



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Dirección General del Observatorio Ambiental

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

DIRECCIÓN GENERAL DEL OBSERVATORIO AMBIENTAL

GERENCIA DE GEOLOGÍA ÁREA DE SISMOLOGÍA

Guía de usuario de Plataforma de Resultados de Amenaza Sísmica y Espectros de Diseño de El Salvador PRASEDES®

Presenta:

Luis Ernesto Mixco Durán: Especialista 1 – Sismólogo

Septiembre de 2023

Tabla de contenido

1.	Introducción	3
2.	Descripción de herramienta	3
3.	Descargo de responsabilidad.....	4
4.	Página principal.....	4
5.	Selección de módulos.....	6
6.	Módulo de amenaza sísmica	6
7.	Módulo de espectros de diseño sísmico.....	11
7.1.	Espectro Multiperíodo	20
7.2.	Espectro de Dos Períodos	21
8.	Documentos de ayuda	22
9.	Acerca de	23
10.	Bibliografía	24

1. Introducción

En El Salvador, el Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones, el cual incluye la Norma Técnica de Diseño por Sismo, no ha sido actualizado desde 1994 y presenta ciertas deficiencias en la estimación de la amenaza sísmica del país, ya sea en la concepción y forma de modelado de nuevas fuentes de terremotos junto con la incorporación de fallas geológicas, en la caracterización del movimiento fuerte por fuentes sísmicas específicas y diferentes aceleraciones espectrales; como la justificación razonable de factores o parámetros relacionados a los efectos de amplificación en el sitio, considerando la gran variedad de nuestras clases de suelos (de origen volcánico) distribuidos a lo largo de todo el país, tanto en la complejidad estratigráfica de sus unidades como su comportamiento dinámico frente a los terremotos. De manera similar, poco se ha hecho para considerar la incertidumbre epistémica intrínseca en todos los pasos que componen la evaluación del peligro sísmico.

Por lo tanto, es una necesidad de país contar con un nuevo y actualizado Código Salvadoreño de Edificaciones, que corrija la mayoría de las deficiencias encontradas y tenga en cuenta utilizar esta información para convertir las aceleraciones máximas, asociadas a periodos de retorno, en fuerzas de diseño sísmico de edificios, bajo una nueva filosofía de diseño por desempeño estructural. Lo anterior, con el propósito de reducir el riesgo sísmico que representan la construcción de nuevas edificaciones, frente al conocimiento de nuevas solicitaciones sísmicas que pudieran suscitarse.

Afortunadamente, parte de este trabajo se ha venido materializando entre los años 2017 y 2021, en el marco del proyecto de cooperación denominado “Plan de Acción para la Implementación del Índice de Gobernabilidad y Política Pública para la Gestión de Riesgo de Desastres” ES-T1267; cofinanciado por el gobierno de Japón, ejecutado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y liderado por expertos del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente (MARN), Ministerio de Obras Públicas (MOP) y de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA), con el apoyo de consultores nacionales.

Fue dentro de este proyecto, donde se trabajaron acciones para generar insumos técnicos necesarios para una futura actualización de la actual normativa nacional para diseño y construcción sismorresistente, junto a la propuesta de un plan de reducción de la vulnerabilidad sísmica.

Aunado a lo anterior, durante el desarrollo se comprendió la necesidad de plasmar todos los productos y resultados del proyecto, dentro de una plataforma Web práctica e interactiva, para que los profesionales del área de diseño estructural puedan acceder y utilizarlos fácilmente. Es por ello, que se construye la Plataforma de Resultados de Amenaza Sísmica y Espectros de Diseño Sísmico de El Salvador (PRASEDES).

En este documento se describe una guía de usuario para el manejo adecuado de PRASEDES, a través de sus módulos y funcionalidades, con el objeto de convertirse en una herramienta con fines informativos y facilite la recuperación de datos de amenaza y diseño sísmico

2. Descripción de herramienta

PRASEDES es una plataforma SIG/Web con información de resultados de amenaza sísmica y espectros de respuesta para el diseño sísmico de edificaciones o estructuras. Esta plataforma se ha configurado en un servidor Web institucional del MARN utilizando herramientas de Sistema Información Geográfica y módulos avanzados para crear una interfaz de usuario gráfica amigable y atractiva.

Concebimos PRASEDES para que su funcionamiento sea práctico y de fácil comprensión con el usuario, específicamente para los profesionales del sector de construcción, arquitectura e ingeniería estructural; los cuales se beneficiarán grandemente para la extracción de aquellos parámetros de peligrosidad y diseño sísmico que requieran para realizar sus diseños estructurales, sobre la base de estudios actualizados e innovadores de la conceptualización de la amenaza sísmica del país.

Desarrollamos PRASEDES en el marco del proyecto de cooperación técnica (2018-2021) gestionado por el BID titulado: “Plan de acción para implementar el índice de Gobernabilidad y Políticas Públicas para la Gestión del Riesgo de Desastres (ES-T1267)”.

Se reitera el agradecimiento al gobierno de Japón y al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por el apoyo en el financiamiento y ejecución de este proyecto.

3. Descargo de responsabilidad

Si bien el MARN, para construir PRASEDES ha realizado todo lo posible en utilizar apropiadamente los datos obtenidos de fuentes o metodologías confiables, esta institución no ofrece ninguna garantía en cuanto a la exactitud, integridad, confiabilidad o calidad de los datos proporcionados en dicha plataforma.

El MARN no pretende, que los resultados proporcionados por esta herramienta reemplacen el buen juicio de un profesional competente, que tenga conocimiento y experiencia en los campos de práctica apropiados, ni sustituir el estándar de atención requerido de dichos profesionales al interpretar y aplicar el contenido de esta herramienta o el Código Salvadoreño de Edificaciones (CSE)

Al utilizar PRASEDES, usted asume expresamente todos los riesgos asociados con su uso.

Bajo ninguna circunstancia el MARN o sus funcionarios, serán responsables ante usted o cualquier otra persona por cualquier daño directo, indirecto, especial, incidental o consecuente que surja de o esté relacionado con su uso o confianza en la herramienta o cualquier información obtenida en ella.

En la máxima medida permitida por la ley, usted acepta liberar y eximir al MARN de toda responsabilidad de cualquier naturaleza que surja o resulte de cualquier uso de los datos proporcionados por PRASEDES.

4. Página principal

El enlace o dirección web para acceder a la herramienta PRASEDES es el siguiente: <https://prasedes.snet.gob.sv/>

Al momento de ingresar a la página web el usuario se encontrará con la página principal de la plataforma, donde se plasma la descripción general de la misma, explicando sus antecedentes y objetivos, así como también capturas de imágenes alusivas al proceso que se siguió para construir todos los insumos necesarios para conformarla.

En la figura 1, se puede observar una captura de pantalla de esta página principal. Al final de la página se pueden destacar dos botones importantes. El primero se refiere al acceso a la herramienta y sus diferentes módulos, este se reconoce como “Acceder a PRASEDES”. Por otra parte, el segundo corresponde a que el usuario puede direccionarse a la página del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales del MARN: <https://www.snet.gob.sv/>; este se reconoce como “Volver a la página principal”.

GOBIERNO DE
EL SALVADOR

MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

PRASEDES

Plataforma de Resultados de Amenaza Sísmica y Espectros de Diseño Sísmico de El Salvador

En El Salvador, el Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones, el cual incluye la Norma Técnica de Diseño por Sismo, no ha sido actualizado desde 1994 y presenta ciertas deficiencias en la estimación de la amenaza sísmica del país, ya sea en la concepción y forma de modelado de nuevas fuentes de terremotos junto con la incorporación de fallas geológicas, en la caracterización del movimiento fuerte por fuentes sísmicas específicas y diferentes aceleraciones espectrales; como la justificación razonable de factores o parámetros relacionados a los efectos de amplificación en el sitio, considerando la gran variedad de nuestras clases de suelos (de origen volcánico) distribuidos a lo largo de todo el país, tanto en la complejidad estratigráfica de sus unidades como su comportamiento dinámico frente a los terremotos. De manera similar, poco se ha hecho para considerar la incertidumbre epistémica intrínseca en todos los pasos que componen la evaluación del peligro sísmico.

Por lo tanto, es una necesidad de país contar con un nuevo y actualizado Código Salvadoreño de Edificaciones, que corrija la mayoría de las deficiencias encontradas y tenga en cuenta utilizar esta información para convertir las aceleraciones máximas, asociadas a periodos de retorno, en fuerzas de diseño sísmico de edificios, bajo una nueva filosofía de diseño por desempeño estructural. Lo anterior, con el propósito de reducir el riesgo sísmico que representan la construcción de nuevas edificaciones, frente al conocimiento de nuevas solicitaciones sísmicas que pudieran suscitarse.

