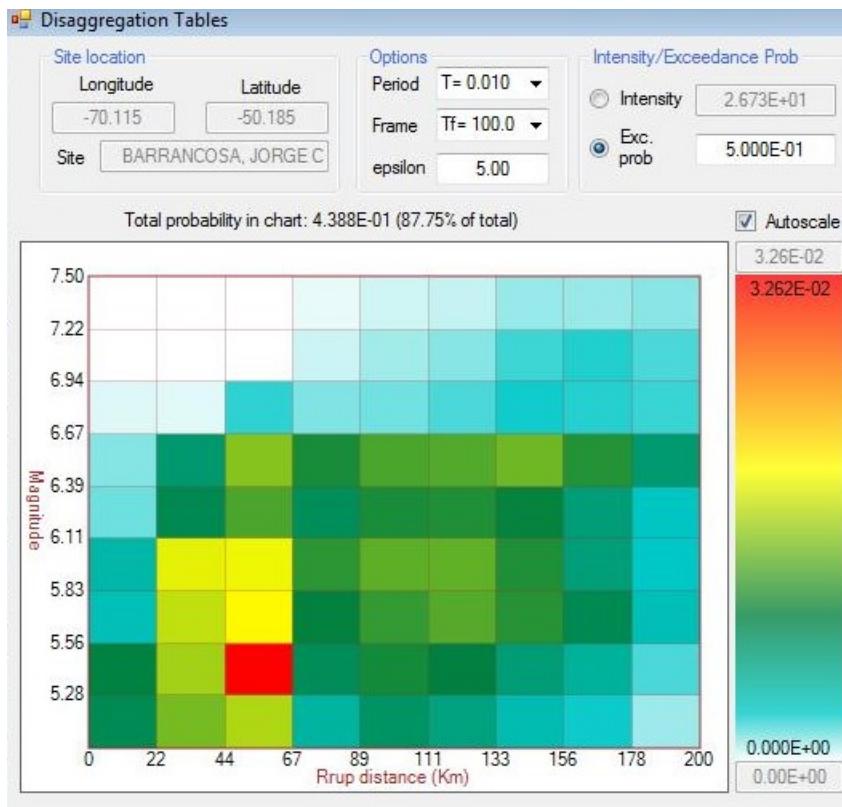
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## Represa Gobernador J. Cepernic (GJC)

### GJC TR 144 años



REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

75 de 104

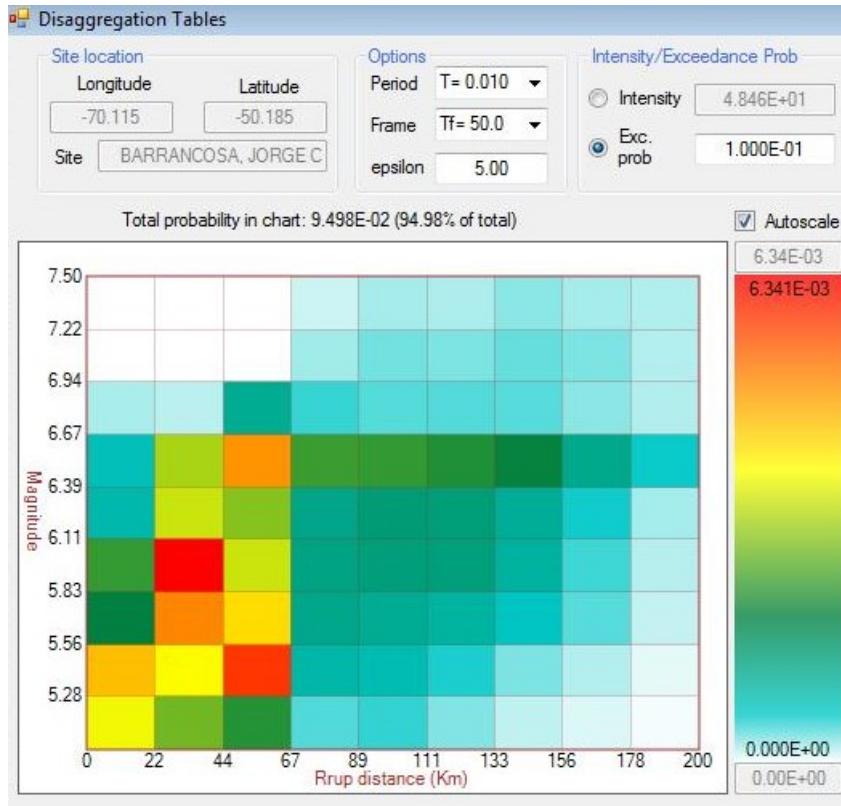
APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

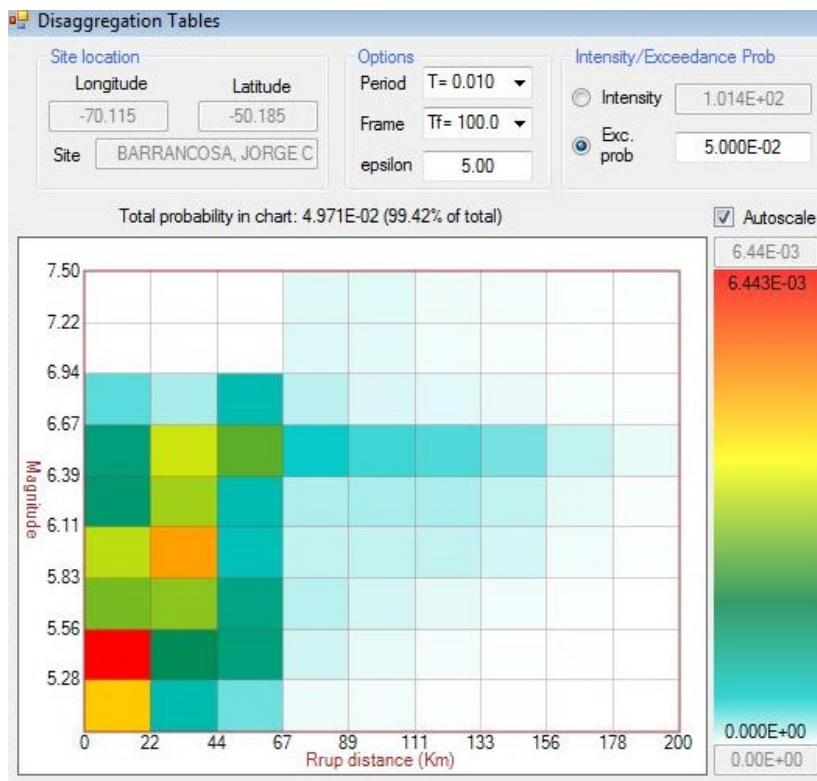
Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## GJC TR 475 años



## GJC TR 1950 años



REPRESAS PATAGONIA  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

76 de 104

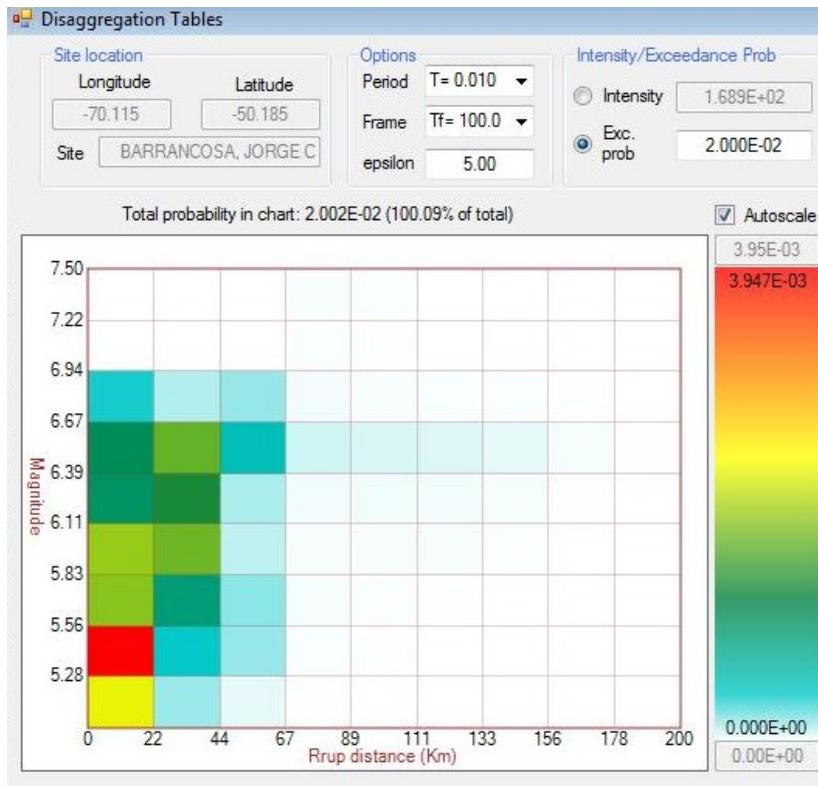
APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

