

ARTÍCULO TÉCNICO · INGENIERÍA SÍSMICA

No fue la magnitud: fue el suelo

Lectura de los espectros de respuesta registrados en Pereira durante el sismo del Chocó del 10 de agosto de 2026 y su contraste con los espectros de diseño de la NSR-10 y la microzonificación sísmica local

Código del documento	AVE-ART-EST-001-2026
Versión	01 — Emisión inicial
Fecha de emisión	26 de agosto de 2026
Ciudad	Pereira, Risaralda — Colombia
Especialidad	Ingeniería estructural — Análisis y diseño sismo resistente
Marco normativo	NSR-10 (Títulos A y H) · ASCE 7 · Microzonificación sísmica de Pereira
Naturaleza	Documento de divulgación y análisis técnico. No constituye estudio de amenaza sísmica particular, microzonificación, ni certificación de habitabilidad.

Síntesis en una frase

Un sismo de magnitud 7,4 a 103 km de profundidad produjo en Pereira aceleraciones del suelo moderadas —entre 0,18 g y 0,29 g—, pero tres estaciones separadas por menos de cuatro kilómetros amplificaron esa señal de forma radicalmente distinta, alcanzando demandas espectrales de hasta 1,30 g y superando en algunos rangos de periodo el espectro de diseño de la NSR-10 en más de un 60 %. Lo que determinó el daño no fue la magnitud del sismo, sino la coincidencia entre el periodo del suelo y el periodo de la edificación.

CONTENIDO

1. Resumen ejecutivo	3
2. El evento sísmico del 10 de agosto de 2026	3
2.1 Parámetros de la fuente.....	3
2.2 Por qué un sismo profundo se comporta distinto	4
3. Conceptos fundamentales para el lector no especializado	5
3.1 La escala de Richter mide el sismo, no el temblor que usted sintió	5
3.2 La cadena de cuatro eslabones	5
3.3 El perfil de suelo: el amplificador que nadie ve	5
3.4 Qué es un espectro de respuesta	6
4. La red acelerográfica de Pereira y los registros obtenidos	7
5. Análisis de los espectros de respuesta registrados	7
5.1 Parámetros espectrales medidos	7
5.2 CPER4 — sector occidental	8
5.3 CPER5 — sector suroccidental	8
5.4 CPER6 — sector centro-oriental.....	8
6. Contraste con los espectros de diseño de la NSR-10.....	9
6.1 Construcción del espectro normativo para Pereira	9
6.2 Relación demanda registrada / demanda de diseño	10
6.3 Cómo debe interpretarse una excedencia	11
7. El papel de la microzonificación sísmica	13
7.1 Qué es y por qué existe	13
7.2 Lo que los registros de 2026 aportan a la microzonificación	13
8. Implicaciones para el parque edificado de Pereira	14
9. Alcance y limitaciones del análisis.....	15
10. Conclusiones.....	15
11. Recomendaciones	16
11.1 Para propietarios y administraciones de copropiedades.....	16
11.2 Para profesionales del diseño estructural.....	16
11.3 Para la autoridad municipal y entidades técnicas	16
12. Referencias	17
Suscripción profesional	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros del evento sísmico y su geometría respecto de Pereira	3
Tabla 2. Clasificación de perfiles de suelo según NSR-10, Tabla A.2.4-1	6
Tabla 3. Aceleraciones máximas del terreno (PGA) registradas, en gales.....	7
Tabla 4. Parámetros espectrales por estación	7
Tabla 5. Parámetros del espectro elástico NSR-10 para Pereira	9
Tabla 6. Cociente entre demanda registrada y demanda de diseño (perfil D)	10
Tabla 7. Correlación entre bandas de periodo, tipologías y estación crítica.....	14

ÍNDICE DE FIGURAS



Figura 1. Envolventes registradas vs. espectros elásticos NSR-10 para Pereira	10
Figura 2. Comparación por estación: demanda registrada vs. demanda de diseño	11
Figura 3. Amplificación espectral normalizada (S_a/PGA) por estación	11

1. Resumen ejecutivo

El 10 de agosto de 2026, a las 07:34:27 hora local, un sismo de magnitud 7,4 con epicentro en cercanías de San José del Palmar (Chocó) y profundidad focal de 103 km sacudió el occidente colombiano. Pereira, ubicada a unos 70 km del epicentro en planta pero a unos 124 km del foco en línea recta, resultó una de las ciudades con mayor concentración de víctimas y daño en edificaciones, pese a no ser la más próxima al epicentro.

Este documento analiza los espectros de respuesta elásticos (5 % de amortiguamiento) obtenidos en tres estaciones acelerográficas del casco urbano de Pereira —CPER4, CPER5 y CPER6— junto con la estación de referencia CBOCA. El objetivo es doble: explicar, en lenguaje accesible para lectores no especializados, por qué la magnitud de un sismo describe muy poco de lo que ocurre en una edificación concreta; y establecer, con rigor técnico, cómo se comparan las demandas realmente registradas con los espectros de diseño que la NSR-10 y la microzonificación sísmica prescriben para la ciudad.

Los hallazgos principales son cuatro. Primero, la aceleración máxima del terreno (PGA) en Pereira fue moderada: entre 0,18 g y 0,29 g en las componentes horizontales. Segundo, la amplificación espectral —la relación entre la aceleración que sufre una edificación y la que sufre el suelo— alcanzó valores entre 4,2 y 4,9, muy por encima del factor 2,5 que la NSR-10 adopta implícitamente. Tercero, las tres estaciones, separadas entre sí por menos de cuatro kilómetros, presentan periodos predominantes marcadamente distintos: 0,14 s en CPER4, 0,50 s en CPER5 y 0,57–0,70 s en CPER6, lo que evidencia una respuesta de sitio fuertemente heterogénea. Cuarto, en las estaciones CPER5 y CPER6 la demanda registrada superó el espectro elástico de diseño para perfil de suelo tipo D en factores de 1,53 y 1,61 respectivamente, dentro de la banda de periodos de 0,45 s a 0,90 s.

La conclusión de política pública es directa: la banda de periodos donde se concentró el exceso de demanda corresponde a edificaciones de aproximadamente cuatro a nueve pisos en pórticos de concreto reforzado, tipología dominante en el crecimiento urbano de Pereira de las últimas tres décadas. Los registros de este evento constituyen el primer conjunto de datos de movimiento fuerte disponible para la ciudad y deben incorporarse de manera prioritaria a la actualización de la microzonificación sísmica.

