

11° CONGRESO
NACIONAL



LA RUTA DEL ACERO

DESAFÍOS ACTUALES, NUEVOS HORIZONTES

AUSPICIAN



PATROCINAN



“EL ACERO Y EL TERREMOTO DE IQUIQUE DEL 01 DE ABRIL DE 2014”

Rodolfo Saragoni

Ph. D. Universidad de California, Los Angeles-UCLA.
Profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Ciencias. Físicas y
Matemáticas de la Universidad de Chile.
Premio Nacional de Ingeniería 2013, Colegio de Ingenieros.

EL HUECO SÍSMICO DEL NORTE GRANDE DE CHILE

TERREMOTO DE ARICA DE 1868

$M_w = 8.5$
Y SU TSUNAMI

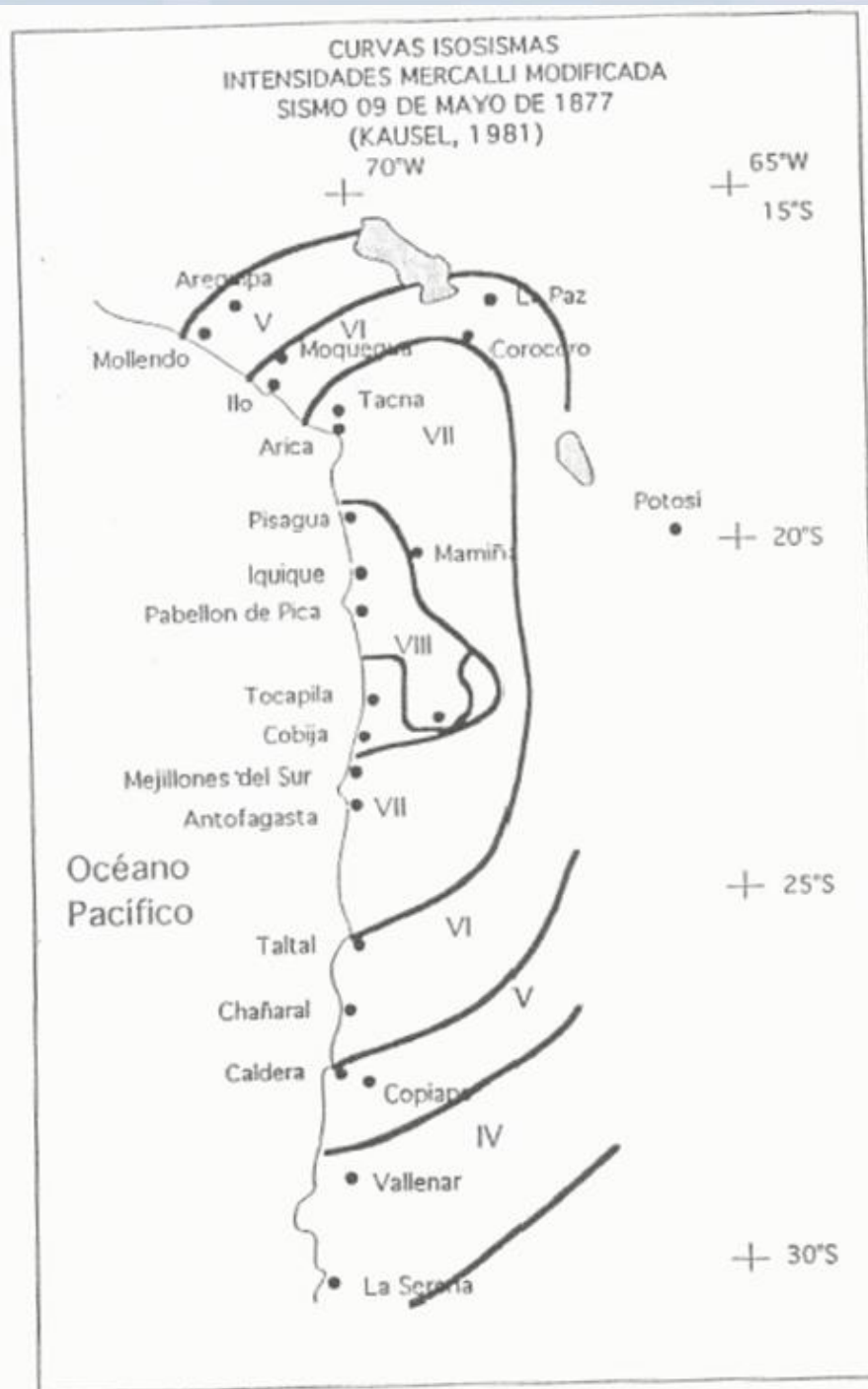
11° CONGRESO
NACIONAL



TERREMOTO DE IQUIQUE DE 1877

$M_w = 8.5$
Y SU TSUNAMI

11° CONGRESO
NACIONAL



11° CONGRESO
NACIONAL



FRECUENCIA HISTÓRICA DE ÉSTOS TERREMOTOS EL HUECO SÍSMICO

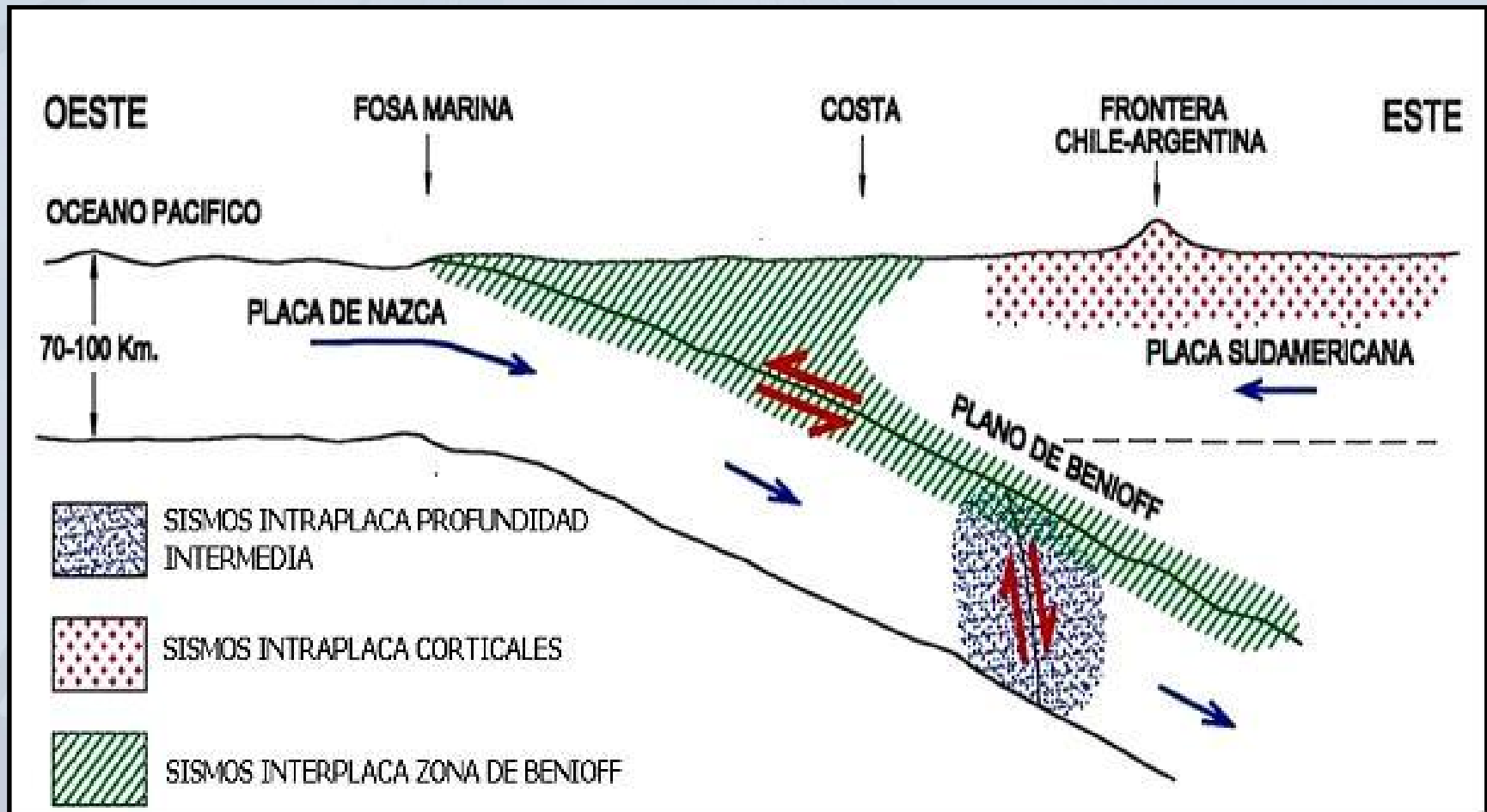
**DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA,
SECCIÓN DE SISMOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE CHILE
ANUNCIA DESDE HACE 50 AÑOS
LA OCURRENCIA DE POSIBLE GRAN
TERREMOTO DE ARICA
 $M_w=9.0$ CON TSUNAMI**