Afortunadamente, parte de este trabajo se ha venido materializando entre los años 2017 y 2021, en el marco del proyecto de cooperación denominado "Plan de Acción para la Implementación del Índice de Gobernabilidad y Política Pública para la Gestión de Riesgo de Desastres" ES-T1267, co-financiado por el gobierno japonés, ejecutado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y liderado por expertos del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente (MARN), Ministerio de Obras Públicas (MOP) y de la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA), con el apoyo de consultores nacionales.

Fue dentro de este proyecto, donde se trabajaron acciones para generar insumos técnicos necesarios para una futura actualización de la actual normativa nacional para diseño y construcción sismorresistente, junto a la propuesta de un plan de reducción de la vulnerabilidad sísmica. Aunado a lo anterior, durante el desarrollo se comprendió la necesidad de plasmar todos los productos y resultados del proyecto, dentro de una plataforma Web práctica e interactiva, para que los profesionales del área de diseño estructural puedan acceder y utilizarlos fácilmente. Es por ello, que se construye la Plataforma de Resultados de Amenaza Sísmica y Espectros de Diseño Sísmico de El Salvador (PRASEDES).

Se reitera el agradecimiento al gobierno de Japón y al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por el apoyo en el financiamiento y ejecución de este proyecto.

Acceder a PRASEDES

Volver a página principal

Universidad Centroamericana
José Simeón Cañas

GOBIERNO DE
EL SALVADOR

MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS Y
DE TRANSPORTE

Colaboración del
Pueblo Japonés

BID

© 2021 Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Todos los derechos reservados

Fig 1. Página principal de plataforma PRASEDES.

5. Selección de módulos

Una vez presionado el botón de “Acceder a PRASEDES” en la página principal, se dirige a la dirección: <https://prasedes.snet.gob.sv/seleccion/>. En la figura 2, se observa la captura de pantalla para la selección de módulos que contiene PRASEDES. Estos módulos son los siguientes: “Módulo de amenaza sísmica” y “Módulo de espectros de diseño”. El usuario podrá elegir en cual de estos dos módulos desea trabajar, al oprimir el botón respectivo llamado: “Clic para Acceder”.

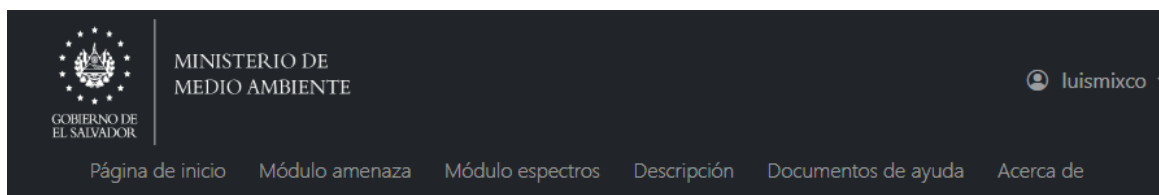
A continuación, abordaremos ambos casos, donde primero se detallará el contenido del módulo de amenaza sísmica y luego el correspondiente a los espectros de diseño.



Fig 2. Selección de módulos

6. Módulo de amenaza sísmica

Al ingresar a este módulo, el usuario se dirigirá a este enlace: <https://prasedes.snet.gob.sv/amenaza/> y se encontrará con 3 viñetas horizontales que tienen la capacidad de desplegarse y permitir visualizar contenido relacionado a los resultados obtenidos del estudio de amenaza sísmica, llevado a cabo en el MARN en el año 2021 (Mixco, L, 2021); y el cual es la base para producir los espectros de diseño sísmico del otro módulo. En la figura 3 se observan dichas viñetas. La primera corresponde a: “Amenaza sísmica y mapas de probabilidad”, la cual permite observar de una manera interactiva los resultados de peligrosidad sísmica sobre un mapa de El Salvador, para cuatro periodos de retorno.



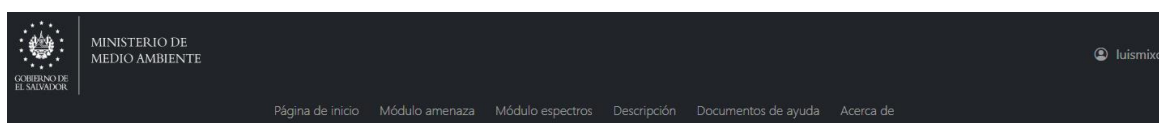
Herramienta para módulo de amenaza sísmica de El Salvador



Fig 3. Módulo de amenaza sísmica

En la figura 4 se observa un ejemplo al extender la primera viñeta. En ella se observa el mapa con extensión fija de El Salvador y en la esquina superior derecha se visualiza un botón que al presionarlo se despliega una tabla de contenidos, donde el usuario puede interactuar en encender y apagar capas sobre el mapa.

Estas capas son las siguientes: **a) Capa base:** la cual se ha optado por utilizar la capa de Calles proporcionada por el *OpenStreetMap*; **b) Edición:** en esta se colocarán las diversas ediciones de amenaza sísmica sobre condiciones de suelo firme o roca (equivalente a un $V_{s30} = 760$ m/s) que el MARN irá calculando a través del tiempo. Por el momento, ya que el MARN solo ha realizado una evaluación en el 2021, solo se muestra la edición llamada: “MARN 2021 – Suelo firme ($V_{s30} = 760$ m/s)”); **c) Períodos de retorno:** acá se colocarán los resultados de la edición seleccionada de la peligrosidad sísmica para períodos de retorno específicos, en este momento, se ha decidido únicamente colocar 4 períodos: i) 225 años (20% en 50 años), ii) 475 años (10% en 50 años), iii) 975 años (5% en 50 años) y iv) 2475 años (2% en 50 años), **d) Medidas de intensidad:** acá se enumeran las 14 medidas de intensidad, que van desde PGA hasta ordenadas espectrales: SA (4.0seg) que fueron evaluadas en la amenaza y **e) Fallas:** donde se pueden observar la definición geográfica y geométrica de las fallas geológicas utilizadas en esta edición de la amenaza sísmica.



Herramienta para módulo de amenaza sísmica de El Salvador

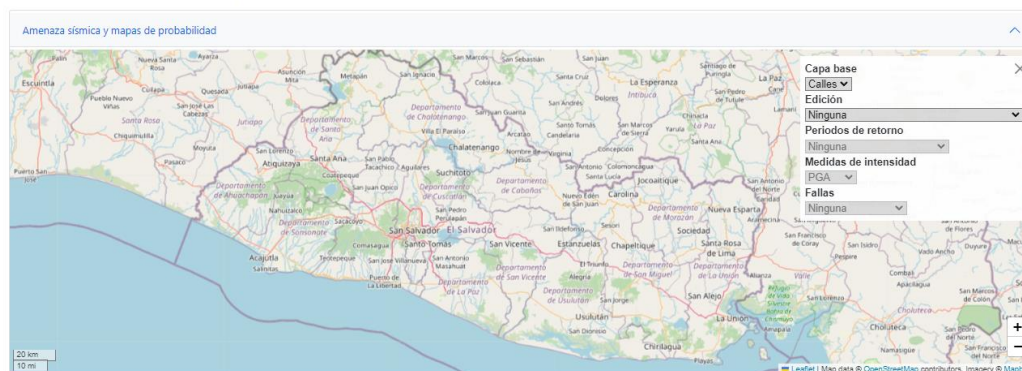


Fig 4. Módulo de amenaza sísmica: Amenaza sísmica y mapas de probabilidad

En la figura 5, se muestra un ejemplo de aplicación de la edición 2021 de la peligrosidad sísmica en suelo firme ($V_{s30} = 760$ m/s), para un período de retorno de 475 años y una medida de intensidad correspondiente a la ordenada espectral de aceleración de 1.0 segundos SA (1.0 seg.). Adicionalmente se han colocado las fallas geológicas. En la parte lateral izquierda se observa la leyenda del mapa, donde figuran el rango de los niveles de aceleración en unidades de aceleración de la gravedad ($g = 9.81$ m/s²) obtenidos para esta ordenada espectral.