2. El evento sísmico del 10 de agosto de 2026

2.1 Parámetros de la fuente

El sismo fue clasificado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) como un evento intraplaca profundo o intraslab: no se originó en una falla de la corteza continental, sino en el interior de la placa de Nazca, que se hunde (subduce) bajo la placa Suramericana. Esta distinción no es un detalle académico; gobierna buena parte de lo que ocurrió después.

Tabla 1. Parámetros del evento sísmico y su geometría respecto de Pereira

Parámetro	Valor reportado
Fecha y hora local	10 de agosto de 2026 — 07:34:27 (UTC–5)
Magnitud	7,4 Mw (magnitud de momento)
Epicentro	≈ 4,99° N / 76,29° O — a unos 12 km de San José del Palmar, Chocó
Profundidad focal	103 km (SGC); 107–110 km (USGS)
Mecanismo	Intraplaca profundo (intraslab), placa de Nazca
Distancia epicentral a Pereira	≈ 70 km (proyección horizontal)
Distancia hipocentral a Pereira	≈ 124 km (distancia real al foco)
Réplicas destacadas (primeras horas)	M 4,8 y M 3,8

La aritmética de la última fila merece una pausa. La distancia hipocentral se obtiene como la hipotenusa del triángulo formado por la distancia epicentral y la profundidad:

$$R_{\text{hip}} = \sqrt{(70^2 + 103^2)} \approx 124 \text{ km}$$

Es decir: aunque en el mapa Pereira aparece a 70 km del epicentro, la energía sísmica recorrió realmente unos 124 km antes de llegar. La profundidad domina la geometría. Y a esa distancia, la atenuación —la pérdida de energía de las ondas al viajar por la corteza— ya es considerable, lo que explica que las aceleraciones registradas fueran moderadas pese a la enorme magnitud del evento.

2.2 Por qué un sismo profundo se comporta distinto

Un sismo somero de magnitud moderada bajo una ciudad puede ser devastador en un radio pequeño; un sismo profundo de gran magnitud reparte su energía sobre un área mucho más extensa, con aceleraciones pico menores pero duraciones mucho más largas y una capacidad de excitar edificaciones lejanas que un evento superficial no tiene. El sismo del 10 de agosto se sintió en Venezuela, Ecuador y Panamá.

La duración es la variable silenciosa. Un movimiento de 0,25 g durante ocho segundos y uno de 0,25 g durante cincuenta segundos no son el mismo evento para una estructura: el segundo acumula muchos más ciclos de



deformación inelástica, degrada la rigidez, agota la capacidad de disipación de energía y puede llevar al colapso elementos que habrían sobrevivido al primero. Los eventos intraslab profundos, además, suelen presentar caídas de esfuerzo elevadas, lo que enriquece su contenido de alta frecuencia respecto de los sismos de interfase de subducción.

Comparación instructiva: 1999 frente a 2026

El terremoto del Eje Cafetero del 25 de enero de 1999 tuvo magnitud 6,2 —unas 150 veces menos energía liberada que el evento de 2026— y sin embargo produjo del orden de 1.200 víctimas fatales. La diferencia estuvo en la profundidad y la localización: aquel sismo se originó a pocos kilómetros bajo un área densamente poblada, con distancias hipocentrales de apenas 20 a 30 km. El de 2026, con muchísima más energía, tuvo que enviarla desde 124 km de distancia.

Este contraste es la demostración empírica de la tesis central de este documento: la magnitud, por sí sola, no predice el daño.

3. Conceptos fundamentales para el lector no especializado

Esta sección puede ser omitida por lectores con formación en ingeniería sísmica. Su propósito es hacer legible el resto del documento para propietarios, administradores, funcionarios y periodistas.

3.1 La escala de Richter mide el sismo, no el temblor que usted sintió

Existe una confusión extendida y comprensible. La escala de Richter —hoy en desuso técnico, reemplazada por la magnitud de momento M_w en todos los reportes oficiales del SGC y del USGS— asigna un número único a todo el evento. Ese número describe cuánta energía se liberó en la ruptura de la falla. Es una propiedad de la fuente, no del lugar donde usted estaba.

Una analogía útil: la magnitud es la potencia del amplificador de un concierto. Un amplificador de 10.000 vatios no le garantiza a nadie que va a quedar sordo. Depende de qué tan lejos esté del escenario, de si hay paredes de por medio, de la acústica del recinto y —crucialmente— de si la frecuencia que emite coincide con la resonancia del salón donde usted se encuentra. La magnitud es solo el primer eslabón.

La escala, además, es logarítmica: cada punto de magnitud representa aproximadamente 32 veces más energía liberada. Un sismo 7,4 no es un 20 % peor que uno 6,2; libera unas 150 veces más energía. Y aun así, como se vio, puede producir menos daño.

3.2 La cadena de cuatro eslabones

Lo que finalmente le ocurre a una edificación es el producto de cuatro factores encadenados. Fallar en entender esto es la raíz de casi todos los malentendidos públicos sobre sismos.

- **Fuente.** Cuánta energía se libera y con qué contenido de frecuencias. Aquí interviene la magnitud, el mecanismo de falla y la profundidad.
- **Trayecto.** Cuánta de esa energía sobrevive el viaje. Depende de la distancia hipocentral y de las propiedades de la corteza atravesada. Las ondas de alta frecuencia se atenúan más rápido que las de baja frecuencia.
- **Sitio.** Cómo el suelo local modifica la señal que llega desde la roca. Este es el eslabón que la mayoría de la gente desconoce y el que, en Pereira, resultó determinante.
- **Estructura.** Cómo responde el edificio a esa señal ya modificada. Depende de su periodo fundamental, su ductilidad, su regularidad y su estado de conservación.

3.3 El perfil de suelo: el amplificador que nadie ve

Cuando una onda sísmica llega desde la roca profunda a un depósito de suelo blando en superficie, ocurre un fenómeno análogo al de una ola que entra a una bahía poco profunda: se frena y crece en amplitud. La energía se conserva, pero al reducirse la velocidad de propagación aumenta el desplazamiento. Un depósito de ceniza volcánica de 30 metros de espesor puede duplicar, triplicar o cuadruplicar la aceleración que llegó desde la roca.

Pero la amplificación no es igual para todas las frecuencias. Cada depósito de suelo tiene un periodo natural de vibración, gobernado aproximadamente por su espesor y la velocidad de onda de corte del material:

$$T_{\text{suelo}} \approx 4 \cdot H / V_s$$

donde H es el espesor del depósito y V_s la velocidad de onda de corte. Un depósito de 30 m con $V_s = 240$ m/s tiene un periodo de 0,50 s. Cuando la señal sísmica llega, ese depósito amplifica selectivamente las vibraciones cercanas a 0,50 s y deja pasar casi sin alterar las demás. El suelo actúa como un filtro sintonizado.

