

VALIDACIÓN DE FACTORES DE PROXIMIDAD A FALLAS ACTIVAS DEL REGLAMENTO INPRES CIRSOC 103-2018, UTILIZANDO FALLAS COMO FUENTES SÍSMICAS INDEPENDIENTES EN LA ESTIMACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN EL NORTE DE ARGENTINA

Fernández Campos, Luis M.
Ingeniero Civil, MSc Ingeniería Sísmica
Consultora Terra Risk
terraris.arg@gmail.com

RESUMEN

El objetivo general de este trabajo es caracterizar y estimar la peligrosidad sísmica en la zona norte de la República Argentina. Los resultados, proveen criterios para validar los factores de amplificación por proximidad de fallas sobre los espectros de diseño que propone el Reglamento INPRES CIRSOC 103-2018 Parte I, "Construcciones en General".

Para alcanzar este objetivo se desarrolló un completo estudio de peligrosidad sísmica utilizando un método clásico zonificado (MCZ) de la zona sísmica N°3 de Argentina, y un nuevo cálculo de peligrosidad utilizando un método híbrido que combina zonas y fallas como fuentes sísmicas (MH). Concluyendo que el criterio propuesto por la UBC-97 y adoptado por el Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018 es válido, en cuanto a extensión y zona de influencia de la falla.

ABSTRACT

The general objective of this study is to characterize and estimate seismic hazard in the northern region of the Argentine. The results provide criteria for validating the amplification factors due to fault proximity on the design spectra proposed by the INPRES CIRSOC 103-2018 Part I, "General Constructions."

To achieve this objective, a comprehensive seismic hazard assessment was conducted using both a classical zonation method (MCZ) for seismic zone No. 3 of Argentina and a novel hazard calculation employing a hybrid approach that integrates zones and faults as seismic sources (MH). Concluding that the criterion proposed by UBC-97 and adopted by the INPRES-CIRSOC 103 2018 Regulation is valid regarding the extent and zone of influence of the fault.

Organiza:

Introducción

En Argentina existen dos reglamentos de normativa sismorresistente que se pueden emplear en el norte de Argentina. Al ser un país federal, las provincias conservan todas las competencias no delegadas al momento de la formación de la Nación Argentina. Por esta razón, un reglamento de escala nacional es solo de aplicabilidad en todas las obras bajo órbita del estado nacional (p.e. Aeropuerto). Las obras bajo jurisdicción provincial solo están obligadas a regirse por esta normativa nacional si su respectivo estado provincial se adhiere a la misma. Esta particularidad hace que exista en todo el ámbito nacional un marco normativo heterogéneo.

Para las provincias del norte de Argentina se utiliza, por un lado, las Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes. Parte I, construcciones en general (1991) [1], que se conocen como Reglamento INPRES-CIRSOC 103 (Figura 1).



Figura 1 Reglamento INPRES CIRSOC-103 1991 [1]

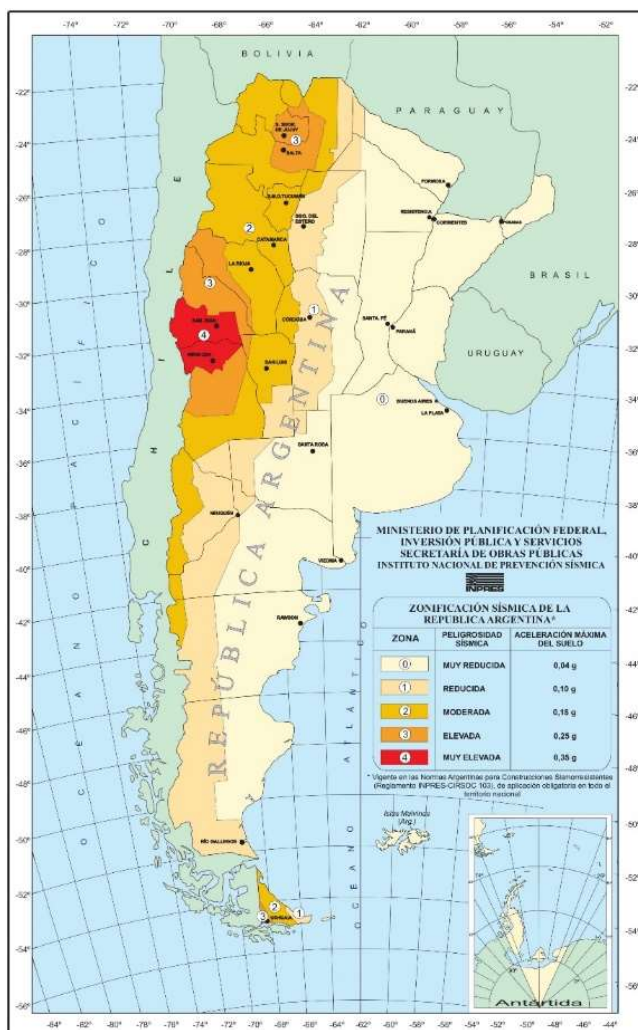


Figura 2. Reglamento INPRES CIRSOC-103 2018 [2]

Por otro lado, coexiste la versión del Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes. Parte I, Construcciones en general (2018) [2] (Figura 2). En este reglamento, más moderno y superador del anterior, en el Capítulo 3 “Espectros, acciones y combinaciones de diseño”, punto 3.5 “Espectros de diseño”, se presenta la forma de construcción de los espectros. La característica más importante de los espectros de este reglamento es que *“la influencia de la proximidad a fuentes sismogénicas (fallas) se considerara con los coeficientes N_a y N_v que modifican los espectros de diseño”* INPRES-CIRSOC 103 (2018). Esta inclusión surgió durante las etapas de discusión previas del reglamento con el deseo de *“incorporar los efectos de directividad para los sitios cercanos a fallas activas”* INPRES-CIRSOC 103 Comentarios Parte I (2018). La zonificación sísmica en todos los reglamentos no se modificó, es la misma desde 1983. Debido a que en la zonificación de la República Argentina existen tres zonas de nivel 3 de Peligrosidad Sísmica Elevada, la zona en

Organiza:

la que se centra este estudio, se identifica como Zona Sísmica sector Norte N°3 y se abrevia como ZSsN3 en todo el trabajo (Figura 3).