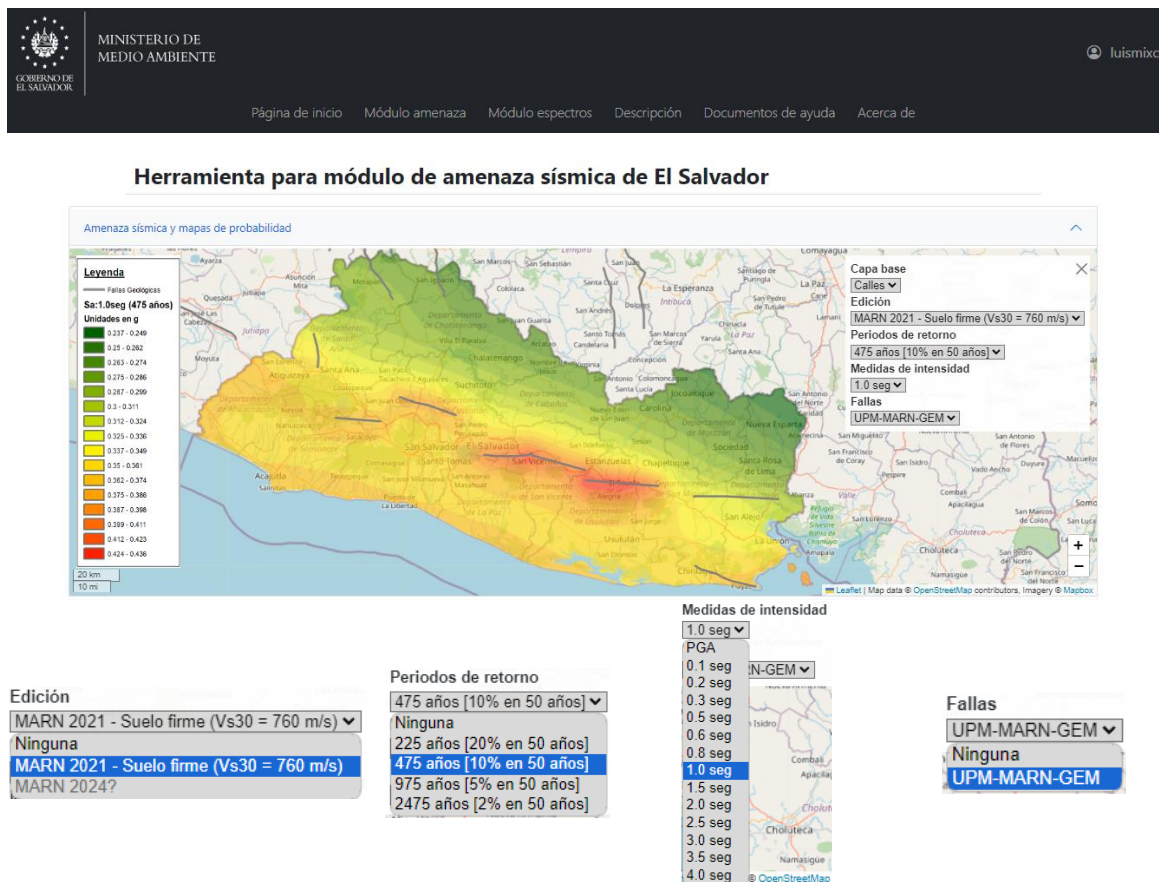


Fig 5. Módulo de amenaza sísmica: Para un período de retorno de 475 años y SA (1.0 segundos)

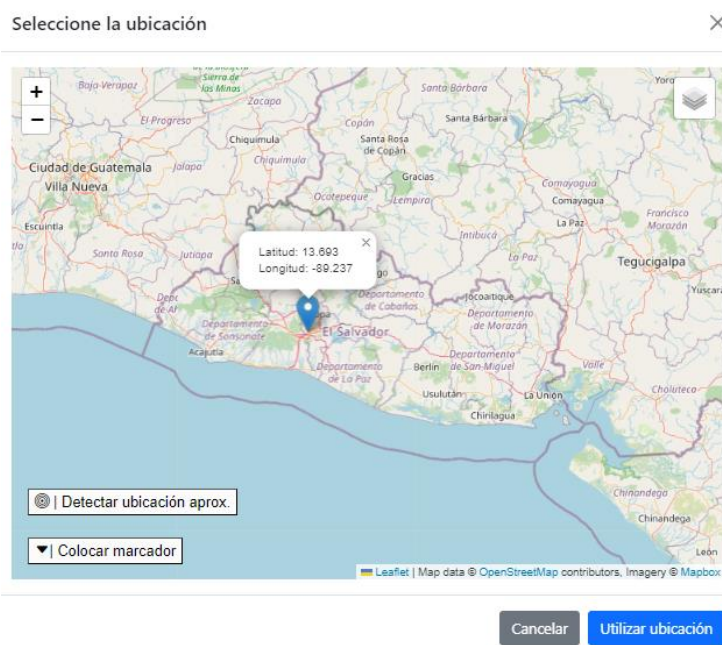
La segunda viñeta llamada: “Ingreso de datos”, se asocia a la consulta de datos específicos de amenaza sísmica sobre coordenadas geográficas puntuales dentro de El Salvador, ya que esta evaluación se derivó para una grilla de 5km x 5 km desplegada a lo largo del territorio. En lugares donde no se tenga la información directa en el punto, se emplean técnicas adecuadas de interpolación. En la figura 9 se observa una captura de pantalla del contenido de esta viñeta, donde figuran los campos de Edición, Latitud, Longitud, Período espectral y Período de retorno, así como también otros dos botones para realizar las consultas deseadas.

Fig 6. Módulo de amenaza sísmica: Ingreso de datos

En el campo de **a) Edición**, al igual que la primera viñeta, se selecciona la edición de la peligrosidad sísmica en condición de suelo firme ($V_{s30} = 760$ m/s); en los campos de **b) Latitud** y **c) Longitud** se pueden ingresar las coordenadas geográficas en el sistema WGS84, de donde se extraerá la información de las curvas de amenaza sísmica para los periodos espectrales o medidas de intensidad seleccionadas. En el campo **d) Período espectral** se seleccionan entre las 14 medidas de intensidad evaluadas y mostradas anteriormente y, finalmente **e) Período de retorno**, seleccionando de los 4 períodos mostrados antes.

Respecto a la selección de la coordenada geográfica, de donde se quiere extraer la información, se ha realizado una función para que esta puede ser ingresada directamente con valores de latitud y longitud previamente obtenidos; o bien, utilizar una interfaz interactiva para la selección del punto de interés. Esta última se asocia al uso del botón de color azul llamado: “Elegir ubicación en el mapa”. Una vez se oprime este botón se abre un cuadro diálogo llamado “Seleccione la ubicación” donde se observa un mapa con la extensión de El Salvador, y en la esquina inferior izquierda sobresalen dos botones, llamados: “Detectar ubicación aprox.” y “Colocar marcador”.

La primera corresponde a que la plataforma utilice un geo-localizador desde el sitio donde el usuario está accediendo a PRASEDES y así extraer sus coordenadas geográficas. En la figura 7, se observa este proceso, donde primeramente se solicita de parte del dominio de la plataforma conoce la ubicación del usuario, y una vez se concede el permiso se colocará un marcador sobre el mapa, junto a la descripción con la latitud y longitud determinada. Será esta información la que se colocará automáticamente en los campos de Latitud y Longitud, una vez el usuario seleccione el botón en la esquina inferior derecha llamado: “Utilizar ubicación”.



Seleccione la ubicación

¿Usar tu ubicación? prasedes.snet.gob.sv/ame

prasedes.snet.gob.sv quiere

Conocer tu ubicación

Permitir Bloquear

Latitud: 13.693
Longitud: -89.237

Detectar ubicación aprox.

Colocar marcador

Cancelar Utilizar ubicación

Edición:
MARN 2021 - Suelo firme ($V_{s30} = 760$ m/s)

Período espectral:
1.5 segundos

Latitud:
13.693

Período de retorno:
Período de retorno = 2475 años [2% en 50 años]

Longitud:
-89.237

Elegir ubicación en mapa Calcular curvas de amenaza

Fig 7. Módulo de amenaza sísmica: Ingreso de datos. Detectar ubicación aproximada

Con el segundo botón llamado “Colocar marcador” el usuario procede a colocar de manera manual el punto de interés, el cual debe ubicarse dentro del territorio salvadoreño. Una vez el usuario esté seguro de su ubicación se da clic en “Utilizar ubicación”. En la última imagen de la figura 10 se visualiza un ejemplo de aplicación con la edición 2021 de amenaza sísmica, una medida de intensidad de SA (1.5 segundos), un período de retorno de 2475 años y, junto a una coordenada geográfica en Santa Ana, definida por Latitud: 13.992 y Longitud: -89.558. Con esta información completa se procede a utilizar el botón de color verde llamado: “Calcular curvas de amenaza” para obtener dichas curvas bajo una condición de suelo firme o roca.

La tercera viñeta se llama: “Curva de Amenaza” y es el lugar donde se visualizarán tanto las curvas de amenaza sísmica como el espectro de amenaza uniforme del sitio seleccionado anteriormente, provenientes de los resultados de la edición del estudio de peligrosidad sísmica; una vez se haya presionado el botón verde “Calcular curvas de amenaza”. En la figura 8 se presenta la captura de pantalla de esta sección, el momento antes que se haya realizado el cálculo de la información; donde la plataforma le indica al usuario que es lo que se necesita para poder obtener la misma.