La NSR-10 clasifica los suelos en seis perfiles (A, B, C, D, E y F) según la velocidad de onda de corte promedio de los 30 metros superiores, parámetro conocido como V_{s30} :

Tabla 2. Clasificación de perfiles de suelo según NSR-10, Tabla A.2.4-1

Perfil	V_{s30} (m/s)	Descripción típica
A	> 1.500	Roca dura, competente
B	760 – 1.500	Roca de rigidez media
C	360 – 760	Suelos muy densos o roca blanda
D	180 – 360	Suelos rígidos a medianamente rígidos
E	< 180	Suelo blando; o perfil con más de 3 m de arcilla blanda
F	—	Suelos con requerimiento de evaluación particular de sitio (licuables, orgánicos, arcillas de alta plasticidad, rellenos)

A menor V_{s30} , mayor amplificación y mayor periodo predominante. Dos edificios idénticos, uno sobre perfil C y otro sobre perfil D a doscientos metros de distancia, pueden experimentar el mismo sismo de maneras completamente distintas.

3.4 Qué es un espectro de respuesta

Un acelerógrafo registra una señal: aceleración del suelo contra tiempo. Esa señal, por sí sola, dice poco sobre el daño esperable. El espectro de respuesta la traduce a algo directamente útil para el ingeniero.

El procedimiento conceptual es el siguiente: se imagina un conjunto de osciladores simples —piense en un tablero con cien columnitas de distinta altura, cada una con una masa en la punta, cada una con su propio periodo natural de vibración— y se los somete a la señal registrada. Para cada uno se anota la aceleración máxima que experimentó su masa. Al graficar esa aceleración máxima contra el periodo de cada oscilador, se obtiene el espectro de respuesta.

La lectura es inmediata: si su edificio tiene un periodo fundamental de 0,5 segundos, usted busca 0,5 en el eje horizontal, sube hasta la curva y lee en el eje vertical la aceleración que sufrió su edificio. No el suelo: el edificio. La diferencia entre ambas puede ser de un factor de cinco.



La analogía del columpio

Un columpio tiene un periodo natural. Si usted lo empuja con esa cadencia exacta, con muy poca fuerza logra amplitudes enormes. Si lo empuja a destiempo, no pasa nada por más fuerza que aplique. Eso es resonancia.

Una edificación es un columpio. El sismo es el empujón. El suelo decide con qué cadencia llega el empujón. Cuando el periodo del suelo y el periodo del edificio coinciden, el resultado es el pico que se observa en los espectros de las páginas siguientes.

El periodo de un edificio puede estimarse "groseramente" como una décima parte del número de pisos: un edificio de cinco pisos vibra cerca de 0,5 s; uno de dos pisos, cerca de 0,2 s. Esta regla, aunque burda, permite a cualquier lector ubicarse en el eje horizontal de las gráficas.

4. La red acelerográfica de Pereira y los registros obtenidos

Cuatro estaciones documentaron el evento en el entorno de Pereira. Tres de ellas —CPER4, CPER5 y CPER6— se ubican dentro del casco urbano, distribuidas de occidente a oriente sobre las terrazas donde se asienta la ciudad. La cuarta, CBOCA, se localiza al sudeste, fuera del núcleo urbanizado, en el sector de Alto del Toro.

Tabla 3. Aceleraciones máximas del terreno (PGA) registradas, en gales (cm/s^2)

Estación	PGA NS	PGA EW	PGA Z	PGA H (g)	Relación Z / H
CPER6	280,70	264,76	83,53	0,286	0,30
CPER5	252,19	243,22	130,31	0,257	0,52
CPER4	179,16	168,84	97,50	0,183	0,54
<i>CBOCA</i>	<i>17,88</i>	<i>17,22</i>	<i>9,04</i>	<i>0,018</i>	<i>0,51</i>

Dos observaciones se imponen de inmediato.

La primera: dentro del casco urbano, las aceleraciones horizontales varían en un factor de 1,6 entre CPER4 y CPER6, estaciones separadas por poco más de tres kilómetros. Un mismo sismo, una misma ciudad, demandas distintas.

La segunda es más llamativa. La estación CBOCA registró aceleraciones aproximadamente quince veces menores que CPER6. Un contraste de esa magnitud excede lo que la amplificación de sitio por sí sola suele producir —típicamente factores de 2 a 5— y sugiere que CBOCA se encuentra sobre roca competente fuera de la cuenca sedimentaria, posiblemente en un emplazamiento en pozo o profundo. Este punto requiere verificación con la ficha técnica de la estación antes de utilizarse cuantitativamente. No obstante, el orden de magnitud del contraste refuerza sin ambigüedad la tesis del documento: la señal que llega desde la roca es una fracción pequeña de lo que finalmente experimenta una edificación en el centro de Pereira.

El punto que conviene retener

El sismo entregó a la región un movimiento relativamente modesto. Fue el terreno de Pereira el que lo convirtió en un evento destructivo. La amenaza sísmica es regional; el riesgo es local, y se decide predio a predio.

5. Análisis de los espectros de respuesta registrados

Las figuras que acompañan este documento reproducen los espectros de respuesta elásticos con 5 % de amortiguamiento crítico para las tres componentes de cada estación. Las curvas empleadas en el análisis comparativo corresponden a una digitalización de las gráficas originales suministradas; los valores deben entenderse con una tolerancia del orden del 5 % al 10 % y ser confirmados contra las series numéricas del SGC antes de su uso en diseño.

5.1 Parámetros espectrales medidos

Tabla 4. Parámetros espectrales por estación (componentes horizontales, $\xi = 5\%$)

Estación	Sa máx. (cm/s ²)	Sa máx. (g)	T pico (s)	Amplificación Sa/PGA	Pico secundario
CPER4	785 (NS) / 707 (EW)	0,80	0,14 / 0,26	4,38	0,45 s — 460 gal
CPER5	1.130 (NS) / 1.230 (EW)	1,25	0,47 / 0,50	4,86	0,20 s — 730 gal
CPER6	1.140 (NS) / 1.280 (EW)	1,30	0,70 / 0,57	4,56	0,42 s — 930 gal

El factor de amplificación Sa/PGA es la cifra técnicamente más relevante de esta tabla. Los espectros de diseño normativos, en su forma canónica, adoptan un valor máximo de 2,5. Las tres estaciones lo superan holgadamente, con valores entre 4,38 y 4,86. Esto significa que la forma del espectro real fue considerablemente más aguda y concentrada que la forma suave que asume la norma.