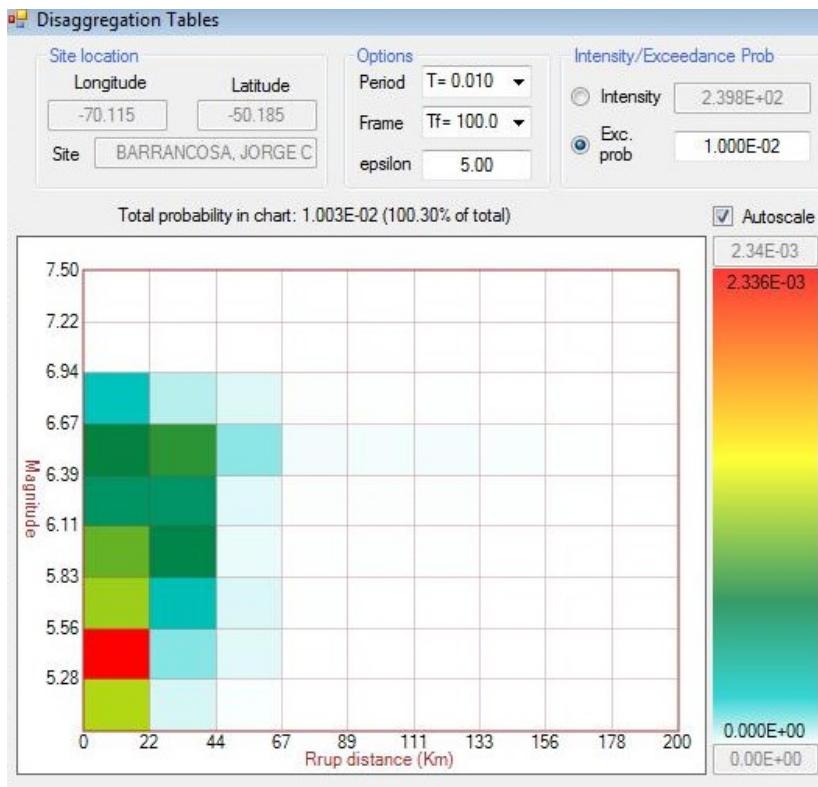
Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

## GJC TR 4950 años



## GJC TR 9950 años









 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>	Revisión: <b>0</b> Fecha: <b>11-10-17</b> Página: <b>80 de 104</b>
	<b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

RSN 809	LOMA PRIETA 1989	UCSC	vertical	0.2266		
RSN 765	LOMA PRIETA 1989	GILR GAV	FP	0.4437	0.1	0.471
RSN 765	LOMA PRIETA 1989	GILR GAV	vertical	0.2088		

### GJC TR4950

Registro PEER	Nombre	Estación	Componente	PGA Original	PGA hor. Escalado	Av/Ah
RSN 809	LOMA PRIETA 1989	UCSC	FN	0.3735	0.17	0.607
RSN 809	LOMA PRIETA 1989	UCSC	FP	0.3109	0.17	0.729
RSN 809	LOMA PRIETA 1989	UCSC	vertical	0.2266		
RSN 765	LOMA PRIETA 1989	GIL GAV	FP	0.4437	0.17	0.471
RSN 765	LOMA PRIETA 1989	GIL GAV	vertical	0.2088		
RSN 1011	NORTHridge 1994	WONDERL	FN	0.1601	0.17	0.662
RSN 1011	NORTHridge 1994	WONDERL	FP	0.1201	0.17	0.883
RSN 1011	NORTHridge 1994	WONDERL	vertical	0.106		
RSN 77	SAN FERNANDO 1971	PACOIMA	FN	1.43	0.17	0.488
RSN 77	SAN FERNANDO 1971	PACOIMA	FP	0.854	0.17	0.818
RSN 77	SAN FERNANDO 1971	PACOIMA		0.6985		

### GJC TR9950

Registro PEER	Nombre	Estación	Componente	PGA Original	PGA hor. Escalado	Av/Ah
RSN 748	LOMA PRIETA 1989	BELMONT	342	0.1079	0.24	0.383
RSN 748	LOMA PRIETA 1989	BELMONT	vertical	0.0413		
RSN 793	LOMA PRIETA 1989	SFCLIFF H	000	0.0756	0.24	0.820
RSN 793	LOMA PRIETA 1989	SFCLIFF H	090	0.1085	0.24	0.571
RSN 793	LOMA PRIETA 1989	SFCLIFF H	vertical	0.062		
RSN 797	LOMA PRIETA 1989	RINCON	000	0.0789	0.24	0.370
RSN 797	LOMA PRIETA 1989	RINCON	090	0.0929	0.24	0.314
RSN 797	LOMA PRIETA 1989	RINCON	vertical	0.0292		
RSN 4852	CHUETSU 2007	JOETSU	EW	0.2536	0.24	0.260
RSN 4852	CHUETSU 2007	JOETSU	vertical	0.0659		
RSN 5820	IWATE 4 2008	OKURA	EW	0.2273	0.24	0.401
RSN 5820	IWATE 4 2008	OKURA	vertical	0.0912		

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>  <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 81 de 104
		Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

## ANEXO 6 – ACELEROGRAMAS MODIFICADOS

El análisis de riesgo sísmico define las demandas en términos de espectros de respuesta para un 5% de amortiguamiento. Mediante bases de datos se obtienen acelerogramas de sismos reales que aproximan al espectro de respuesta deseado—llamado “espectro objetivo”—en un cierto rango de frecuencias. Sin embargo, los acelerogramas reales presentan algunas diferencias en exceso o defecto con respecto al espectro objetivo. De esta manera, los registros de sismos reales son modificados con el objeto de representar el espectro objetivo con un mayor grado de aproximación.

### Procedimiento

Existen diversos procedimientos para obtener acelerogramas de espectro compatible, algunos basados en el dominio de las frecuencias (por ejemplo, RASCAL de Silva y Lee, 1987) y otros basados en el dominio del tiempo (por ejemplo, RSPMATCH, de Abrahamson 1993). Para este caso se sigue la metodología de ajuste en el tiempo.

El ajuste en el tiempo se basa en adicionar pequeñas ondas (wavelets) con el objeto de ajustar un espectro objetivo. Si se considera un acelerograma inicialmente dado por una historia temporal  $a(t)$ , y considerando a  $S_i$  y  $R_i$  como los valores espectrales objetivo y correspondiente al acelerograma, respectivamente, para un cierto período de vibración, se define el desajuste,  $\Delta R_i$ , como:

$$\Delta R_i = (S_i - R_i)P_i$$

donde  $P_i$  es un factor de polaridad. Se considera un pequeño ajuste al acelerograma dado por:

$$\delta a(t) = \sum b_j f_j(t)$$

donde  $f_j(t)$  son un conjunto de funciones de ajuste y  $b_j$  un set de coeficientes a ser determinado. Se consideran  $j=1..N$  valores, siendo  $N$  el número de puntos espectrales a ajustar. De esta manera, mediante integrales de convolución con funciones de respuesta a impulso de aceleración, es posible determinar la incidencia en el valor espectral  $i$  de cada función  $f_j$ , considerando que el tiempo en el que ocurre la respuesta máxima no cambia, de manera tal que:

$$\Delta R_i = \sum c_{ij} b_j$$

De esta manera, pueden obtenerse los valores  $b$  para realizar el ajuste del acelerograma:

$$a_1(t) = a_{10}(t) + \lambda * \delta a(t)$$

donde  $\lambda$  es un parámetro de relajación menor a 1 para amortiguar los ajustes. El procedimiento es realizado iterativamente hasta que el ajuste es aceptable.

### Ajustes realizados

En el presente trabajo se realiza el ajuste de un acelerograma elegido entre el conjunto de acelerogramas reales para cada período de recurrencia y para cada presa. La Tabla 11 resume los acelerogramas ajustados.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS  APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 82 de 104
		Doc. Nº <b>GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001</b>

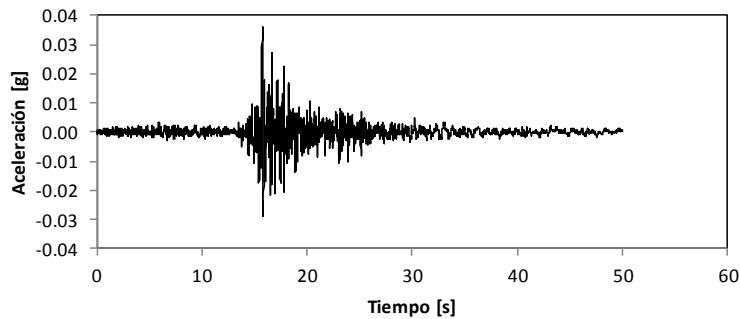
**Tabla 11. Registros ajustados**

Presa	Período de recurrencia	Registro ajustado
Néstor Kirchner	144 años	RSN-6746 H2 Niigata (2004) SITH09. M=6.63
	475 años	RSN-1011 FP Northridge 01(1994) Wonderl. M=6.69
	1950 años	RSN-5618 H2 Iwate (2008) IWT010 M=6.9
	4950 años	RSN-809 FP Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93
	9950 años	RSN-5618 H1 Iwate (2008) IWT010. M=6.9
Jorge Cepernic	144 años	RSN-3537 H1 ChiChi06. (1999) TTN032. M =6.3
	475 años	RSN-4554 H-1 L'Aquila (2009) L.A Parking. M =5.4
	1950 años	RSN-4554 H-1 L'Aquila (2009) L.A Parking. M =5.4
	4950 años	RSN-809 FP Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93
	9950 años	RSN-797 H-1 Loma Prieta (1989) SF.Rincón.M=6.93