Mapa de Zonificación sísmica de la República Argentina

Figura 3. Zonificación sísmica de la República Argentina [2]

Cálculo espectro Método INPRES-CIRSOC 103 criterio UBC-97

La característica más importante de los espectros de este reglamento es que “la influencia de la proximidad a fuentes sismogénicas (fallas) se considerara con los coeficientes N_a y N_v que modifican los espectros de diseño” (INPRES-CIRSOC 103, 2018). El reglamento en sus comentarios deja constancia de que: “Teniendo en cuenta que, en el país, en general, no se encuentran ni identificadas ni catalogadas las fallas activas, se decidió, para las zonas sísmicas 4 y 3, incorporar los factores N_a y N_v , de acuerdo con el criterio del UBC-97 [3], con valores constantes y válidos para toda la zona. Esto da la posibilidad de que cada provincia o municipio, si realiza estudios de fallamiento activo, pueda incorporar los resultados, definiendo valores apropiados

Organiza:

para N_a y N_v en función de la distancia en la falla". Los factores N_a y N_v reflejan la sismicidad local de la región que tiene alta actividad sísmica. (Roger, 2001 [4]). Con este criterio para la elaboración de los espectros según INPRES-CIRSOC 103-2018, se utilizaron los valores $N_a=1$ y $N_v=1.2$. El factor N_a modifica el valor del índice C_a que está asociada a la elaboración del espectro con el punto de inicio de este y su valor máximo o plafón, el factor N_v modifica el valor del índice C_v que está asociado al periodo de inicio y final del plafón del espectro.

Espectro de diseño según Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018

El espectro de diseño según Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018, Capítulo 3. Espectros, acciones y combinaciones de Diseño, punto 3.5. Espectros De Diseño 3.5.1. Espectros de diseño para acciones horizontales para Estado Límite Último (ELU).

Los espectros de diseño elástico se establecen para cada zona sísmica en función de la clasificación del sitio. Las ordenadas S_a del espectro elástico de aceleración para acciones horizontales de diseño EH para una razón de amortiguamiento del 5% se definen por las siguientes expresiones:

$$S_a = C_a \cdot \left(1 + 1,5 \left(\frac{T}{T_1}\right)\right) \text{ para } T \leq T_1 \quad (1)$$

$$S_a = 2,5 \cdot C_a \text{ para } T_1 < T \leq T_2 \quad (2)$$

$$S_a = \frac{C_v}{T} \text{ para } T_2 < T \leq T_3 \quad (3)$$

$$S_a = C_v \cdot \frac{T_3}{T^2} \text{ para } T > T_3 \quad (4)$$

Tipo Espectral (sitio)	3	
	$a_s=0.25$	
	C_a	C_v
1 (S_A, S_B, S_C)	$0.29N_a$	$0.39N_v$
2 (S_D)	$0.32N_a$	$0.47N_v$
3 (S_E)	$0.35N_a$	$0.74N_v$

Tabla 1. Valores de a_s , C_a y C_v para Zona 3.

Según reglamento en todos los casos:

$$N_a=1 \quad N_v=1.2 \quad T_2 = \frac{C_v}{(2.5C)} \quad T_1=0.2T_2 \quad T_3 \text{ se obtiene de tabla}$$

Zona Sísmica	T_3 (s)
4	13
3	8
2	5
1	3

Tabla 2. Valor periodo T_3

Organiza:

Con las expresiones anteriores dibujamos los espectros para los tres tipos de suelo. (Figura 4).

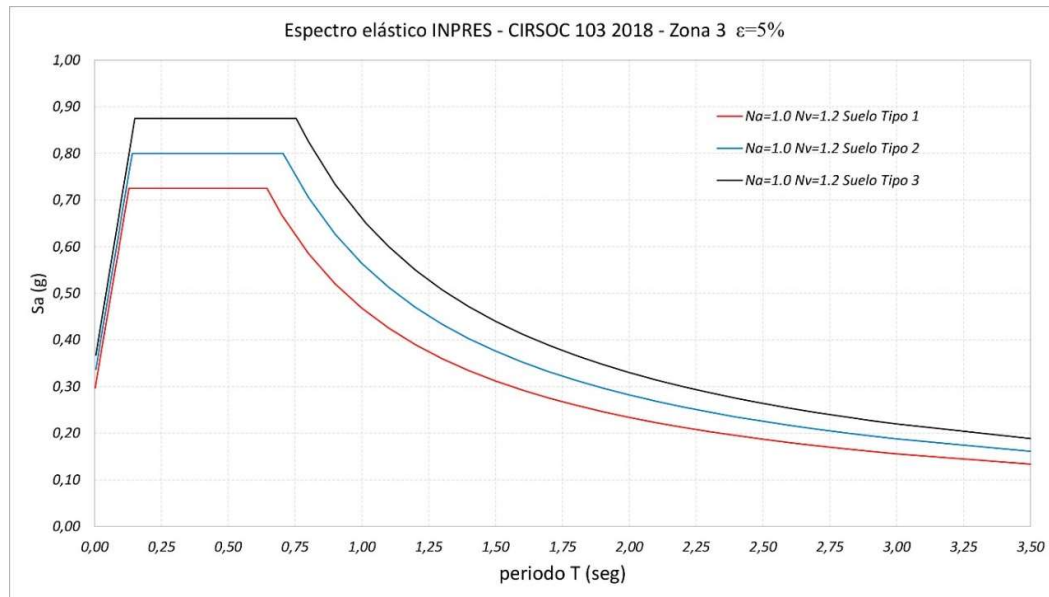


Figura 4. Espectro elástico según INPRES CIRSOC 103-2018. Zona 3.

Una primera observación de estos espectros para la ZSsN3 es que el valor de la aceleración máxima del suelo no es 0.25g como figura en el mapa de zonificación de Argentina (Figura 3), sino que parte de 0.29g para suelo tipo 1, 0.32g para tipo 2 y 0.35g para suelo blando tipo 3. Presentando aumentos del 16% al 40%.

Fallas como fuentes sismogénicas

La información de las trazas de algunas fallas activas de ZSsN3 (Figura 5) (Fernández Campos, 2022) [5] y (Benito Oterino & Fernández Campos, 2023) [6], y los datos de las fallas activas (Tabla 3) se utilizarán como insumos para clasificar las zonas sismogénicas y dibujar las áreas que el código UBC-97 considera para variar factores de cercanía y los espectros.

En los trabajos citados, utilizando los conceptos y formulación presentados por Rivas-Medina *et al.* (2018) [7], utilizando un modelo mixto o híbrido de zonas y fallas MH, se obtuvo mapas de peligrosidad con datos de aceleración de suelo o PGA (*Peak Ground Acceleration*). Se superpondrán ambos para comparar las áreas de influencia del UBC-97 con valores de PGA al modelizar fallas y observar su correspondencia.