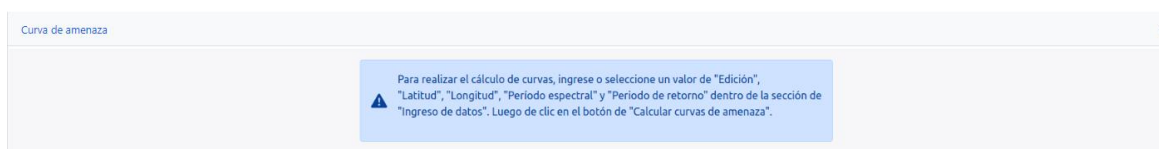


Fig 8. Módulo de amenaza sísmica: Curva de amenaza

Una vez oprimido el botón de “Calcular curvas de Amenaza”, la plataforma comienza internamente a determinar las curvas y el espectro sísmico de amenaza uniforme, para el sitio en particular. En el gráfico de la izquierda se muestran las curvas de amenaza con escalas logarítmicas en ambos ejes; la plataforma siempre mostrará las curvas de PGA, SA (0.2 seg.) y SA (1.0 seg.) independientemente cual haya sido el período espectral o medida de intensidad asignada en el campo de la viñeta 2. Por lo que, en el ejemplo de aplicación se optó por elegir una medida SA (1.5 seg), haciendo que se dibujen un total de 4 curvas de amenaza, asignándole el color negro a la medida de intensidad solicitada (Ver figura 9). Adicionalmente, se plotea en color azul una línea horizontal correspondiente a una frecuencia anual de excedencia fija, la cual es el recíproco del valor del período de retorno seleccionado. En este caso del ejemplo corresponde a $(1/2475 \text{ años} = 4.0404\text{E-}04)$



Fig 9. Módulo de amenaza sísmica: Resultados de Curva de Amenaza y Espectro de Amenaza Uniforme

En el gráfico de la derecha de la figura 9, se puede apreciar el detalle del espectro sísmico de amenaza uniforme, el cual es muy utilizado para aplicaciones de selección y comparación de espectros de respuesta elásticos de registros acelerográficos reales; el cual debido a su carácter conservador donde cada valor del espectro presenta una misma probabilidad de excedencia, es tomado de referencia para derivar otros espectros más realistas considerando el condicionamiento de un período estructural o rango de períodos deseado.

La información de ambos gráficos se puede descargar en formato CSV (*Comma Separated Values*) y en TXT (archivos de texto plano); con fines que los usuarios los puedan utilizar para sus respectivas aplicaciones, ya sea relacionado al riesgo sísmico o análisis dinámicos de estructuras, respectivamente. Esto se puede visualizar en los dos botones de color azul y verde ubicados en la parte de debajo de cada gráfico, “Descargar CSV” y “Descargar TXT”, respectivamente.

Los nombres de los archivos CSV y TXT que se descarga para el gráfico de curvas de amenaza se ha definido como “curvas_amenaza.csv” y “curvas_amenaza.txt”; respectivamente. Se recuerda que únicamente las medidas de intensidad que se visualizan en el gráfico son las que se tendrán en dicho archivo. Por otro lado, los nombres de los archivos correspondientes al gráfico del espectro de amenaza uniforme se definen como “espectro_amenaza_uniforme.csv” y “espectro_amenaza_uniforme.txt”, respectivamente.

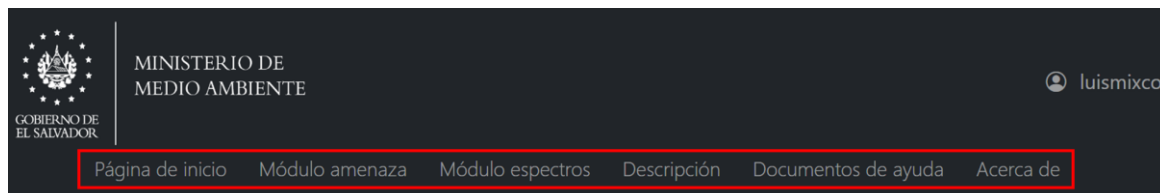
7. Módulo de espectros de diseño sísmico

Antes de desarrollar la guía de uso de este módulo de espectros elásticos de diseño sísmico es necesario hacer la siguiente precisión. Las cargas sísmicas de diseño estimadas para este Código Salvadoreño de Edificaciones (CSE -2023) se determinan bajo un concepto de amenaza sísmica uniforme, es decir, que aún en esta edición no se tiene control en la uniformización de las probabilidades de colapso estructural.

Lo anterior, radica en que la variable de la capacidad al colapso de las edificaciones que serán diseñadas con este código, no ha sido cuantificada y se sobrellevarán los resultados con la incertidumbre que esta misma variable posee. Es por ello, que se trabajará con el concepto del Movimiento del Terreno para el Máximo Terremoto Considerado (MCE) sin ajuste por riesgo objetivo; el cual es el movimiento originado por un evento sísmico que produciría los efectos más severos considerados en este código.

Se pretende que este enfoque sea actualizado en posteriores versiones del CSE, para utilizar las mismas disposiciones que el ASCE manda para los movimientos del terreno con la integración del concepto de Riesgo Uniforme (MCE_R). Una vez hecho esta aclaración se prosigue a detallar el uso de este módulo.

Para poder acceder al otro módulo de espectros de diseño sísmico, se puede optar por regresar a la página de selección: <https://prasedes.snet.gob.sv/seleccion/> y dar “Clic para acceder” (ver figura 2); o de una manera más práctica buscar el nombre “Módulo espectros” en la barra de título en cualquier página dentro de PRASEDES. En la figura 10 se observa dicha barra de título y el nombre de los diferentes contenidos que tiene la plataforma.



Herramienta para módulo de amenaza sísmica de El Salvador

Fig 10. Barra de título de cualquier página dentro de PRASEDES

Al acceder a este módulo, el usuario se dirigirá a este enlace: <https://prasedes.snet.gob.sv/espectros/> encontrándose con una plantilla sencillo para la consulta de información relacionada a los espectros de diseño sísmico evaluados para El Salvador. En la figura 11 se observa el contenido de esta página, donde básicamente, se solicitará al usuario tres datos importantes.

El primero es alusivo a la “Ubicación” del sitio de donde se quiere extraer dichos espectros, lo cual, que al igual que en el módulo de amenaza sísmica, se requiere la Latitud y Longitud del punto o sitio de interés. Es por ello que se utiliza el mismo desarrollo de geo-localización empleado en el primer módulo (mostrado en la figura 7) y adicionalmente, se embebe un mapa para que el usuario revise la ubicación ingresada.

El segundo dato es correspondiente a los “Atributos de datos sísmicos”, los cuales se dividen en la “Clase de sitio” y la “Categoría de Riesgo”. Estas dos clasificaciones deben de seleccionarse entre las opciones que PRASEDES presenta en sus desplegables, y se asocian a parámetros necesarios propios del sitio y sobre la edificación que el usuario piense diseñar; respectivamente.

Estos atributos fueron incluidos en los códigos sísmicos recientes de Estados Unidos (ASCE 7) y los cuales se han transcrito y modificado para que se adapten a las condiciones sísmicas, de sitio (estratigrafía de suelos), exposición y vulnerabilidad física de nuestro país El Salvador; con el fin de poder ser congruentes con nuestra realidad y así incluirlos dentro del Código Salvadoreño de Edificaciones.

Fig 11. Módulo de espectros de diseño sísmico

Una **Clase de sitio** se define como una clasificación asignada a un sitio basada en los tipos o paquete de suelos presentes en su emplazamiento, junto a sus propiedades de ingeniería, asociadas a una agrupación de rangos de la velocidad de ondas de corte ponderada en los 30 metros superiores (V_{s30} m/s).

El hecho de definir el promedio de velocidades a los 30 metros de profundidad como un criterio para la clasificación de sitios, obedece a que el paquete de suelos comprendido dentro de esa profundidad es el que afecta

en mayor medida el comportamiento de las estructuras que se edifiquen sobre él. A este respecto diversas normativas sísmicas de varios países establecen varias clases de sitio con respuestas sísmicas similares.

Esta agrupación en rangos de Vs30 fue tomada de la reciente clasificación realizada por la NEHRP 2020 (*National Earthquake Hazards Reduction Program*), la cual plantea 8 clases de sitio (A, B, BC, C, CD, D, DE y E). Sin embargo, durante el trabajo del MARN sobre la “Generación de mapa de velocidades promedio a 30 metros de profundidad (Vs30) de El Salvador” (Mixco, L. 2021), solamente se pudieron identificar 6 clases de sitio (BC, C, CD, D, DE y E), tomando como la clase BC como de referencia.

En la tabla 1 se muestra un resumen de la descripción de cada clase de sitio y sus límites máximos y mínimos de valor de Vs30.

En otro estudio realizado por el MARN sobre “Modelos analíticos para análisis de respuesta de sitio a nivel nacional” (Mixco, L. 2021), se desarrollaron modelos analíticos-teóricos para el análisis de respuesta de sitio a nivel nacional, bajo un enfoque equivalente-lineal de simulaciones unidimensionales donde se propagaron ondas sísmicas a lo largo de una columna de suelo (compatibles con los niveles de intensidad obtenidos del estudio probabilístico de amenaza sísmica de El Salvador), considerando tanto el comportamiento dinámico y no-lineal de sus unidades como el tratamiento de la incerteza aleatoria derivada a lo largo del procedimiento.

Con ello, se pudieron derivar para cada clase de sitio y cada medida de intensidad (bajo diferentes niveles de aceleraciones en roca), factores de amplificación conservadores para cada período estructural, logrando una coherente integración (convolución) de la evaluación de la respuesta de sitio con la amenaza sísmica en suelo firme o roca, y consecuentemente estimar la amenaza sísmica en superficie, como también la obtención del espectro de diseño sísmico del sitio.

Tabla 1. Clasificación de suelos según NEHRP 2020 junto a reclasificaciones de MARN 2020

No	Reclasificación de Clases de Sitio					Criterio Geotécnico		
	2016 NEHRP	2020 NEHRP	Descripción general	Descripción detallada	Productos volcánicos, según MARN 2011 y discusiones con geólogos	Vs30 (m/s)		Vs30 (m/s) Media Geométrica
1	B	BC	Roca blanda	Roca blanda	Lavas fracturadas meteorizadas, Rocas Dacíticas, Lahares con escorias y fragmentos lávicos, Depósito de flujos piroclásticos, ej.: Boquerón (G1)	640	910	760
2	C	C	Suelo duro	Suelo muy denso o arcilla dura.	Lavas fracturadas bien meteorizadas, Ignimbritas máficas meteorizadas, Lahares con escorias, Tobas aglomeradas, Tobas inferiores (Productos antiguos de TB4 de la caldera de Ilopango)	440	640	530

Tabla 1. Clasificación de suelos según NEHRP 2020 junto a reclasificaciones de MARN 2020

Reclasificación de Clases de Sitio					Criterio Geotécnico		
3	CD	Suelo medio duro	Suelo de arena densa o arcilla muy rígida.	Coluvios en profundidad, Sedimentos Aluviales, Lahares meteorizados, Ignimbritas de Boquerón (G2), Tobas Superiores en profundidad (Productos antiguos de TBJ de la caldera de Ilopango)	300	440	360
4	D	Suelo poco duro	Suelo de arena medianamente densa o suelo arcilloso rígido	Tobas Superiores superficiales (Productos antiguos de TBJ de la caldera de Ilopango) Tierra Blanca Joven proximal en profundidad, Lahares bien meteorizados	210	300	250
5		DE	Suelo blando	Suelo de arena suelta o suelo arcilloso medio rígido	Tierra Blanca Joven distal superficial, Suelos plásticos meteorizados, Suelos retrabajados con bloques de rocas y granos gruesos.	150	210
6	E	E	Suelos de arena muy suelta o suelo arcilloso blando	Rellenos no compactados, Suelos orgánicos, Sedimentos fluviales o retrabajados de grano fino y Suelos bien meteorizados con arcillas blandas	< 150		
7	F	F	Suelos que requieren análisis de respuesta del sitio de acuerdo con la Sección 21.1				

Por otro lado, una **Categoría de riesgo** se define como una categorización de edificios y otras estructuras para la determinación de cargas por sismos con base en el riesgo asociado con un desempeño inaceptable. Este se usa para relacionar los criterios entre las cargas máximas por sismo, con la seriedad de la consecuencia de fallas estructurales. Desde el menor riesgo a la vida humana (Categoría de Riesgo I), hasta el mayor (Categoría de Riesgo IV).

En la tabla 2 se detallan las descripciones de cada una de las categorías de riesgo, las cuales prácticamente se refieren a una concepción híbrida entre el nivel de importancia de la edificación y el nivel de riesgo sísmico en términos de número de personas que pudiesen estar expuestas.

El término “Vidas en Riesgo” se refiere al número de personas que está en riesgo serio de perder la vida debido a una falla estructural. Las vidas en riesgo por una falla estructural incluyen personas que pueden estar afuera de la estructura en cuestión, quienes, a pesar de ello, pueden estar en un riesgo severo ante el colapso de la edificación. En base a esto, instalaciones necesarias para hacerle frente a una emergencia y que dan servicio a una gran población, aun cuando la estructura pueda albergar poca gente relativamente, se han clasificado en una Categoría de Riesgo alta. Cuando se determina la población en riesgo se debe tener en cuenta el riesgo a la vida en el largo plazo, así como el riesgo a la vida que se crea durante la falla estructural.

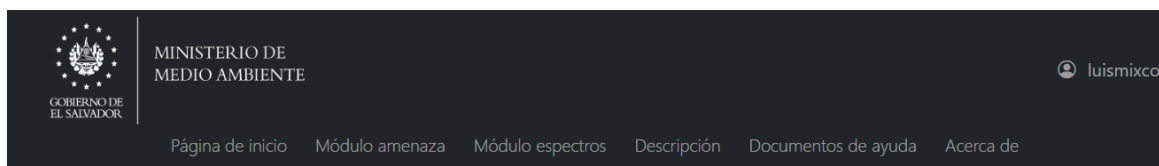
Tabla 2. Categorías de riesgo

Categorías		Descripción de uso u ocupación de los edificios y estructuras				
I	Engloba a las estructuras y edificios que normalmente están desocupados y que en el caso de un colapso el resultado es un riesgo mínimo para el público.					
II	Incluye la vasta mayoría de estructuras, incluyendo la mayoría de los edificios residenciales, comerciales e industriales y aquellas estructuras y edificios que no tienen una clasificación específica en otra categoría.					
III	Considera estructuras y edificios que albergan un gran número de personas en un lugar, tales como teatros, auditorios, y lugares de congregación de personas similares; incluye, además, edificios con personas que tienen una capacidad de movilización limitada, como por ejemplo escuelas, prisiones y pequeñas unidades de salud. En esta categoría se incluyen estructuras relacionadas con instalaciones necesarias para proteger la salud y la seguridad de una comunidad, como por ejemplo estaciones generadoras de energía, centros de telecomunicaciones, plantas potabilizadoras de agua y plantas de tratamiento de agua. También, incluye estructuras que contienen sustancias peligrosas, tales como explosivos o tóxicos, cuyo contenido, de ser liberado en el ambiente, pone en peligro la comunidad circundante, tales como instalaciones que procesan petroquímicos.					
IV	Incluye estructuras cuya falla pudiera inhibir los servicios comunitarios esenciales necesarios para afrontar una situación de emergencia. Edificios y estructuras agrupadas en esta categoría son hospitales, estaciones de policía, estaciones de bomberos, centros de comunicaciones de emergencia, y otros similares.					
I II III IV 11001000100000100000 Número de personas en riesgo						

En la figura 12, se muestra un ejemplo de aplicación para realizar consulta del espectro de diseño sísmico de un sitio específico. Se utilizará el geo-localizador y se obtendrán los campos de Latitud y Longitud completos.

Para la clase de sitio, el usuario identificó que el punto de interés posee una clase CD donde predominan paquetes de suelos medios duros ($300 \text{ m/s} \leq V_{s30} < 440 \text{ m/s}$), este pudo haberse obtenido mediante ensayos geofísicos ya sea directos o indirectos; o bien, con una estimación de perfiles de velocidad determinados con relaciones empíricas empleando datos provenientes de estudios geotécnicos, como lo son ensayos de penetración estándar (SPT) o ensayos de penetración de cono (CPT), junto con densidades y clasificación geotécnica de sus diferentes unidades.

Para la categoría de riesgo, el usuario dictamina que es un edificio de apartamentos que consta con un número limitado de inquilinos, por lo que se selecciona una categoría de riesgo II. Cabe mencionar, que, en el campo de categoría de riesgo, al lado adyacente de la descripción, existe un botón de información que abre un cuadro de diálogo donde el usuario puede revisar con más detalles la descripción de uso u ocupación de los edificios y estructuras correspondientes a cada categoría, tal como se muestra en la tabla 2.



Herramienta para módulo de espectros de diseño de El Salvador

Introduzca la latitud y longitud del punto sobre el cual desea realizar los cálculos en los campos a continuación.

Ubicación

Latitud: 13.693

Longitud: -89.237

Elegir ubicación en mapa

Atributos de datos sísmicos

Clase de sitio:

Clase CD - 'Suelo medio duro' [300 <= Vs30 < 440] m/s

Categoría de riesgo:

Categoría de riesgo II

Calcular

Reiniciar

Clase de sitio:

Clase CD - 'Suelo medio duro' [300 <= Vs30 < 440] m/s

Clase BC - 'Roca blanda' [640 <= Vs30 < 910] m/s

Clase C - 'Suelo duro' [440 <= Vs30 < 640] m/s

Clase CD - 'Suelo medio duro' [300 <= Vs30 < 440] m/s

Clase D - 'Suelo poco duro' [210 <= Vs30 < 300] m/s

Clase DE - 'Suelo blando' [150 <= Vs30 < 210] m/s

Clase E - 'Suelo muy blando' [Vs30 < 150] m/s

Categoría de riesgo:

Categoría de riesgo II

Categoría de riesgo I

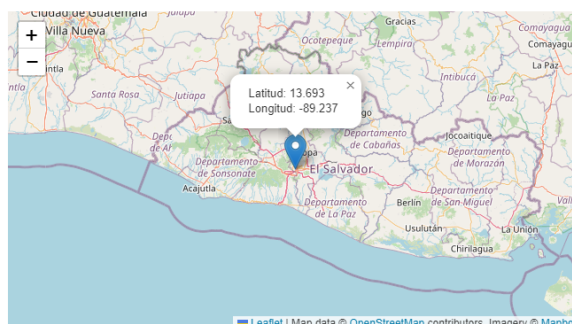
Categoría de riesgo II

Categoría de riesgo III

Categoría de riesgo IV

Calcular

Reiniciar



Categorías de riesgo

Categoría I: engloba a las estructuras y edificios que normalmente están desocupados y que en el caso de un colapso el resultado es un riesgo mínimo para el público.

Categoría II: incluye la vasta mayoría de estructuras, incluyendo la mayoría de los edificios residenciales, comerciales e industriales y aquellas estructuras y edificios que no tienen una clasificación específica en otra categoría.

Categoría III: considera estructuras y edificios que albergan un gran número de personas en un lugar, tales como teatros, auditorios, y lugares de congregación de personas similares; incluye, además, edificios con personas que tienen una capacidad de movilización limitada, como por ejemplo escuelas, prisiones y pequeñas unidades de salud. En esta categoría se incluyen estructuras relacionadas con instalaciones necesarias para proteger la salud y la seguridad de una comunidad, como por ejemplo estaciones generadoras de energía, centros de telecomunicaciones, plantas potabilizadoras de agua y plantas de tratamiento de agua. También, incluye estructuras que contienen sustancias peligrosas, tales como explosivos o tóxicos, cuyo contenido, de ser liberado en el ambiente, pone en peligro la comunidad circundante, tales como instalaciones que procesan petroquímicos.

Categoría IV: incluye estructuras cuya falla pudiera inhibir los servicios comunitarios esenciales necesarios para afrontar una situación de emergencia. Edificios y estructuras agrupadas en esta categoría son hospitales, estaciones de policía, estaciones de bomberos, centros de comunicaciones de emergencia y...

Cerrar

Fig 12. Módulo de espectros de diseño sísmico: Para una clase de sitio CD y una categoría de riesgo II

Una vez todos los campos estén completados se procede a presionar el botón “Calcular”, el cual está en la parte inferior de la página (debajo del campo de Categoría de riesgo), de un color verde. De igual manera, existe otro botón llamado “Reiniciar” el cual permite al usuario reestablecer todos los campos y empezar de nuevo la consulta de información.

Al presionar el botón verde llamado “Calcular”, dentro de la misma página, se obtiene la información deseada para las coordenadas geográficas del sitio ingresado por el usuario. En la figura 13 se observan los resultados obtenidos. Esta información se divide en dos secciones. La primera se llama “Información Sísmica”, y es donde se resumen dentro de una tabla horizontal todos los parámetros sísmicos calculados para el sitio y que servirán para la concepción de los espectros de diseño elásticos, con mayor énfasis a aquel que se evalúa solamente con dos periodos estructurales. Esta tabla se visualiza en la parte superior de la figura 13.

Resultados para Latitud: 13.693 / Longitud: -89.237

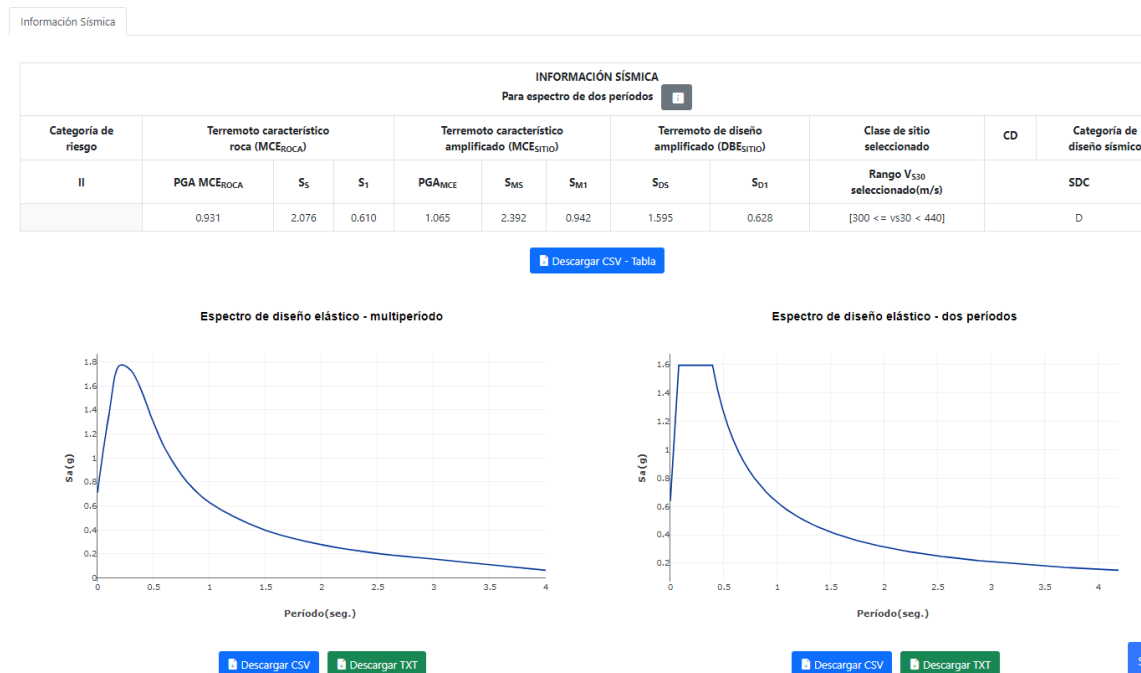


Fig 13. Módulo de espectros de diseño sísmico: Resultados para una clase de sitio CD y una categoría de riesgo II

Esta tabla comienza mostrando la categoría de riesgo elegido, seguidamente a la derecha, se detallan los parámetros de aceleración de la respuesta espectral extraídos de un espectro para un Terremoto Característico (MCE, en inglés *Maximum Considered Earthquake*) en suelo firme o roca, donde se utiliza la clase de sitio de referencia BC, y el cual es análogo al espectro de amenaza sísmica uniforme para un período de retorno de 2475 años, mostrado en la pasada figura 10.

El Terremoto Máximo Considerado (MCE) o mejor conocido como Terremoto Característico (sismo extremo), es el que se espera que produzca los efectos más severos en las edificaciones de una región. Este usualmente, se atribuye a las aceleraciones que pudiesen ocurrir bajo un período de retorno de 2475 años. Es por ello que en el CSE se establece su concepto y se toma como base para obtener el Terremoto de diseño (DBE, en inglés: *Design Basis Earthquake*).

El Terremoto de Diseño incluye los efectos sísmicos cuantificados como **dos tercios** de los efectos del correspondiente MCE. Esta práctica es la que se utiliza actualmente en Estados Unidos para obtener sus cargas sísmicas de diseño y es incluida dentro de su código ASCE. La razón de lo anterior, se basa en las experiencias que el país norteamericano ha tenido frente a sus terremotos y posteriores análisis retrospectivos de los desempeños estructurales observados (junto a sus daños respecto a estados límites) que han experimentado sus diferentes tipologías de edificaciones; encontrándose que estructuras que fueron diseñadas con los códigos anteriores mantenían un margen sustancial contra el colapso (aproximadamente 1.5 veces), es decir mucho más grande que aquel para el cual la estructura había sido diseñada nominalmente con cargas factorizadas.

Es por ello, que para los nuevos códigos se dictaminó avocarse a una filosofía por desempeño estructural, donde se hiciera énfasis en la consideración de un margen sísmico entre el nivel de diseño y el Colapso, garantizando siempre el estado límite de Seguridad a la Vida de los ocupantes de la estructura. Por lo tanto, los movimientos del suelo de diseño serían (2/3) de los producidos por un MCE, con el razonamiento de que cualquier estructura diseñada según las nuevas disposiciones sísmicas, tuviese un margen al colapso mínimo de 1.5 (el inverso de 2/3).

Entre los parámetros de aceleración espectral para esta sección del Terremoto Característico están los siguientes:

- **PGA MCE_{ROCA}** = Aceleración máxima del terreno (para el período de 0 segundos, PGA en inglés *Peak Ground Acceleration*) del Terremoto Máximo Considerado (Sismo extremo o característico) en condiciones de suelo firme o clase de sitio BC.
- **S₅** = Aceleración espectral, al 5% de amortiguamiento, para el periodo de 0.2 segundos y la clase de sitio BC (Roca Blanda) del Terremoto Máximo Considerado (característico).
- **S₁** = Aceleración espectral, al 5% de amortiguamiento, para el periodo de 1.0 segundos y la clase de sitio BC (Roca Blanda) del Terremoto Máximo Considerado (característico).