5.2 CPER4 — sector occidental

El espectro de CPER4 es el de una estación sobre terreno relativamente rígido o sobre un depósito delgado. Su pico dominante aparece en 0,14 s en la componente NS, con un segundo grupo de picos entre 0,22 s y 0,32 s en la componente EW. Por encima de 0,5 s la demanda cae rápidamente y se mantiene baja.

La estimación de rigidez del depósito, aplicando la relación de cuarto de longitud de onda con un espesor supuesto de 20 m, arroja Vs del orden de 400 m/s, compatible con un perfil tipo C. La implicación práctica: en este sector el sismo castigó severamente estructuras rígidas y bajas —mampostería confinada de uno y dos pisos, bahareque, muros de carga— y fue comparativamente benigno con edificaciones de mediana altura.

5.3 CPER5 — sector suroccidental

CPER5 presenta la forma espectral más claramente bimodal del conjunto: un pico de 730 gal en 0,20 s y un pico dominante y muy agudo de 1.230 gal en 0,50 s. La relación entre ambos periodos es cercana a 2,5, valor compatible con la excitación del modo fundamental y de un modo superior de la columna de suelo, o alternativamente con la presencia de dos contrastes de impedancia a distinta profundidad.

El pico en 0,50 s, con una amplificación de 4,86 respecto de la PGA, es la firma inequívoca de resonancia de un depósito blando. Suponiendo un espesor de 30 m, la velocidad de onda de corte resulta del orden de 240 m/s: perfil tipo D, consistente con los depósitos de ceniza volcánica y flujos de lodo característicos del Glacis del Quindío sobre el que se asienta buena parte de la ciudad.

5.4 CPER6 — sector centro-oriental

CPER6 es la estación de mayor demanda y también la de comportamiento más preocupante. No presenta un pico aislado sino una meseta ancha y elevada que se extiende aproximadamente desde 0,35 s hasta 0,90 s, con máximos de 1.280 gal en 0,57 s (EW) y 1.140 gal en 0,70 s (NS). En el rango de 1,0 s a 1,5 s la demanda se mantiene entre 300 y 550 gal, notablemente superior a la de las otras dos estaciones.

Una meseta ancha es más severa que un pico agudo. Un pico agudo castiga a las edificaciones que casualmente tengan ese periodo exacto; una meseta ancha no deja escapar a ninguna estructura dentro del rango. Además, en el rango de periodos largos, la persistencia de demanda elevada sugiere un depósito de mayor espesor o efectos de cuenca —reverberación de ondas atrapadas en la geometría del valle—, fenómeno que los espectros de diseño normativos no capturan.

El sector donde se ubica CPER6 corresponde al eje comercial e institucional de mayor densidad de la ciudad, con edificaciones de altura media y una proporción significativa de construcciones anteriores a la normativa sísmo resistente moderna.

6. Contraste con los espectros de diseño de la NSR-10

6.1 Construcción del espectro normativo para Pereira

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 define en su Título A el espectro elástico de diseño para un periodo de retorno de 475 años, correspondiente a una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años. Para Pereira, el Apéndice A-4 establece coeficientes de aceleración $A_a = 0,25$ y $A_v = 0,25$, en zona de amenaza sísmica alta.

El espectro se construye a partir de cuatro tramos, conforme a la Figura A.2.6-1:

- **Tramo ascendente ($T < T_0$):** $S_a = 2,5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I \cdot (0,4 + 0,6 \cdot T / T_0)$
- **Meseta ($T_0 \leq T \leq T_C$):** $S_a = 2,5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I$
- **Rama descendente ($T_C < T \leq T_L$):** $S_a = 1,2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot I / T$
- **Periodos largos ($T > T_L$):** $S_a = 1,2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot T_L \cdot I / T^2$

Los coeficientes de amplificación de sitio F_a y F_v se obtienen de las Tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 en función del perfil de suelo y de los valores de A_a y A_v , con interpolación lineal. Para Pereira, con $A_a = A_v = 0,25$ y coeficiente de importancia $I = 1,00$ (grupo de uso I, edificaciones de ocupación normal), se obtienen los siguientes espectros:

Tabla 5. Parámetros del espectro elástico NSR-10 para Pereira ($A_a = A_v = 0,25 \cdot I = 1,00$)

Perfil	F_a	F_v	Sa meseta	T_0 (s)	T_C (s)	T_L (s)
B (roca)	1,00	1,00	0,625 g — 613 gal	0,100	0,480	2,40
C	1,15	1,55	0,719 g — 705 gal	0,135	0,647	3,72
D	1,30	1,90	0,813 g — 797 gal	0,146	0,702	4,56
E	1,45	3,00	0,906 g — 889 gal	0,207	0,993	7,20

Figura 1. Envolventes horizontales registradas vs. espectros elásticos NSR-10 para Pereira
($A_a = A_v = 0,25 \cdot I = 1,00 \cdot \xi = 5 \%$)

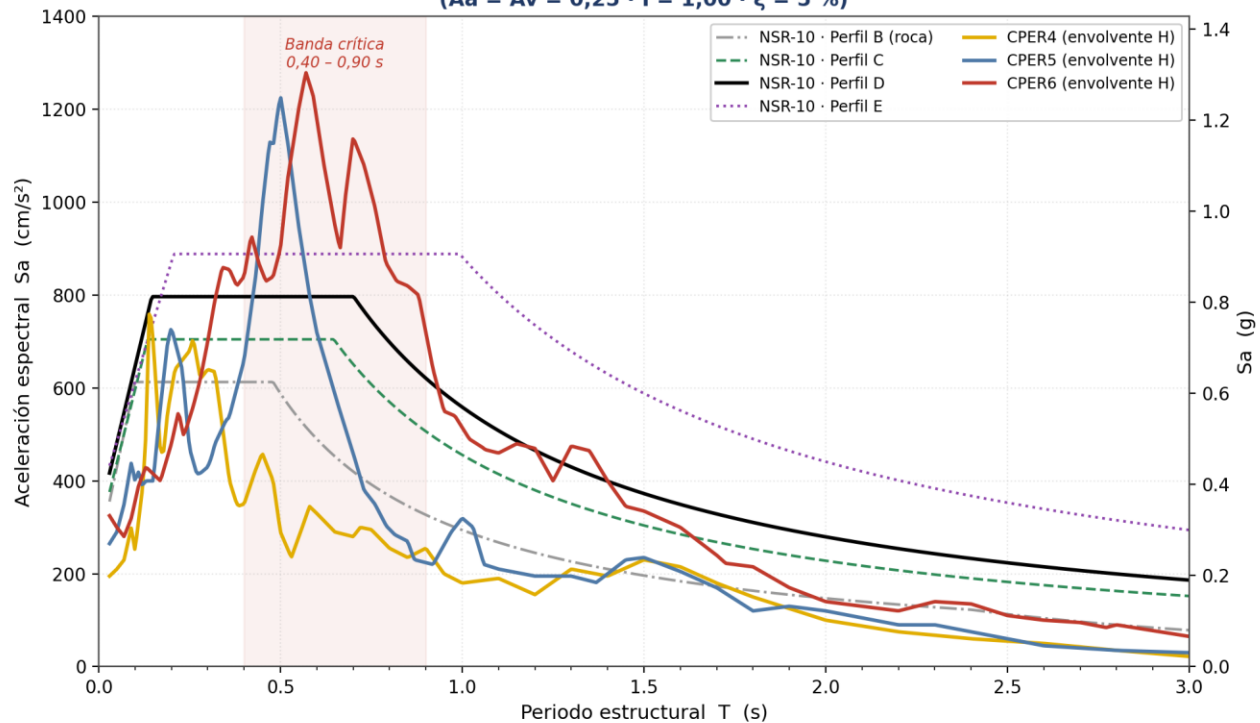


Figura 1. Envolventes horizontales registradas en CPER4, CPER5 y CPER6 superpuestas a los espectros elásticos de la NSR-10 para Pereira, para cuatro perfiles de suelo. La banda sombreada señala el rango de periodos donde se concentra la excedencia.

6.2 Relación demanda registrada / demanda de diseño

La Tabla 6 presenta el cociente entre la envolvente horizontal registrada y el espectro elástico NSR-10 para perfil D, que es el que razonablemente corresponde a los sectores de CPER5 y CPER6 según la estimación de rigidez de la sección 5. Valores superiores a la unidad indican que la demanda real superó la demanda de diseño.

Tabla 6. Cociente $S_{a, \text{registrado}} / S_{a, \text{NSR-10}}$ (perfil D). Valores en gales

T (s)	NSR-10 D	CPER4	CPER5	CPER6	Tipología asociada
0,20	797	595 (0,75)	724 (0,91)	481 (0,60)	2 pisos
0,30	797	638 (0,80)	432 (0,54)	701 (0,88)	3 pisos
0,50	797	293 (0,37)	1.222 (1,53)	904 (1,13)	5 pisos
0,70	796	281 (0,35)	460 (0,58)	1.136 (1,43)	7 pisos
1,00	559	181 (0,32)	318 (0,57)	515 (0,92)	10 pisos
1,50	373	229 (0,61)	235 (0,63)	335 (0,90)	15 pisos

T (s)	NSR-10 D	CPER4	CPER5	CPER6	Tipología asociada
2,00	279	100 (0,36)	120 (0,43)	140 (0,50)	20 pisos

Los máximos absolutos del cociente son 1,53 para CPER5 (en $T = 0,50$ s) y 1,61 para CPER6 (en $T = 0,57$ s). Fuera de esa ventana, la demanda registrada se mantiene por debajo del espectro de diseño, en algunos casos muy por debajo.

Figura 2. Comparación por estación: demanda registrada vs. demanda de diseño NSR-10

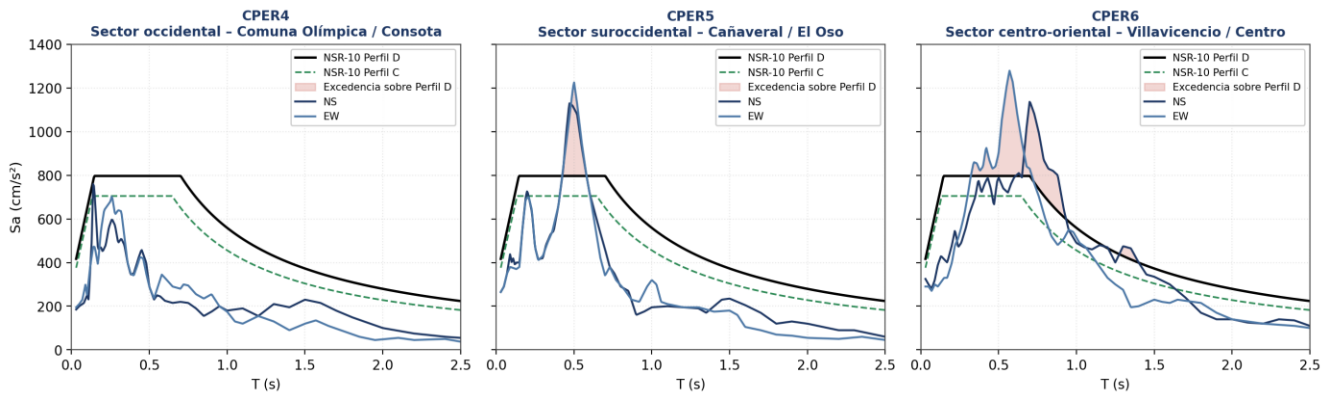


Figura 2. Comparación por estación entre las componentes registradas y los espectros de diseño para perfiles C y D. El área sombreada en rojo cuantifica la excedencia sobre el espectro de perfil D.

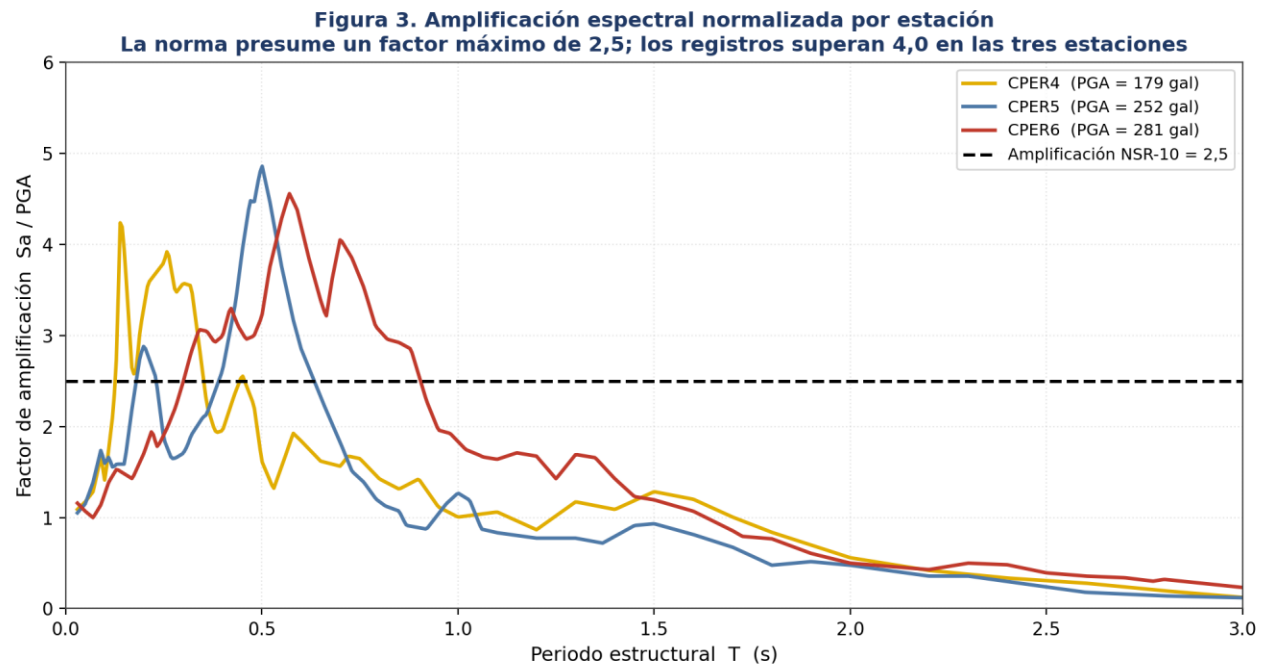


Figura 3. Amplificación espectral normalizada (S_a/PGA). La línea de referencia en 2,5 corresponde al factor implícito en la forma canónica del espectro NSR-10.

6.3 Cómo debe interpretarse una excedencia

Es indispensable evitar dos lecturas erróneas y opuestas de los resultados anteriores.

La primera lectura errónea es concluir que la norma falló. El espectro de diseño de la NSR-10 no pretende ser la envolvente de todo sismo posible: es un espectro suavizado de amenaza uniforme, construido estadísticamente para un periodo de retorno de 475 años a partir de un catálogo de fuentes sísmicas. Un registro individual es una realización particular, dentada e irreplicable, de un proceso aleatorio. Que un registro supere el espectro de diseño en una banda estrecha es un resultado esperable y previsto por la filosofía del código.

La segunda lectura errónea es el extremo contrario: minimizar el hallazgo como una anomalía estadística. Lo relevante no es la excedencia puntual, sino tres circunstancias que la acompañan: la excedencia ocurre en dos estaciones independientes; ocurre en una banda de periodos que corresponde a la tipología constructiva dominante de la ciudad; y va acompañada de factores de amplificación de sitio muy superiores a los que la clasificación por perfil de suelo presupone. Ese conjunto no describe un accidente estadístico, sino un efecto de sitio sistemático que la clasificación genérica de la norma no captura.

El margen real de las estructuras no es elástico

Una demanda elástica de 1,30 g puede alarmar a un lector no especializado. Conviene precisar qué significa y qué no.

Las estructuras no se diseñan para resistir elásticamente el espectro. La NSR-10 permite dividir las fuerzas del espectro de diseño por el coeficiente de disipación de energía R , que para un pórtico de concreto con capacidad especial (DES) alcanza 7,0. Con el espectro de diseño de perfil D (0,81 g), la fuerza de cálculo resulta del orden de 0,116 g. La capacidad real instalada es mayor, por sobrerresistencia —resistencias reales de materiales superiores a las nominales, cuantías mínimas de C.21, discretización del refuerzo y control de deriva gobernando el dimensionamiento—, con un factor típicamente entre 2 y 3.

Bajo esas hipótesis, la demanda registrada exigió a la estructura una ductilidad del orden de 4 a 5, contra un rango disponible de 4 a 6 en un pórtico DES correctamente detallado. El margen existió, pero fue estrecho, y se estrecha mucho más en estructuras con capacidad moderada de disipación (DMO), irregularidades en planta o altura, o detallado incompleto.

De ahí que el detallado del Capítulo C.21 —confinamiento de nudos, longitudes de desarrollo y traslapo, separación de estribos en zonas de rótula plástica, criterio de columna fuerte-viga débil— no sea un formalismo. Es el mecanismo del que depende que la estructura se deforme, fisure y disipe energía en lugar de colapsar.

Debe advertirse que las cifras anteriores son estimaciones de orden de magnitud, basadas en valores típicos de sobrerresistencia y no en el análisis de ninguna edificación concreta. Establecer las causas de los colapsos observados el 10 de agosto requiere evaluación estructural individual, que este documento no aborda.

7. El papel de la microzonificación sísmica

7.1 Qué es y por qué existe

Los espectros de la sección anterior se construyeron con la metodología general del Título A de la NSR-10: un mapa nacional de amenaza, un perfil de suelo clasificado por V_{s30} y unos coeficientes de amplificación tabulados. Es una metodología deliberadamente conservadora y de aplicación universal, diseñada para funcionar razonablemente en cualquier punto del territorio.

Una microzonificación sísmica hace algo distinto y mucho más fino. Divide el área urbana en zonas de respuesta homogénea a partir de exploración geotécnica, geofísica y geológica reales, modela la propagación unidimensional o bidimensional de las ondas a través de las columnas de suelo de cada zona, y produce un espectro de diseño específico para cada una. Sustituye la clasificación genérica por medición local.

Pereira cuenta con microzonificación desde el Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal, desarrollado por la CARDER hacia el año 2000, que definió siete zonas de respuesta para el casco urbano. Desde 2021 se adelanta un convenio entre el Servicio Geológico Colombiano y la administración municipal, a través de la DIGER, para su actualización.

Jerarquía normativa

El artículo A.2.9 de la NSR-10 establece que, cuando existe un estudio de microzonificación sísmica oficialmente adoptado por la autoridad municipal, sus espectros prevalecen sobre los obtenidos por el procedimiento general de A.2.4 a A.2.6. No se trata de una alternativa opcional: es la exigencia aplicable.

En consecuencia, la comparación desarrollada en la sección 6 contra los espectros genéricos debe leerse como un ejercicio ilustrativo. La verificación normativamente vinculante debe realizarse contra el espectro de la zona de microzonificación correspondiente a cada predio.

7.2 Lo que los registros de 2026 aportan a la microzonificación

Hasta el 10 de agosto de 2026, la microzonificación de Pereira se había construido esencialmente sobre modelación numérica y registros de sismos débiles. Este evento cambia esa situación de manera cualitativa: por primera vez existe un conjunto de registros de movimiento fuerte en varios puntos del casco urbano, producidos por un mismo evento y por tanto directamente comparables entre sí.

Este conjunto de datos permite, de manera inmediata:

- Verificar si los periodos predominantes medidos —0,14 s, 0,50 s y 0,57–0,70 s— coinciden con los que la zonificación vigente predice para esos sectores.
- Contrastar los factores de amplificación observados, del orden de 4,2 a 4,9, con los que asumen los modelos de respuesta de sitio empleados.
- Calibrar los modelos de columna de suelo con datos reales de movimiento fuerte, en lugar de extrapolar desde el rango de deformaciones pequeñas.

- Identificar la posible existencia de efectos bidimensionales de cuenca, sugeridos por la meseta ancha de CPER6, que un análisis unidimensional convencional no reproduce.
- Establecer, mediante la relación con la estación de referencia, funciones de transferencia empíricas entre roca y superficie para los distintos sectores.

Un conjunto de tres o cuatro estaciones es, desde luego, insuficiente para redefinir la zonificación de una ciudad. Pero constituye el punto de anclaje empírico del que la microzonificación de Pereira ha carecido durante veinticinco años, y su incorporación al proceso de actualización en curso debería ser prioritaria.

8. Implicaciones para el parque edificado de Pereira

La traducción de los espectros a tipologías constructivas se realiza mediante la estimación del periodo fundamental. La NSR-10, en su ecuación A.4.2-3, propone $T_a = C_t \cdot h^\alpha$, donde para pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado $C_t = 0,047$ y $\alpha = 0,9$. Para efectos divulgativos, la regla aproximada $T_a \approx 0,1 \cdot N$ —con N el número de pisos— resulta suficiente.

Tabla 7. Correlación entre bandas de periodo, tipologías constructivas y estación crítica

Banda T (s)	Tipología predominante	Descripción	Estación crítica	Demanda máx. (g)
0,10 – 0,20	Mampostería, bahareque, 1–2 pisos	Vivienda tradicional, muros de carga, estructuras rígidas	CPER4	0,80
0,20 – 0,35	Mampostería 3 pisos, pórticos bajos	Vivienda multifamiliar, comercio de baja altura	CPER5 / CPER6	0,95
0,40 – 0,60	Pórticos de concreto 4–6 pisos	Edificios residenciales y de oficinas de altura media	CPER5	1,25
0,60 – 0,90	Pórticos 6–9 pisos, estructura metálica	Edificios institucionales, comerciales, hospitalarios	CPER6	1,30
1,00 – 1,50	Edificios 10–15 pisos, tanques elevados	Torres residenciales recientes, infraestructura	CPER6	0,53
> 2,00	Edificaciones de gran altura	Sin demanda crítica en este evento	—	0,15

El resultado más significativo de esta correlación es que las dos bandas de mayor demanda —0,40 s a 0,90 s— corresponden precisamente a la tipología que ha dominado el crecimiento urbano de Pereira desde los años noventa: pórticos de concreto reforzado de cuatro a nueve pisos. Este segmento incluye buena parte de la edificación residencial de densificación, así como edificaciones institucionales, educativas y de servicios.

La componente vertical merece mención aparte. Con valores de PGA vertical entre 83 y 130 gales y aceleraciones espectrales verticales de hasta 415 gales en CPER5, la relación entre componente vertical y horizontal osciló entre 0,30 y 0,54, cercana a la relación clásica de dos tercios. Esta demanda es relevante para

voladizos, luces largas, cubiertas ligeras y elementos prefabricados con apoyos simples, donde la aceleración vertical puede reducir momentáneamente la carga gravitacional que garantiza la estabilidad por fricción.

Debe recordarse, además, que las estructuras que sobrevivieron el evento no necesariamente conservan su capacidad íntegra. Una edificación que respondió en rango inelástico —fisurando, plastificando, disipando energía— quedó con rigidez degradada y periodo fundamental alargado. Esa elongación del periodo puede desplazarla hacia una zona de mayor demanda espectral, de modo que una réplica de menor magnitud podría resultar más gravosa que el evento principal. Este es el argumento técnico que justifica las inspecciones de habitabilidad post-sísmicas y la evaluación estructural detallada de las edificaciones afectadas.

9. Alcance y limitaciones del análisis

La solvencia de un análisis técnico depende tanto de lo que afirma como de lo que reconoce no poder afirmar. Se declaran expresamente las siguientes limitaciones:

- **Origen de los datos.** Las curvas espectrales empleadas provienen de la digitalización de representaciones gráficas, no de las series numéricas originales. La tolerancia estimada es del orden del 5 % al 10 %. Los valores de PGA sí corresponden a los reportados directamente.
- **Ausencia de caracterización geotécnica.** No se dispone de perfiles de velocidad de onda de corte medidos en las estaciones. Las estimaciones de V_s y de espesor de depósito presentadas son inferencias a partir del periodo predominante y deben tratarse como indicativas.
- **Evento único.** Un registro sísmico no constituye un estudio de amenaza. El espectro de diseño representa la envolvente probabilística de múltiples escenarios; un registro es una realización aislada, condicionada al mecanismo, la distancia y el azimut de este evento en particular.
- **Representatividad espacial.** Cada estación caracteriza su emplazamiento. Extrapolar sus resultados a otros predios, incluso próximos, carece de fundamento sin caracterización geotécnica local.
- **Procesamiento de señal.** Se desconoce el detalle de la corrección de línea base y del filtrado aplicado. En caso de corrección deficiente, las ordenadas espectrales en periodos superiores a 2 s podrían estar sobreestimadas.
- **Estación de referencia.** El contraste entre CBOCA y las estaciones urbanas requiere verificar las condiciones de emplazamiento e instrumentación antes de emplearse como función de transferencia roca-superficie.

En consecuencia, este documento tiene carácter analítico y divulgativo. No sustituye un estudio de amenaza sísmica particular, un estudio de microzonificación, un análisis de vulnerabilidad sísmica conforme al Título A, Capítulo A.10 de la NSR-10, ni una evaluación de habitabilidad de edificación alguna.

10. Conclusiones

1. La magnitud del sismo describe la fuente, no el daño. El evento del 10 de agosto de 2026 liberó aproximadamente 150 veces más energía que el terremoto del Eje Cafetero de 1999, y sin embargo produjo en Pereira aceleraciones del terreno moderadas. La diferencia la impuso la profundidad focal de 103 km y la distancia hipocentral resultante de 124 km.
2. El terreno de Pereira fue el factor determinante. Con aceleraciones del terreno entre 0,18 g y 0,29 g, las estaciones urbanas registraron demandas espectrales de hasta 1,30 g. Los factores de amplificación medidos, entre 4,2 y 4,9, superan ampliamente el valor de 2,5 implícito en la forma canónica del espectro normativo.
3. La respuesta de sitio es fuertemente heterogénea dentro del casco urbano. Tres estaciones separadas por menos de cuatro kilómetros presentaron periodos predominantes de 0,14 s, 0,50 s y 0,57–0,70 s, y demandas máximas que varían en un factor de 1,6. La amenaza es regional; el riesgo se decide predio a predio.
4. En dos de las tres estaciones la demanda registrada superó el espectro elástico de diseño para perfil D. Los cocientes máximos fueron 1,53 en CPER5 ($T = 0,50$ s) y 1,61 en CPER6 ($T = 0,57$ s). Fuera de la banda de 0,45 s a 0,90 s la demanda se mantuvo por debajo del espectro normativo.
5. La banda de excedencia coincide con la tipología constructiva dominante. Los periodos de 0,40 s a 0,90 s corresponden a pórticos de concreto reforzado de cuatro a nueve pisos, que constituyen el segmento mayoritario de la densificación urbana de Pereira desde los años noventa.
6. La forma espectral de CPER6 —meseta ancha en lugar de pico agudo, con demanda sostenida hasta 1,5 s— sugiere un depósito de mayor espesor o efectos bidimensionales de cuenca que los modelos unidimensionales convencionales no reproducen.
7. Los registros constituyen el primer conjunto de datos de movimiento fuerte disponible para Pereira y deben incorporarse con carácter prioritario al proceso de actualización de la microzonificación sísmica que adelantan el SGC y la administración municipal.
8. La supervivencia estructural dependió de la ductilidad, no de la resistencia elástica. El detallado sísmico del Capítulo C.21 de la NSR-10 constituye el mecanismo efectivo de protección; su omisión o su ejecución deficiente explica la mayoría de los colapsos observables.

11. Recomendaciones

11.1 Para propietarios y administraciones de copropiedades

- Encargar una evaluación estructural post-sísmica a un ingeniero civil con matrícula vigente y experiencia acreditada en estructuras, especialmente en edificaciones de cuatro a nueve pisos ubicadas en los sectores de influencia de CPER5 y CPER6.
- No interpretar la ausencia de daño visible en acabados como ausencia de daño estructural. La fisuración en nudos viga-columna, la plastificación de refuerzo y la degradación de rigidez pueden no ser evidentes bajo revoques y enchapes.
- Documentar fotográficamente el estado actual y conservar el registro, con independencia de que se decida o no intervenir de inmediato.
- Abstenerse de ejecutar reparaciones cosméticas —resane y pintura de fisuras— antes de la evaluación técnica, ya que eliminan la evidencia que permite diagnosticar el mecanismo de daño.

11.2 Para profesionales del diseño estructural

- Verificar el espectro aplicable contra la microzonificación sísmica vigente para el predio, conforme al artículo A.2.9 de la NSR-10, y no exclusivamente contra el procedimiento general del Título A.
- Para edificaciones con periodo fundamental entre 0,40 s y 0,90 s en los sectores de mayor amplificación, evaluar la conveniencia de análisis dinámico cronológico con los registros de este evento como señal de entrada, escalada al espectro de diseño.
- Considerar el alargamiento del periodo por degradación de rigidez en las evaluaciones de estructuras existentes afectadas, verificando la demanda en el periodo elongado y no únicamente en el inicial.
- Incorporar la verificación de la componente vertical en voladizos, luces superiores a 8 m, cubiertas ligeras y elementos prefabricados con apoyos simples.
- Extremar la revisión del detallado del Capítulo C.21 en el diseño de estructuras nuevas, particularmente confinamiento de nudos, separación de estribos en zonas de rótula plástica y verificación del criterio de columna fuerte-viga débil.

11.3 Para la autoridad municipal y entidades técnicas

- Incorporar los registros de CPER4, CPER5, CPER6 y CBOCA al proceso de actualización de la microzonificación sísmica de Pereira como conjunto de calibración empírica.
- Densificar la red acelerográfica urbana, priorizando la instrumentación de sectores con condiciones geotécnicas contrastantes y la instalación de al menos una estación de referencia en roca debidamente caracterizada.
- Publicar las series numéricas de aceleración de acceso libre, para permitir su empleo en análisis dinámico cronológico por parte de la comunidad profesional.

- Priorizar la evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad —Grupos de Uso III y IV según el artículo A.2.5.1 de la NSR-10— situadas en las bandas de periodo críticas identificadas.

12. Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título A — Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. Decreto 926 de 2010, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá D.C.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C — Concreto estructural, Capítulo C.21: Requisitos de diseño sismo resistente. Bogotá D.C.
- Servicio Geológico Colombiano. (2026). Boletín sismológico del evento del 10 de agosto de 2026, San José del Palmar (Chocó). Red Sismológica Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- United States Geological Survey (USGS). (2026). M 7.4 — Western Colombia. Earthquake Hazards Program, Event Page.
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER). (2000). Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Microzonificación sísmica. Pereira.
- Alcaldía de Pereira — DIGER y Servicio Geológico Colombiano. (2021). Convenio de cooperación para la actualización de la microzonificación sísmica del municipio de Pereira. Pereira.
- American Society of Civil Engineers. (2022). ASCE/SEI 7-22: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Reston, Virginia.
- Chopra, A. K. (2017). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering (5.^a ed.). Pearson.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall.
- American Concrete Institute. (2019). ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete. Farmington Hills, Michigan.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2015. Bogotá D.C.
- Boore, D. M. y Bommer, J. J. (2005). Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25(2), 93–115.



SUSCRIPCIÓN PROFESIONAL

El profesional que suscribe declara que el presente documento fue elaborado con base en el análisis de los espectros de respuesta y los parámetros de aceleración máxima del terreno registrados por la red acelerográfica en el municipio de Pereira durante el evento sísmico del 10 de agosto de 2026, así como en la aplicación del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y de la literatura técnica referenciada.

Se reitera que este documento constituye un análisis técnico de carácter divulgativo y no sustituye estudios de amenaza sísmica particular, microzonificación sísmica, análisis de vulnerabilidad sísmica ni evaluaciones de habitabilidad de edificaciones específicas, los cuales requieren contratación, alcance y caracterización geotécnica propios.

Ing. Juan Guillermo Ardila Valencia

Ingeniero Civil — Especialista en Estructuras
AVe Consultoría y Construcción

ARDILA VALENCIA ESTRUCTURAS S.A.S.

Pereira, Risaralda — Colombia
26 de agosto de 2026
AVE-ART-EST-001-2026