Organiza:

Neotectonics atlas ID	Fault comon name	longitude [km]	depth [km]	dip [°]	width [km]	area [km ²]	slip-rate geodesic [mm/yr]	Mmax [Mw]
AR-138a1	Lomas de Olmedo	13,61	10	60	11,55	157,15	2,01	6,3
AR-138a2	Faul El Turco	21,55	10	60	11,55	248,84	2,01	6,6
AR-138a3		14,73	10	60	11,55	170,09	2,01	6,3
AR-351a1		23,34	7,5	60	8,66	202,13	2,66	6,6
AR-351a2	Fault Mojotoro	19,01	7,5	60	8,66	164,63	2,66	6,5
AR-351a3		31,36	7,5	60	8,66	271,59	2,66	6,8
AR-418c1		13,73	10	40	15,56	213,60	2,36	6,3
AR-418c2	Fault Pie de la	16,26	10	40	15,56	252,96	2,36	6,4
AR-418c3	Sierra del Gallo	10,40	10	40	15,56	161,80	2,36	6,1
AR-418b		8,81	10	40	15,56	137,06	2,54	6,0
AR-418a		18,73	10	40	15,56	291,39	2,54	6,5
AR-420	Fault El Galpón	25,03	15	60	17,32	433,53	2,18	6,7
AR-352	Fault Carabajal	15,74	3	60	3,46	54,52	3,66	6,4
AR-350	Fault Vaqueros	7,35	7,5	60	8,66	63,65	3,31	5,8
AR-349a1	Fault Medeiros	5,58	2,5	32	4,72	26,32	3,31	5,6
AR-349a2		3,47	2,5	32	4,72	16,37	3,31	5,3

Tabla 3. Datos de fallas modeladas en ZSSn3 Benito Oterino & Fernández Campos, 2023.[6]

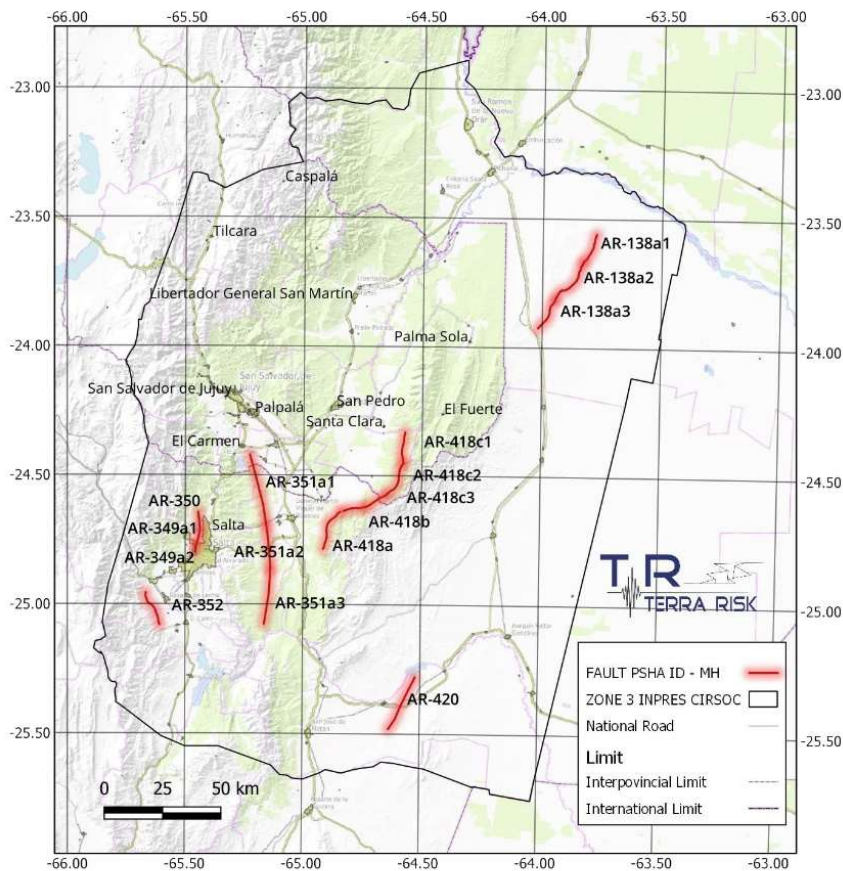


Figura 5. Mapa de fallas modeladas en ZSSn3 Benito Oterino & Fernández Campos, 2023.[6]

Organiza:

Espectro de respuesta según UBC-97

El UBC-97 o 1997 UNIFORM BUILDING CODE [3], en el apartado 1629.1 *Basis for Design*, se establecen las bases del diseño, procedimientos y limitaciones a tener en cuenta considerando las zonas sísmicas y las características del lugar o sitio. En el apartado 1629.4 *Site Seismic Hazard Characteristics* encontramos las definiciones y tabulaciones de los valores para caracterizar el riesgo sísmico. La zona sísmica se establece según mapa local, en este caso se utilizan las zonas sísmicas del Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018 (Figura 3). El factor de cercanía a la fuente de origen N_a esta caracterizado en la tabla 16-S, y de la tabla 16-T se obtiene el valor del coeficiente N_v que afecta al coeficiente sísmico por un factor de cercanía a la falla. (Tabla 4). El tipo de lugar o zona sismogénica se establece según tabla 16-U (Tabla 5).

TABLE 16-S—NEAR-SOURCE FACTOR N_r ¹

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE ^{2,3}		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

¹The Near-Source Factor may be based on the linear interpolation of values for distances other than those shown in the table.

²The location and type of seismic sources to be used for design shall be established based on approved geotechnical data (e.g., most recent mapping of active faults by the United States Geological Survey or the California Division of Mines and Geology).

³The closest distance to seismic source shall be taken as the minimum distance between the site and the area described by the vertical projection of the source on the surface (i.e., surface projection of fault plane). The surface projection need not include portions of the source at depths of 10 km or greater. The largest value of the Near-Source Factor considering all sources shall be used for design.

TABLE 16-T—NEAR-SOURCE FACTOR N_v ¹

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE ^{2,3}			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

¹The Near-Source Factor may be based on the linear interpolation of values for distances other than those shown in the table.

²The location and type of seismic sources to be used for design shall be established based on approved geotechnical data (e.g., most recent mapping of active faults by the United States Geological Survey or the California Division of Mines and Geology).

³The closest distance to seismic source shall be taken as the minimum distance between the site and the area described by the vertical projection of the source on the surface (i.e., surface projection of fault plane). The surface projection need not include portions of the source at depths of 10 km or greater. The largest value of the Near-Source Factor considering all sources shall be used for design.

Tabla 4. Tabla factores N_a y N_v según zona y distancia a la falla, fuente UBC-97 [3]

TABLE 16-U—SEISMIC SOURCE TYPE¹

SEISMIC SOURCE TYPE	SEISMIC SOURCE DESCRIPTION	SEISMIC SOURCE DEFINITION ²	
		Maximum Moment Magnitude, M	Slip Rate, SR (mm/year)
A	Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	All faults other than Types A and C	$M \geq 7.0$ $M < 7.0$ $M \geq 6.5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low rate of seismic activity	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

¹Subduction sources shall be evaluated on a site-specific basis.

²Both maximum moment magnitude and slip rate conditions must be satisfied concurrently when determining the seismic source type.

Tabla 5. Tabla zonificación tipo de fuente sísmica fuente UBC-97 [3]

N_a es un coeficiente para ajustar el espectro de diseño sísmico con el fin de tener en cuenta la mayor aceleración del suelo observada cerca de las fallas activas. Las fallas

Organiza:

se clasifican en diferentes tipos según su potencial sísmico (por ejemplo, tipo A para fallas con gran capacidad de generar terremotos grandes, Tabla 5).

N_v es un coeficiente de ajuste del espectro de diseño sísmico para periodos intermedios y largos, que tiene en cuenta la proximidad a una falla sísmica activa. Su propósito es ajustar la velocidad espectral, considerando que en las cercanías de fallas activas se pueden observar amplificaciones significativas en las velocidades del terreno.