Posteriormente, se encuentra los valores extraídos de un espectro para un Terremoto Característico Amplificado, el cual hace uso de las funciones de amplificación calculadas para la clase de sitio CD ingresada por el usuario; la cual se encuentra tabulada dentro de la base de datos gestionada por el MARN y de la cual se alimenta PRASEDES. Entre los parámetros de aceleración de la respuesta espectral calculados son los siguientes:

- **PGA_{MCE}** = Aceleración máxima del terreno (para el período de 0 segundos) del Terremoto Máximo Considerado (Sismo extremo o característico) ajustado por los efectos de sitio (condición amplificada).
- **S_{MS}** = Aceleración espectral, al 5% de amortiguamiento, para el periodo corto del Terremoto Máximo Considerado (Sismo extremo) ajustado por los efectos de sitio (condición amplificada).
- **S_{M1}** = Aceleración espectral, al 5% de amortiguamiento, para el periodo largo del Terremoto Máximo Considerado (Sismo extremo) ajustado por los efectos de sitio (condición amplificada).

Seguidamente se colocan los parámetros de respuesta espectral propios del espectro de diseño sísmico, denominado “Terremoto de diseño amplificado: DBE_{sísmico}”), los cuales son necesarios para construir el espectro de diseño de dos períodos, el cual se encuentra graficado más abajo en la parte derecha. Estos son los siguientes:

- **S_{DS}** = Aceleración espectral, al 5% de amortiguamiento, para el periodo corto del Terremoto de Diseño, ajustado por los efectos de sitio (condición amplificada).
- **S_{D1}** = Aceleración espectral, al 5% de amortiguamiento, para el periodo largo del Terremoto de Diseño, ajustado por los efectos de sitio (condición amplificada).

Luego se muestra la clase de sitio seleccionado (que en este caso es CD) y a su vez el rango de valores de V_{s30} que corresponde dicha clasificación seleccionada ($300 \text{ m/s} \leq V_{s30} < 440 \text{ m/s}$).

Finalmente, se muestra la categoría de diseño sísmico (SDC, en inglés *Seismic Design Category*), la cual se define como una clasificación asignada a una estructura basada en su Categoría de Riesgo y la intensidad del movimiento del terremoto de diseño en un lugar. Las Categorías de Diseño Sísmico proveen un medio para incrementar progresivamente desde procedimientos de construcción y diseño simples y fácilmente ejecutables, hasta

requerimientos más sofisticados, detallados y costosos a medida que tanto el nivel de amenaza sísmica y de las consecuencias de falla se incrementan. (López, M. et. al 2021).

Para un nivel dado de una sacudida, la Categoría de Diseño Sísmico es una categoría mayor para las estructuras con Categoría de Riesgo IV que para las estructuras con una categoría de riesgo menor. Esta clasificación tiene la intención de incrementar la confianza de que los requisitos para el diseño y construcción pueden producir el desempeño esperado en el caso de un evento extremo (López, M. et. al 2021).

Se asigna una Categoría de Diseño Sísmico a las estructuras en base a la condición más severa de las aceleraciones de periodo corto y de periodo largo. Por lo que se hace uso de los parámetros de aceleración espectral de diseño S_{DS} y S_{D1} y el proveniente del MCE S_1 . Por lo que se evita el cálculo preciso del período natural de una estructura y, a su vez, ayuda a simplificar las regulaciones de construcción estableciendo que todos los edificios emplazados sobre una clase de sitio dado se les asigne la misma Categoría de Diseño Sísmico, sin importar la tipología estructural. Esta clasificación tiene la ventaja de permitir una regulación uniforme en la selección del sistema que resiste las fuerzas de sismo, los requisitos de inspección y pruebas, requisitos de diseño sísmico para componentes no estructurales, y aspectos similares del proceso de diseño. (López, M. et. al 2021).

Entonces, las estructuras deben ser diseñadas de acuerdo con su Categoría de Diseño Sísmico.

- Estructuras con Categorías de Riesgo I, II y III ubicadas en donde el parámetro de aceleración espectral mapeado (S_1), sea igual o mayor a 0.75 serán asignadas a la Categoría de Diseño Sísmico E.
- Estructuras con Categoría de Riesgo IV ubicadas en donde el parámetro de aceleración espectral mapeado (S_1), sea igual o mayor a 0.75 serán asignadas a la Categoría de Diseño Sísmico F.
- Todas las otras estructuras se les asignara su Categoría de Diseño Sísmico en base a su Categoría de Riesgo y los parámetros de aceleración espectral del espectro de diseño, S_{DS} y S_{D1} , de acuerdo a las siguientes tablas 3 y 4, sin importar, el período natural de la estructura.

Tabla 3. Categorías de diseño sísmico en base a los parámetros de aceleración espectral para períodos cortos

Valor de S_{DS}	Categoría de Riesgo Sísmico	
	I o II o III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabla 4. Categorías de diseño sísmico en base a los parámetros de aceleración espectral para períodos largos

Valor de S_{DS}	Categoría de Riesgo Sísmico	
	I o II o III	IV
$S_{D1} < 0.167$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

Esta tabla de “Información sísmica” también puede descargarse en formato CSV como tabla, para que el usuario también puede emplear esta información como anexo a un reporte estructural. Esto se obtiene al presionar el botón de color azul, llamado: “Descargar CSV – Tabla”, el cual se encuentra inmediatamente debajo de dicha tabla. El nombre del archivo ha sido definido como “tabla_info_sismica.csv”.

7.1. Espectro Multiperíodo

Finalmente, está la sección inferior de los gráficos correspondientes a los espectros de diseño elásticos para El Salvador, tanto el espectro Multiperíodo y el espectro de Dos Períodos. Los cuales ambos variarán de una manera automática, dependiendo de las clases de sitio y ubicación del punto de interés que el usuario ingrese.

Cabe mencionar, que los movimientos de terreno de diseño plasmados en el CSE se han determinado sobre la base de los nuevos lineamientos del ASCE 7-22, lo cual dictamina el uso de un espectro respuesta multiperíodo, con el fin de mejorar la precisión del contenido de frecuencia de los movimientos, y mejorar la confiabilidad de los parámetros de diseño sísmico derivados de estos movimientos del terreno.

Con esta acción, se lograría absorber a) la situación encontrada por el Comité de Actualización de Provisiones (PUC) del Consejo de Seguridad Sísmica de Estados Unidos, respecto a evitar la subestimación sustancial de la demanda espectral para estructuras de período moderadamente largo, en clases de sitio compuestos por suelos blandos, sometidos a aceleraciones importantes producto de eventos de gran magnitud, y b) lograr capturar una mejor definición de las demandas espectrales junto a los períodos predominantes que pueden incidir en la amplificación del terreno, obteniendo como resultado una forma espectral para el diseño que más se acerque a nuestra realidad y complejidad de nuestras clases de sitio que encierran una heterogeneidad importante de tipos de suelo; donde es evidente que en ocasiones pueden surgir más de un modo predominante de vibración.

En total se han considerado las 14 medidas de intensidad correspondiente a períodos estructurales evaluadas en el estudio de amenaza sísmica, por lo que el gráfico contendrá 14 puntos en su forma espectral. Vale la pena mencionar, que este incremento de precisión trae consigo también la determinación de las funciones de amplificación para el mismo número de períodos, situación que fue desarrollada por el MARN (Mixco, L, 2021). Los 14 períodos son los siguientes: 0.0 seg, 0.1 seg, 0.2 seg, 0.3 seg, 0.5 seg, 0.6 seg, 0.8 seg, 1.0 seg, 1.5 seg, 2.0 seg, 2.5 seg, 3.0 seg, 3.5 seg y 4.0 seg. En la figura 14 se observa el resultado del espectro Multiperíodo para el ejemplo mencionado. Este gráfico puede descargarse en formato CSV y TXT, oprimiendo los botones de color azul y verde, respectivamente; encontrados inmediatamente debajo del mismo. El nombre definido para este archivo es: “espectro_elastico_mult.csv” o “espectro_elastico_mult.txt”.



Fig 14. Módulo de espectros de diseño sísmico: Espectro de diseño elástico Multiperíodo y sus valores

7.2. Espectro de Dos Períodos

A pesar que se ha determinado el espectro Multiperíodo para puntos localizados dentro del área geográfica de El Salvador, y el que se sugiere utilizar para cualquiera de los procesos de diseño; también se presenta al usuario la alternativa del espectro de Dos Períodos, el cual su forma espectral es muy reconocida en otros códigos sísmicos del mundo.

Este espectro se construye utilizando una aceleración espectral para periodos cortos y otra para periodos largos. Es acá donde los parámetros de aceleración espectral S_{DS} y S_{D1} son utilizados nuevamente. Las expresiones para determinar estos valores fueron las siguientes:

- Aceleración espectral de diseño para periodos cortos (S_{DS}):

$$S_{DS} = MAX(0.9 \times S_a [0.2 \text{ seg} \leq T \leq 5.0 \text{ seg}])$$

- Aceleración espectral de diseño para periodos largos (S_{D1}):

- Para clases de sitio con V_s30 mayores a 365 m/s:

$$\frac{S_{D1}}{T} = \frac{MAX(S_{a1}, T \times 0.9 \times S_a [1.0 \text{ seg} \leq T \leq 2.0 \text{ seg}])}{T}$$

- Para clases de sitio con V_s30 menores o iguales a 365 m/s:

$$\frac{S_{D1}}{T} = \frac{MAX(S_{a1}, T \times 0.9 \times S_a [1.0 \text{ seg} \leq T \leq 5.0 \text{ seg}])}{T}$$

Donde:

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_5 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Considerando T como el periodo fundamental de la estructura, el espectro de diseño de dos periodos se elaborará de la siguiente manera:

- Para periodos menores que T_0 , las aceleraciones espectrales de diseño, S_a , deben ser calculadas usando la siguiente formula:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- Para periodos mayores o iguales a T_0 , pero menores o iguales que T_5 , las aceleraciones espectrales de diseño, S_a , deberán ser tomadas iguales a S_{DS} .
- Para periodos mayores que T_5 las aceleraciones espectrales de diseño, S_a , deben ser calculadas usando la siguiente formula:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

En la figura 15 se observa el resultado del espectro de Dos Períodos para el ejemplo mencionado. Este gráfico puede descargarse en formato CSV y TXT, oprimiendo los botones de color azul y verde, respectivamente; encontrados inmediatamente debajo del mismo. El nombre definido para este archivo es: “espectro_elastico_dos_periodos.csv” o “espectro_elastico_dos_periodos.txt”.

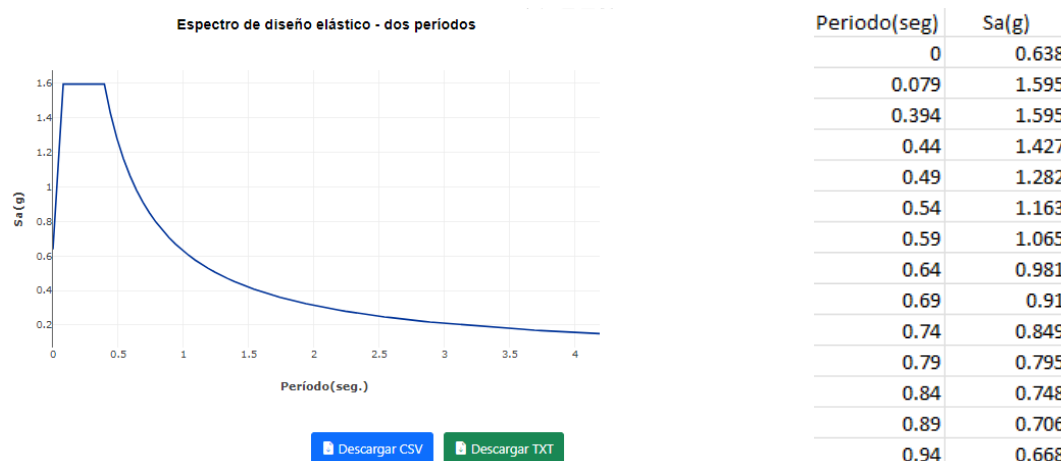


Fig 15. Módulo de espectros de diseño sísmico: Espectro de diseño de Dos Períodos y sus valores correspondientes

8. Documentos de ayuda

Dentro de PRASEDES también se ha destinado un espacio para poder acondicionar todos los documentos técnicos de ayuda o respaldo, que se han desarrollado para darle vida a esta plataforma. Inclusive, también se encuentra este documento “Guía de usuario” colgado en nuestro sitio web del MARN para que el usuario pueda seguir paso a paso el manejo de PRASEDES.

Para poder acceder a estos documentos, se puede buscar el nombre “Documentos de Ayuda” en la barra de título en cualquier página dentro de PRASEDES (ver figura 10 de este documento); o bien acceder a este enlace web: <https://prasedes.snet.gob.sv/documentos/>. Cada uno de estos documentos posee su link asociado, y se puede visualizar o descargar como documento PDF. En la figura 16 se muestra los 10 documentos que le proporcionan soporte a PRASEDES y que el usuario puede indagar más técnicamente sobre los resultados de amenaza sísmica y espectros de diseño obtenidos para El Salvador. Estos se enumeran a continuación:

- 1) Manuales
 - i. [Guía de usuario](#)
- 2) Amenaza Sísmica
 - i. [Evaluación probabilística de amenaza sísmica de El Salvador 2020. Utilizando la metodología de Global Earthquake Model-GEM.](#)
- 3) Efecto de sitio
 - i. [Generación de mapa de velocidades promedio a 30 metros de profundidad \(Vs30\) de El Salvador 2021.](#)
 - ii. [Modelos analíticos para análisis de respuesta de sitio a nivel nacional 2020.](#)
 - iii. [Estimación de efectos de sitio a través de Modelos Empíricos 2020.](#)
- 4) Vulnerabilidad estructural
 - i. [Evaluación de la respuesta y vulnerabilidad sísmica de edificios de marcos resistentes a momento y su cuantificación.](#)
 - ii. [Evaluación de la vulnerabilidad de la mampostería y su adecuación estructural](#)
- 5) Lineamientos para evaluación de vulnerabilidad y readecuación estructural
 - i. [Lineamientos para la evaluación de la vulnerabilidad y readecuación estructural](#)
- 6) Propuesta de normativa sísmica de El Salvador
 - i. [Modernización de las provisiones que rigen el diseño sísmico](#)
- 7) Definiciones y simbologías
 - i. [Explicación de definiciones, simbología y clases de sitio de suelos, contenida en el cuadro de Información Sísmica \(módulo de espectros\)](#)



Fig 16. Documentos de ayuda en plataforma PRASEDES

9. Acerca de

Para poder conocer la información de los desarrolladores del MARN e instituciones colaboradoras y participantes del proyecto del BID donde se inició el proceso de construcción de esta herramienta, se puede buscar el nombre “Acerca de” en la barra de título en cualquier página dentro de; o bien acceder a este enlace web: <https://prasedes.snet.gob.sv/acerca/>. Acá se hace énfasis que ésta es una primera versión de PRASEDES y que a medida se vayan actualizando los insumos técnicos se hará una posterior publicación. En la figura 17 se muestra una captura de pantalla del contenido de esta página y la información de los desarrolladores.



Fig 17. Desarrolladores del MARN e instituciones participantes en plataforma PRASEDES

10. Bibliografía

- Mixco, L. (2021), Evaluación Probabilística de la Amenaza Sísmica de El Salvador. Informe realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). http://srt.snet.gob.sv/tallerdivulgacion/Amenaza/4.%20Evaluaci%3%b3n%20probabil%3%adstica%20de%20amenaza%20s%3%adsmica%20de%20El%20Salvador%202020_v2.pdf
- Mixco, L. (2021), Generación de mapa de velocidades promedio a 30 metros de profundidad (Vs30) de El Salvador. Informe realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). [http://srt.snet.gob.sv/tallerdivulgacion/Amenaza/5.%20Generaci%3%b3n%20de%20mapa%20de%20velocidades%20promedio%20a%2030%20metros%20de%20profundidad%20\(Vs30\)%20de%20El%20Salvador%202021.%20%20.pdf](http://srt.snet.gob.sv/tallerdivulgacion/Amenaza/5.%20Generaci%3%b3n%20de%20mapa%20de%20velocidades%20promedio%20a%2030%20metros%20de%20profundidad%20(Vs30)%20de%20El%20Salvador%202021.%20%20.pdf)
- Mixco, L. (2021), Modelos analíticos de respuesta de sitio a nivel nacional. Informe realizado por el MARN. <http://srt.snet.gob.sv/tallerdivulgacion/Amenaza/7.%20Estimaci%3%b3n%20de%20efectos%20de%20sitio%20a%20trav%3%a9s%20de%20Modelos%20Emp%3%adricos%202020.%20%20.pdf>
- López, M. et. Al 2021, Modernización de las provisiones que rigen el diseño sísmico. <https://srt.snet.gob.sv/tallerdivulgacion/Amenaza/MODERNIZACI%3%93N%20DE%20LAS%20PROVISIONES%20QUE%20RIGEN%20EL%20DISE%3%91O%20S%3%8DSMICO.pdf>



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

Guía de usuario de Plataforma de Resultados de Amenaza Sísmica
y Espectros de Diseño de El Salvador
Luis Mixco 2023



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

www.marn.gob.sv | medioambiente@marn.gob.sv