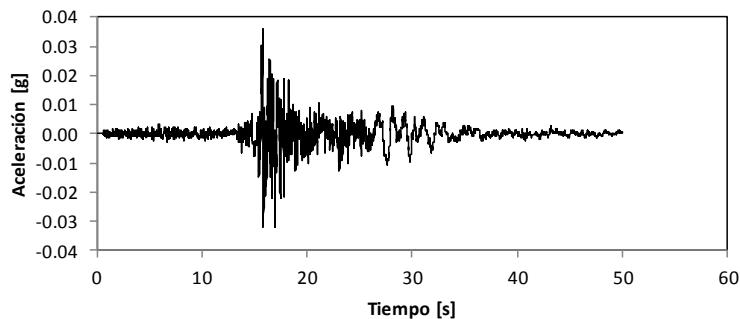
### Presa Néstor Kirchner

Sismo de 144 años

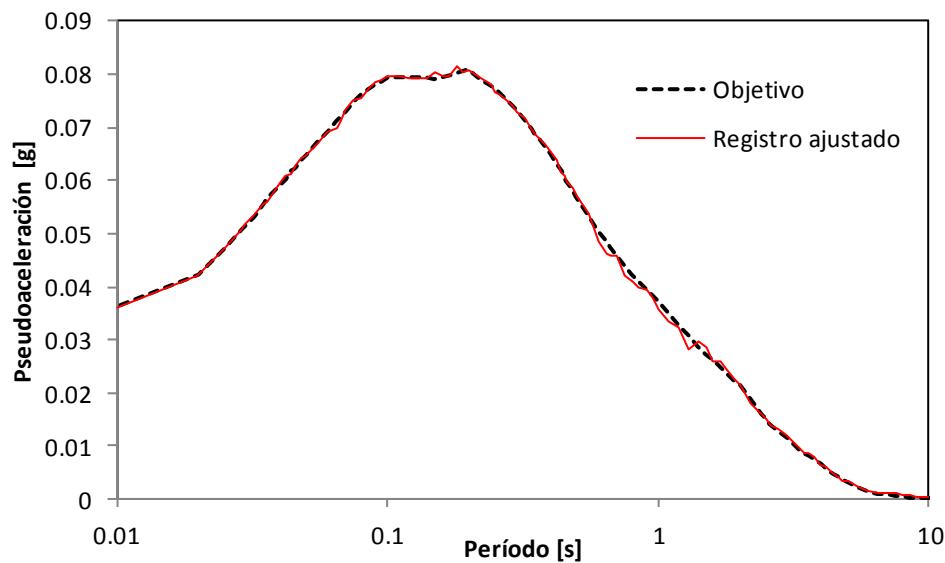
Registro ajustado: RSN-6746 H2



**Figura 31. Registro RSN-6746 H2original**



**Figura 32. Registro RSN-6746 H2ajustado**

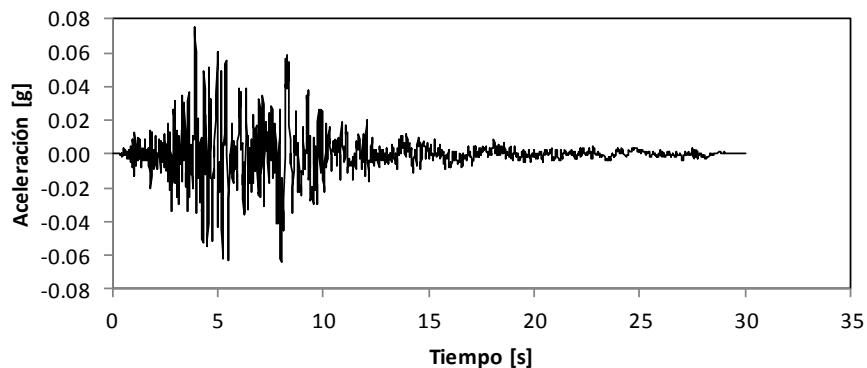


**Figura 33. Ajuste espectral de registro RSN-6746 H2**

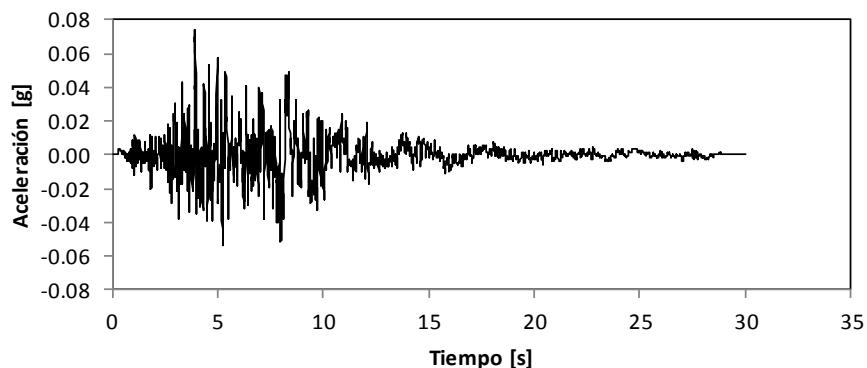
### Presa Néstor Kirchner

Sismo de 475 años

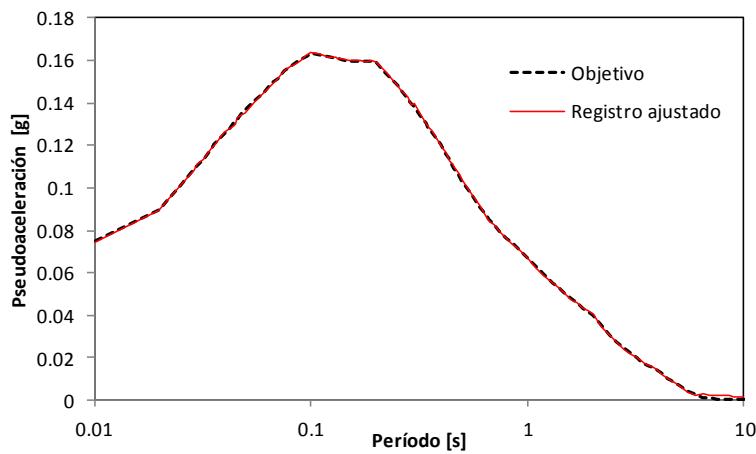
Registro ajustado: RSN-1011 FP



**Figura 34. Registro RSN-1011 FP original**



**Figura 35. Registro RSN-1011 FP ajustado**

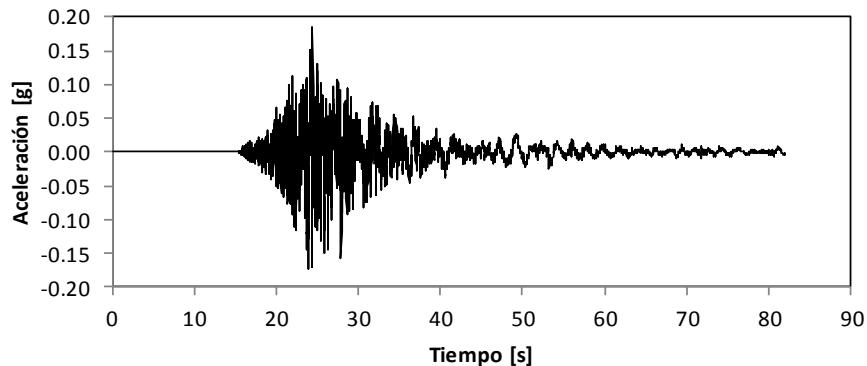


**Figura 36. Ajuste espectral de registro RSN-1011 FP**

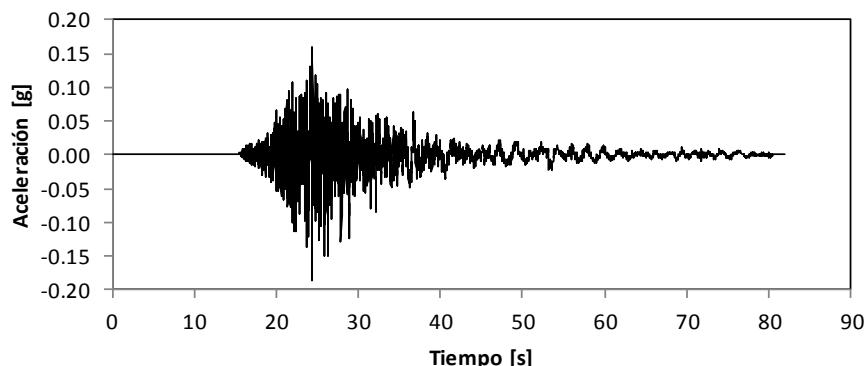
### Presa Néstor Kirchner

Sismo de 1950 años

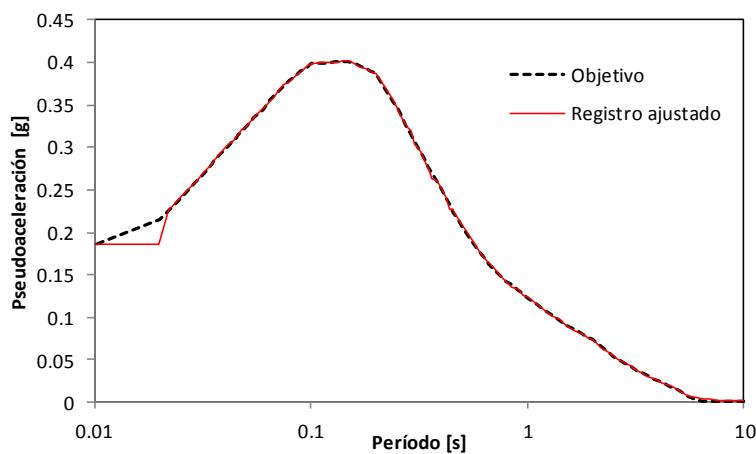
Registro ajustado: RSN-5618 H2



**Figura 37. Registro RSN-1011 FP original**



**Figura 38. Registro RSN-1011 FP ajustado**



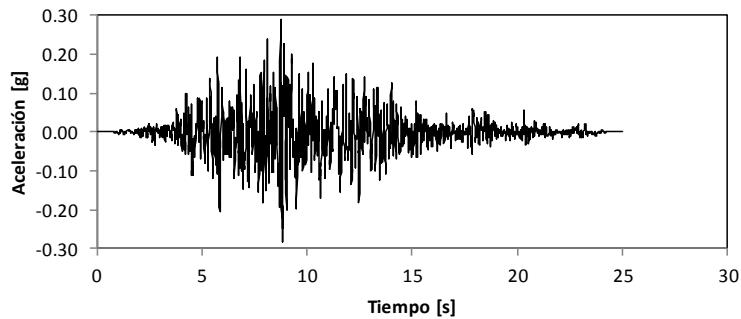
**Figura 39. Ajuste espectral de registro RSN-1011 FP**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	<b>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</b> <b>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</b> <b>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</b> <b>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</b>	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 86 de 104
		Doc. N° GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

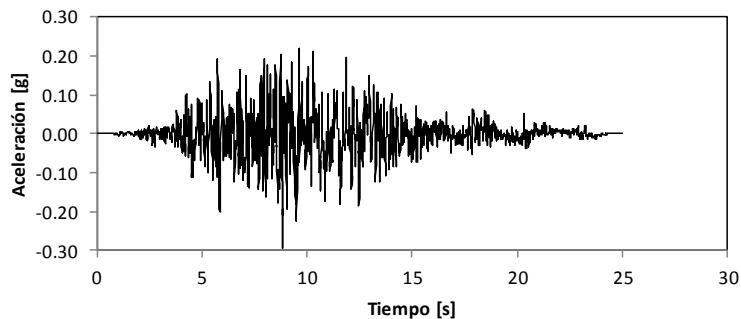
### Presa Néstor Kirchner

Sismo de 4950 años

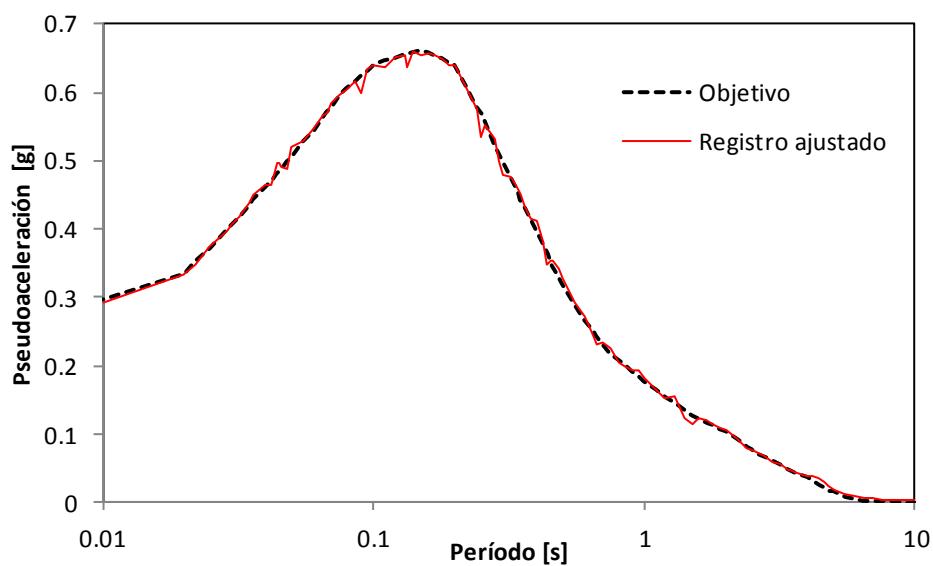
Registro ajustado: RSN-809 FP



**Figura 40. Registro RSN-809 FPoriginal**



**Figura 41. Registro RSN-809 FPajustado**



**Figura 42. Ajuste espectral de registro RSN-809 FP**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING·CGGC·HCSA·UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0 Fecha: 11-10-17 Página: 87 de 104
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001

### Presa Néstor Kirchner

Sismo de 9950 años

Registro ajustado: RSN-5618 H1

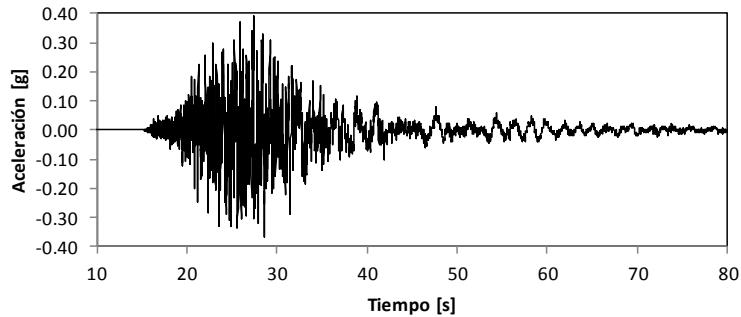


Figura 43. Registro RSN-5618 H1original

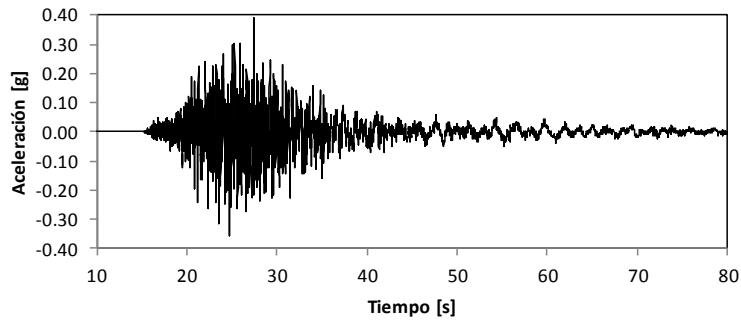


Figura 44. Registro RSN-5618 H1ajustado

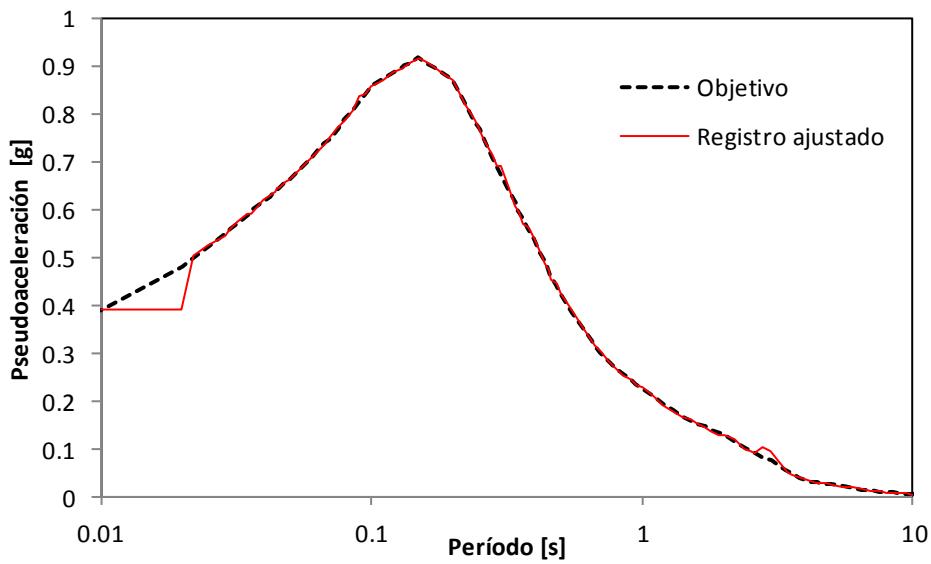
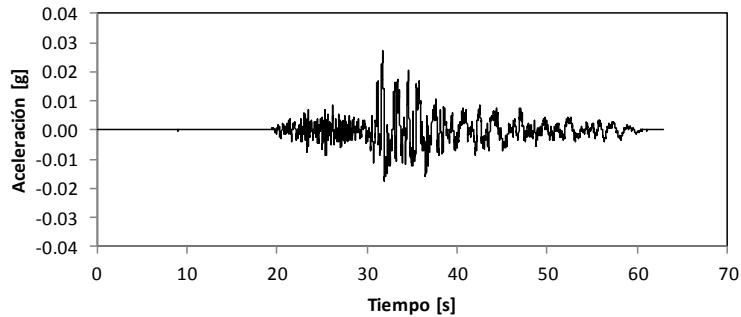


Figura 45. Ajuste espectral de registro RSN-5618 H1

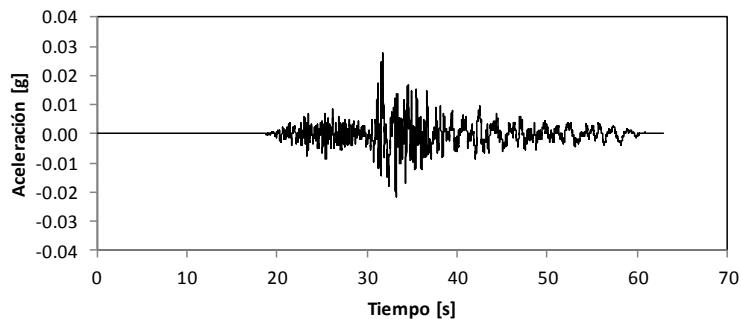
**Presa Jorge Cepernic**

Sismo de 144 años

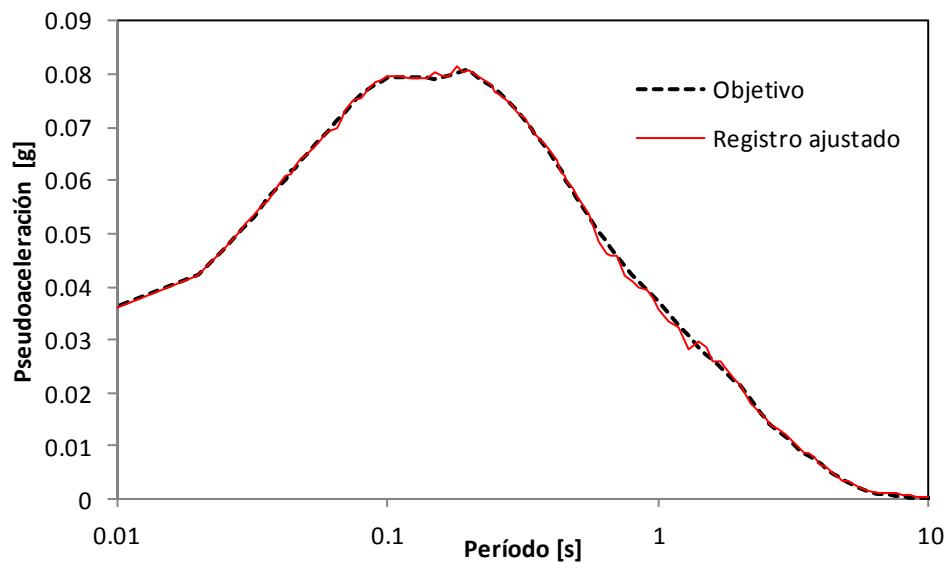
Registro ajustado: RSN-3537 H1



**Figura 46. Registro RSN-3537 H1original**



**Figura 47. Registro RSN-3537 H1ajustado**



**Figura 48. Ajuste espectral de registro RSN-3537 H1**

### Presa Jorge Cepernic

Sismo de 475 años

Registro ajustado: RSN-4554 H-1

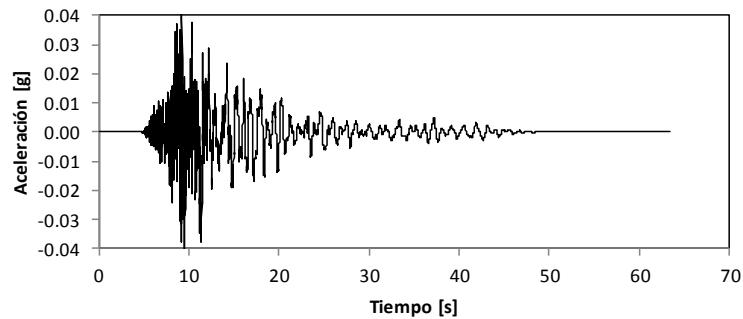


Figura 49. Registro RSN-4554 H-1original

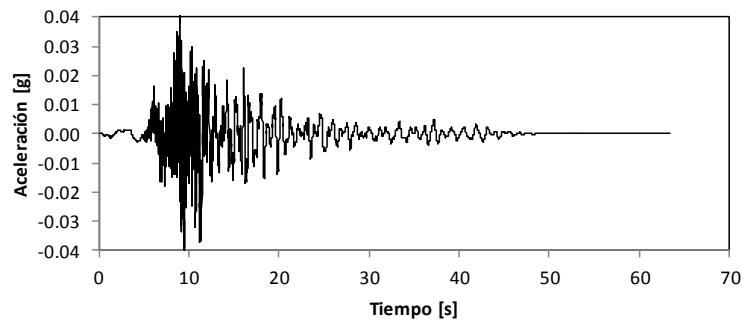


Figura 50. Registro RSN-4554 H-1ajustado

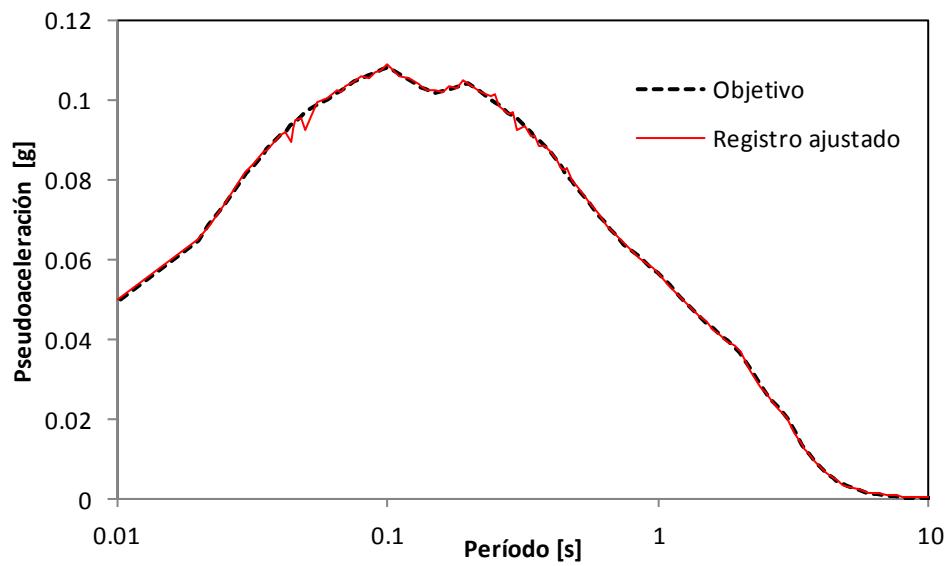
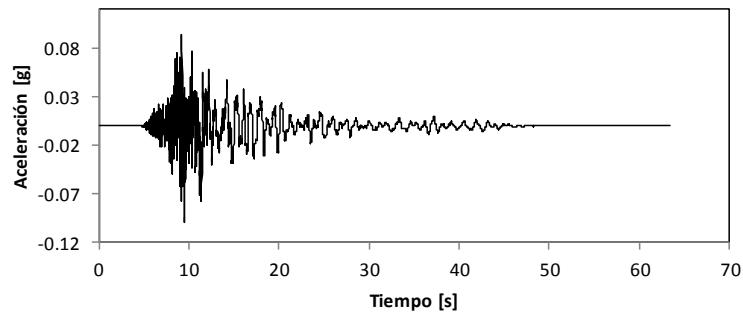


Figura 51. Ajuste espectral de registro RSN-4554 H-1

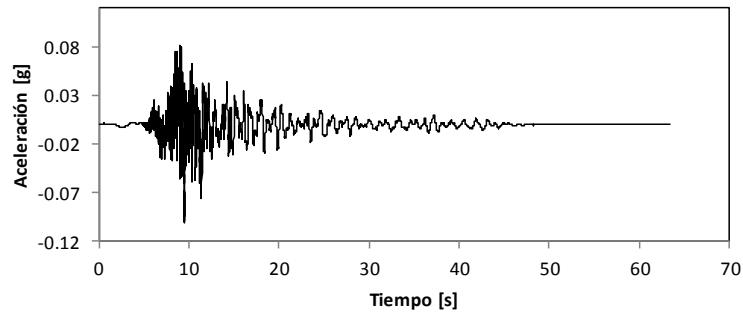
### Presa Jorge Cepernic

Sismo de 1950 años

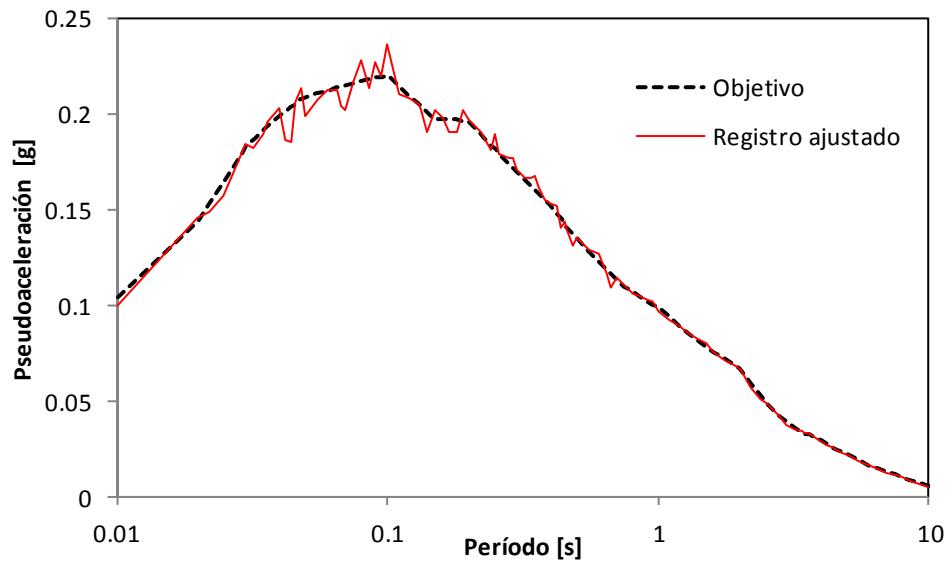
Registro ajustado: RSN-4554 H-1



**Figura 52. Registro RSN-4554 H-1original**



**Figura 53. Registro RSN-4554 H-1ajustado**

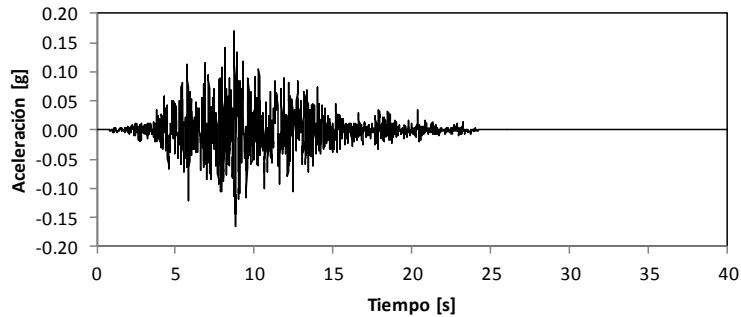


**Figura 54. Ajuste espectral de registro RSN-4554 H-1**

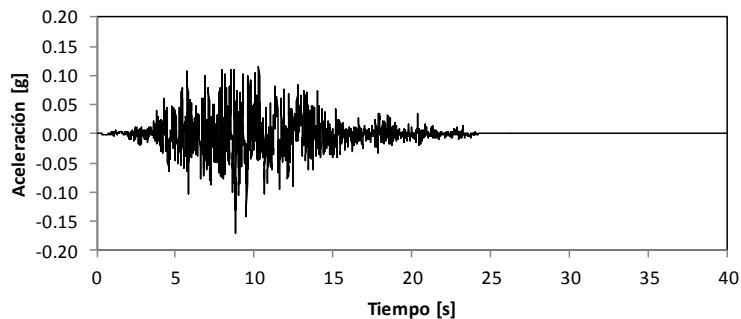
**Presa Jorge Cepernic**

Sismo de 4950 años

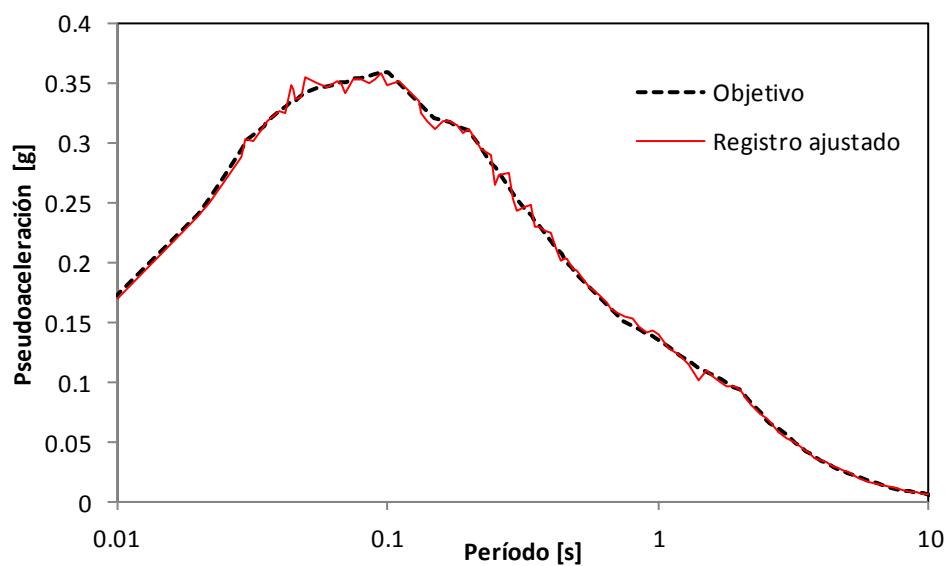
Registro ajustado: RSN-809 FP



**Figura 55. Registro RSN-809 FP original**



**Figura 56. Registro RSN-809 FP ajustado**

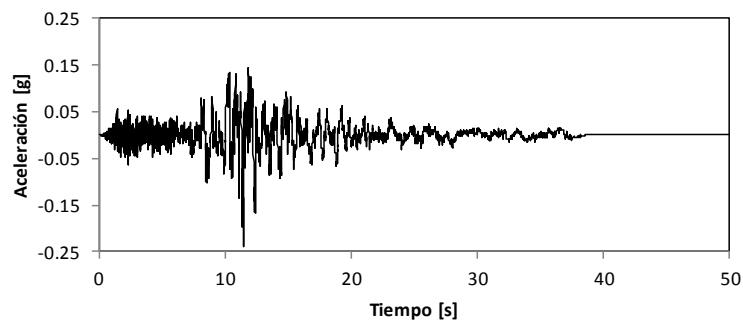


**Figura 57. Ajuste espectral de registro RSN-809 FP**

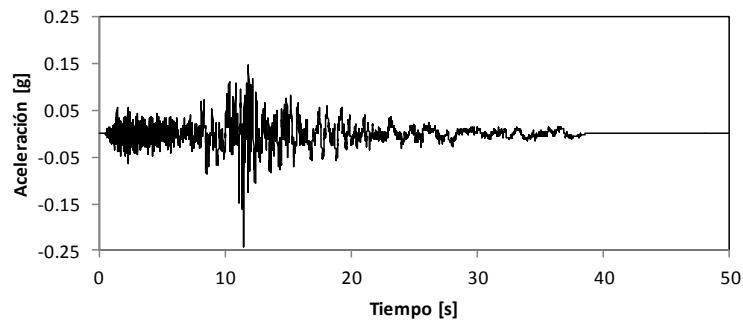
### Presa Jorge Cepernic

Sismo de 9950 años

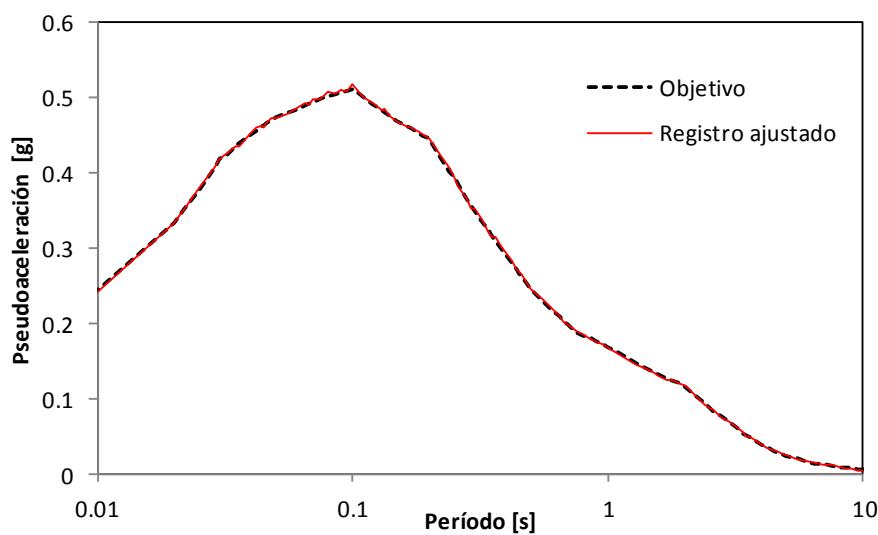
Registro ajustado: RSN-797 H-1



**Figura 58. Registro RSN-797 H-1original**



**Figura 59. Registro RSN-797 H-1ajustado**



**Figura 60. Ajuste espectral de registro RSN-797 H-1**

## ANEXO 7 – ESPECTROS NORMALIZADOS

Los espectros normalizados han sido definidos siguiendo la metodología de NEHRP, en función de 5 parámetros:

SDS = Ordenada espectral para períodos cortos

SD1 = Ordenada espectral para períodos de 1 segundo

T0 = Período de comienzo de plafón

TS = Período de fin de plafón

TL = Período de transición largo

Mediante estos parámetros, se define el espectro normalizado tal como se indica en la Figura. Según las recomendaciones de NEHRP, los parámetros pueden obtenerse en función de resultados de estudios específicos de sitio de la siguiente manera:

La ordenada espectral para períodos cortos SDS se obtiene como el valor del espectro específico para un período  $T = 0.2$  s pero no menor al 90% del valor espectral correspondiente a períodos mayores a  $T = 0.2$  s.

La ordenada espectral para períodos de  $T = 1$  s, SD1, se obtiene como el mayor valor resultante del espectro específico para un período  $T = 1$  s o el doble del valor para  $T = 2$  s.

Los restantes valores resultan:

$T_0 = 0.2 \text{ SD1/SDS}$

$TS = SD1/SDS$

Mientras que el período TL resulta de distintos mapas regionales. Para el presente estudio se toma  $TL = 4$  s.

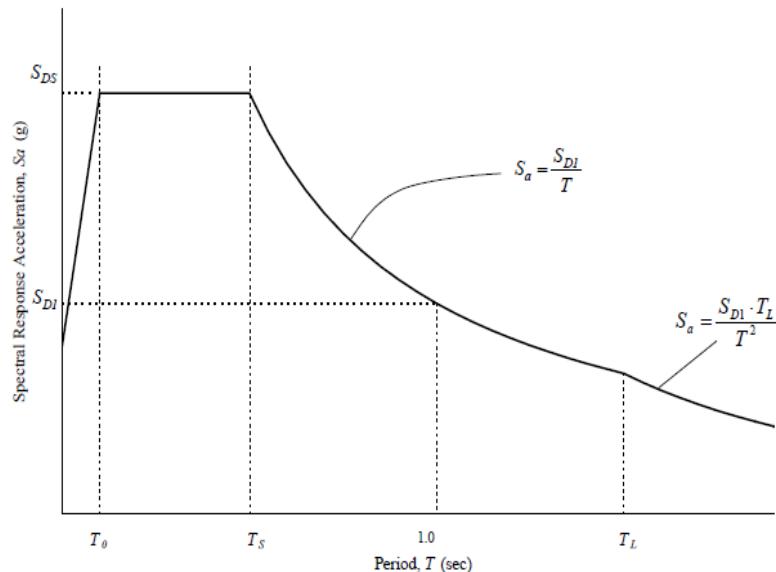


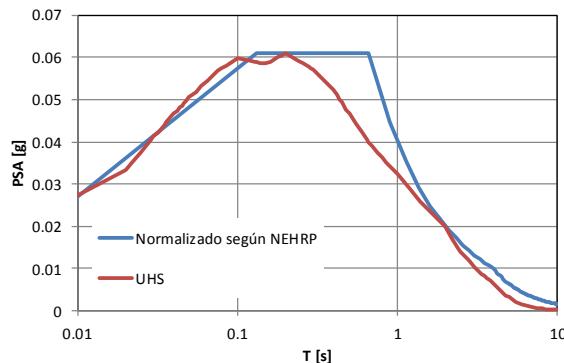
Figure 3.3-15 Long-Period transition Period.

Figura A.7.1. Espectro normalizado

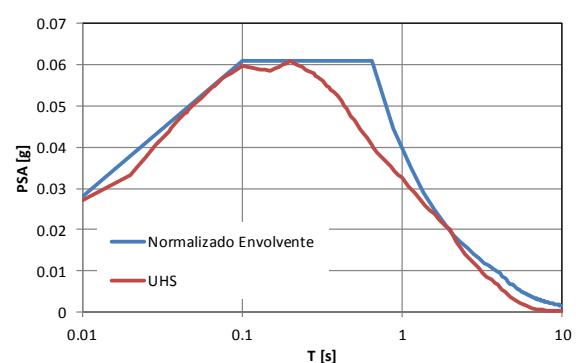
En el presente estudio se realizan ajustes mediante el espectro normalizado siguiendo la metodología propuesta por NEHRP y considerando una envolvente de la forma propuesta por la Figura A.7.1.

## Resultados Presa Jorge Cepernic

TR 144 años



(a) NEHRP



(b) Envolvente

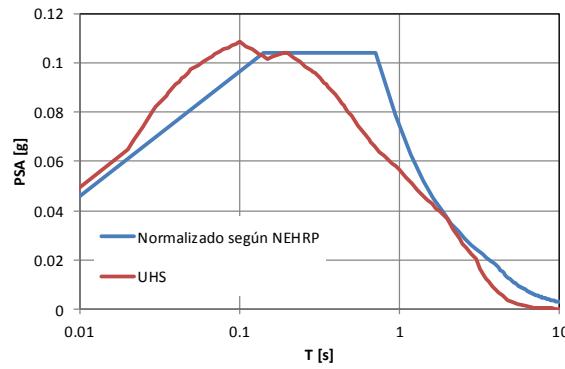
Figura A.7.2. Espectro para presa Jorge Cepernic 144 años de recurrencia

Tabla A.7.1. Parámetros de espectros normalizados para presa Jorge Cepernic 144 años de recurrencia

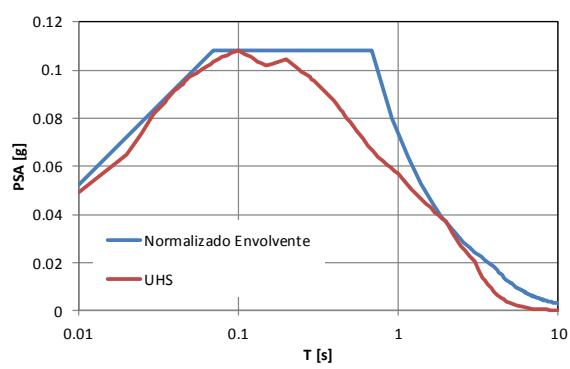
	NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]	0.132	0.100
$T_S$ [s]	0.659	0.650
$T_L$ [s]	4	4
$S_{DS}$ [g]	0.061	0.061
$S_{D1}$ [g]	0.040	0.040

## Resultados Presa Jorge Cepernic

**TR 475 años**



(a) NEHRP



(b) Envolvente

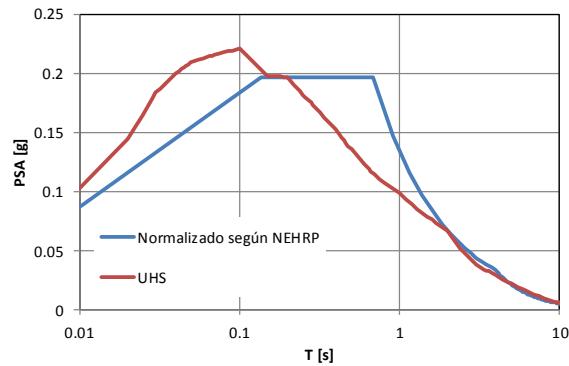
**Figura A.7.3. Espectro para presa Jorge Cepernic 475años de recurrencia**

**Tabla A.7.2. Parámetros de espectros normalizados para presa Jorge Cepernic 475 años de recurrencia**

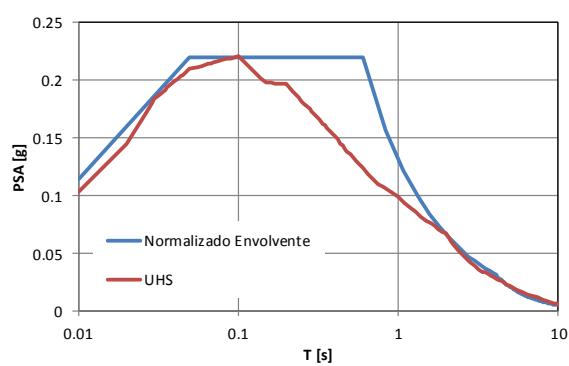
		NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]		0.142	0.070
$T_S$ [s]		0.710	0.680
$T_L$ [s]		4	4
$S_{DS}$ [g]		0.104	0.108
$S_{D1}$ [g]		0.074	0.073

## Resultados Presa Jorge Cepernic

TR 1950 años



(a) NEHRP



(b) Envolvente

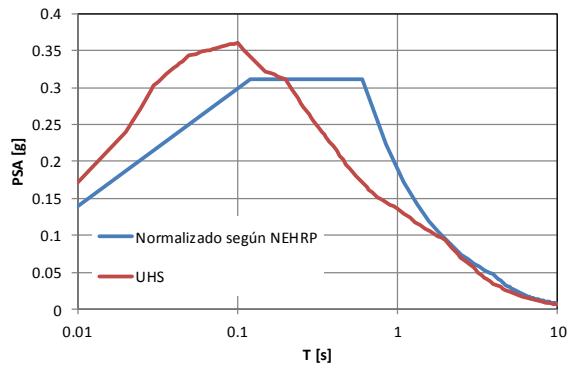
Figura A.7.4. Espectro para presa Jorge Cepernic 1950 años de recurrencia

Tabla A.7.3. Parámetros de espectros normalizados para presa Jorge Cepernic 1950 años de recurrencia

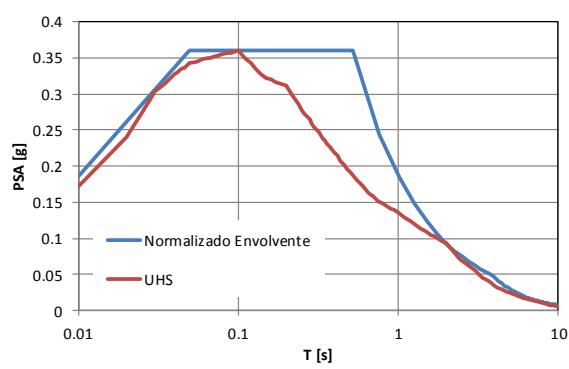
		NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]		0.137	0.050
$T_S$ [s]		0.683	0.600
$T_L$ [s]		4	4
$S_{DS}$ [g]		0.197	0.220
$S_{D1}$ [g]		0.134	0.132

## Resultados Presa Jorge Cepernic

**TR 4950 años**



(a) NEHRP



(b) Envolvente

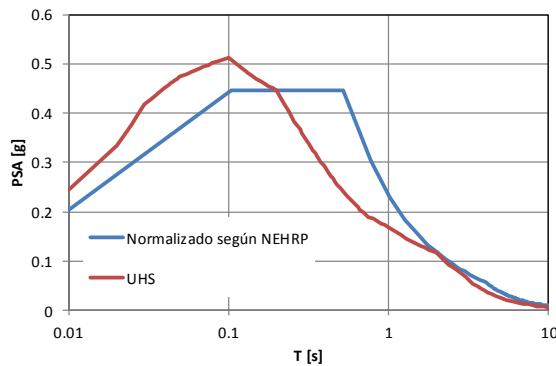
**Figura A.7.5. Espectro para presa Jorge Cepernic 4950 años de recurrencia**

**Tabla A.7.4. Parámetros de espectros normalizados para presa Jorge Cepernic 4950 años de recurrencia**

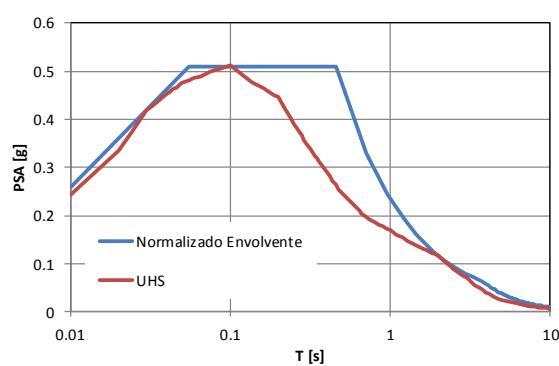
		NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]		0.121	0.050
$T_S$ [s]		0.603	0.520
$T_L$ [s]		4	4
$S_{DS}$ [g]		0.311	0.360
$S_{D1}$ [g]		0.188	0.187

## Resultados Presa Jorge Cepernic

**TR 9950 años**



(a) NEHRP



(b) Envolvente

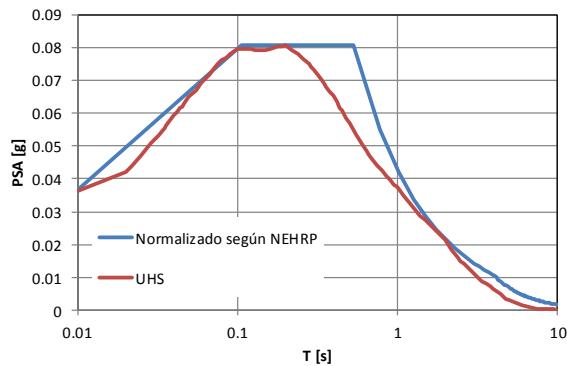
**Figura A.7.6. Espectro para presa Jorge Cepernic 9950 años de recurrencia**

**Tabla A.7.5. Parámetros de espectros normalizados para presa Jorge Cepernic 9950 años de recurrencia**

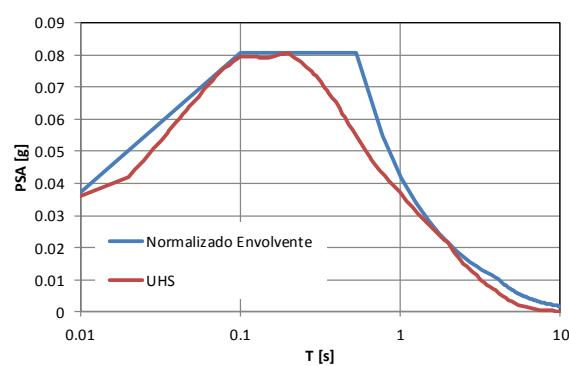
		NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]		0.105	0.055
$T_S$ [s]		0.526	0.460
$T_L$ [s]		4	4
$S_{D5}$ [g]		0.446	0.510
$S_{D1}$ [g]		0.235	0.235

## Resultados Presa Nestor Kirchner

**TR 144 años**



(a) NEHRP



(b) Envolvente

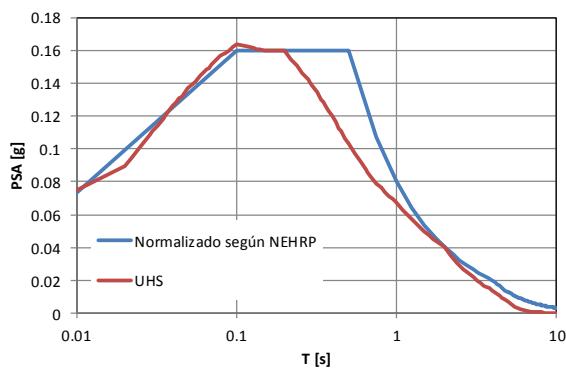
**Figura A.7.7. Espectro para presa Néstor Kirchner 144 años de recurrencia**

**Tabla A.7.6. Parámetros de espectros normalizados para presa Néstor Kirchner 144 años de recurrencia**

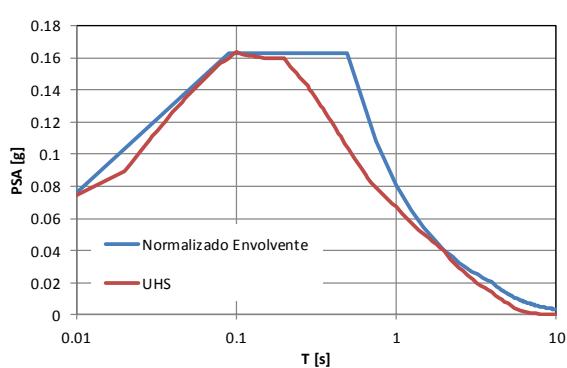
	NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]	0.107	0.100
$T_S$ [s]	0.535	0.530
$T_L$ [s]	4	4
$S_{DS}$ [g]	0.081	0.081
$S_{D1}$ [g]	0.043	0.043

## Resultados Presa Nestor Kirchner

**TR 475 años**



(a) NEHRP



(b) Envolvente

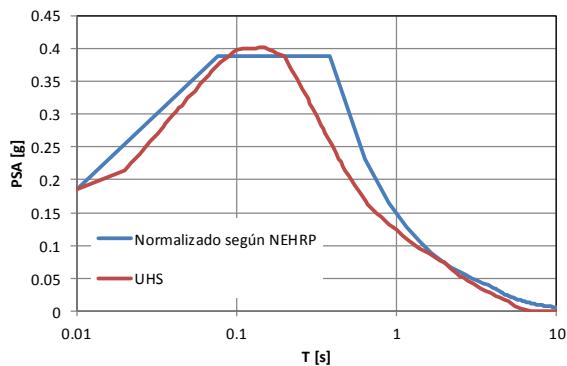
**Figura A.7.8. Espectro para presa Néstor Kirchner 475 años de recurrencia**

**Tabla A.7.7. Parámetros de espectros normalizados para presa Néstor Kirchner 475 años de recurrencia**

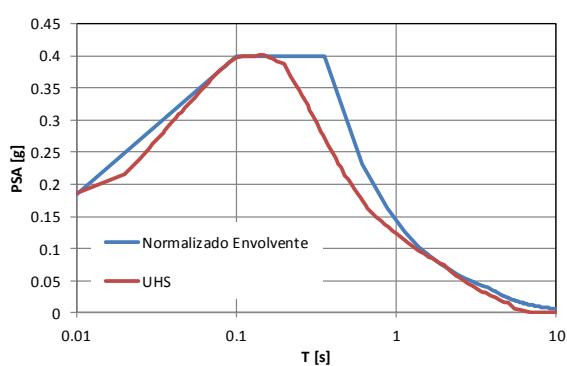
		NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]		0.101	0.090
$T_S$ [s]		0.505	0.495
$T_L$ [s]		4	4
$S_{DS}$ [g]		0.160	0.163
$S_{D1}$ [g]		0.081	0.081

## Resultados Presa Nestor Kirchner

TR 1950 años



(a) NEHRP



(b) Envolvente

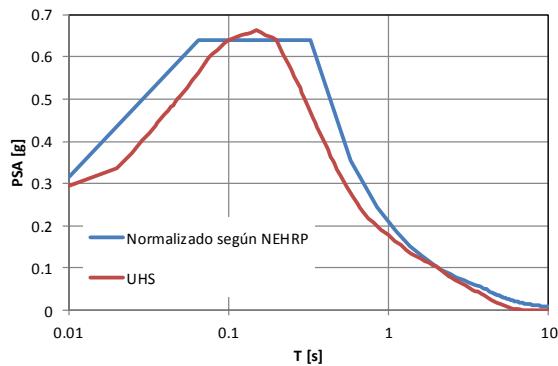
Figura A.7.9. Espectro para presa Néstor Kirchner 1950 años de recurrencia

Tabla A.7.8. Parámetros de espectros normalizados para presa Néstor Kirchner 1950 años de recurrencia

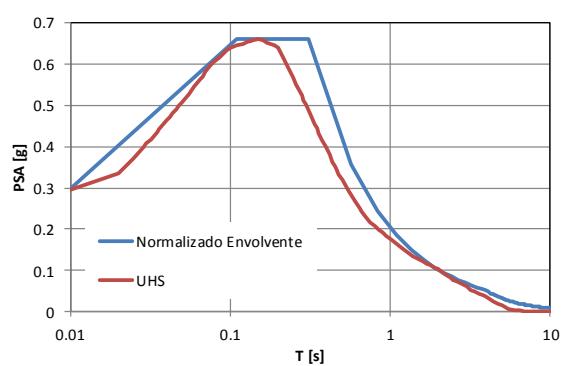
	NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]	0.077	0.100
$T_S$ [s]	0.383	0.360
$T_L$ [s]	4	4
$S_{DS}$ [g]	0.387	0.400
$S_{D1}$ [g]	0.148	0.144

## Resultados Presa Nestor Kirchner

**TR 4950 años**



(a) NEHRP



(b) Envolvente

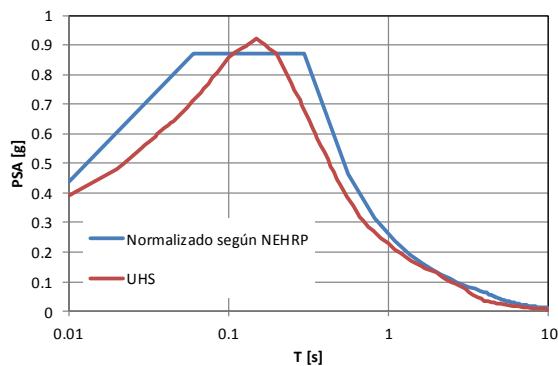
Figura A.7.10. Espectro para presa Néstor Kirchner 4950 años de recurrencia

Tabla A.7.9. Parámetros de espectros normalizados para presa Néstor Kirchner 4950 años de recurrencia

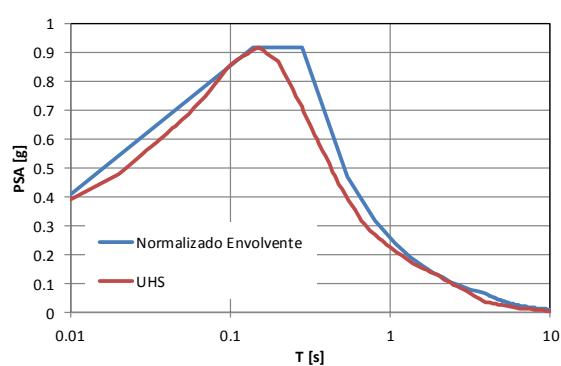
	NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]	0.065	0.110
$T_S$ [s]	0.324	0.310
$T_L$ [s]	4	4
$S_{DS}$ [g]	0.641	0.660
$S_{D1}$ [g]	0.208	0.205

## Resultados Presa Nestor Kirchner

**TR 9950 años**



(a) NEHRP



(b) Envolvente

**Figura A.7.1. Espectro para presa Néstor Kirchner 9950 años de recurrencia**

**Tabla A.7.10. Parámetros de espectros normalizados para presa Nestor Kirchner 9950 años de recurrencia**

		NEHRP	Envolvente
$T_0$ [s]		0.060	0.140
$T_S$ [s]		0.301	0.280
$T_L$ [s]		4	4
$S_{DS}$ [g]		0.873	0.920
$S_{D1}$ [g]		0.262	0.258



MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión:

0

Fecha:

11-10-17

Página:

104 de 104

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001