Ambos provienen de estudios empíricos y observaciones realizadas en zonas cercanas a fallas sísmicas activas, donde se ha registrado una amplificación significativa de las aceleraciones sísmicas. Estos estudios se basan en una combinación de análisis de datos de terremotos reales y modelos teóricos que explican el comportamiento del suelo y las ondas sísmicas cerca de las fuentes de terremotos. Grandes terremotos como el de Northridge en 1994 y otros eventos significativos, como L'Aquila 2009, Emilia 2012 en Italia y más recientemente Turquía 2023 han mostrado que las estructuras cercanas a la falla experimentan aceleraciones superiores a las previstas por modelos de espectro de diseño estándar.

El valor de cada factor se obtiene en relación a la distancia del emplazamiento a la falla conocida. La UBC-97 define cuatro áreas para tomar distintos espectros y se considera como distancia cero desde la falla la zona que abarca la traza de la falla (punto A figura 6) hasta un punto que se obtiene como la proyección en superficie (punto B figura 6) de la intersección del plano de buzamiento de la falla con un plano horizontal a 10km de profundidad, identificado como punto C (Figura 6).

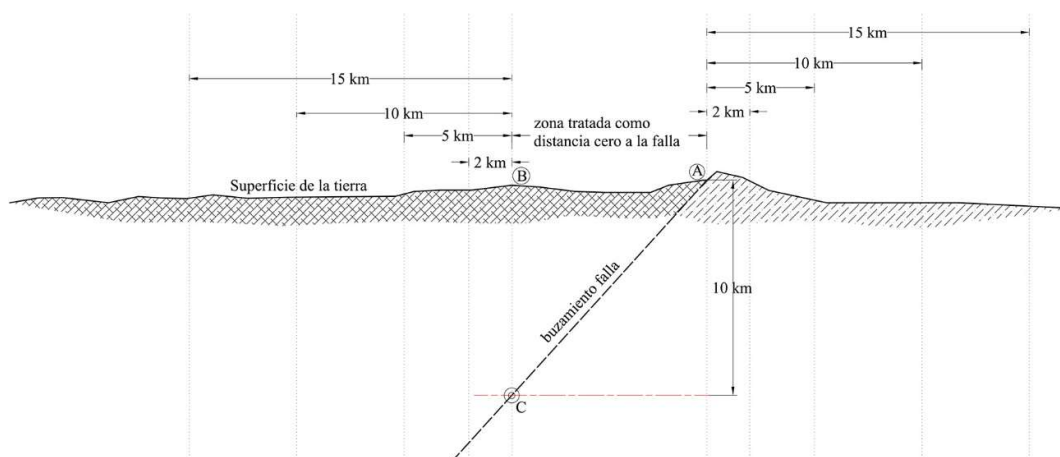


Figura 6. Definición distancia cero de falla y distancias a zona según UBC-97.

Para la ZSsN3, las fallas poseen una tasa de deslizamiento o slip-rate entre 2mm/año y 4mm/año lo que la ubica en una zona clase B (Tabla 5). Al mismo tiempo la magnitud del momento máximo que se utilizan concuerda con esta elección. Para el tipo B se utilizan los valores sugeridos por este código para distintas distancias a falla o zona de influencia.

Organiza:

En función de los valores tabulados se construirán dos espectros para observar su escalamiento, para distancias de 0 a 2 km de la fuente y de mayores de 2 a 5 km. Para valores mayores a 5 km no se dibujan teniendo en cuenta que estos valores son menores a los tomados como base en la INPRES-CIRSOC 103-2018, y que además el factor N_a no sufre modificación y este solo afecta el inicio del espectro y su plafón. (Tabla 6).

	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
N_a	1.30	1.00	1.00
N_v	1.60	1.20	1.00

Tabla 6 Valores N_a y N_v tabulados según UBC-97 zona clase B, en negrita valores establecidos por INPRES-CIRSOC 103-2018.

Con este criterio, utilizando las fórmulas (1), (2) y (3) el espectro superior se obtiene con valores $N_a=1.3$ y $N_v=1.6$ (línea punteada, color según tipo de suelo). El espectro inferior está elaborado con valores de $N_a=1.0$ y $N_v=1.2$ (línea llena, color según tipo de suelo). Este espectro inferior es coincidente con el valor base que presenta el reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018, y que fue tomado de la distancia de 5 km de la zona de falla para UBC-97. (Figura 7).

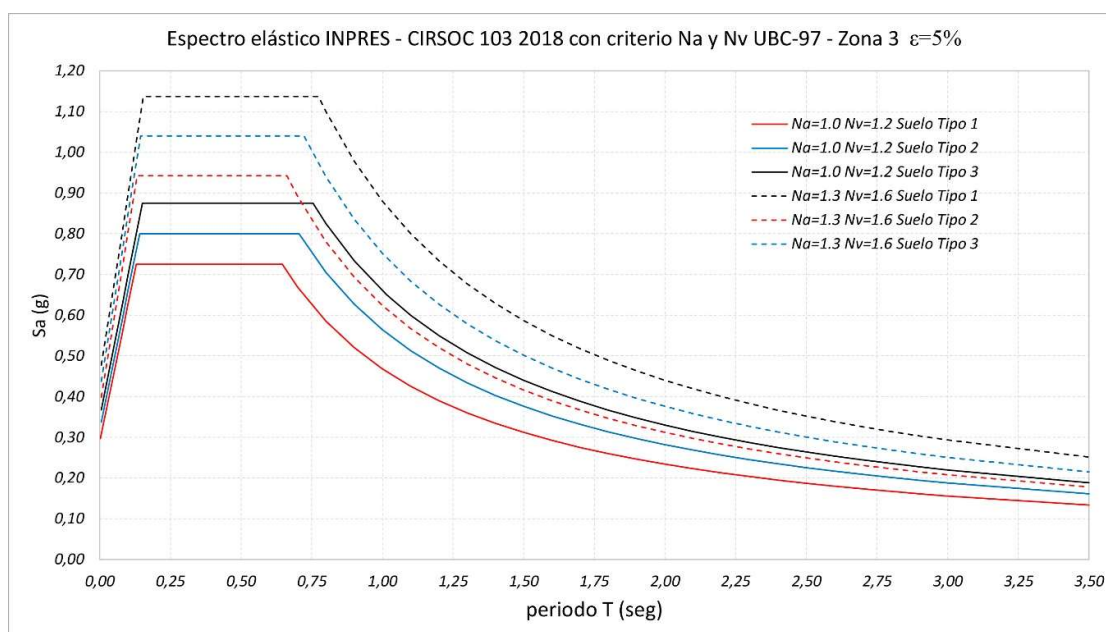


Figura 7 .Espectros INPRES CIRSOC 103-2018 según valor de N_a y N_v de UBC-97.

Organiza:

Una observación de estos espectros, para la ZSsN3 es que los espectros presentan un escalamiento del 30% para un mismo tipo de suelo.