**MOTIVADO POR LA FRECUENCIA DE
TERREMOTOS, DE OTRAS ZONAS
SÍSMICAS DE CHILE: 120 AÑOS.**

**SIN EMBARGO TERREMOTOS
HISTÓRICOS ARICA:
1604-1868 = 264 AÑOS**

LABORATORIO SÍSMICO INTERNACIONAL GRAN DESPLIEGUE INSTRUMENTAL DE ÚLTIMA GENERACIÓN

TIPOS DE TERREMOTOS



ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL NORTE GRANDE DE CHILE EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS

<u>TERREMOTO</u>	<u>MAGNITUD</u>	<u>TSUNAMI</u>
<i>Arica 1987</i>	Ms= 6.9	Sin
<i>Antofagasta 1995</i>	Mw=8.0	Sin
<i>Sur Perú 2001</i>	Mw = 8.2	Sin
<i>Tarapacá 2005</i>	M=7.9	Sin
<i>Tocopilla 2007</i>	M=7.7	Sin
<i>Iquique 2014</i>	M=8.2	Sin

EL TERREMOTO DE IQUIQUE DEL 1 DE ABRIL DE 2014

CARACTERISTICAS SÍSMOLOGICAS

FECHA: 01 ABRIL 201

HORA: 20:46

MAGNITUD : $M_w = 8.1$

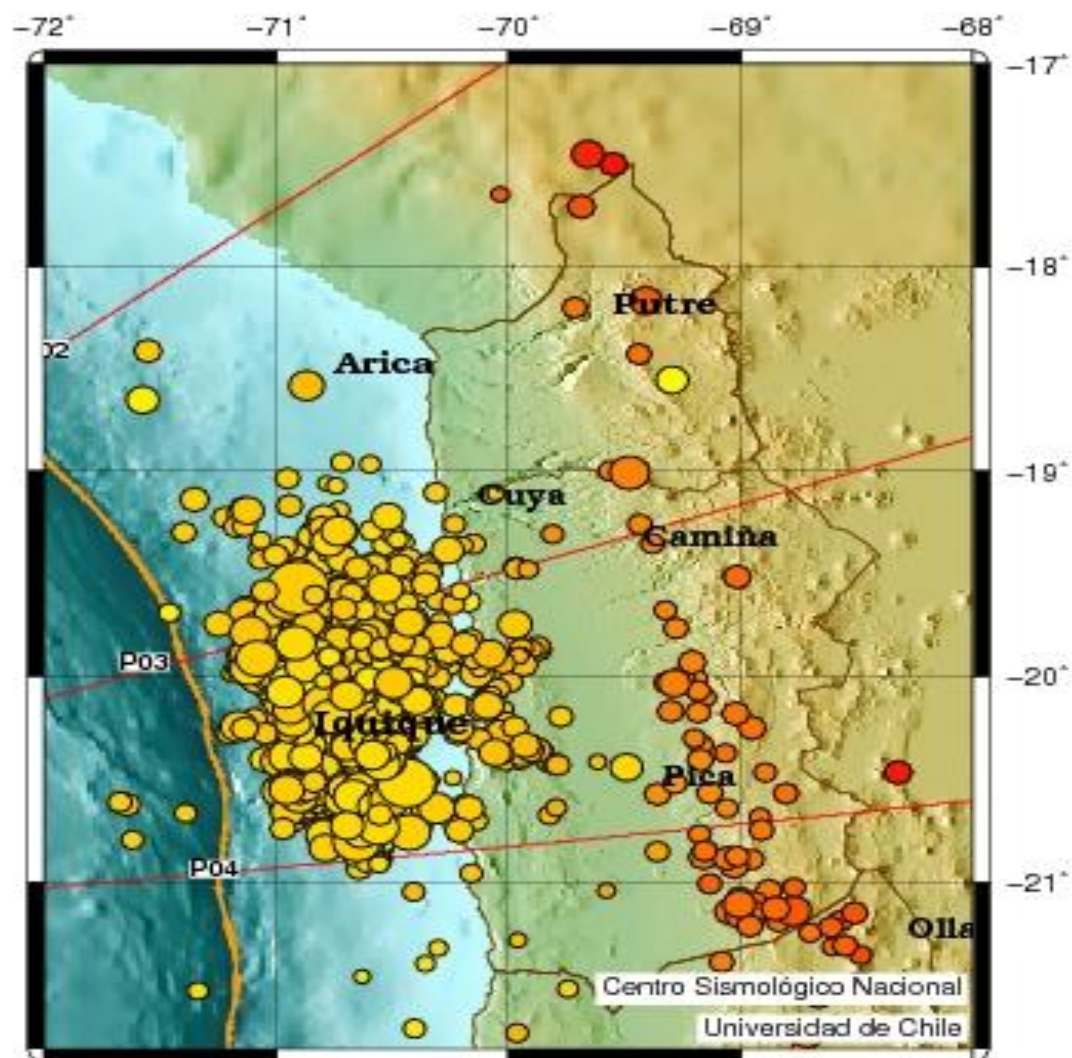
PROFUNDIDAD: 60 km

EPICENTRO: $19.572^\circ\text{S} - 70.908^\circ\text{W}$

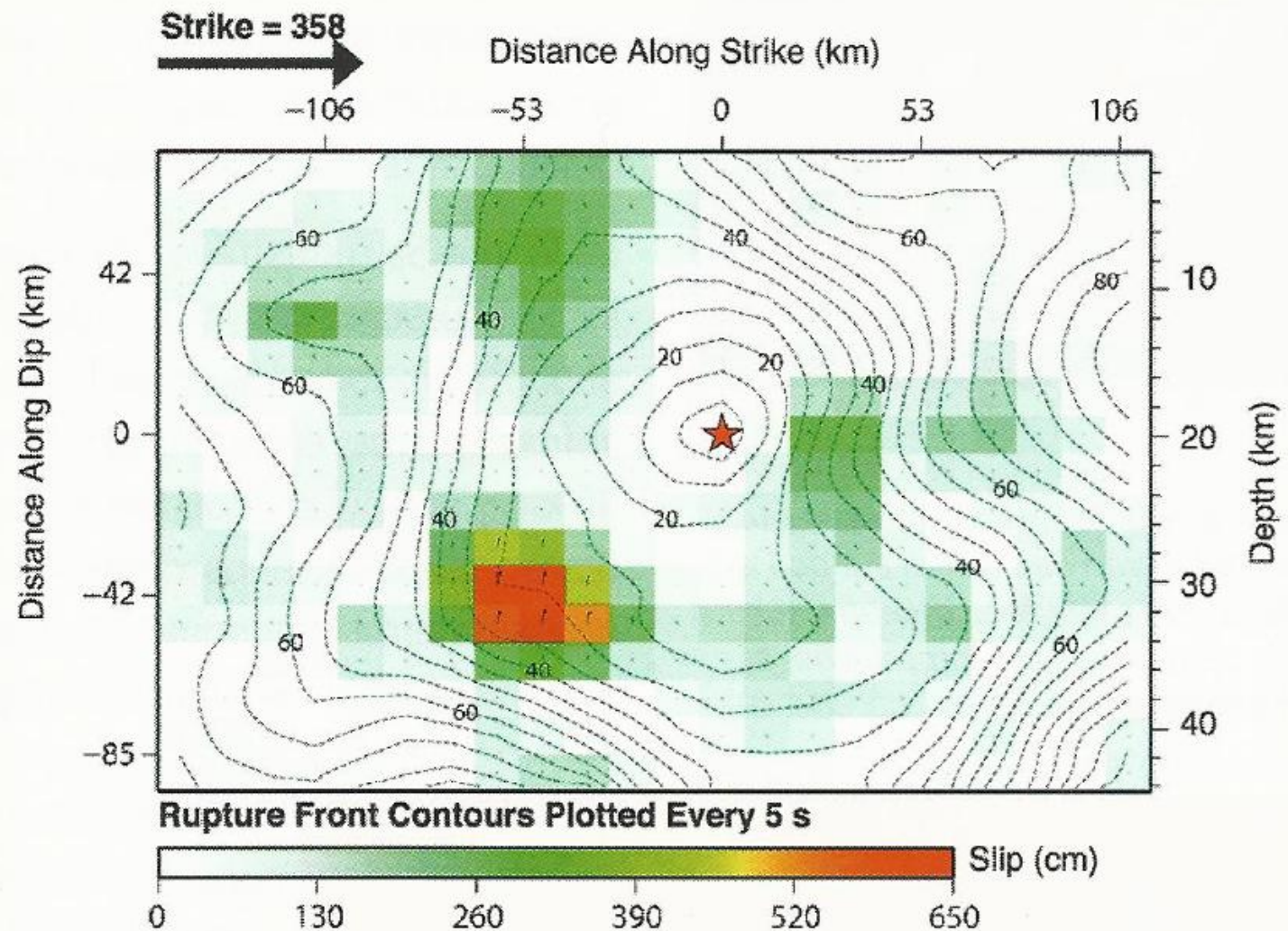
LARGO DE RUPTURA ~ 150 km

89 km AL S.O DE CUYA

EPICENTRO Y REPLICAS



ASPEREZAS



**TERREMOTO MEJOR INSTRUMENTADO DEL
MUNDO.**

**GÉNESIS DEL TERREMOTO,
ARTÍCULO S. RUIZ et al., REVISTA SCIENCE.**

**ACURRENCIA DE TERREMOTO DE NORTE
GRANDE, S. BARRIENTOS et al., REVISTA
NATURE.**

VISIÓN INGENIERIL DEL TERREMOTO

6 MUERTOS

2635 VIVIENDAS INHABILITADAS

847 DE ELLAS IRREPARABLES

1788 POSIBLES DE REPARAR

INTENSIDAD MERCALLI : IQUIQUE VII

INTENSIDAD MERCALLI: CUYA VIII

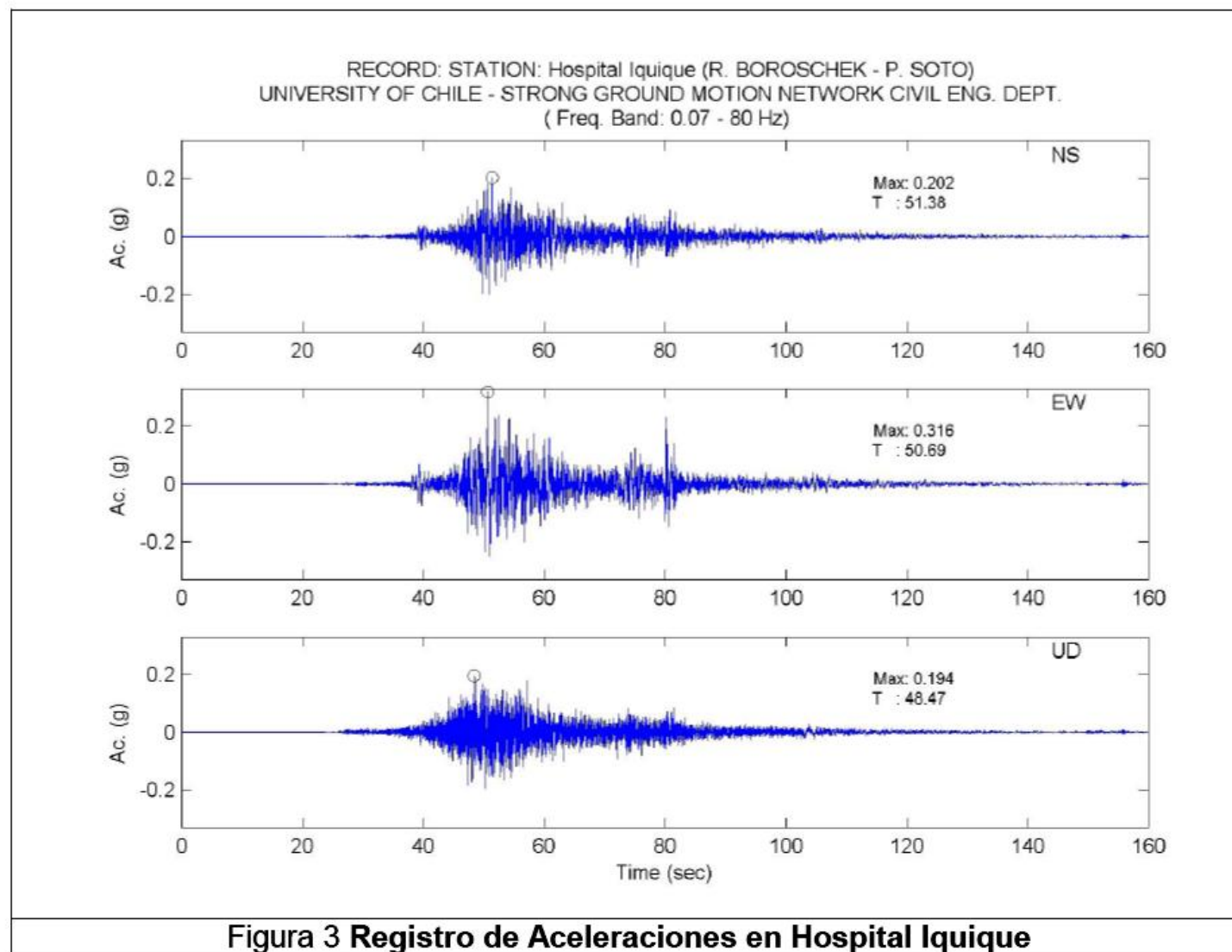
ACELERACIONES MÁXIMAS DE SUELO (RENADIC – U.DE CHILE) (R. BOROCHEK Y P. SOTO)

<i>ESTACIÓN</i>	<i>ACELERACIÓN MÁXIMA HORIZONTAL (g)</i>	<i>ACELERACIÓN MÁXIMA VERTICAL (g)</i>	<i>INTENSIDAD INSTRUMENTAL</i>
IQUIQUE ESCUELA CHIPANA CERRO DRAGON	0.61	0.44	-
ALTO HOSPICIO	1.1	0.97	-
IQUIQUE HOSPITAL	0.32	0.21	VII
PICA	0.34	0.23	VI - VII
PUNTA PATACHE	0.13	0.06	VI
ARICA CERRO LA CRUZ	0.13	0.09	VI
MEJILLONES	0.02	0.02	-
CALAMA	0.02	0.02	-

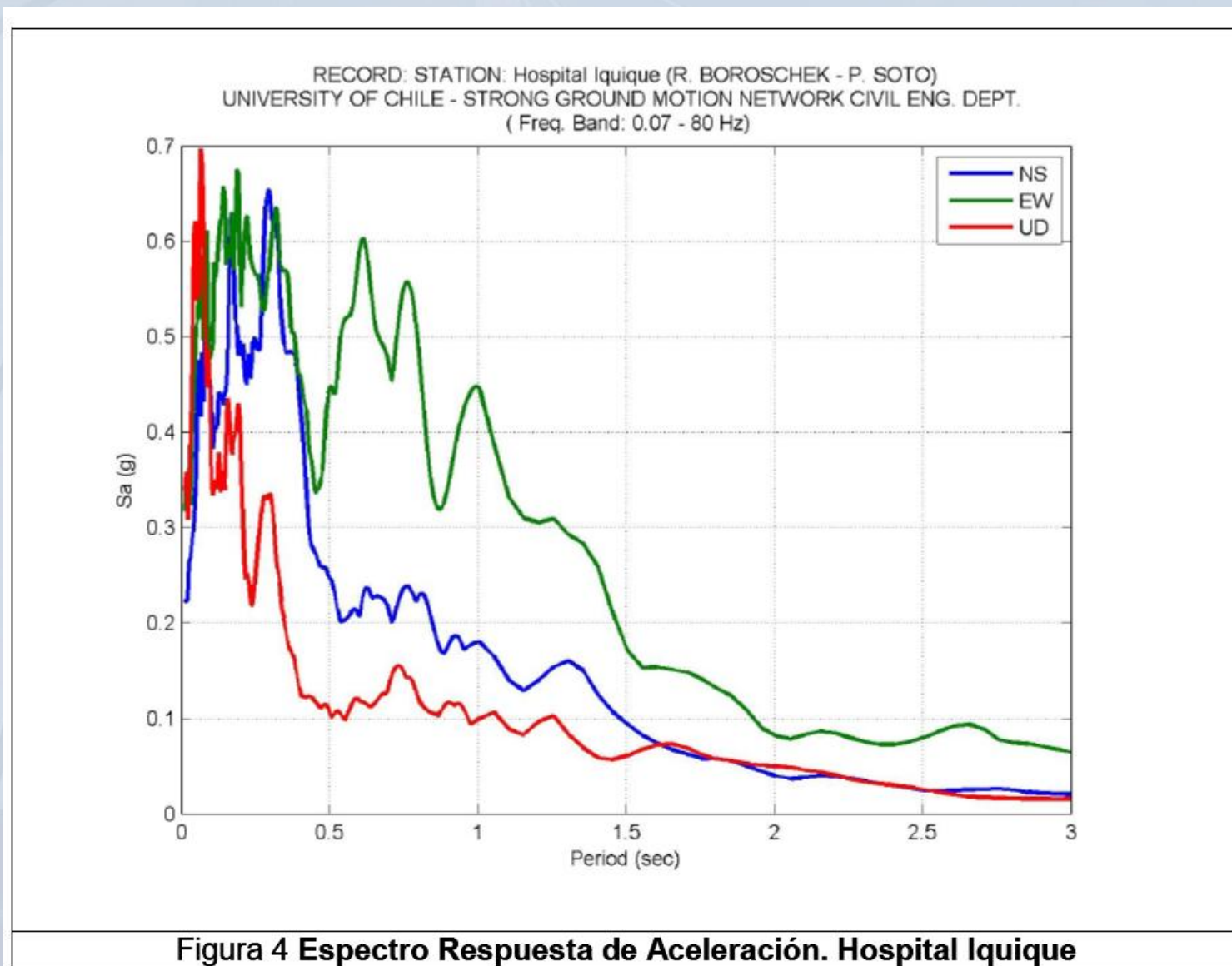
EFEECTO DIRECTIVIDAD Y EFECTO DEL SUELO CAVANCHA EFECTO DIRECTIVIDAD



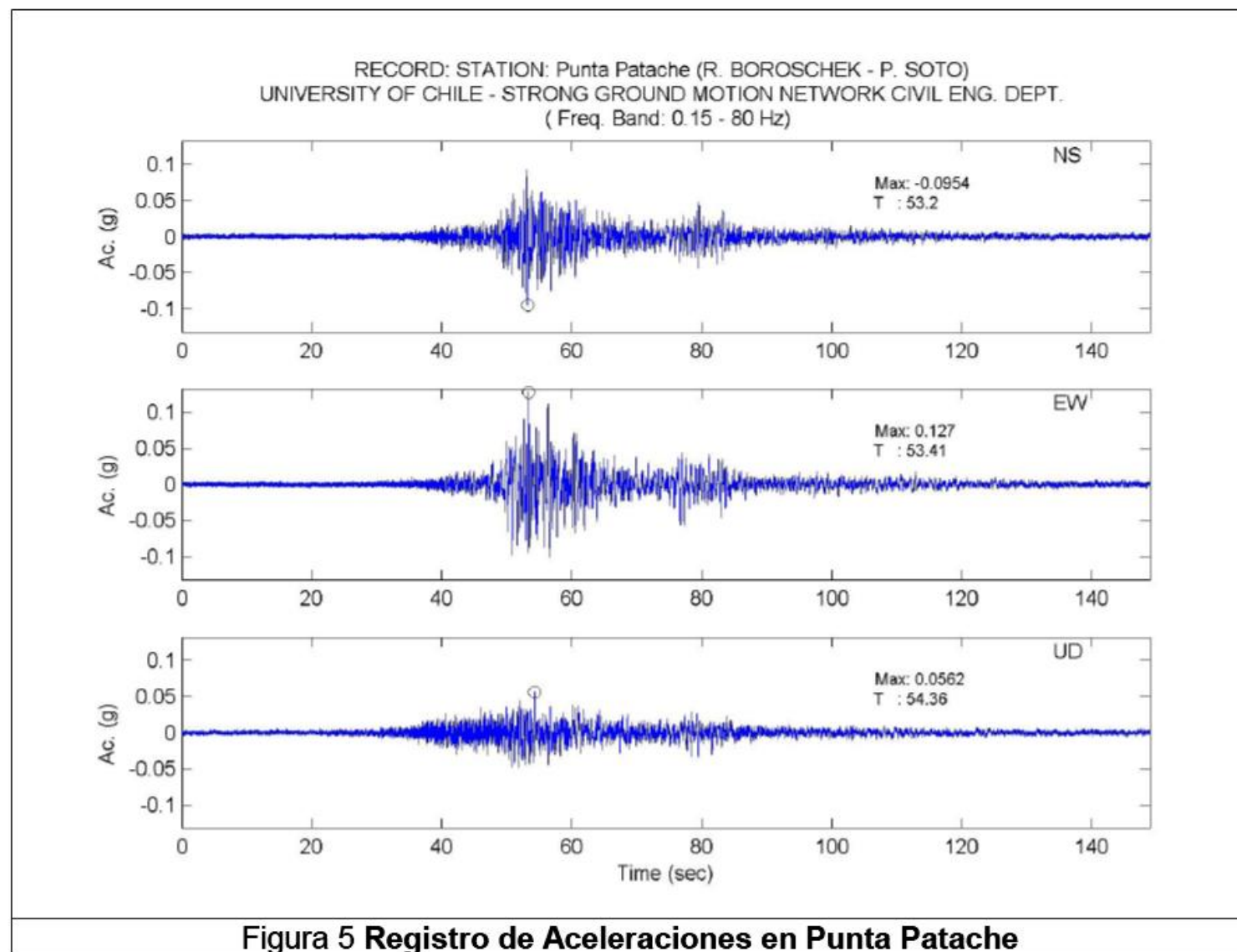
REGISTROS EN HOSPITAL DE IQUIQUE



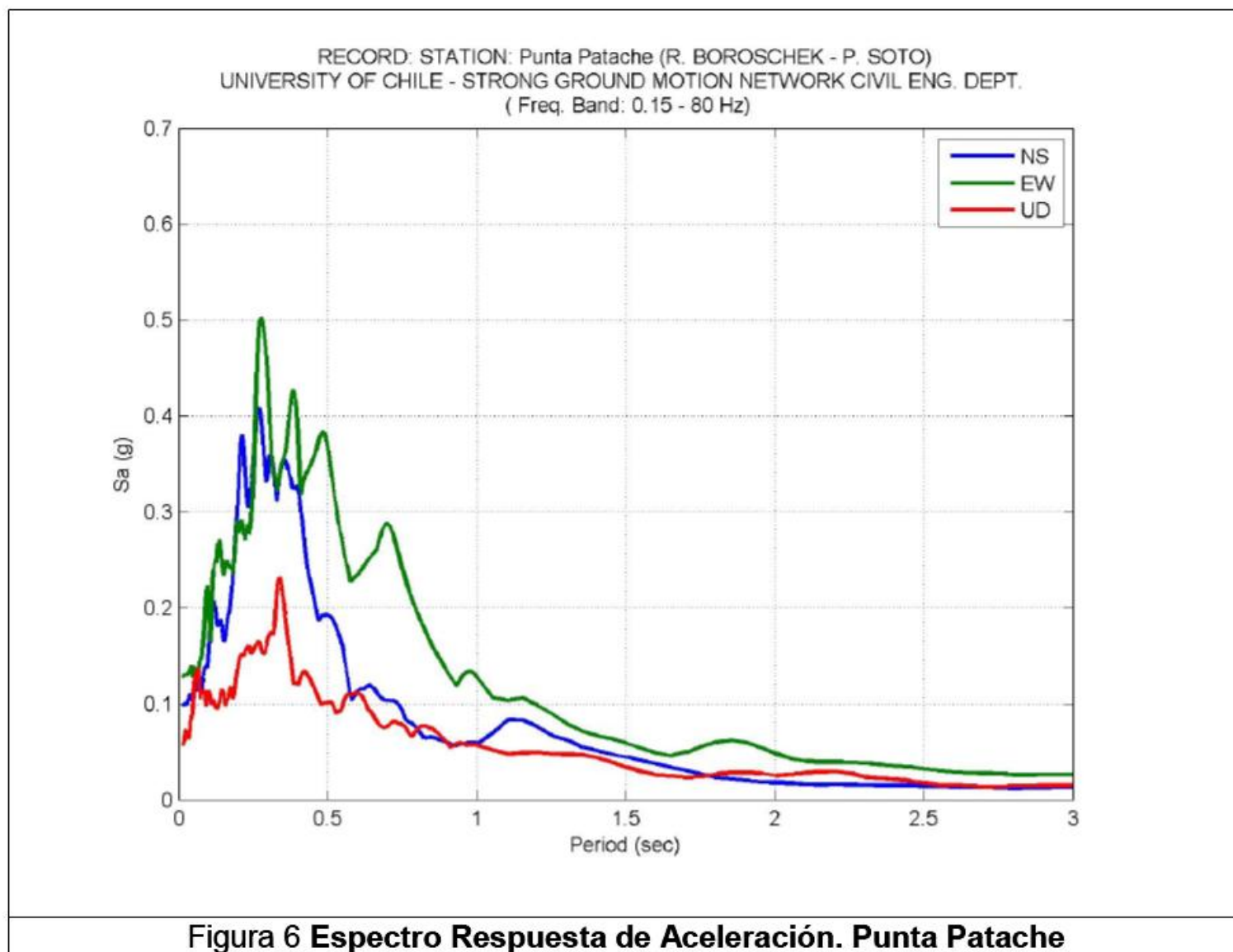
ESPECTRO DE RESPUESTA EN HOSPITAL DE IQUIQUE



REGISTROS EN PUNTA PATACHE

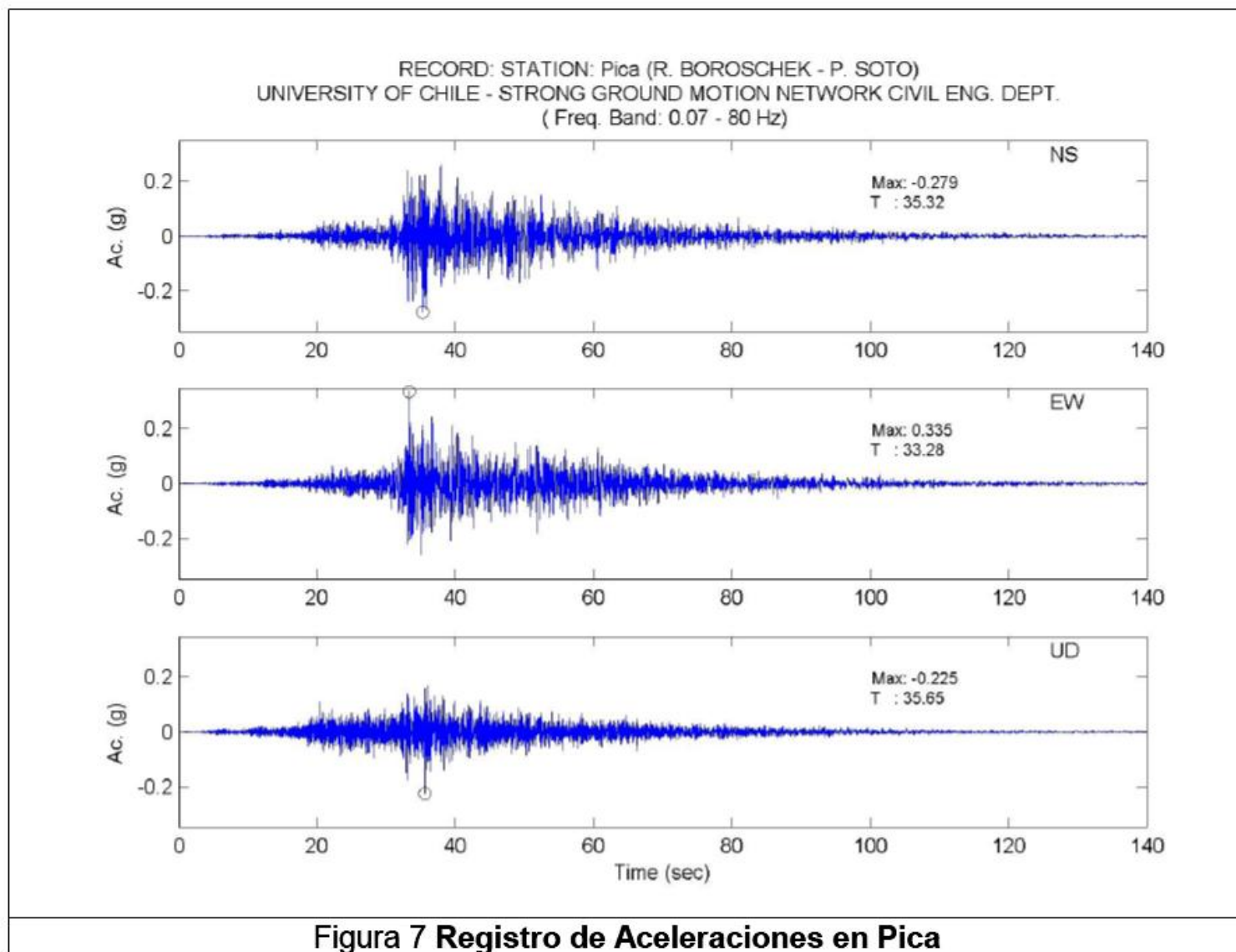


ESPECTRO DE RESPUESTA EN PUNTA PATAACHE

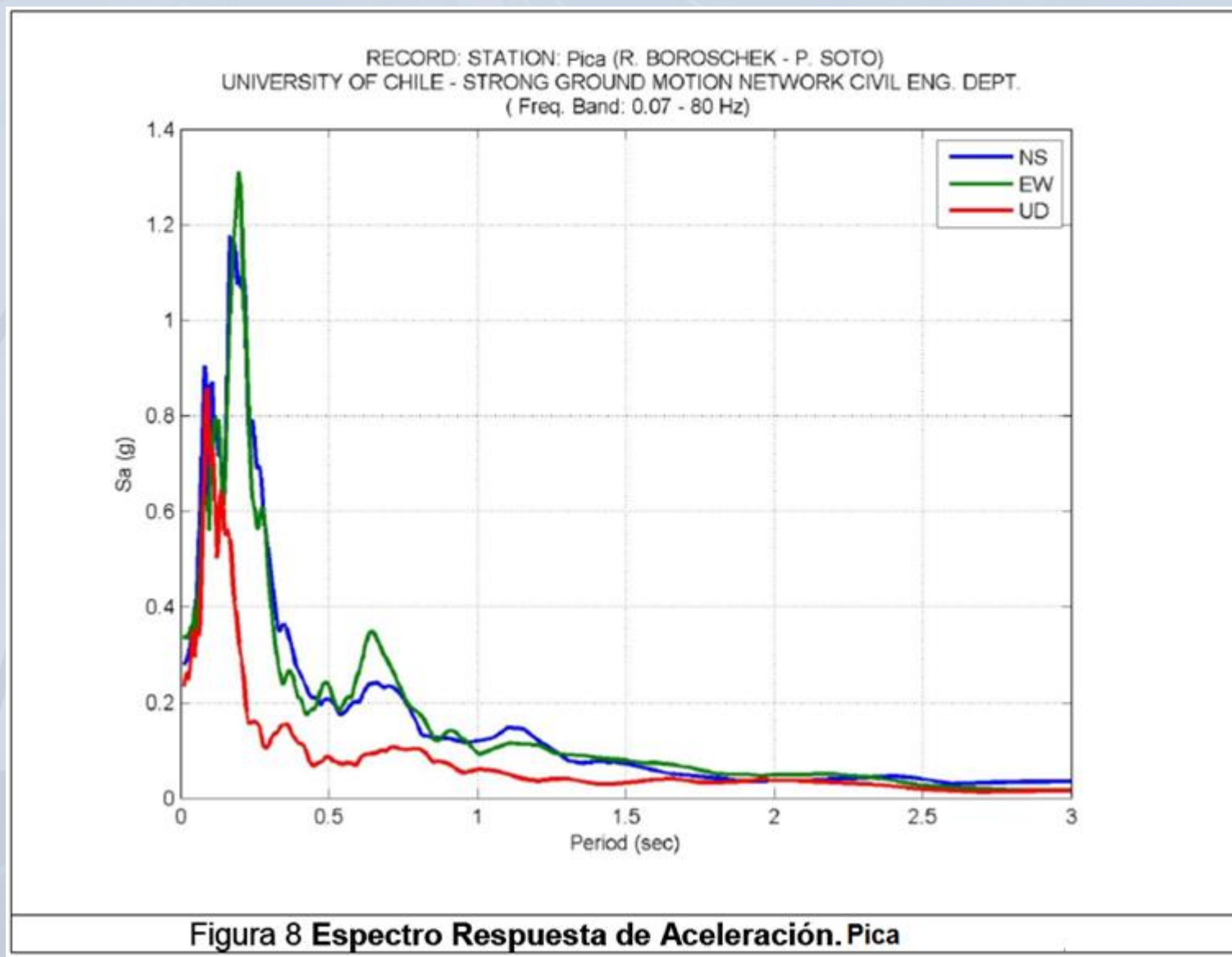


PICA EFECTO DEL SUELO

REGISTROS EN PICA



ESPECTRO DE RESPUESTA EN PICA



CERRO DRAGON (ARENA) DUPLICA ACELERACIÓN Y ESPECTRO CON RESPECTO A ROCA



DAÑO DE EDIFICIOS ALTOS POR DIRECTIVIDAD

POBLACIÓN PABLO NERUDA
CERRO DRAGON



COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS ALTOS DE HORMIGÓN



**FALLA FRÁGIL EN MUROS DE
HORMIGÓN ARMADO,
EDIFICIO DE 20 PISOS
INCIPIENCIA DEL DAÑO
GRAN IMPORTANCIA DE ESTE
TERREMOTO**

11° CONGRESO
NACIONAL



FALLA DE MURO SIMILAR A TERREMOTO 27F 2010



PUERTO DE IQUIQUE



PUERTO DE IQUIQUE



SITIOS 1

SIN DISEÑO SÍSMICO
MONONOBÉ Y OKABÉ (1928)



FALLAS EN VIVIENDAS EN SUELOS SALINOS

VIVIENDA COLAPSADA. TENÍA EVIDENCIA
PREVIA DE ASENTAMIENTO POR
FILTRACIONES



FALLA RUTA A-16 RUTA IQUIQUE – ALTO HOSPICIO (RUTA 16)



FALLAS AGUAS ABAJO SUELO ARENOSO



BUEN COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE ACERO

ESTANQUES DE ACERO



PLANTA TERMoeLECTRICA NORGENER, TOCOPILLA 2007 COMPLETAMENTE OPERACIONAL DESPUES DEL TERREMOTO



CONEXIONES DE ACERO – ZONA EPICENTRAL



VISTA CENTRAL TERMICA



**RAZONES BUEN COMPORTAMIENTO
NORMA CHILENA NCH2369.of 2003
“DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS E INSTALACIONES
INDUSTRIALES”
CRITERIO DE CONTINUIDAD DE OPERACIÓN**

NORMAS CHILENAS

NORMA	OBJETIVO	CUMPLIMIENTO TERREMOTO 27/02/2010	CALIBRADA
NCh 433.Of96 Diseño Sísmico de Edificios	Protección de Vidas	OK (con corrección)	Terremoto Zona Central 1985
NCh 2369.Of2003 Edificios e Instalaciones Industrial	Continuidad de Operación	OK	Terremoto Centro-Sur 1960
NCh 2745. Of 2003 Edificios con Aislación sísmica	Protección de Vida	OK (con corrección)	sin calibrar
Manual de Carreteras	Continuidad de Operación	OK (con corrección)	CALIBRADA

CALIBRACIÓN DE ESPECTRO POR BLUME (1963) TERREMOTOS DE CONCEPCIÓN Y VALDIVIA 1960 $M_w = 9.5$

CHIMENEAS Y TORRES CAP HUACHIPATO

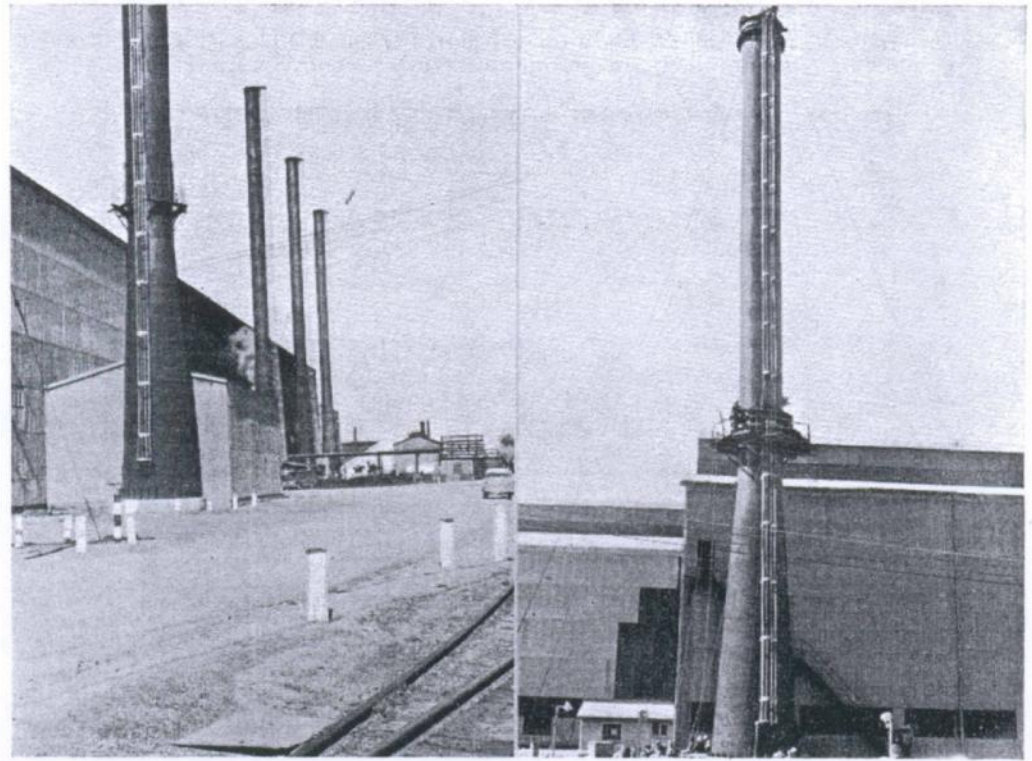


FIG. 5. Stacks D, C-3, C-2 and C-1 from Left to Right. (Photo by K. V. Steinbrugge).
FIG. 6. Stack F with Temporary Guys During Repairs. (Photo by K. V. Steinbrugge).

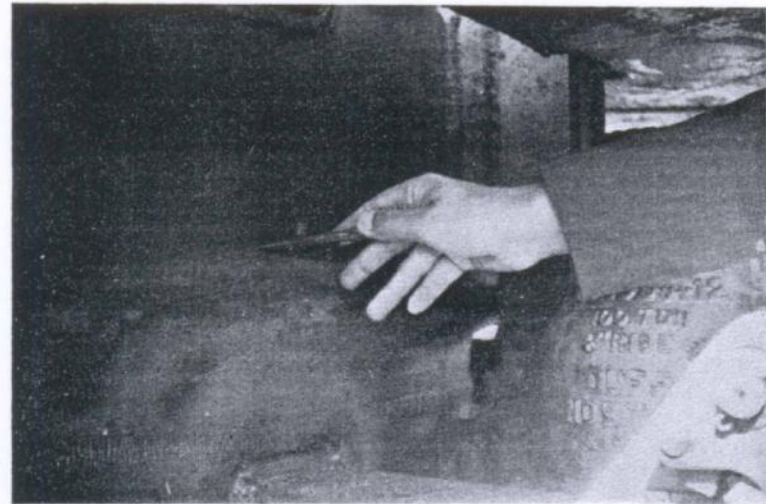


FIG. 7. Buckle and Temporary Splints, Stack F. (Photo by K. V. Steinbrugge).

CHIMENEAS Y TORRES CAP HUACHIPATO

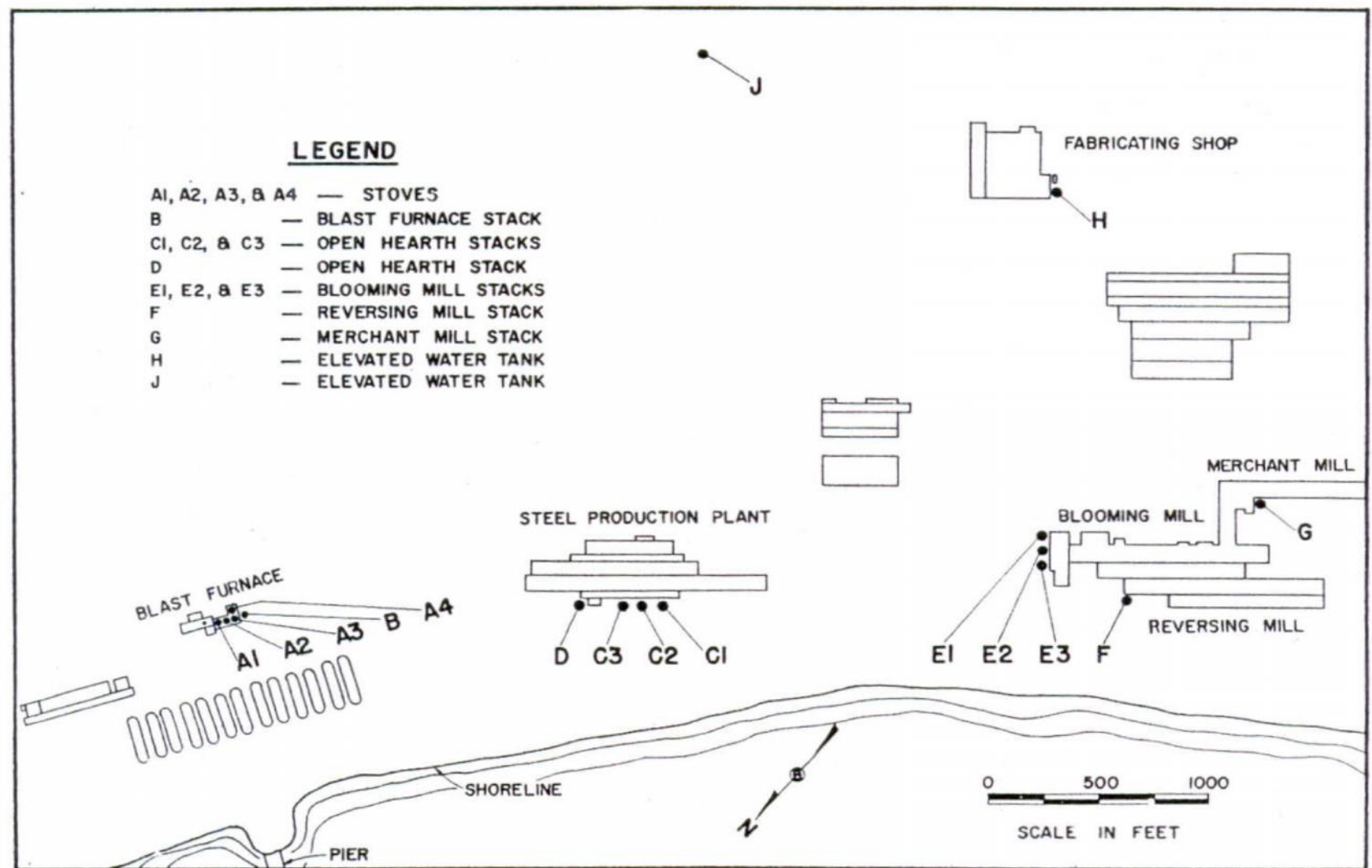


FIG. 2. Plan of Huachipato Steel Plant.

ESPECTRO ESTIMADO POR BLUME

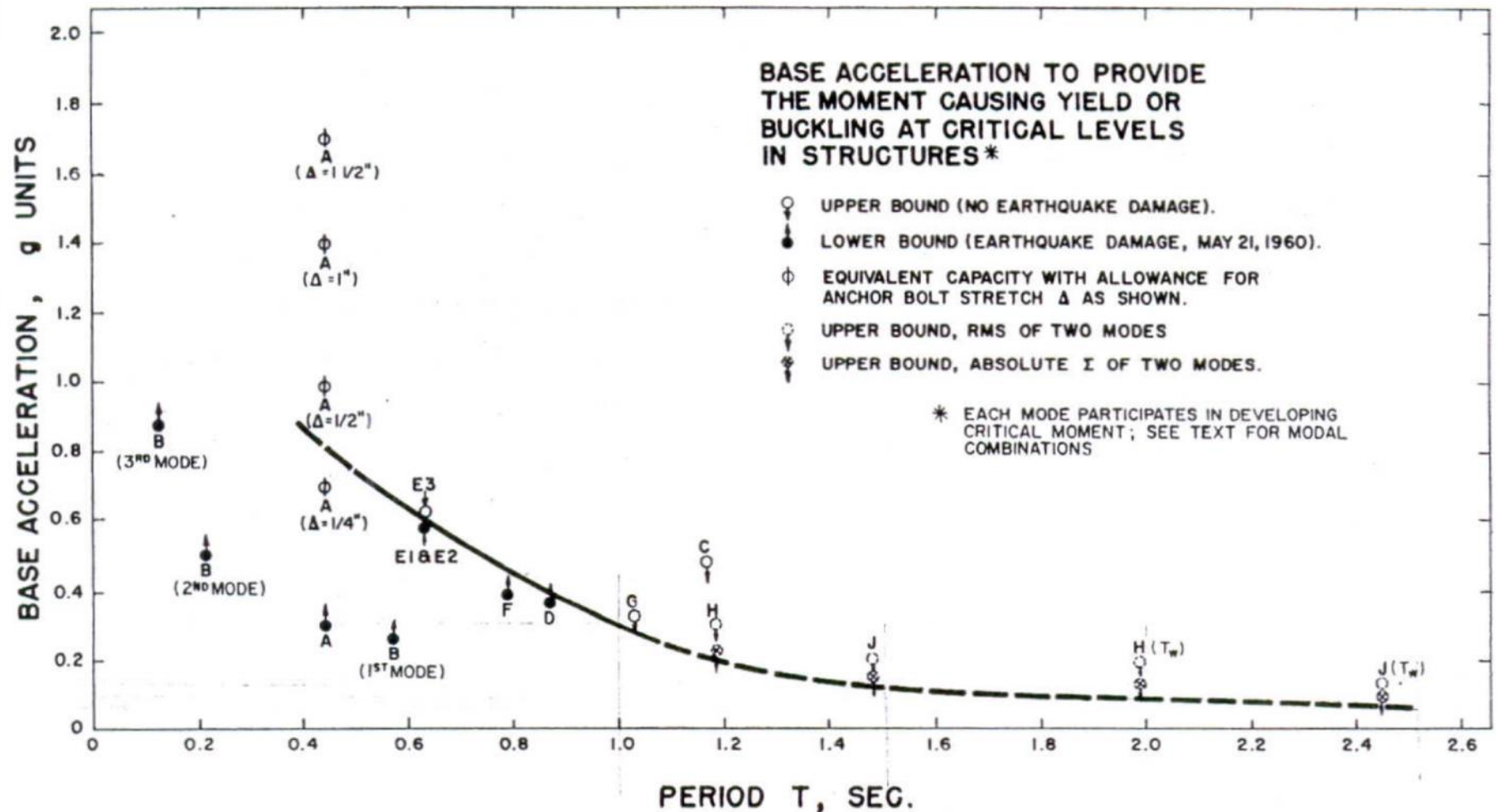


FIG. 25. Spectrum of Base Acceleration Causing Modal Moments in Huachipato Structures.

COMPARACIÓN DEL ESPECTRO DE BLUME CON LA NORMA

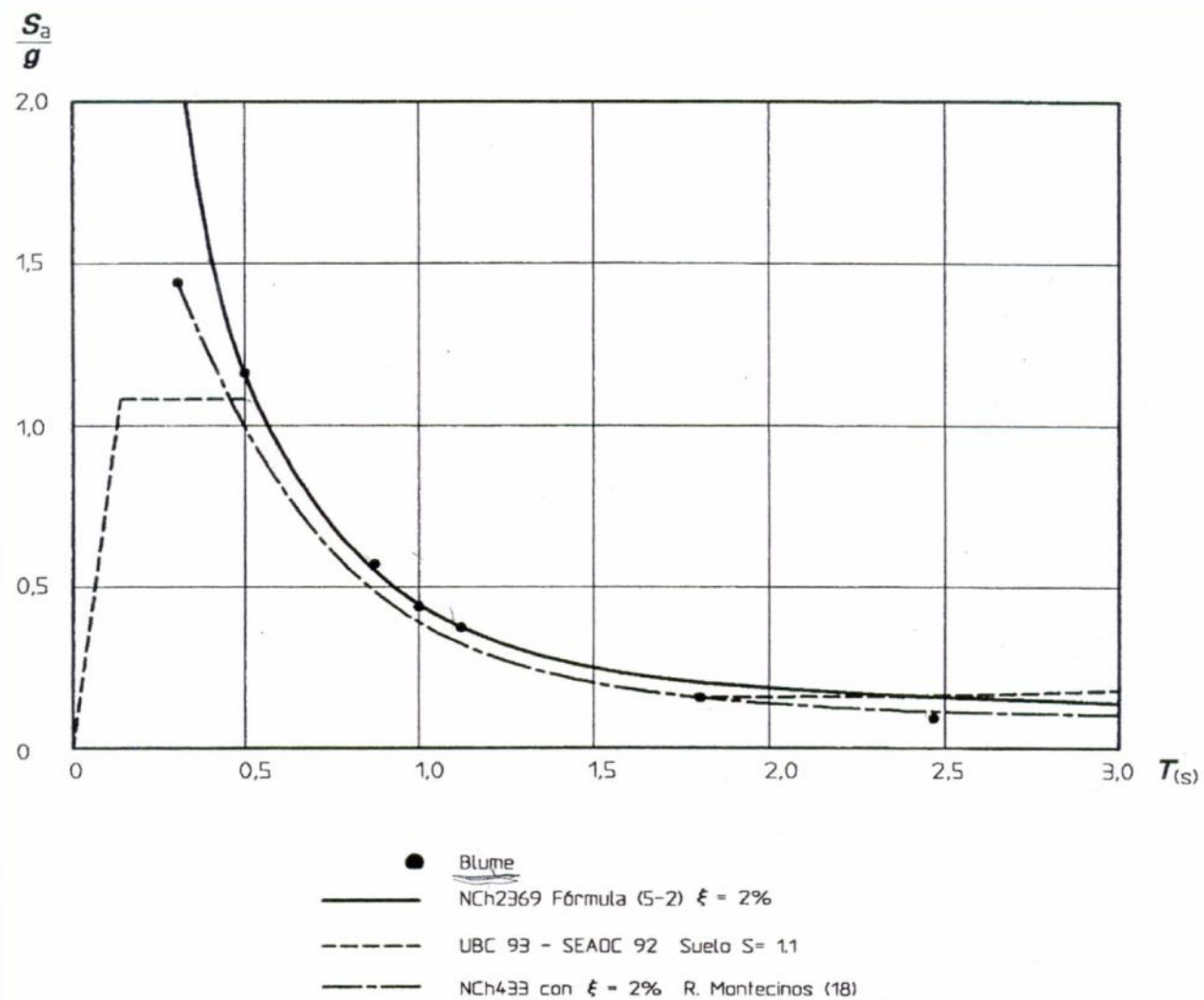


Figura C.1 - Espectros de respuesta para Huachipato
 (Zona 3 $A_0=0,4 g$ Suelo II $I=1,0$)

MAL COMPORTAMIENTO DEL PREFABRICADO POR MALA APLICACIÓN DE LA NORMA NCH2369.2003



11° CONGRESO
NACIONAL



AEROPUERTO MERINO BENITEZ 2010



AEROPUERTO MERINO BENITEZ 2010 – ESTANQUE



CONCLUSIONES

- **EL ACERO HA TENIDO UN EXCELENTE COMPORTAMIENTO EN LOS ÚLTIMOS TERREMOTOS**

MUCHAS GRACIAS