Validación de factores criterio UBC-97

Con el fin de ver la extensión del área que se ve influenciada por la falla comparamos para un sector de la ZSsN3 (Figura 8) las curvas de distancia del emplazamiento a la falla conocida según UBC-97 para distancias de 0 a 2 km de la fuente, de 2 a 5 km, de 5 a 10 km y de 10 a 15km (Figura 8), con las isolíneas de aceleración que se obtiene con el método híbrido de zonas y fallas MH (Figura 9) tomadas de estudio de peligrosidad de Fernández Campos, (2022) [5] y (Benito Oterino & Fernández Campos, 2023) [6], para las mismas fallas.

El límite de 15km (línea amarilla Figura 9) coincide con el área límite en el MH a partir de la cual no se percibe influencia de la falla. Y el valor de la aceleración decae hasta valores similares a los encontrados como máximos de aceleración de suelo con el MCZ.

Dentro del área que define la proyección de la falla (línea negra Figura 9), situada dentro de la zona que el código UBC-97 define como zona de distancia cero, se observan las mayores aceleraciones del suelo con valores superiores a 1g.

Las áreas que el código UBC-97 considera para variar factores de cercanía y los espectros, tabuladas según las distancias vistas en Tabla 4 y que se observan en la Figura 9, se correlacionan con las isolíneas de aceleración que se obtienen con el MH (Figura 8) descripto anteriormente. El solape de ambos se puede apreciar en la Figura 10, donde las aceleraciones de suelo o PGA se observan como degradado de color.

La zona que el código UBC-97 considera como fuente sismogénica y la que define la distancia cero de la falla (Figura 6), es el sector donde se producen los picos de aceleración de suelo según el mapa de peligrosidad con MH, de color rojo en la Figura 10.

Podemos observar que el criterio propuesto por la UBC-97 y adoptado por el Reglamento INPRES-CIRSOC 103 2018 es muy válido, en cuanto a extensión y zona de influencia de la falla.

El efecto de incluir fallas como fuentes sismogénicas en cálculos de peligrosidad, se aprecia al comparar los espectros de peligrosidad para las ciudades con fallas cercanas. Para la ciudad de Salta, la cual en su cercanía cuenta con varias fallas relevadas, el espectro UHS (*Uniform Hazard Spectra*) deducido con la metodología MCZ queda contenido por el espectro del Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018 con valores de $N_a=1$ y $N_v=1.2$. Sin embargo, el espectro obtenido según el método MH es notablemente más alto que el espectro del Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018, para $N_a=1$ y $N_v=1.2$ y también para $N_a=1.3$ y $N_v=1.6$ en el rango de periodos cortos inferiores aproximadamente a 0.5 s. El espectro aquí obtenido es cubierto por los espectros del reglamento para las dos combinaciones de N_a y N_v en el rango de periodos mayores (color rojo Figura 11).

Organiza:

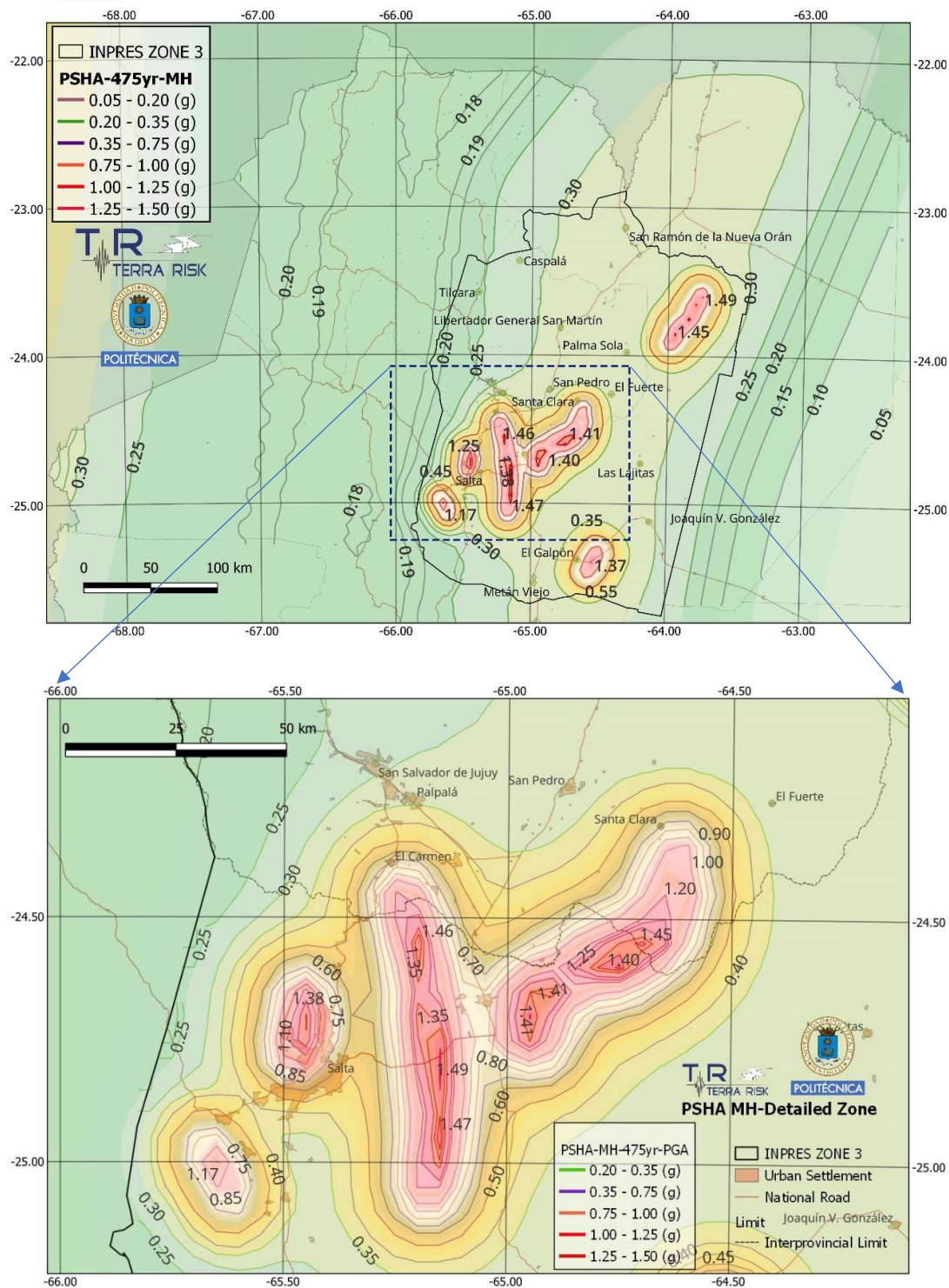


Figura 8. Isolíneas de aceleración método híbrido de zonas y fallas MH. Detalle de zona.[6]

Organiza:

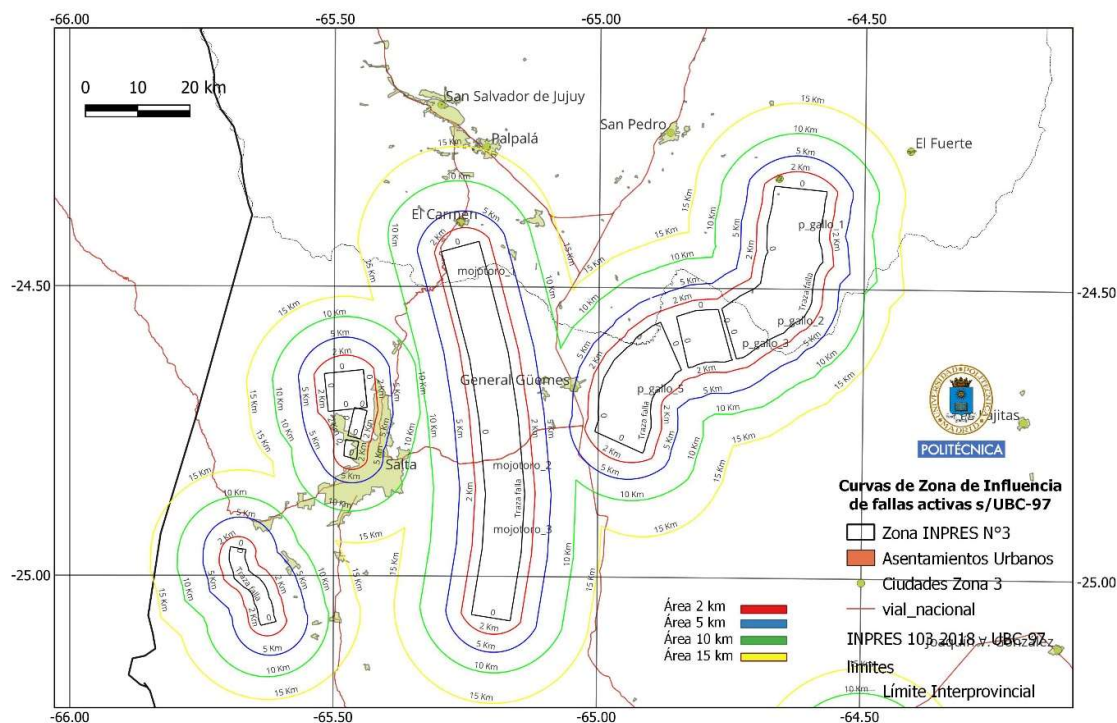


Figura 9. Áreas de influencia según UBC-97 [5]

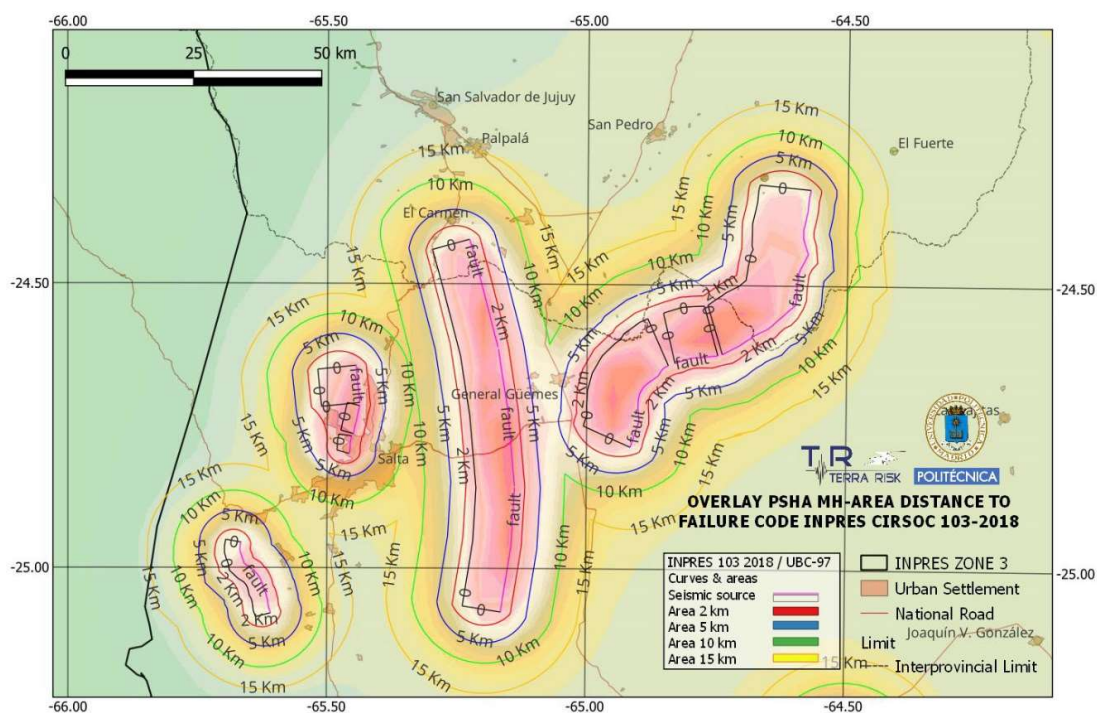


Figura 10. Solape curvas UBC-97 sobre mapa PSHA MH.[6]

Organiza:

Esta situación es consecuente con lo expresado por Alhan y Sürmeli (2015) [8] donde observaron que los factores utilizados en el UBC-97 podrían no ser adecuados para edificios considerados como no tan altos ubicados en inmediaciones de una falla. Además, encontraron que, para distancias entre 5 y 15 km, cuando el factor $N_a=1$ el espectro UBC-97 también es inadecuado. También Jalili *et al.* (2022) [9], concluyeron que para periodos menores a 0.5s para sitios cercanos a fallas y distancias menores a 7km, los espectros no son conservadores y sugieren el incremento de los valores.

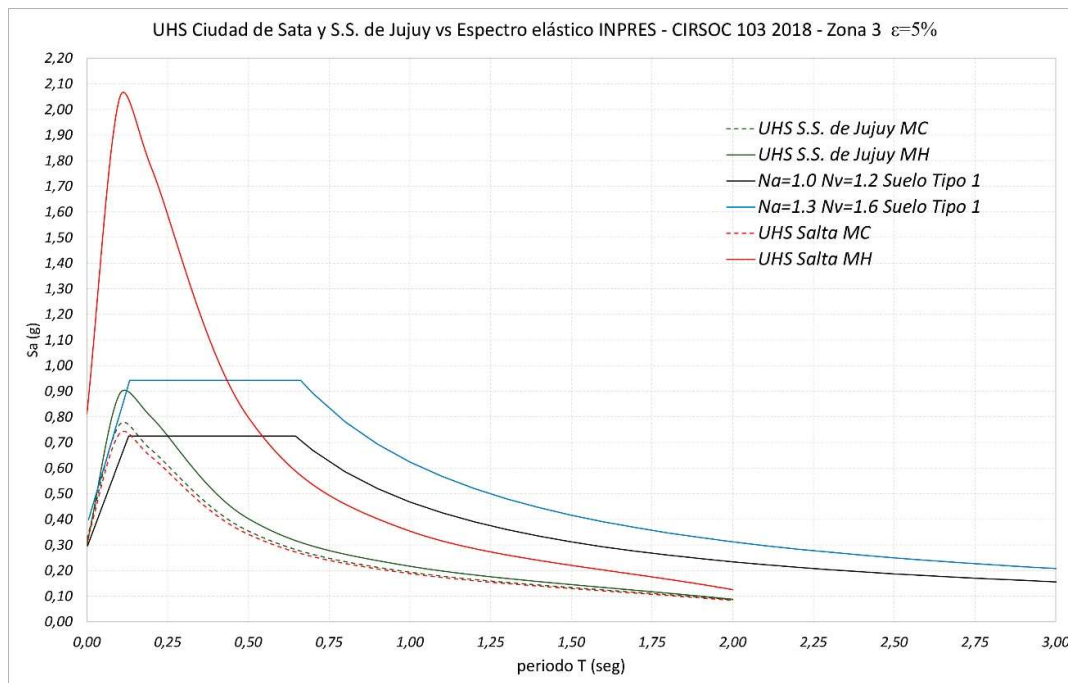


Figura 11. Espectro reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018 y curvas UHS.

Un caso particular es la ciudad de San Salvador de Jujuy, esta tiene varias fallas en la cercanía, siendo la falla de Los Alisos la más cercana. Pero estas fallas solo cuentan con datos de traza, no se cuenta con mayor información y no se puede utilizar para modelarlas como fuentes sismogénicas, por lo que los espectros de UHS con las dos metodologías, MCZ y MH, no presentan variaciones significativas (color verde en Figura 11).

Se observa en la Tabla 3 que las magnitudes máximas del modelo de falla como fuente sismogénica en las cercanías de la ciudad de Salta, falla Vaqueros y fallas Mediros son inferiores a 6 Mw. Y en relación a las características de estos tipos de sismos, Maniatakis *et al.* (2008) [10] compararon las características de los registros sísmicos obtenidos para fallas cercanas en Grecia de magnitud $M_w < 6$, con registros internacionales del mismo tipo. Observaron que la posibilidad de un potencial daño severo está relacionado con las características de la fuente cercana como la directividad y la polarización. Concluyeron que los terremotos de magnitud moderada

Organiza:

deben ser tenidos en cuenta e instaron a realizar más investigaciones destinadas a analizar los efectos de sismos cuyo origen son fallas cercanas.

Observando la evidencia de efectos de fallas cercanas por terremotos con magnitudes inferiores a 6,5 (como los sismos de Mw 6,3 L'Aquila y Mw 5,9 Emilia), Grimaz y Malisan (2014) [11] concluyeron: "Los análisis realizados destacan que podría haber una deficiencia de seguridad si los efectos sísmicos de campo cercano no se consideran en el diseño sísmico. Por esta razón, los autores sugieren considerar el aumento de la demanda sísmica en los dominios potenciales de campo cercano, introduciendo el concepto de "contribución potencial del área epicentral al peligro PEACH", directamente asociado a las características específicas de la fuente sismogénica".

"Es ampliamente aceptado que el daño más severo de la actividad del terremoto se localiza en una región cercana a la falla causante, conocida como la región de "fuente cercana". La amplitud de aceleración esperada del movimiento del suelo está fuertemente relacionada con la profundidad focal de terremotos de magnitud pequeña a moderada en distancias cortas desde la fuente (Hall et al., 1995 en Maniatakis et al. 2008 [10]).

Como resumen de este último apartado podemos decir que los espectros deducidos cuando incluimos modelizaciones de fallas como fuentes independientes, siguiendo un método MH, superan a los del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 (2018), aun cuando éste considere factores de proximidad a la falla por medio de los coeficientes N_a y N_v , para periodos cortos inferiores a 0.5 s aproximadamente. Los espectros del reglamento para las dos combinaciones propuestas de N_a y N_v resultan solo conservadores para periodos superiores a 0.5 s. Los espectros deducidos al no considerar modelización de fallas y emplear únicamente modelos de zonas, siguiendo el método MCZ son cubiertos por los espectros del Reglamento.

La inclusión en el Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018, de coeficientes que modifican el espectro de diseño de acuerdo a la distancia a fallas activas, es un paso muy importante que busca disminuir la vulnerabilidad de las nuevas construcciones. Estimar un incremento de intensidad sísmica teniendo en cuenta la presencia cercana de fallas utilizando el criterio de la UBC-97 es utilizado en otros códigos como recurso para modificar el espectro de respuesta y adaptarlo a los aumentos de demanda en las cercanías de fallas activas. Podemos citar en América el código de Guatemala NSE-2018 [12] como ejemplo o en Asia donde es más común su utilización el NSCP-2015 de Filipinas [13] el SNI 1726:2019 de Indonesia [14] o Syrian Seismic Code 2004 [15]. Utilizando esta filosofía el código de Nueva Zelanda NZS 1170.5:2004 [16] considera un factor para modificar el espectro en relación a la distancia a la falla, para distancias menores a 20km, en relación al periodo T en segundos, al igual que lo hace las Standard N°2800-2005 de Irán [17].

En resumen, la utilización de estos coeficientes está científicamente fundamentado en observaciones empíricas de terremotos pasados y modelos teóricos que explican cómo las aceleraciones del suelo se amplifican cerca de fallas activas. Estos factores permiten a los ingenieros diseñar estructuras con una mejor estimación de las cargas sísmicas esperadas, aumentando así la resiliencia y seguridad de las construcciones en zonas sísmicamente activas.

Organiza:

Conclusiones

A la luz de los resultados mostrados se concluye que los factores de amplificación por proximidad de fallas sobre los espectros de diseño que propone el Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018 Parte I, Construcciones en General, son muy validos en extensión y deberían ajustarse en lo relacionado a su amplitud para periodos menores a 0.5 segundos. Justificado en valores obtenidos en este trabajo y en otros trabajos citados. Es imprescindible la utilización de valores superiores a los sugeridos por el reglamento INPRES-CIRSOC 103-2018 para construcciones, instalaciones y equipamientos que cumplen funciones esenciales, y construcciones o instalaciones cuyo colapso tiene gran repercusión debido a la ocupación o el uso (Clasificadas como Grupo A₀ y A en el citado reglamento), que estén emplazados en la cercanía a fallas.

El aumento en cantidad y densificación de redes acelerométricas en países de alta sismicidad, como Italia o Turquía, ha posibilitado el registro de aceleraciones para eventos corticales con distancias cortas a su epicentro y los registros obtenidos han superado los espectros de la normativa vigente, impulsando un cambio de paradigma y readecuándolos.

La sismicidad histórica de la zona norte de Argentina, y algunos sismos de los últimos 50 años como el terremoto de Santa Clara (Jujuy-19/11/1973) 5.9 Mw, Orán (Salta-22/03/2004) 5.8 Mw, Yuto (Jujuy-06/11/2009) 5.5 Mw, Campo Quijano (Salta-27/02/2010) 6.3Mw, El Fuerte (Jujuy-06/10/2011) 5.9 Mw, El Galpón (Salta-17/10/2015) 5.8 Mw, Yuto (Salta-29/11/2015) 5.5 Mw, Humahuaca (Jujuy- 26/11/2021) 5.8 Mw y Trancas (Salta-10/01/2022) 5.6 Mw, nos instan a mejorar la calidad de información disponible y utilizar los modelos existentes de las reglas del arte para modelizar y proponer ajustes y modificaciones a la reglamentación vigente.

El primer paso es el aumento en la instalación de sensores en nuestro territorio. En esto el Instituto Nacional de Prevención Sísmica es un actor sustancial, es necesario fortalecer las herramientas de adquisición de registros sismológicos de instituciones públicas y privadas para aumentar la cantidad y calidad de información. Recordando que la elaboración de los coeficientes presentados inicialmente en las UBC-97, se nutrieron recopilando y analizando datos, durante varios años de acelerogramas de terremotos significativos, observando que las aceleraciones del suelo son considerablemente más altas en las proximidades de fallas activas.

Es menester crear grupos interdisciplinarios para relevar y analizar fallas corticales, la información existente es limitada sin precisión en cuanto a geometría y tasas de deslizamiento.

En definitiva, mejorar la información de base para la aplicabilidad del reglamento y toma de decisiones. Este trabajo pretende ser un aporte en el conocimiento de las posibles caracterices de los movimientos sísmicos, y disminuir incertidumbres en la obtención de las acciones sísmicas en busca de diseños resilientes.

Organiza:

Agradecimientos:

Especial agradecimiento a la Dra Belén Benito Oterino, por sus valiosos aportes como directora de la tesis del autor en el Master de Ingeniería Sísmica, Dinámica de Suelos y Estructuras. La Dra Benito Oterino es investigadora de Sismología, Peligrosidad Sísmica y Riesgo Sísmico. Y coordinadora del grupo de Investigación de Ingeniería Sísmica en la ETSI de Topografía, Geodesia y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid.

Referencias

- [1] INPRES CIRSOC 103-1991. Normas Argentinas Para Construcciones Sismorresistente. Parte I. Construcciones en General. S.S.O. y S.P. N°18/91. Argentina.
- [2] INPRES CIRSOC 103-2018. Reglamento Argentino Para Construcciones Sismorresistente. Parte I. Construcciones en General. INTI.2018. Argentina.
- [3] UBC-97. Uniform Building Code. (1997). Volume 2. Chapter 16. Structural Design Requirements. 1601.1605.2.1. International Conference of Building Officials, Whittier, CA.
- [4] Roger, Julio. (2001). Linear Static Seismic Lateral Force Procedures. In: Naeim, F. (eds) The Seismic Design Handbook. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1693-4_5.
- [5] Fernandez Campos, Luis (2022). Estimación de la peligrosidad sísmica en el norte de Argentina, modelizando fallas como fuentes sísmicas independientes. Validación de factores de proximidad a fallas activas. Tesis Maestría, Universidad Politécnica de Madrid. España. <https://oa.upm.es/73241/>
- [6] Benito Oterino, M., Fernández Campos, L. M. (2023). Estimation of Seismic Hazard in Northern Argentina, Combining Faults and Zones Hazard Estimations (PSHA). Validation of Proximity Factors to Active Faults of the Argentine Seismic Code Inpres-Cirsoc 103. Opportunities and Challenges in Source Modeling for Seismic Hazard Analysis [Poster]. 2023 Annual Meeting Seismological Society of America Technical Sessions 17–20 April. San Juan, Puerto Rico
- [7] Rivas-Medina, A. & Benito, Belén & Gaspar-Escribano, Jorge. (2018). Approach for combining fault and area sources in seismic hazard assessment: Application in south-eastern Spain. Natural Hazards and Earth System Sciences. 18. 2809-2823. 10.5194/nhess-18-2809-2018.
- [8] Alhan, Cenk & Sürmeli, Melih. (2015). Necessity and adequacy of near-source factors for not-so-tall fixed-base buildings. Earthquake Engineering and Engineering Vibration. 14. 13-26. 10.1007/s11803-015-0003-8.
- [9] Jalili, Javad & Mahood, Majid & Shafiee, Ali. (2022). Evaluation of near-fault effects on the general code spectrum of the Iranian code of practice for seismic-resistant design of buildings, case study: Tehran. Journal of Seismology. 26. 1-22. 10.1007/s10950-022-10115-7.
- [10] Maniatakis, Charilaos & Taflampas, Ioannis & Spyarakos, Constantine. (2008). Identification Of Near-Fault Earthquake Record Characteristics. Conference: The 14th World Conference on Earthquake EngineeringAt: Beijing, China
- [11] Grimaz, Stefano & Malisan, Petra. (2014). Near field domain effects and their consideration in the international and Italian seismic codes. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata. 55. 717-738. 10.4430/bgta0130.
- [12] NSE 2-2018. Normas de Seguridad Estructural para Guatemala Demandas estructurales y condiciones de sitio. NSE 2 Edición 2018. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, AGIES
- [13] National Structural Code of the Philippines (NSCP)-2015.
- [14] SNI 1726:2019 - Seismic Resistance Design of Buildings Indonesia.2019.

Organiza:

[15] Syrian Seismic Code 2004. The original Code is in Arabic and it has been translated to English by Eng. Hussam Eldein Zaineh, National Earthquake Center (NEC).

[16] NZS 1170-5 (S1) (2004) (English): Structural design actions - Part 5: Earthquake actions - New Zealand Commentary [By Authority of New Zealand Structure Verification Method B1/VM1]

[17] Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard N°2800, 3rd ed., Building and housing research center (BHRC), (2005).

Bibliografía

Este trabajo presentado en la 28° Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, es una ampliación de unos de los productos de la tesis de Maestría, en:

Fernandez Campos, Luis (2022). Estimación de la peligrosidad sísmica en el norte de Argentina, modelizando fallas como fuentes sísmicas independientes. Validación de factores de proximidad a fallas activas. Tesis Maestría, Universidad Politécnica de Madrid. España. <https://oa.upm.es/73241/>

Un resumen de los resultados de la tesis fue presentado en la Reunión Anual de la Sociedad Sismológica de América SSA, formato poster en las Sesiones Técnicas. San Juan, Puerto Rico 2023, en:

Benito Oterino, M., Fernández Campos, L. M. (2023). Estimation of Seismic Hazard in Northern Argentina, Combining Faults and Zones Hazard Estimations (PSHA). Validation of Proximity Factors to Active Faults of the Argentine Seismic Code Inpres-Cirsoc 103. Opportunities and Challenges in Source Modeling for Seismic Hazard Analysis [Poster]. 2023 Annual Meeting Seismological Society of America Technical Sessions 17–20 April. San Juan, Puerto Rico

Organiza: