

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**Profesor Patrocinante:** Ing. Civil Franco Benedetti Leoneli

**Profesores Comisión:** Mg. Alexander Opazo Vega

Mg. Ricardo Riveros



**ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA DEBIDO A LA  
INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA EN EDIFICIOS DE MEDIANA  
ALTURA.**

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**YERKO GONZALO SALAS SALAS**

**CONCEPCIÓN, MARZO 2015**

## NOMENCLATURA

$F_c$  : Resistencia a la compresión axial de una probeta de hormigón: Ensayada a los 28 días de edad.

$S_a$  : Seudoaceleración.

$\widetilde{S}_a$  : Seudoaceleración en base flexible

$S_d$  : Seudodesplazamiento.

$T_{fij}$  : Período fundamental, bajo condición de base fija.

$T_{ISE}$  : Período fundamental, incorporando el efecto Interacción Suelo-Estructura.

$\widetilde{T}$  : Período fundamental, asociado al espectro de Seudoaceleración en base flexible.

$Q_{fij}$  : Esfuerzo de corte, bajo condición de base fija.

$Q_{ISE}$  : Esfuerzo de corte, incorporando el efecto Interacción Suelo-Estructura.

PM III : Edificio Plaza Mayor III.

PM IV : Edificio Plaza Mayor IV.

INDICE GENERAL	Página
RESUMEN .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1. Motivación</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>9</b>
1.2.1. <i>General</i> .....	9
1.2.2. <i>Específicos</i> .....	9
1.2.3. <i>Alcance</i> .....	10
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1. Definición de las estructuras a analizar</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2. Modelación de las estructuras</b> .....	<b>11</b>
2.2.1. <i>Modelación sobre base fija</i> .....	12
2.2.2. <i>Modelación sobre base flexible</i> .....	14
<b>2.3. Análisis de coordenadas espectrales</b> .....	<b>15</b>
2.3.1. <i>Razón de rigidez Suelo-Estructura</i> .....	15
2.3.2. <i>Análisis según norma Nch 433 of 1996 mod 2009 de diseño sísmico, DS 61-2011</i>	16
2.3.3. <i>Análisis según Espectros de registro sísmico ccp 27/F</i> .....	17
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1. Periodos fundamentales</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2. Razón de rigidez Suelo-Estructura</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3. Coordenadas espectrales según Nch 433</b> .....	<b>23</b>
3.3.1. <i>Espectros de Seudoaceleración y Seudodesplazamiento</i> .....	23
3.3.2. <i>Demanda de Fuerza basal</i> .....	26
3.3.3. <i>Demanda de Momentos basales</i> .....	28
<b>3.4. Espectros de Seudoaceleración de ccp 27/F</b> .....	<b>28</b>
<b>3.5. Coordenadas espectrales en registro ccp 27/F</b> .....	<b>29</b>
<b>3.6. Relación de Fuerza basal considerando registro ccp 27/F</b> .....	<b>31</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS</b> .....	<b>33</b>
<b>5. REFERENCIAS</b> .....	<b>36</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>37</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Efecto Interacción Suelo-Estructura sobre espectro de pseudoaceleración</b>	<b>7</b>
<b>Figura 2. Registros sísmicos sobre espectro de diseño</b>	<b>8</b>
<b>Figura 3. Imágenes de los modelos. a) Edificios Plaza Mayor III b) Edificios Plaza Mayor IV</b>	<b>13</b>
<b>Figura 4. Periodos fundamentales</b>	<b>20</b>
<b>Figura 5. Razón de Periodos fundamentales</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6. . Relación de rigidez Suelo-Estructura</b>	<b>22</b>
<b>Figura 7. Coordenadas espectrales en suelo D, Plaza Mayor IV, dirección Y</b>	<b>23</b>
<b>Figura 8. Coordenadas espectrales en suelo E, Plaza Mayor III, dirección X</b>	<b>24</b>
<b>Figura 9. Relación de Pseudoaceleraciones de los modos fundamentales.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 10. Relación de Fuerzas basales</b>	<b>26</b>
<b>Figura 11. Variación de demanda de fuerzas en función de la razón de Rigidez</b>	<b>27</b>
<b>Figura 12. Demanda de Momentos basales</b>	<b>28</b>
<b>Figura 13. Espectro de pseudoaceleración ccp long 27/F</b>	<b>29</b>
<b>Figura 14. Coordenadas espectrales, Plaza Mayor IV en suelo D, dirección Y</b>	<b>30</b>
<b>Figura 15. Relación de Fuerzas basales en registro sísmico</b>	<b>32</b>

## **ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA DEBIDO A LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA EN EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA.**

**Autor: Yerko Gonzalo Salas Salas**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bio-Bío.

[ysalas@alumnos.ubiobio.cl](mailto:ysalas@alumnos.ubiobio.cl)

**Profesor Patrocinante: Franco Benedetti Leoneli**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bio-Bío.

fbenedet@ubiobio.cl

### **RESUMEN**

El fenómeno Interacción Suelo-Estructura, normalmente alarga los periodos fundamentales de una estructura, debido a la flexibilización que se presenta en el suelo y a la incorporación de amortiguamiento al sistema suelo-estructura, debido a la existencia de radiación de ondas sísmicas. Este fenómeno, es considerado en la literatura como una condición relevante sobre la demanda sísmica de una estructura, situación avalada por los diversos estudios que se han desarrollado.

Ahora bien, las normativas chilenas no integran como parte del diseño al efecto de Interacción Suelo-Estructura, y además, las normativas que lo incorporan lo consideran una condición favorable para la estructura. Sin embargo el cambio en las propiedades dinámicas de una estructura debido al fenómeno, hace sospechar un posible escenario contrario a lo esperado en las normativas.

En el presente trabajo se evaluaron dos estructuras reales de hormigón armado, en donde se utilizó como base para el análisis, la norma Nch 433 de Diseño Sísmico, entre otras normas, y se contrastó con los resultados obtenidos utilizando la teoría formulada por Gazetas, entre otros autores.

Los resultados mostraron que, existieron situaciones en que este fenómeno fue visiblemente relevante, ya que, se evidenció un claro aumento en la demanda sísmica de las estructuras,

contradiendo el carácter de conservador con que los códigos relacionan al fenómeno Interacción Suelo-Estructura.

**Palabras claves:** Interacción Suelo Estructura, Diseño sísmico, Demanda sísmica.

Palabras Texto 5933+ 15 Figuras/Tablas\*250 = 9683 Palabras Totales

**ABSTRACT**

The Soil-Structure Interaction, a phenomenon usually lengthens the fundamental periods of a structure due to the relaxation that occurs in the soil and the addition of buffer to the soil-structure system due to the existence of radiation of seismic waves. This phenomenon is considered in the literature as an important condition on the seismic demand of a structure, a situation confirmed by various studies that have been developed.

However, Chilean regulations do not integrate into the design to effect Soil-Structure Interaction, and also regulations that incorporate it as a favorable condition for the structure. However the change in the dynamic properties of a structure due to the phenomenon, makes suspect a possible scenario contrary to expectations in the regulations.

In this paper two real concrete structures were evaluated, where was used as the basis for analysis, Nch 433 standard Seismic Design, among other rules, and was compared with the results obtained using the theory formulated by Gazetas between other authors.

The results showed that there were situations where this phenomenon was visibly relevant since, a clear increase was evident in the seismic demand of structures, contradicting the conservative character codes that relate to the Soil-Structure Interaction phenomenon.

**Keywords:** Soil Structure Interaction, Seismic Design, Seismic Demand.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la Actualidad, Chile es bien conocido por su alta actividad sísmica, ostentando una abultada estadística de eventos de este tipo, como por ejemplo, uno de los últimos más considerables, ocurrido el 27 de Febrero de 2010. Siguiendo esta línea, se podría pensar que Chile debería poseer una rigurosa y estricta normativa de diseño y construcción, en lo que se refiere a edificaciones. No obstante, si bien los códigos actuales han manejado de manera aceptable los eventos sísmicos acontecidos, estos están muy por debajo de las consideraciones tomadas por países sísmicos tal como Japón, por mencionar uno.

Ahora, basándose en la idea planteada anteriormente y sumadas a las actuales investigaciones, se pone sobre la mesa una nueva consideración, esta es, el papel que juega el suelo sobre la estructura. Luego, las publicaciones presentadas sobre el tema, sugieren que el mayor problema que se presenta es la variación en los periodos fundamentales y el amortiguamiento del sistema suelo-estructura.

Los códigos actuales ocupados en el país, toman en consideración al suelo de fundación estableciendo una serie de parámetros que dependen principalmente de la calidad del sitio a fundar y de las características de las estructura a construir, sin embargo, no existen los criterios de diseño que incorporen el efecto Interacción Suelo Estructura, como lo hace actualmente el EUROCODE 8, por ejemplo, en donde si existen dichas consideraciones.

Para entender de mejor manera a lo que apunta la presente memoria, es necesario comprender el concepto de Interacción Suelo- Estructura (ISE), la que se define como el cambio en la respuesta estructural debido al movimiento del suelo, fenómeno que bajo ciertos casos y/o condiciones, debiese ser incorporado en el diseño estructural.

Básicamente, el diseño estructural tradicional, utiliza parámetros tales como los periodos fundamentales, masas asociadas, sobrecargas, entre otros, los cuales son estimados suponiendo a la estructura sobre un apoyo fijo, situación que sugiere a la estructura empotrada en el suelo.

Por otro lado el fenómeno ISE, flexibiliza la base de apoyo alterando los períodos fundamentales, por ende, se genera una condición distinta a la de diseño. Es por esta

situación, que el efecto ISE modificaría las condiciones de diseño estructural, lo que a la vez podría generar un cambio en la respuesta estructural.

Si bien, los códigos de diseños utilizados actualmente, no consideran ésta situación un problema (es más, se considera una caso favorable), es aquí de donde nace la pregunta, ¿existe algún escenario en donde es necesario incorporar el fenómeno ISE en las actuales metodologías de diseño?, y si fuera el caso, ¿Cuáles son estos?

Para dar respuesta a las anteriores interrogantes, en este estudio se plantea una estrategia para incorporar el fenómeno ISE, sobre dos estructuras reales de hormigón armado. Dicha estrategia propone, evaluar a las estructuras sobre distintos tipos de suelos y contrastar las respuestas estructurales encontradas en dichas estructuras en particular, de acuerdo a las distintas condiciones propuestas.

Finalmente, los resultados muestran que, efectivamente existen situaciones en que el efecto ISE debiese ser incorporado en el diseño. Esto luego de evaluar a las dos estructuras, las cuales evidenciaron un cambio a considerar en sus respuestas estructurales, lo que se tradujo en un aumento de sus demandas sísmicas

## 1.1. Motivación

Como ya se ha mencionado, el efecto Interacción Suelo-Estructura, a grandes rasgos, alarga los periodos fundamentales y aumenta el amortiguamiento de la base. Esta situación se presenta de una forma más comprensible en la Figura 1, en donde se puede ver la teoría propuesta por Stewart (1999), la cual sugiere que, para una misma estructura, pudiera existir una disminución en la demanda sísmica, al aumentar los periodos (condición que los códigos consideran al incorporar el efecto ISE), o de la misma forma, pudiera existir un aumento en la demanda sísmica (situación no contemplada en los códigos).

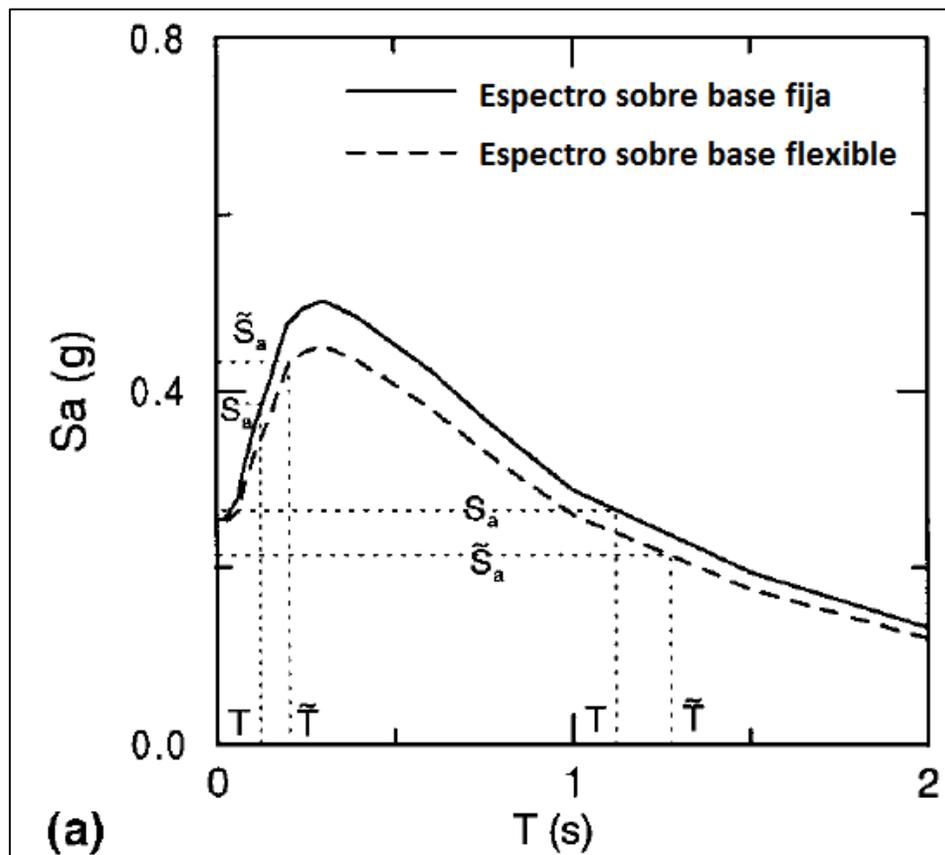


Figura 1. Efecto Interacción Suelo-Estructura sobre espectro de pseudoaceleración.

Por otro lado MYLONAKIS y GAZETAS (2000) proponen que, en los códigos de diseño, generalmente, se proponen espectros de que podrían no representar los posibles eventos sísmicos a sobrevenir.

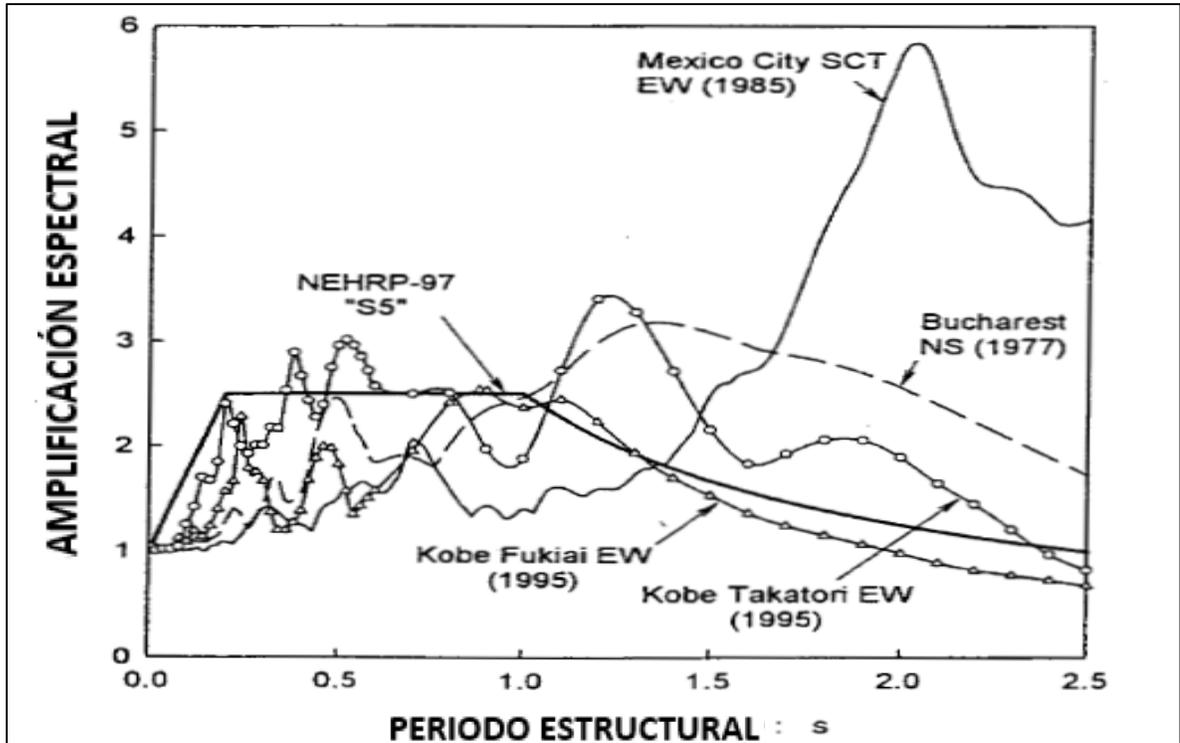


Figura 2. Registros sísmicos sobre espectro de diseño.

Como se muestra en la Figura 2, los espectros de diseño propuestos por los códigos tienen un comportamiento creciente hasta alcanzar una aceleración máxima, para luego disminuir a medida que aumenta el período. Sin embargo, si se observa que por ejemplo el registro de México (1985), posee un espectro en donde el peak se da alrededor de los 2 [s]. Este es un claro ejemplo, de que pueden existir casos en que los espectros de diseños propuestos por los códigos, pudieran no ser lo suficientemente representativos.

La situación anterior, generalmente está asociada al efecto de sitio, el cual se puede entender como la amplificación sísmica que se da al existir distinta tipologías de suelo.

## **1.2. Objetivos**

### *1.2.1. General*

- Analizar la variación de la demanda sísmica debido al efecto de la interacción suelo – estructura en edificaciones de hormigón armado de mediana altura.

### *1.2.2. Específicos*

- Sintetizar el estado del arte de la evaluación Suelo-Estructura.
- Determinar las propiedades dinámicas de las estructuras estudiados en condición de base fija y base flexible en distintos tipos de suelo.
- Analizar el cambio en las coordenadas espectrales debido a la condición de interacción suelo – estructura de acuerdo a la demanda sísmica establecida por la norma chilena y a registros de terremotos reales.
- Estimar los cambios en la demanda de fuerza de corte de diseño debido al fenómeno de ISE.

### *1.2.3. Alcance*

Esta investigación se enmarca en los efectos que la Interacción Inercial ejerce sobre dos estructuras de mediana altura y cómo estos modifican la respuesta sísmica de dichas edificaciones, utilizando para el análisis, los períodos fundamentales característicos de cada estructura estudiada. Además, todos los procedimientos propuestos, se realizarán siempre dentro del rango lineal, en ambos edificios.

## **2. METODOLOGÍA**

En este apartado, se detallan los aspectos metodológicos desarrollados, los cuales componen el trabajo realizado y avalan los resultados obtenidos.

La estrategia propuesta, se basó en analizar dos estructuras de hormigón armado tanto en una condición de base fija, como en una de base flexible para distintos tipos de suelo (incorporando el efecto ISE), con el fin de obtener sus periodos fundamentales. Posteriormente, se analizó las coordenadas espectrales derivadas de los periodos fundamentales, utilizando la norma chilena de diseño estructural, y usando el registro de un sismo. Finalmente se contrastaron ambos análisis, para determinar la relevancia del efecto ISE sobre estas estructuras en particular.

### **2.1. Definición de las estructuras a analizar**

Se trabajó sobre dos edificios reales de hormigón armado emplazados en la ciudad de Concepción, estos son: Edificio Plaza Mayor III y Edificio Plaza Mayor IV.

Estos constan de 15 pisos y un subterráneo y 17 pisos y un subterráneo, respectivamente. Además poseen una altura de entre piso de 2,55 [m], clasificándose como edificios de mediana altura.

Ambos se están estructurados en base a muros y se encuentran fundados en un depósito fluvial de arena saturada, sobre losas de fundación.

### **2.2. Modelación de las estructuras**

Para obtener los periodos fundamentales, el cual representa un parámetro clave para este trabajo, se crearon dos modelos estructurales correspondientes a cada edificio mencionado anteriormente (Figuras 3a y 3b), siguiendo rigurosamente las especificaciones presentes en los planos estructurales. Se utilizó para la modelación el software ETABS v.9.7.4, en donde se modeló tanto a las estructuras en sí, como losas de fundación de cada caso. La modelación se realizó a través de elementos bidimensionales de 4 nudos que son automáticamente divididos en mallas definidas por el software.

Las uniones entre los diferentes elementos estructurales se consideraron rígidas.

Luego, los modelos se evaluaron bajo dos condiciones de apoyo, estos son; una condición de base fija, correspondiente al actual escenario de diseño del país, y una condición sobre base flexible, en donde se incorpora el efecto de la ISE.

### 2.2.1. Modelación sobre base fija

Para comenzar con el trabajo comparativo, fue necesario determinar los periodos fundamentales, correspondientes a la condición de base fija. Estos valores se obtuvieron modelando a las estructura de tal manera que se, restringieron los desplazamientos de los nodos de la base, en las tres direcciones (x, y, z) y permitiendo los giros en estos mismos. El procedimiento para la modelación fue la siguiente:

#### a) Definición de las propiedades del material

Se utilizó para los elementos estructurales, hormigón armado con las siguientes características:

$F_c$  : 250 [Kg/m<sup>2</sup>]  
Módulo de Elasticidad :  $2,339 \times 10^9$  [Kg/m<sup>2</sup>]  
Coeficiente de Poisson : 0,2

Para la enfierradura de refuerzo se utilizó una resistencia de 4200 [Kg/cm<sup>2</sup>]

#### b) Modelos

En el caso de la losa de fundación, al igual que para los muros, se ha modelado como elementos SHELL, además se le asignó un comportamiento rígido como se detallará más adelante.

En el caso de las losas de entrepiso, también se las ha modelado como elementos SHELL.

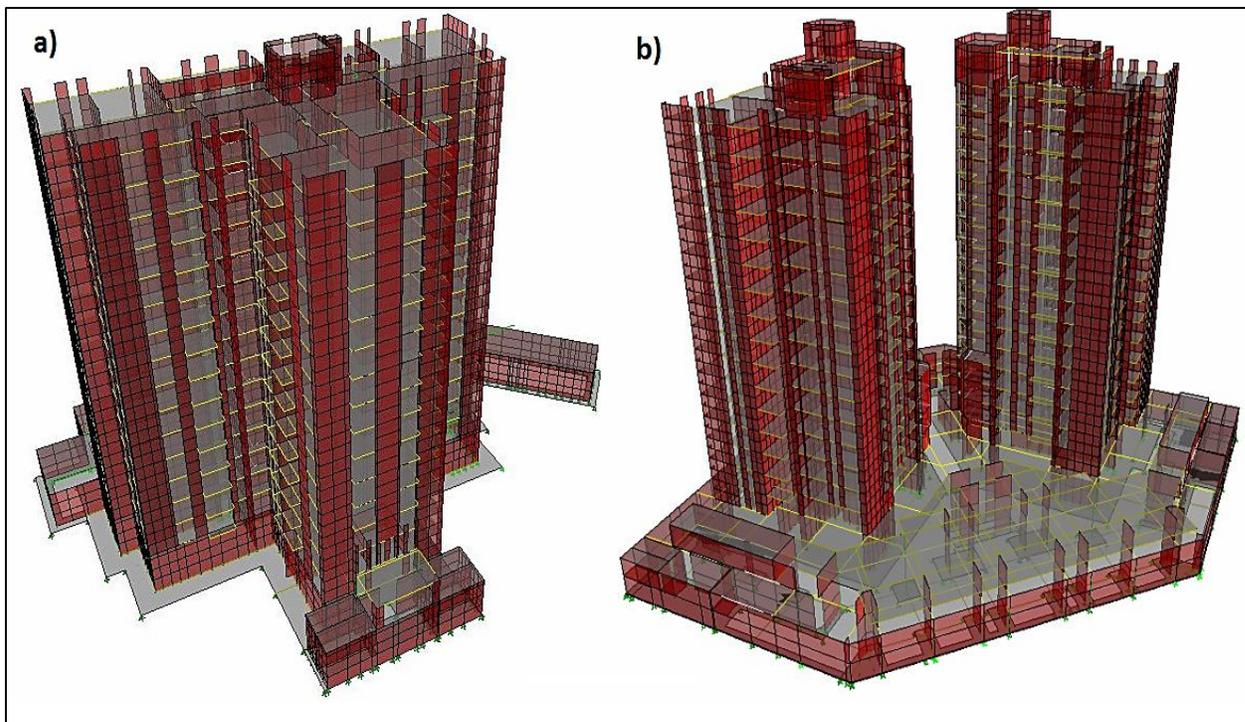


Figura 3. Imágenes de los modelos. a) Edificios Plaza Mayor III. b) Edificios Plaza Mayor IV.

### c) Consideraciones por Norma

- I. Las sobrecargas ocupadas en losas de entrepiso y techo fueron 2 [KPa] y 2,5 [KPa] respectivamente. Según en la Tabla 4 de la norma Nch 1537 of 2009 de Cargas permanentes y sobrecargas de uso.
- II. Debido a que las edificaciones están destinadas a la habitación, para el cálculo de las masas se consideraron las cargas permanentes, más un 25% de la sobrecarga de uso, tal como se estipula en el punto 5.5.1, de la norma Nch 433 de 1996 mod 2009 de Diseño Sísmico,
- III. Se consideró a cada losa de entrepiso como diafragma rígido, siguiendo las consideraciones expuestas en el punto 5.5.2, de la norma Nch 433 de 1996 mod 2009 de Diseño Sísmico,

- IV. Para la consideración de las distintas tipologías de suelo empleadas en el estudio, se utilizaron los valores dispuestos en la norma Nch 433 of 1996 mod 2009 de Diseño Sísmico y el DS 61-2011.

### 2.2.2. *Modelación sobre base flexible*

Para la consideración del efecto ISE, se supuso al suelo como un medio elástico con una rigidez dependiente de la calidad de este y de la dirección considerada. En este caso, se consideraron las rigideces por traslación (ejes X, Y, Z), balanceo (ejes X, Y) y torsión (eje Z). Para obtener los valores de las constantes de rigidez se utilizó la teoría y formulas elaboradas por Gazetas (1991). Cabe mencionar, que ambas estructuras poseen subterráneos, esto se traduce, en que las fundaciones se encuentran embebidas en el suelo, por esta razón, se utilizó las formulas asociadas a esta condición, y las cuales se detallan en los anexos en el apartado Anexo A.

Ahora bien, en la literatura se proponen varios métodos para emular los resortes con su respectiva rigidez en los modelos estructurales. En esta oportunidad, luego de ensayar muchos de estos métodos, se optó por lo siguiente: se calculó la rigidez pertinente a cada dirección de traslación, balanceo y torsión, y se asignó como un único resorte, en el centro de masas de la fundación de cada edificio, sin considerar la traslación en el eje Z, la cual fue distribuida por toda el área de la fundación correspondiente a cada caso.

### 2.3. Análisis de coordenadas espectrales

En este apartado, se recalcan los procedimientos metodológicos necesarios para el análisis de las coordenadas espectrales sobre la norma sísmica y el registro sísmico. Además se definen conceptos y formulas necesarias para la posterior entrega de resultados.

#### 2.3.1. Razón de rigidez Suelo-Estructura

Luego de la obtención de los períodos fundamentales, correspondientes a cada situación evaluada, se procedió al análisis de éstos, tomando como base del análisis, la normativa chilena.

Como primer paso, se evaluó la hipótesis presentada por Veletsos y Nair (1975), la cual propone el parámetro  $1/\sigma$ , que representa la razón de rigidez existente entre el suelo y la estructura. Dicho parámetro se define en la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\sigma} = \frac{h}{V_s \cdot T} \quad \text{Ec. (1)}$$

En donde:

h: Altura modal de la estructura evaluada.

$V_s$ : Velocidad de onda de corte del suelo.

T: Periodo fundamental de la estructura evaluada.

En esencia, lo que proponen los autores, es que, mientras mayor sea el valor del parámetro  $1/\sigma$ , existe una mayor rigidez por parte de la estructura con respecto a suelo, lo que se traduce en una mayor relevancia del suelo de fundación.

### 2.3.2. Análisis según norma Nch 433 of 1996 mod 2009 de diseño sísmico, DS 61-2011

A continuación se detallan los procedimientos para construir los espectros de diseño establecidos por la norma sísmica, además de las fuerzas basales características de cada estructura.

#### a) Espectros de pseudoaceleración y desplazamientos

En el Artículo 12 y Artículo 13 del Ds 61-2011, se detalla el procedimiento para la construcción de los espectros de pseudoaceleración y desplazamiento de una estructura, sobre un tipo de suelo determinado. En esta oportunidad, se construyeron los espectros de pseudoaceleración elásticos y de diseño, y los espectros de seudodesplazamiento, evaluando los suelo tipo A, B, C, D y E en el caso de la pseudoaceleración y los tipo A, B, C y D para el caso de los desplazamientos, debido a la restricción existente para el suelo E, en el punto 13.1 del Ds 61-2011.

Cabe mencionar que, para llevar los espectros de pseudoaceleración elásticos a espectros de pseudoaceleración de diseño, se utilizó un factor de reducción ( $R^*$ ) para cada estructura.

Posteriormente, con los espectros de diseño construidos, se continuó con la correspondiente ubicación de las coordenadas espectrales. Este procedimiento es, básicamente, calcular el valor de  $S_a$  y  $S_d$ , según sea el caso, y sobreponerlos sobre los espectros correspondientes, utilizando los periodos determinados en el proceso de modelación.

#### b) Demanda de Fuerza basal

En el punto 6.3.6 Superposición Modal, de la norma Nch 433, se explica el procedimiento para determinar los esfuerzos presentes en las estructuras aplicando superposición modal, es decir, calcular un esfuerzo equivalente de la estructura considerando la participación correspondiente a cada modo de vibrar.

En esta oportunidad, se aplicó el método CQC para calcular los esfuerzos bajo condición de base fija y considerando el efecto ISE, en ambas estructuras.

Cabe mencionar que, para considerar la acción del efecto ISE, en el análisis sólo se modificó el periodo fundamental en cada caso, junto con su participación modal, dejando los demás modos de vibrar sin alteración alguna.

c) Momentos basales

Utilizando el procedimiento análogo al utilizado en la letra b) del punto 2.3.2, se calcularon los momentos basales correspondientes a cada situación evaluada.

2.3.3. *Análisis según Espectros de registro sísmico ccp 27/F*

El contenido presente en este punto, es similar al del punto 2.3.2, sin embargo en esta oportunidad se aplica al registro sísmico ccp 27/F.

a) Espectros de pseudoaceleración y desplazamientos

Teniendo presente, la importancia del efecto de sitio sobre el análisis, y entendiendo que en cada tipología de suelo la amplificación sísmica sería distinta, se siguió una serie de pasos para determinar los espectros representativos de cada suelo, sobre los cuales se analizarían, posteriormente, las coordenadas espectrales. A continuación se detallan los pasos seguidos, apoyados por el software Deepsoil V5.1.

- I. En primera instancia, se debía obtener el parámetro necesario para diferenciar las distintas tipologías de suelo, alusivas al efecto de sitio, éste correspondía a la variable “h”, extraído de Ec. (2):

$$T_o = \frac{V_s}{4 \cdot h} \quad \text{Ec. (2)}$$

En donde:

$V_s$	: Velocidad de onda de corte del suelo.	[m/s]
$T_0$	: Período fundamental del suelo.	[s]
$h$	: Altura de la columna de suelo.	[m]

Cabe mencionar que la formula anterior, es ampliamente conocida en el campo de la dinámica de suelos.

- II. El registro sísmico ccp 27/F, fue captado mediante un instrumento localizado en la superficie del terreno, obteniendo las mediciones longitudinales y transversales del evento, referentes a la dirección de dicho instrumento. Sin embargo, el espectro asociado corresponde, al de la superficie y no representa al espectro generado en la roca. Para resolver esta situación se realizó una deconvolución sísmica, que se refiere, a la restauración del registro de la roca que fue modificado por la amplificación de las ondas sísmicas, al pasar desde el origen a la superficie. Posteriormente, con el registro estimado de la roca y asociando el parámetro determinado en a), se logró estimar los espectros longitudinales y transversales de cada tipo de suelo.
- Este procedimiento emplea operaciones matemáticas relativamente complejas, por lo cual se desarrolló mediante el software Deepsoil V5.1.
- III. Finalmente, con los espectros, correspondientes a cada tipo de suelo, se obtuvieron las coordenadas espectrales, asociadas al periodo fundamental de cada situación, realizando las interpolaciones correspondientes, procedimiento similar al explicado en la letra a) del punto 2.3.2.

b) Demanda de Fuerza basal

El procedimiento para el cálculo de los esfuerzos es equivalente al utilizado en la letra b) del punto 2.3.2, sin embargo, en este caso se utilizaron los valores extraídos del registro sísmico ccp 27/F.

### 3. RESULTADOS

Con el objetivo de presentar una serie de resultados lo más claros y directos posibles, a continuación se desglosan los resultados mediante los casos más representativos, y los cuales pueden, de alguna manera, explicar el objetivo principal del presente informe.

Para una mayor interiorización en los resultados, se invita a revisar los anexos, en donde se encuentran contenidos en su totalidad.

#### 3.1. Periodos fundamentales

En primera instancia, se obtuvieron los periodos fundamentales correspondientes a cada tipología de suelo y a cada estructura. Estos resultados, constituyen la base de los posteriores análisis.

En la Figura 4, se puede observar que para ambos edificios, y para cada dirección de análisis, existe un claro aumento en los períodos a medida de que se modifica la calidad del suelo, también se puede observar que, para el caso del Plaza Mayor III el periodo aumenta en una mayor razón, cuando se evalúa en suelos de baja calidad, comparado con el PM IV, en donde, si bien también se nota un cambio de las misma característica, no es tan marcado como el caso anterior.

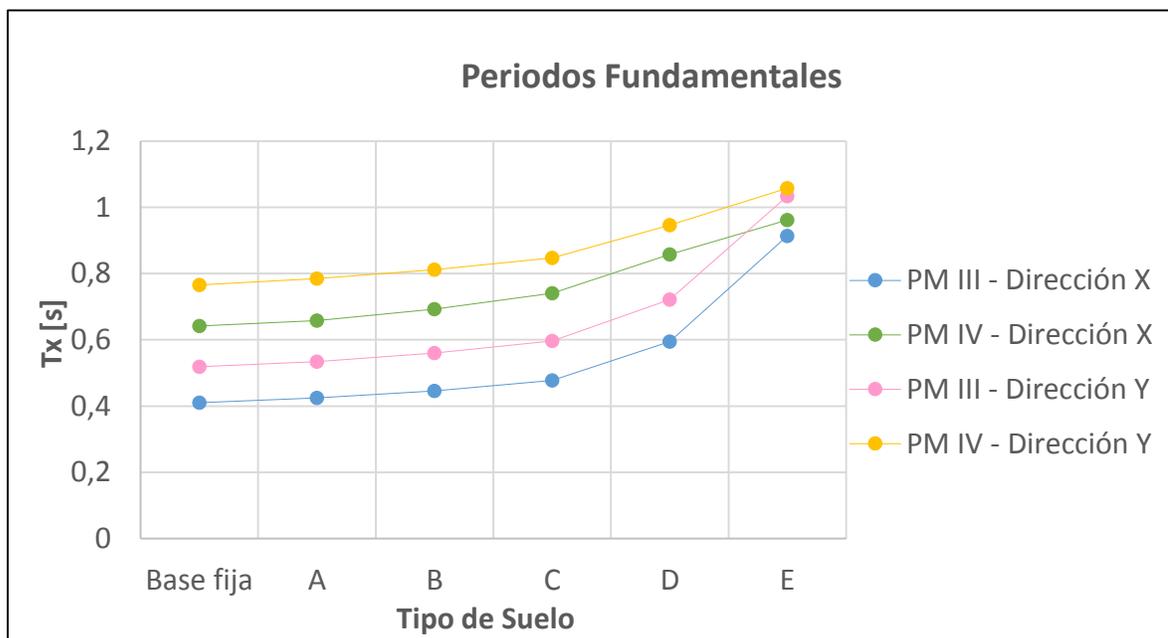
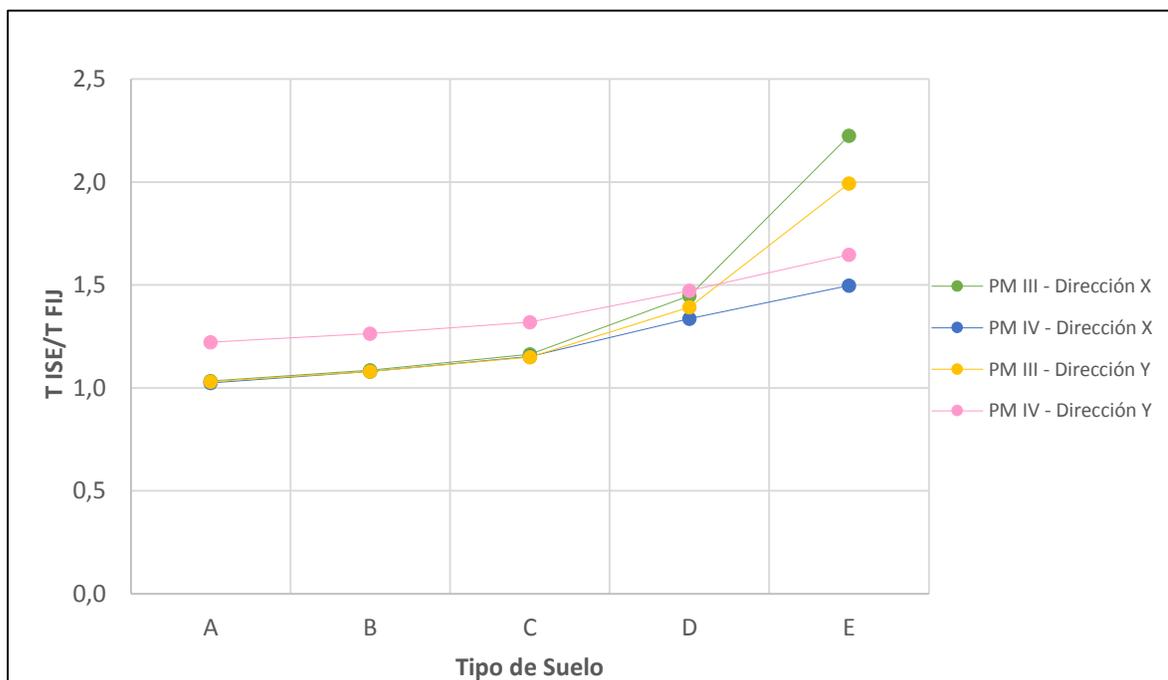


Figura 4. Periodos fundamentales.

Según la metodología, para determinar las rigideces, cada rigidez superficial calculada debe multiplicarse por un coeficiente, que lleva a la estructura de un estado superficial a un estado embebido en el suelo. Ahora, estos coeficientes se extrae de gráficos elaboradas por GAZETAS (1991), y lo que explica éste aumento repentino, es que, para este rango de suelo, dicho coeficiente disminuye, disminuyendo con él la rigidez final, lo que no ocurre en la otra estructura por poseer parámetros distintos.

Dicho de otra forma, el edificio Plaza Mayor IV es más flexible que el edificio Plaza Mayor III, sumado al hecho de que el edificio Plaza Mayor III, se encuentra más embebido en el suelo y al ser más rígido, podría estar generando mayor contraste de rigidez con el suelo, que en el caso del Plaza Mayor IV.

Analizando la situación anterior, pero ahora en un función de la razón de períodos de base fija y considerando el efecto ISE, se pudo notar de una manera más clara, la situación anteriormente expuesta, esto es, el aumento abrupto en suelos más blandos en el edificio Plaza Mayor III. Esta situación se puede ver en la Figura 5.

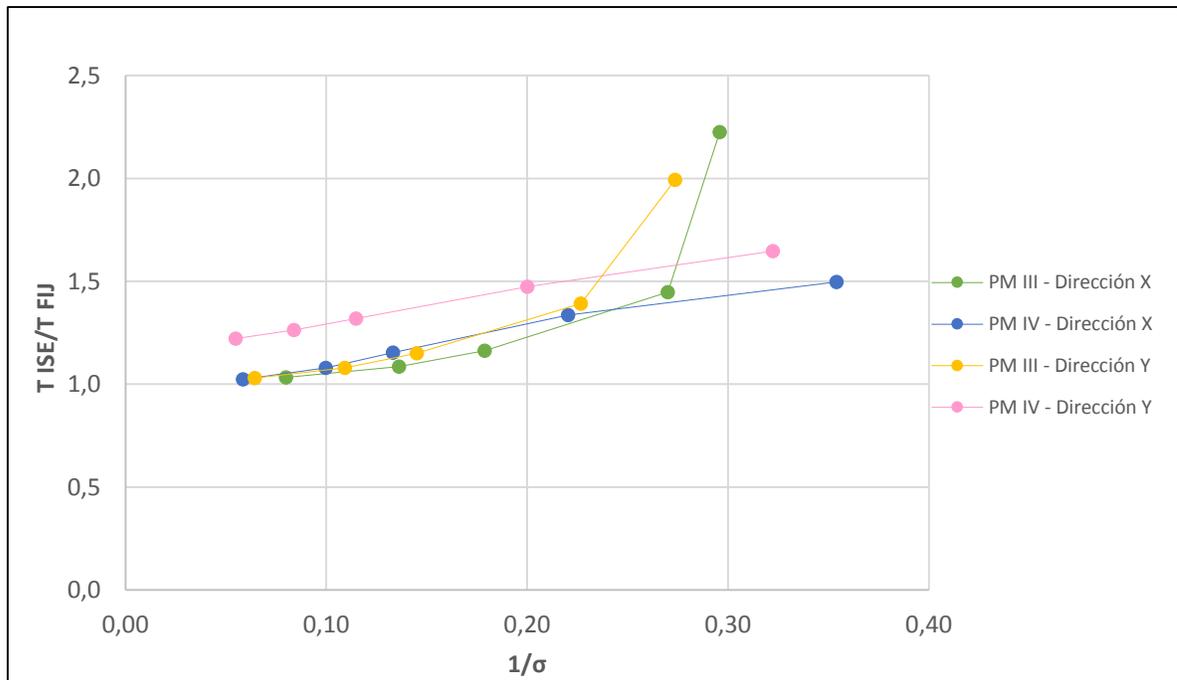


**Figura 5. Razón de periodos fundamentales.**

### 3.2. Razón de rigidez Suelo-Estructura

Luego, de calcular los parámetros mencionados en el punto 2.3.1, se determinaron los siguientes resultados:

Se pudo observar que el suelo, efectivamente, cobra relevancia a medida de que éste disminuye su calidad, también se denota una tendencia similar a la presentada en los gráficos de los periodos fundamentales expuestos anteriormente. Entonces, según lo propuesto por Veletsos y Nair (1975), los edificios evaluados, sí podrían presentar algún tipo de efecto de parte del suelo. Los resultados se pueden ver en las Figura 6.



**Figura 6. Relación de rigidez Suelo-Estructura.**

### 3.3. Coordinadas espectrales según Nch 433

En este apartado, se muestran los resultados obtenidos del análisis de las coordenadas espectrales, sobre las pseudoaceleración y pseudodesplazamiento, además de las fuerzas basales.

#### 3.3.1. Espectros de Pseudoaceleración y Pseudodesplazamiento

Una vez construidos los espectros de diseño en base a los periodos fundamentales y calculado todos los valores necesarios, tal y como se detalla en la letra a) del punto 2.3.2, se tienen los siguientes resultados.

En la Figura 7, se muestra el espectro de diseño correspondiente al Plaza Mayor IV en suelo D, este corresponde a un caso, en donde, se presenta la condición beneficiosa que se mencionan en los códigos de diseño, en donde el efecto ISE resulta beneficioso para la estructura, ya que, el valor de pseudoaceleración que este representa es inferior al caso de base fija.

En el escenario se presenta que, tanto la condición de base fija, como la condición incorporando el efecto ISE, se encuentran más allá del peak del espectro de diseño. Esta situación, explica por qué al aumentar el valor del período, el valor de la pseudoaceleración disminuye.

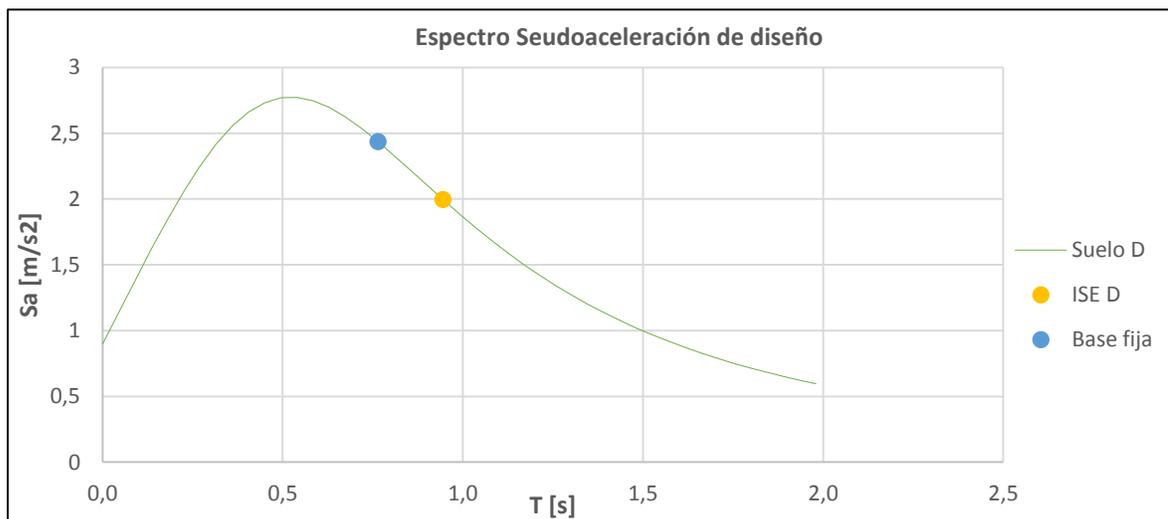
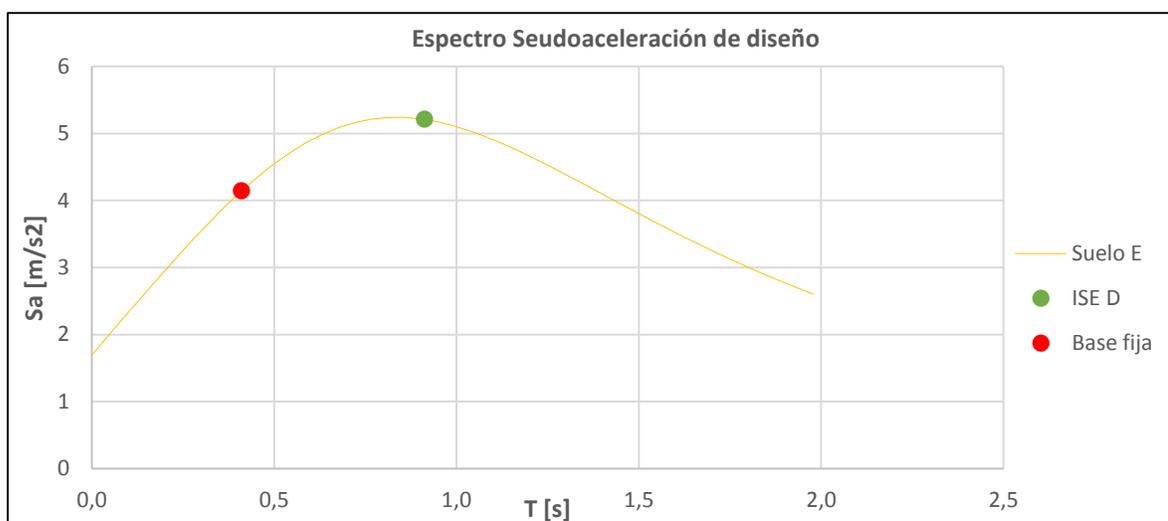


Figura 7. Coordinadas espectrales en suelo D, Plaza Mayor IV, dirección Y.

Por el contrario, en la Figura 8, en donde se presenta el espectro de diseño correspondiente al Plaza Mayor III en suelo E, se puede ver que el efecto ISE resulta perjudicial para la estructura, ya que, la pseudoaceleración que este posee, resulta superior al compararlo con la condición de base fija.

La explicación es análoga al escenario anterior, siendo la diferencia la ubicación de los periodos, puesto que, ambos periodos se ubican antes del peak de pseudoaceleración, es decir, se encuentran en la zona de pendiente positiva.



**Figura 8. Coordenadas espectrales en suelo E, Plaza Mayor III, dirección X.**

Ahora, analizando el caso de los espectros de desplazamientos, se puede observar que, dado la naturaleza ascendente que estos poseen, independiente del caso estudiado, siempre se vio un aumento en los desplazamientos asociados a un periodo, dejando claro que, el periodo es directamente proporcional al desplazamiento. Lo anterior, debido a que, al no existir un punto de inflexión, esta se presentó como una curva de pendiente positiva en todo momento, aumentando los desplazamientos a medida que aumentaban los periodos fundamentales.

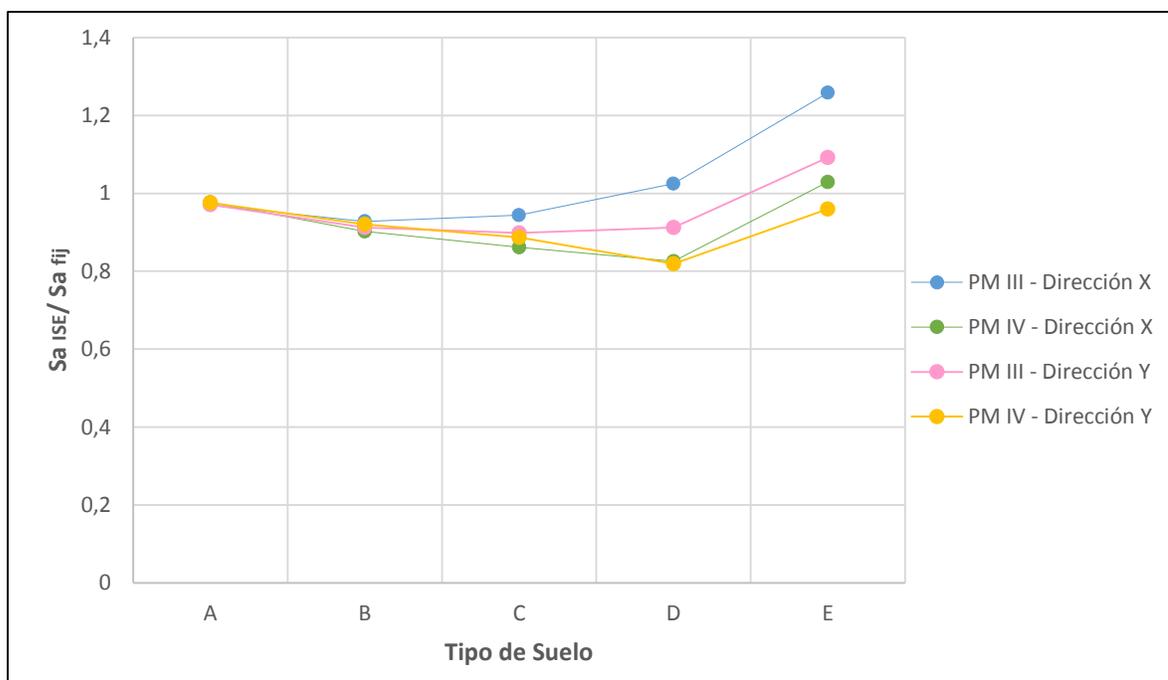
En la sección de anexos se encuentran todos los casos evaluados, para los distintos casos considerados.

Ahora bien, en las Figura 9, se muestran las relaciones explicadas en la letra a) del punto 2.3.2.

En primera instancia se puede observar que, en el caso de las pseudoaceleraciones, el edificio Plaza Mayor III ostenta una mayor relevancia frente al efecto ISE, puesto que, este denota un claro aumento en la curva a medida que el tipo de suelo se torna más blando.

Luego, en el caso del Plaza Mayor IV, no se observa mayor relevancia, a pesar de poseer un aumento en el suelo E, sin embargo, este no supera mayormente la unidad.

Cabe mencionar que, la situación anterior se da en ambas direcciones.



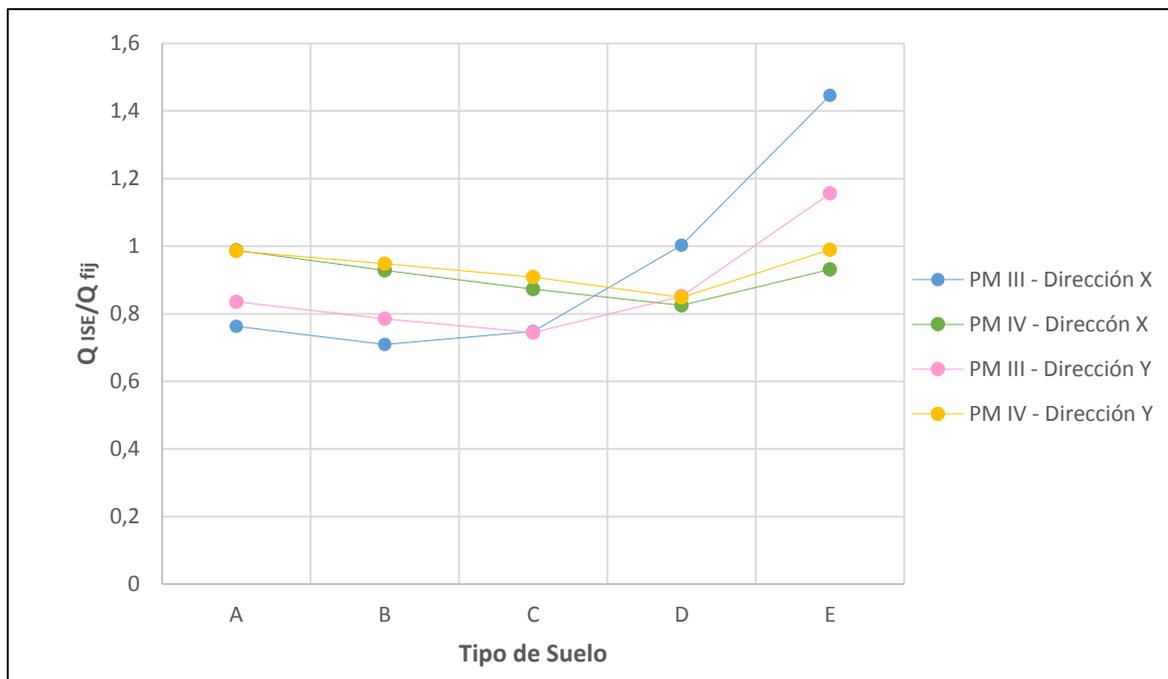
**Figura 9. Relación de Seudoaceleraciones de los modos fundamentales.**

Analizando los desplazamientos, considerando la naturaleza ascendente en las curvas del espectro, no es na sorpresa que al ver las gráficas de las relaciones, estas también posean una tendencia ascendente. Esto se puede apreciar en las gráficas contenidas en los Anexos, en donde se presentan ambas direcciones.

### 3.3.2. Demanda de Fuerza basal

Siguiendo lo estipulado en la letra b) del punto 2.3.2, se construyeron las gráficas expuestas en la Figura 10, en donde se presentan los esfuerzos representativos de cada estructura calculados mediante una combinación modal, precisamente utilizando el método CQC.

Se puede apreciar que, en general los esfuerzos comienzan con un descenso en su valor a medida que el suelo se torna más blando, más directamente hasta el suelo C para el Plaza Mayor III y hasta el suelo D para el Plaza Mayor IV, desde este punto comienza un aumento en el valor del esfuerzo. Si nos enfocamos en el Plaza Mayor IV, se puede deducir que el efecto ISE, no es relevante, ya que, la razón de esfuerzos, no superan la unidad en ningún tipo de suelo. Por otro lado, el Plaza Mayor III, supera considerablemente la unidad en la relación de esfuerzos, siendo el efecto ISE considerable en este caso y contradiciendo lo que los códigos dicen.



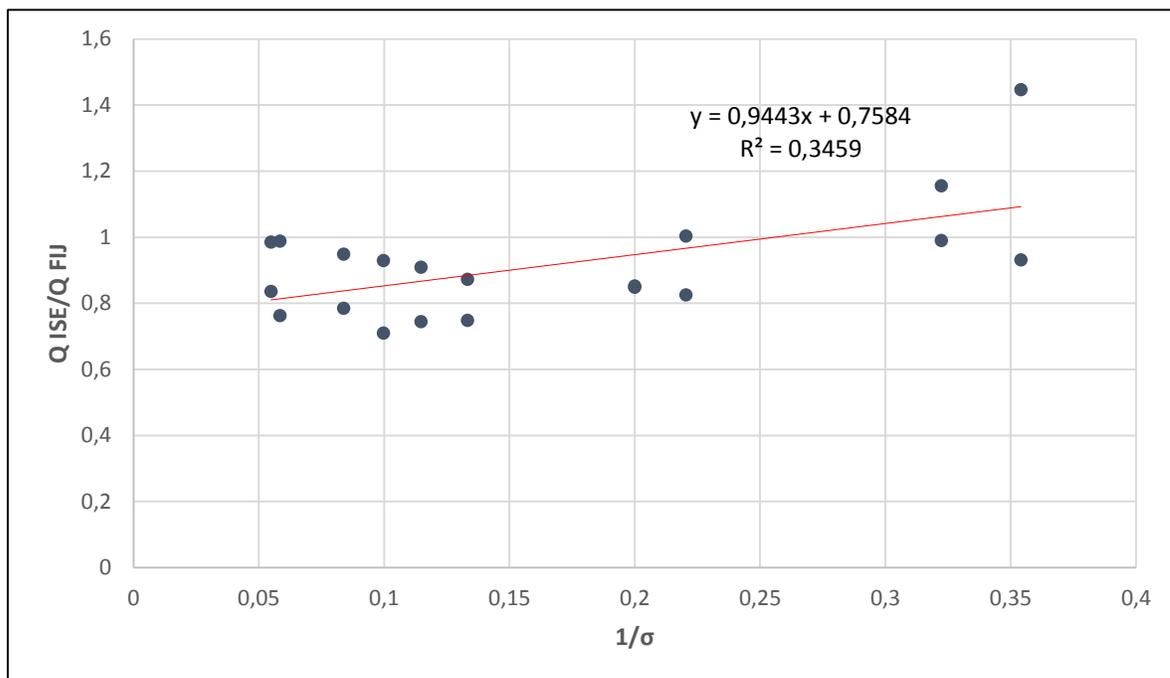
**Figura 10. Relación de Fuerzas basales.**

Luego del análisis anterior, se propuso encontrar algún tipo de identificador que evidenciara los casos, en donde, el efecto ISE pudiera ser relevante. Entonces, se

utilizaron las razones de esfuerzos determinados por la norma Nch 433, en función del parámetro  $1/\sigma$ , presentado por Veletsos y Nair (1975), definido en la Ec.(1) del punto 2.3.1. Con los parámetros anteriores, se obtuvo la gráfica contenida en la Figura 11, en donde se ven una serie de puntos correspondientes a los valores calculados, a los cuales, se les aplicó una línea de tendencia. Se puede observar que dicha línea de tendencia, corresponde a una recta ascendente, la cual intersecta a la unidad en un valor de  $1/\sigma$  cercano a 0,25.

Entonces, se puede decir que para valores menores a 0,25 el efecto ISE, no es relevante y para valores sobre el 0,25, sí cobra relevancia.

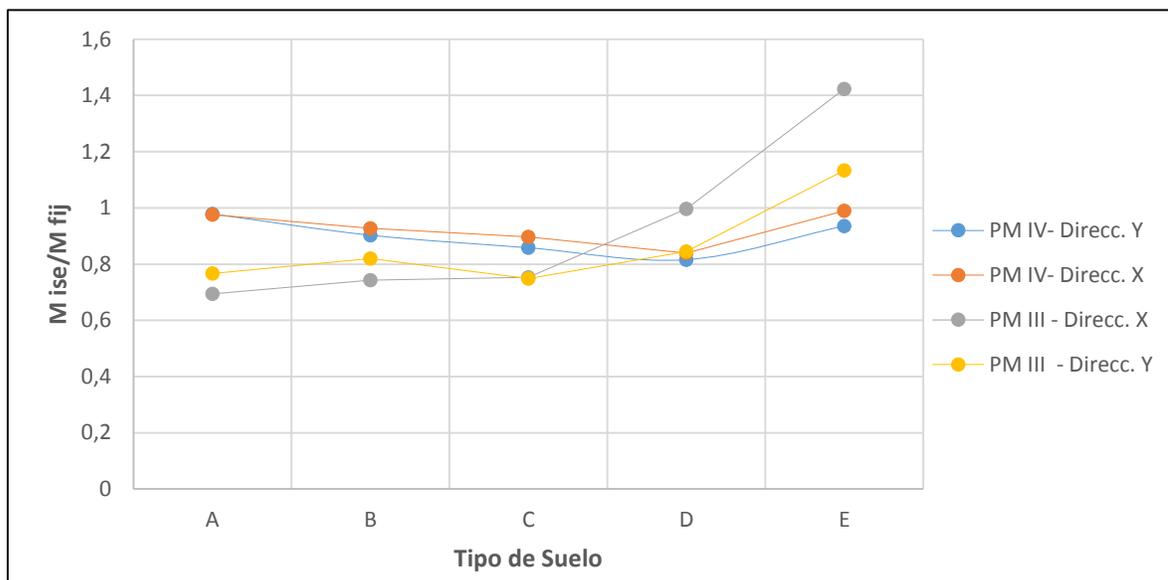
Cabe mencionar, que este supuesto, representa sólo a las dos estructuras estudiadas y no tendría el peso necesario para asegurar el comportamiento de otras estructuras. Sólo se hizo una pequeña aproximación que pudiera establecer una explicación al fenómeno del ISE.



**Figura 11. Variación de demanda de fuerzas en función de la razón de Rigidez.**

### 3.3.3. Demanda de Momentos basales

Utilizando la metodología detallada en la letra c) del punto 2.3.2. se calcularon los momentos basales, con los cuales se construyó la gráfica de la Figura 12, en la que se aprecia un comportamiento similar al presentado en los cortes basales, teniendo variaciones mínimas.



**Figura 12. Demanda de Momentos basales.**

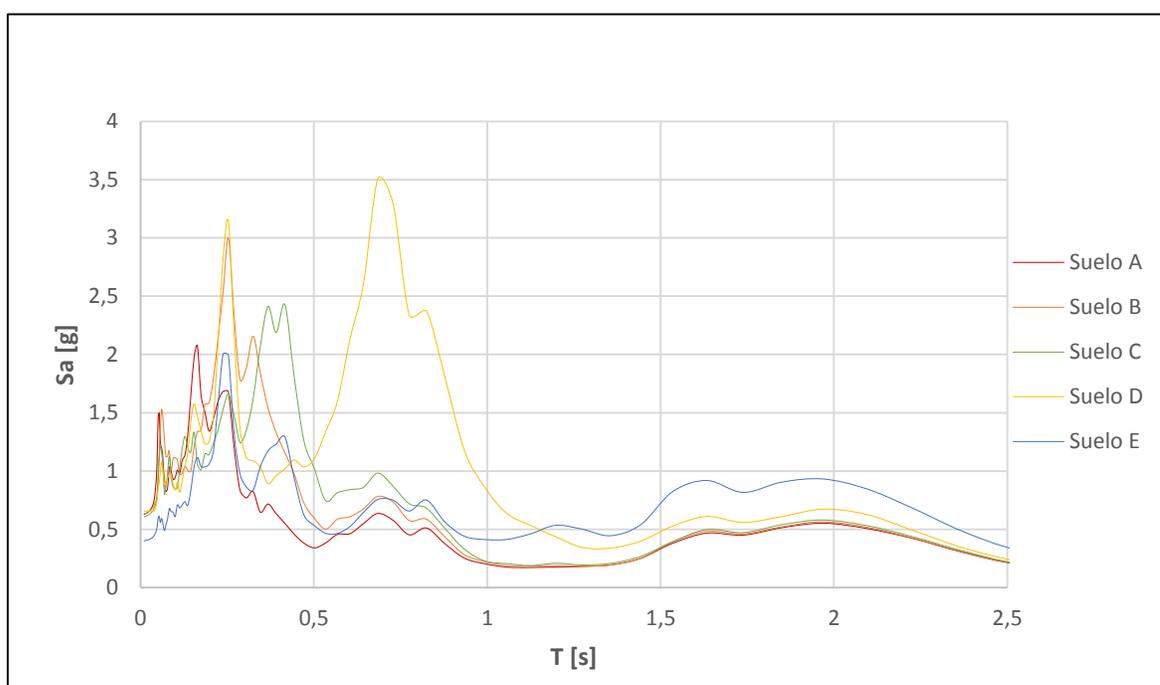
### 3.4. Espectros de Seudoaceleración de ccp 27/F

Según lo dispuesto en la letra b) del punto 2.3.3, se construyeron los espectros de seudoaceleración asociados a cada tipo de suelo y en ambas direcciones (longitudinal y transversal). En las Figura 13, se aprecia el caso longitudinal.

En primera instancia, se puede observar para el suelo A, que los peak en ambos sentidos se encuentran en un rango de alta frecuencia. Para el suelo B, se nota un aumento en la aceleración, conservando una forma similar al caso anterior, y sufriendo un desplazamiento de la energía hacia periodos más largos. Para el suelo C, se presentó una disminución de la aceleración en ambos sentidos, sin embargo, la tendencia al desplazamiento de la energía continúa. Cabe destacar que, en el sentido transversal se comienza a generar otra zona de alta energía. Para el suelo D, se observa un claro aumento, tanto en las aceleraciones, como

en el desplazamiento de la demanda sísmica máxima, hacia períodos más altos. En el sentido longitudinal se puede ver que la zona de mayor aceleración corresponde a un segundo peak, que se generó luego de un primero peak muy similar al del suelo B. Finalmente, para el suelo E, se presentó una disminución en la aceleración en ambos sentidos, sin embargo, para el sismo transversal, se pudo ver que la zona de mayor demanda sísmica se escapaba considerablemente, llegando a tomar su peak en valores de períodos cercano a 2 [s].

Para una mayor visión de la situación planteada, se invita a revisar los anexos, en el apartado de espectros de aceleración.



**Figura 13. Espectros de pseudoaceleración ccp long 27/F.**

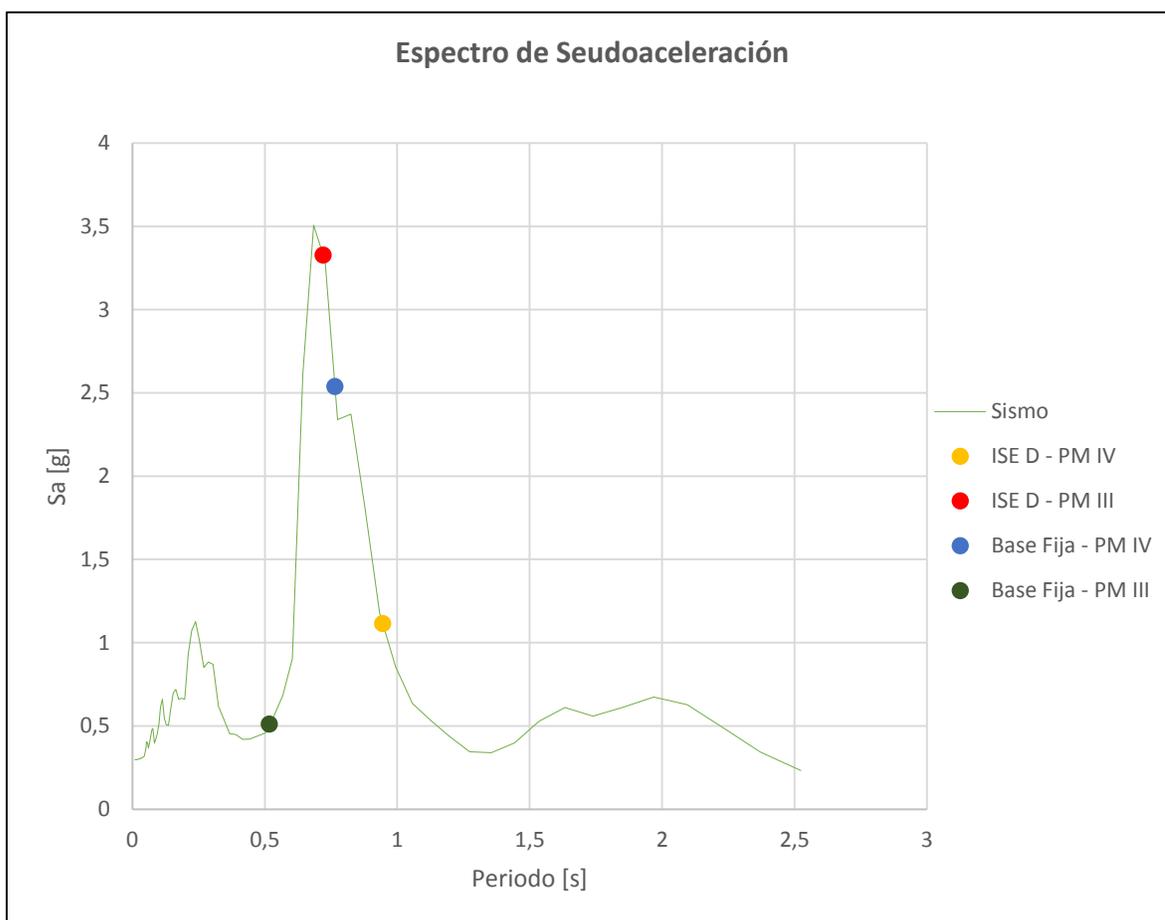
### 3.5. Coordenadas espectrales en registro ccp 27/F

Ya determinados los espectros de pseudoaceleración, se dio paso a la determinación de las coordenadas espectrales. Se utilizó el procedimiento análogo al utilizado para analizar los espectros de la norma, procedimiento mencionado en la letra b) del punto 2.3.3.

En la Figura 14, se exponen dos casos, en los cuales se pueden evaluar las situaciones que mejor muestran el fenómeno analizado.

Para el primer caso, tenemos al edificio Plaza Mayor IV en suelo D y dirección Y longitudinal, en donde se ve que, la variación de los períodos fundamentales se traduce en una disminución considerable de la aceleración, lo cual es claramente una situación favorable. Esto se debe principalmente a que los períodos se encuentran más allá de los dos peak del espectro, en donde la aceleración comienza su descenso.

Por otro lado, tenemos el caso del edificio Plaza Mayor III en suelo D y dirección Y longitudinal, en donde ocurre todo lo contrario al escenario anterior. En este caso, se ve una situación totalmente desfavorable, ya que al considerar el efecto ISE, este genera una coordenada espectral con mayor demanda que al no considerarlo, básicamente, debido a que se encuentra en un peak del espectro.



**Figura 14. Coordenadas espectrales, Plaza Mayor IV en suelo D, dirección Y.**

### **3.6. Relación de Fuerza basal considerando registro ccp 27/F**

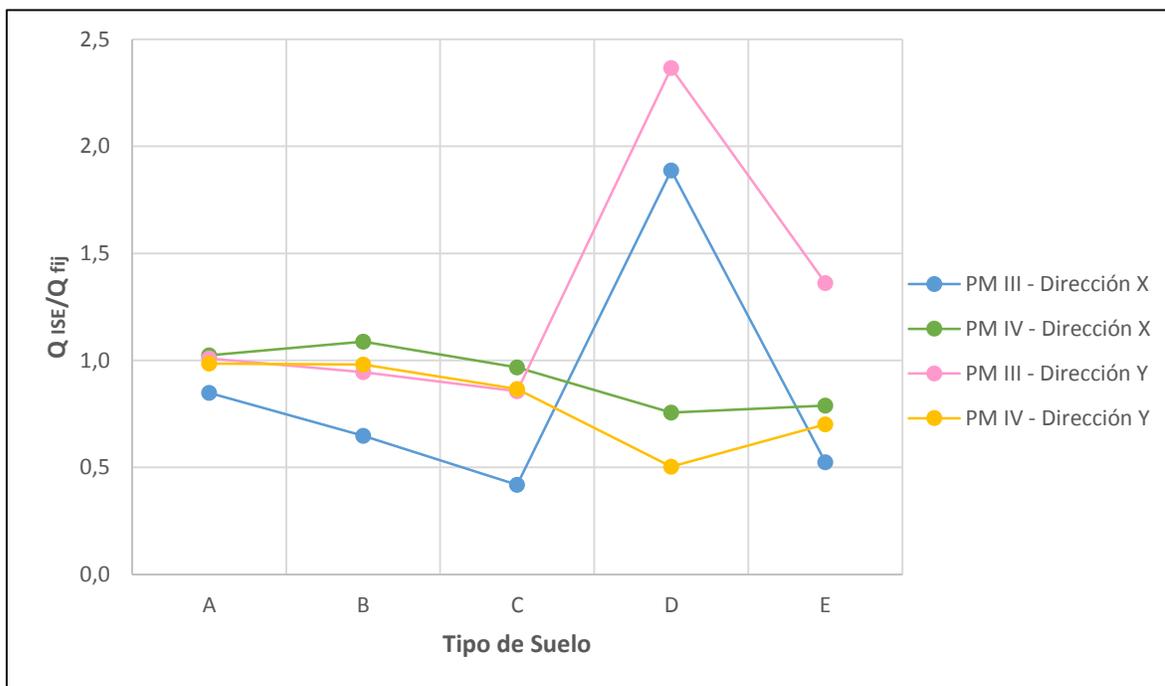
Utilizando el método CQC para la combinación modal, tal como se menciona en la letra c) del punto 2.3.3, se obtuvieron las razones de esfuerzos para cada tipo de suelo, y cada edificio. Estos resultados se presentan en las Figuras 15.

En estas gráficas se puede ver que, en la dirección X del edificio Plaza Mayor IV, el suelo B muestra el único caso en que los esfuerzos del efecto ISE sobrepasan a los esfuerzos de base fija. Ahora, en la dirección Y, no existe un aumento de esfuerzos que pueda ser perjudicial.

Por otra parte, para el edificio Plaza Mayor III en dirección X, se puede notar que la razón de esfuerzos para los suelos A, B y C son menores a la unidad, e incluso menores que los presentados en el edificio Plaza Mayor IV, sin embargo, en el suelo D se genera un alza considerable en los esfuerzos, llegando casi al doble. La misma situación se da en la dirección Y, en donde, se suma el hecho que los valores presentados son mayores que los pertenecientes a la dirección X.

La explicación de estos aumentos en los esfuerzos radica, principalmente en la ubicación de coordenadas espectrales, ya que, por ejemplo, en el caso del Plaza Mayor III en suelo D, la coordenada espectral con efecto ISE, se ubica en un peak del espectro. En cambio la correspondiente coordenada considerando base fija, se encuentra en la parte baja de este peak, generando una gran diferencia en la magnitud de cada aceleración, tal como se vio en el punto 3.5.

Cabe recordar que, cuando se realizó el mismo análisis utilizando como base la norma, el caso más relevante fue el Suelo E en ambas direcciones para el edificio Plaza Mayor III. Por otro lado, en el edificio Plaza Mayor IV no existió ningún caso relevante.



**Figura 15. Relación de Fuerzas basales en registro sísmico.**

#### 4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

- A través del presente trabajo se logró analizar la variación de la demanda sísmica provocada por el efecto ISE. Se pudo observar, cómo este efecto se volvió claramente relevante en ciertas situaciones, demostrando, que es un parámetro a considerar a la hora de desarrollar un diseño estructural.
- Luego de la correspondiente revisión bibliográfica, se pudo observar la gran cantidad de consideraciones y parámetros que se deben tener en cuenta para aproximar el efecto ISE sobre una estructura. Debido a esta situación se realizó un proceso de síntesis con el que se consiguió determinar los parámetros y consideraciones más factibles para incorporar en el presente informe.
- La Interacción Suelo-Estructura influyó sobre los periodos de vibrar, de manera notoria, ya que, se tuvo un aumento promedio de 0,41 [s] (en suelo E), sobre el valor del periodo estimado bajo condición de base fija. Ahora, el aumento más notorio se marcó en el edificio Plaza Mayor III, con un 120% de aumento en el Suelo E, sobre la condición de base fija. Luego, el aumento en los períodos de los modos fundamentales en los suelos más rígidos fue insignificante.
- De la variación de las coordenadas espectrales sobre la norma sísmica, se obtuvo que en el caso del edificio Plaza Mayor III se presentó una disminución máxima de la pseudoaceleración de hasta un 10% (Suelo C). En esta línea, el edificio Plaza Mayor IV tuvo una disminución en la pseudoaceleración máxima de hasta un 18% (Suelo D). La explicación de ambas situaciones radica en que, los periodos de vibración se encuentran en la zona de pendiente negativa del espectro, más allá del valor de  $T_0$ . Por otro lado, se presentó un aumento en la demanda de pseudoaceleración en los edificios Plaza Mayor IV y Plaza Mayor III de un 3%(Suelo E) y 26%(Suelo E), respectivamente, debido a que los periodos de vibración se encontraron en la zona de pendiente positiva del espectro de pseudoaceleración.

- Analizando la demanda de desplazamiento presentada por la norma sísmica, se pudo observar un aumento en los seudodesplazamientos de todos los casos evaluados, llegando a un porcentaje de aumento máximo y mínimo de 77%(Suelo D, PM III) y 3%(Suelo A, PM IV), respectivamente. Los aumentos en los desplazamientos se explican debido a la naturaleza ascendente del espectro de seudodesplazamiento.
- De la variación de las coordenadas espectrales sobre el espectro sísmico, se obtuvo que en el caso del edificio Plaza Mayor IV, sobre suelo D, existió un claro descenso en la pseudoaceleración, registrando una disminución de un 56% sobre la condición de base fija.
- El edificio Plaza Mayor III mostró un notorio aumento en la pseudoaceleración, presente en el sismo, debido a la modificación de las coordenadas espectrales. Este resultó en un aumento de un 85%( Suelo D) sobre la condición de base fija. La explicación se basa en el fenómeno de resonancia presente en este caso.
- Según el análisis del fenómeno en las fuerzas de corte, sobre la norma sísmica, se pudo encontrar un aumento de estos de hasta un 44% sobre la condición de base fija, en el edificio Plaza Mayor III, en suelo E. Ahora bien, el mayor descenso en las fuerzas se registró en el mismo edificio Plaza Mayor III, este fue de un 30% sobre la condición de base fija.
- Existió una inconsistencia entre las demandas sísmicas establecidas por la norma de diseño sísmico y las demandas reales a las cuales fueron sometidas las estructuras, básicamente debido a la presencia del fenómeno de respuesta de sitio. Esta inconsistencia se reflejó en la variación de los suelos que presentaron mayor influencia por parte del efecto ISE, en donde, la norma entrega como casos más relevantes, los suelos D y E (mayormente el suelo E) y el análisis sobre el sismo mostró los suelos B, D y E (mayormente el suelo D), como los casos más notables.
- Los cambios en las coordenadas espectrales, indican que no existe una tendencia clara de cuándo el fenómeno ISE es perjudicial, ni cuando es beneficioso para las estructuras evaluadas. Sin embargo, se obtuvieron casos en donde la demanda sísmica

aumentó hasta un 140%, demostrándose la importancia de evaluar el fenómeno para cada situación en particular.

- A pesar que el edificio Plaza Mayor III presentó una mayor relevancia frente al efecto ISE, mediante ambos métodos analizados (Norma Nch 433 y registro ccp 27/F), éste sufrió menos daño que el edificio Plaza Mayor IV, el cual requirió reparaciones importantes luego del terremoto del 2010. Esto nos indica que el fenómeno ISE es más complejo de lo esperado, y que el presente estudio, representa una muy pequeña parte de lo que se debiera analizar y en donde el comportamiento estructural está más influenciado por el diseño arquitectónico, que por el suelo de fundación.
  
- Tras el desarrollo del presente trabajo, se pudo demostrar la relevancia del efecto ISE sobre el diseño estructural, sin embargo, no se incorporaron todas las consideraciones deseadas en el análisis las cuales hubieran permitido resultados aún más completos y precisos. Asimismo, dado que fue un trabajo acotado en lo que a tiempo se refiere, no se lograron analizar más de dos estructuras, situación que junto a la anterior da pie a futuros estudios que, a partir de la metodología establecida, generaran una mayor cantidad de casos que pudieran dar un mayor peso al tema evaluado en el presente estudio.

## 5. REFERENCIAS

Instituto Nacional de Normalización. Diseño sísmico de edificios. Norma Nch 433 Of.96 modificada. Santiago, Chile. 1996. 13-14-16-27-34p.

Instituto Nacional de Normalización. Diseño estructural de edificios – Cargas Permanentes y sobrecargas de uso. Norma Nch 1537 Of.86. Santiago, Chile. 1986. 13p

DECRETO SUPREMO 61. CHILE. Diseño sísmico de edificios. Santiago, Chile, Noviembre de 2011. 14-19p.

STEWART, Jonathan P. et al (1999). Seismic soil-structure interaction in buildings. Berkeley. 7p.

GAZETAS, George (1999). Formulas and charts for impedances of Surface and embedded foundations. Estados Unidos. 7-14-21p.

CHOPRA, Anil K. (2007). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. 3ª ed. University of California at Berkeley. Pearson, Prentice Hall. 17-28p.

MYLONAKIS, George (2000). Seismic soil-structure interaction: Beneficial or detrimental. New York, USA. City University of New York. Department of Civil Engineering. 7p.

VELETOS, A. S. (1975). Seismic interaction of structures on hysteretic foundations. Estados Unidos. 15-22-27p.

**ANEXOS**

## ÍNDICE GENERAL ANEXOS

Anexo A.....	44
Anexo B.....	49
Anexo C.....	54
Anexo D.....	57
Anexo E.....	65
Anexo F.....	72
Anexo G.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A1. Coeficientes de Rigidez.....	48
Figura B1. Periodos fundamentales, Dirección X.....	51
Figura B2. Periodos fundamentales, Dirección Y.....	51
Figura B3. Relación de Periodos Fundamentales, Dirección X.....	52
Figura B4. Relación de Periodos Fundamentales, Dirección Y.....	52
Figura B5. Relación de rigidez Suelo-Estructura, Dirección X.....	53
Figura B6. Relación de rigidez Suelo-Estructura, Dirección X.....	53
Figura D1. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo A, PM IV, Dirección X.....	58
Figura D2. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo B, PM IV, Dirección X.....	58
Figura D3. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo C, PM IV, Dirección X.....	59
Figura D4. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo D, PM IV, Dirección X.....	59
Figura D5. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo E, PM IV, Dirección X.....	59
Figura D6. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo A, PM IV, Dirección Y.....	60
Figura D7. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo B, PM IV, Dirección Y.....	60
Figura D8. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo C, PM IV, Dirección Y.....	60
Figura D9. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo D, PM IV, Dirección Y.....	61
Figura D10. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo E, PM IV, Dirección Y.....	61
Figura D11. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo A, PM III, Dirección X.....	61
Figura D12. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo B, PM III, Dirección X.....	62
Figura D13. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo C, PM III, Dirección X.....	62
Figura D14. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo D, PM III, Dirección X.....	62
Figura D15. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo E, PM III, Dirección X.....	63
Figura D16. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo A, PM III, Dirección Y.....	63
Figura D17. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo B, PM III, Dirección Y.....	63

Figura D18. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo C, PM III, Dirección Y. ....	64
Figura D19. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo D, PM III, Dirección Y. ....	64
Figura D20. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo E, PM III, Dirección Y. ....	64
Figura E1. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo A, PM IV, Dirección X. ....	66
Figura E2. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo B, PM IV, Dirección X. ....	66
Figura E3. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo C, PM IV, Dirección X. ....	67
Figura E4. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo D, PM IV, Dirección X. ....	67
Figura E5. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo A, PM IV, Dirección Y. ....	67
Figura E6. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo B, PM IV, Dirección Y. ....	68
Figura E7. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo C, PM IV, Dirección Y. ....	68
Figura E8. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo D, PM IV, Dirección Y. ....	68
Figura E9. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo A, PM III, Dirección X. ....	69
Figura E10. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo B, PM III, Dirección X. ....	69
Figura E11. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo C, PM III, Dirección X. ....	69
Figura E12. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo D, PM III, Dirección X. ....	70
Figura E13. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo A, PM III, Dirección Y. ....	70
Figura E14. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo B, PM III, Dirección Y. ....	70
Figura E15. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo C, PM III, Dirección Y. ....	71
Figura E16. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo D, PM III, Dirección Y. ....	71
Figura E17. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo E, PM III, Dirección Y. ....	71
Figura F1. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo A, PM IV, Dirección X. ....	73
Figura F2. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM IV, Dirección X. ....	73
Figura F3. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo C, PM IV, Dirección X. ....	74
Figura F4. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM IV, Dirección X. ....	74
Figura F5. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo E, PM IV, Dirección X. ....	74

Figura F6. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo A, PM IV, Dirección Y.....	75
Figura F7. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM IV, Dirección Y.....	75
Figura F8. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo C, PM IV, Dirección Y.....	75
Figura F9. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM IV, Dirección Y.....	76
Figura F10. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo E, PM IV, Dirección Y.....	76
Figura F11. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo A, PM IV, Dirección X.....	76
Figura F12. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo B, PM IV, Dirección X.....	77
Figura F13. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo C, PM IV, Dirección X.....	77
Figura F14. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo D, PM IV, Dirección X.....	77
Figura F15. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo E, PM IV, Dirección X.....	78
Figura F16. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo A, PM IV, Dirección Y.....	78
Figura F17. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo B, PM IV, Dirección Y.....	78
Figura F18. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo C, PM IV, Dirección Y.....	79
Figura F19. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo D, PM IV, Dirección Y.....	79
Figura F20. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo E, PM IV, Dirección Y.....	79
Figura F21. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo A, PM III, Dirección X.....	80
Figura F22. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM III, Dirección X.....	80
Figura F23. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo C, PM III, Dirección X.....	80
Figura F24. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM III, Dirección X.....	81
Figura F25. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo E, PM III, Dirección X.....	81
Figura F26. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo A, PM III, Dirección Y.....	81
Figura F27. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM III, Dirección Y.....	82
Figura F28. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo C, PM III, Dirección Y.....	82
Figura F29. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM III, Dirección Y.....	82
Figura F30. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo E, PM III, Dirección Y.....	83

Figura F31. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo A, PM III, Dirección X.....	83
Figura F32. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo B, PM III, Dirección X.....	83
Figura F33. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo C, PM III, Dirección X.....	84
Figura F34. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo D, PM III, Dirección X.....	84
Figura F35. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo E, PM III, Dirección X.....	84
Figura F36. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo A, PM III, Dirección Y.....	85
Figura F37. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo B, PM III, Dirección Y.....	85
Figura F38. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo C, PM III, Dirección Y.....	85
Figura F39. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo D, PM III, Dirección Y.....	86
Figura F40. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo E, PM III, Dirección Y.....	86
Figura G1. Relación de Seudoaceleraciones de Diseño, Dirección X.....	88
Figura G2. Relación de Seudoaceleraciones de Diseño, Dirección Y.....	88
Figura G3. Relación de Fuerzas Basales de Diseño, Dirección X.....	89
Figura G4. Relación de Fuerzas Basales de Diseño, Dirección Y.....	89
Figura G5. Relación de Fuerzas Basales en Sismo, Dirección X.....	90
Figura G6. Relación de Fuerzas Basales en Sismo, Dirección Y.....	90

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla A1. Ecuaciones para el cálculo de Rigidez Estática. ....	45
Tabla A2. Ecuaciones para el cálculo de Coeficientes de Rigidez. ....	46
Tabla A3. Ecuaciones para el cálculo de Rigidez Dinámica.....	47
Tabla B1. Periodos Fundamentales, Dirección X.....	50
Tabla B2. Períodos Fundamentales, Dirección Y.....	50
Tabla C1. Rigideces traslación vertical, Plaza Mayor IV.....	55
Tabla C2. Rigideces traslación vertical, Plaza Mayor III.....	55
Tabla C3. Rigideces, Plaza Mayor IV, Dirección X.....	55
Tabla C4. Rigideces, Plaza Mayor IV, Dirección Y.....	55
Tabla C5. Rigideces, Plaza Mayor III, Dirección X.....	56
Tabla C6. Rigideces, Plaza Mayor III, Dirección Y.....	56

## **Anexo A**

### **Formulas propuestas por Gazetas (1991)**

A continuación se detallan las fórmulas utilizadas para el cálculo de las rigideces empleadas en los modelos estructurales.

**Tabla A1. Ecuaciones para el cálculo de Rigidez Estática.**

Rigidez Estática		
Traslación	Y	$K_{y,emb} = K_y \cdot \left(1 + 0,15 \cdot \left(\frac{D}{B}\right)^{0,5}\right) \left(1 + 0,52 \cdot \left(\frac{h}{B}\right) \cdot \left(\frac{A_w}{L^2}\right)^{0,4}\right)$ $K_y = K_{y,surface}$ $K_{y,surface} = \left(\frac{2 \cdot G \cdot L}{(2 - \nu)}\right) (2 + 2.50 \cdot x^{0,85})$
	X	$K_{x,emb} = K_{x,surface} \cdot \left(\frac{K_{y,emb}}{K_{y,surface}}\right)$ $K_{x,surface} = K_{y,surface} - \left(\frac{0,2}{0,75 - \nu}\right) \cdot G \cdot L \cdot \left(1 - \left(\frac{B}{L}\right)\right)$
	Z	$K_{z,emb} = K_z \cdot \left(\frac{1}{21}\right) \cdot \left(\frac{D}{B}\right) \cdot (1 + 1.3x) \cdot \left[1 + 0,2 \cdot \left(\frac{A_w}{A_b}\right)^{2/3}\right]$ $K_z = \left(\frac{2 \cdot G \cdot L}{(1 - \nu)}\right) \cdot (0,73 + 1,54 \cdot x^{0,73})$ $A_w = d \cdot \text{Perímetro}$ $x = \frac{A_b}{4 \cdot L^2}$ $G = E \cdot \nu^2$
Balanceo	Y	$K_{ry,emb} = K_{ry} \cdot \left(1 + 0,92 \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{0,6} \cdot \left(1,5 + \left(\frac{d}{L}\right)^{1,9} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{-0,6}\right)\right)$ $K_{ry} = K_{ry,surface}$ $K_{ry,surface} = \left(\frac{3 \cdot G}{1 - \nu}\right) \cdot I_{by}^{0,75} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^{0,15}$

	X	$K_{rx,emb} = K_{rx} \cdot \left( 1 + 1,26 \cdot \left(\frac{d}{B}\right) \cdot \left( 1 + \left(\frac{d}{B}\right) \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{-0,2} \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^{0,5} \right) \right)$ $K_{rx} = K_{rx,surface}$ $K_{rx,surface} = \left(\frac{G}{1-\nu}\right) \cdot I_{bx}^{0,75} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^{0,25} \cdot \left( 2,4 + 0,5 \cdot \left(\frac{B}{L}\right) \right)$
Torsión	Z	$K_{t,emb} = K_t \cdot \Gamma_w \cdot \Gamma_{tre}$ $K_t = K_{t,surface}$ $K_{t,surface} = 3,5 \cdot G \cdot I_{bz}^{0,75} \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^{0,4} \cdot \left(\frac{I_{bz}}{B^4}\right)^{0,15}$ $\Gamma_w = 1 + 0,4 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{j_s}{j_r}\right) \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{0,6}$ $\Gamma_{tre} = 1 + 0,5 \cdot \left(\frac{D}{B}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{B^4}{I_{bz}}\right)^{0,13}$ $j_s = \left(\frac{4}{3}\right) \cdot d \cdot (B^3 + L^3) + 4 \cdot B \cdot L \cdot d \cdot (L + B)$ $j_r = \left(\frac{4}{3}\right) \cdot B \cdot L \cdot (B^2 + L^2)$

**Tabla A2. Ecuaciones para el cálculo de Coeficientes de Rigidez.**

Coeficientes de Rigidez		
Traslación	Y	Extraído de Figura A1
	X	Extraído de Figura A1
	Z	$a_0 = \frac{\omega \cdot r}{V_s}$ $k_z: \text{Extraído de Figura A1}$

Balanceo	Y	$k_{ry} = 1 - 0,26 \cdot a_0$	$v < 0,4$
	X	$k_{rx} = 1 - 0,2 \cdot a_0$	
Torsión	Z	$k_t = 1 - 0,14 \cdot a_0$	

**Tabla A3. Ecuaciones para el cálculo de Rigidez Dinámica.**

Rigidez Dinámica		
Traslación	Y	$\bar{K}_y = K_y \cdot k_y$
	X	$\bar{K}_x = K_x \cdot k_x$
	Z	$\bar{K}_z = K_z \cdot k_z$
Balanceo	Y	$\bar{K}_{ry} = K_{ry} \cdot k_{ry}$
	X	$\bar{K}_{rx} = K_{rx} \cdot k_{rx}$
Torsión	Z	$\bar{K}_t = K_t \cdot k_t$

En donde:

D : Distancia entre la superficie y el sello de fundación

L : Largo de la fundación

B : Ancho de la fundación

d : Distancia efectiva entre la superficie y el sello de fundación

h : Altura desde la superficie hasta el centroide de la superficie lateral que está en contacto con el suelo

$A_w$  : Área de contacto entre la pared lateral del subterráneo y el suelo

- $A_b$  : Área de la fundación
- $G$  : Módulo de rigidez
- $V_s$  : Velocidad de Onda de corte del Suelo
- $E$  : Módulo de Elasticidad del suelo
- $\nu$  : Coeficiente de poisson
- $\omega$  : Frecuencia natural de la estructura en base fija
- $I_{bx}$  : Momento de inercia de la superficie de contacto entre el suelo y la fundación en el eje x
- $I_{by}$  ; Momento de inercia de la superficie de contacto entre el suelo y la fundación en el eje y
- $I_{bz}$  : Momento de inercia de la superficie de contacto entre el suelo y la fundación en el eje z

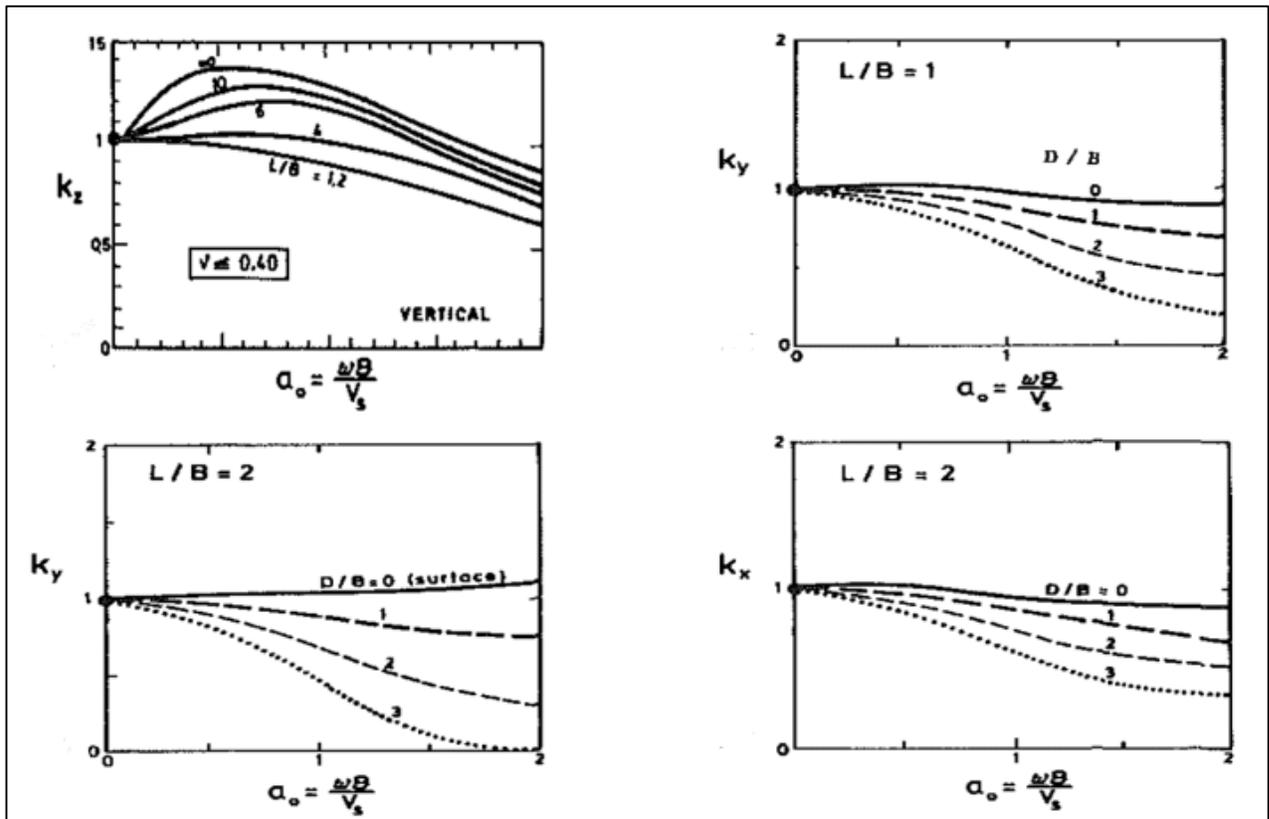


Figura A1. Coeficientes de Rigidez.

## **Anexo B**

### **Periodos Fundamentales**

Como base de este estudio se encuentran los Periodos Fundamentales. Estos resultan esencial a la hora de realizar todos los análisis necesarios para cumplir con los objetivos planteados.

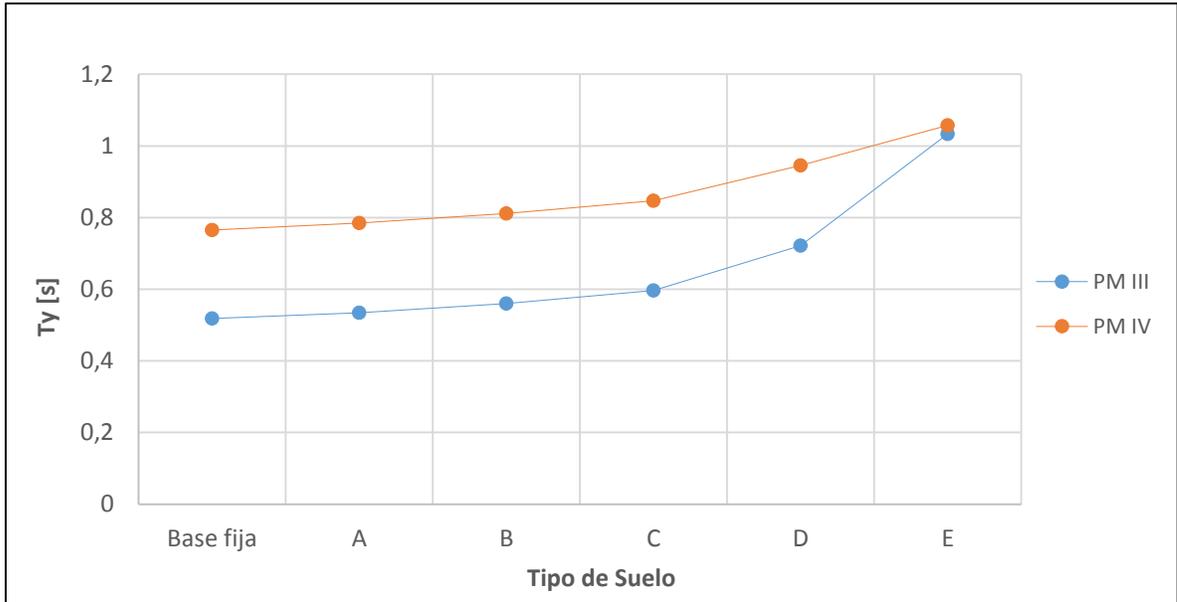
En las tablas presentadas en este apartado, se detalla toda la información necesaria relacionada con los Periodos Fundamentales. Además, se muestran los gráficos construidos con la información anteriormente mencionada.

**Tabla B1. Periodos Fundamentales, Dirección X.**

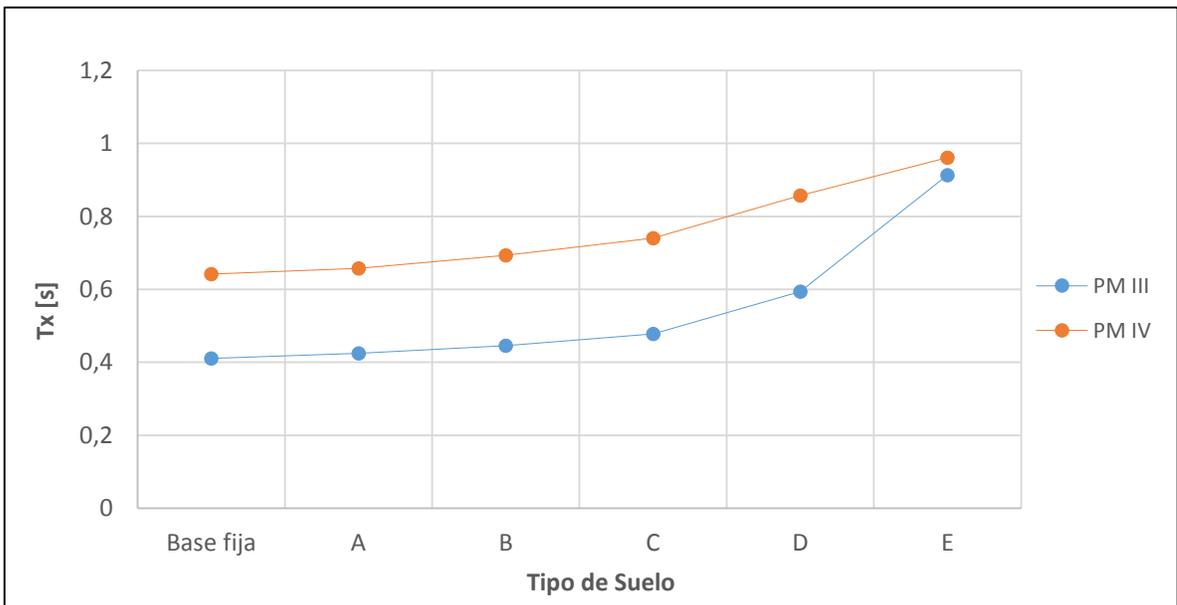
Suelo	Vs [m/s]	Plaza Mayor III				Plaza Mayor IV		
		uX	Participación	Modo		uX	Participación	Modo
Base fija	-	0,410456	65,8056	3		0,641866	47,041	2
A	900	0,424361	46,3649	3		0,657507	47,0571	2
B	500	0,445867	48,2863	3		0,692993	46,7908	2
C	350	0,477534	50,8289	3		0,740332	46,0588	2
D	180	0,594258	59,2889	3		0,857567	43,5198	2
E	100	0,913211	73,6281	3		0,961057	43,3183	2

**Tabla B2. Periodos Fundamentales, Dirección Y.**

Suelo	Vs [m/s]	Plaza Mayor III				Plaza Mayor IV		
		uY	Participación	Modo		uY	Participación	Modo
Base fija	-	0,51832	51,7589	1		0,765304	45,496	1
A	900	0,534191	39,4618	1		0,784458	45,3544	1
B	500	0,559931	42,5662	1		0,811388	45,2823	1
C	350	0,596062	44,4275	1		0,84704	44,783	1
D	180	0,721396	54,752	2		0,945737	42,8529	1
E	100	1,03341	60,2177	2		1,057397	43,0675	1



**Figura B1. Periodos fundamentales, Dirección X.**



**Figura B2. Periodos fundamentales, Dirección Y.**

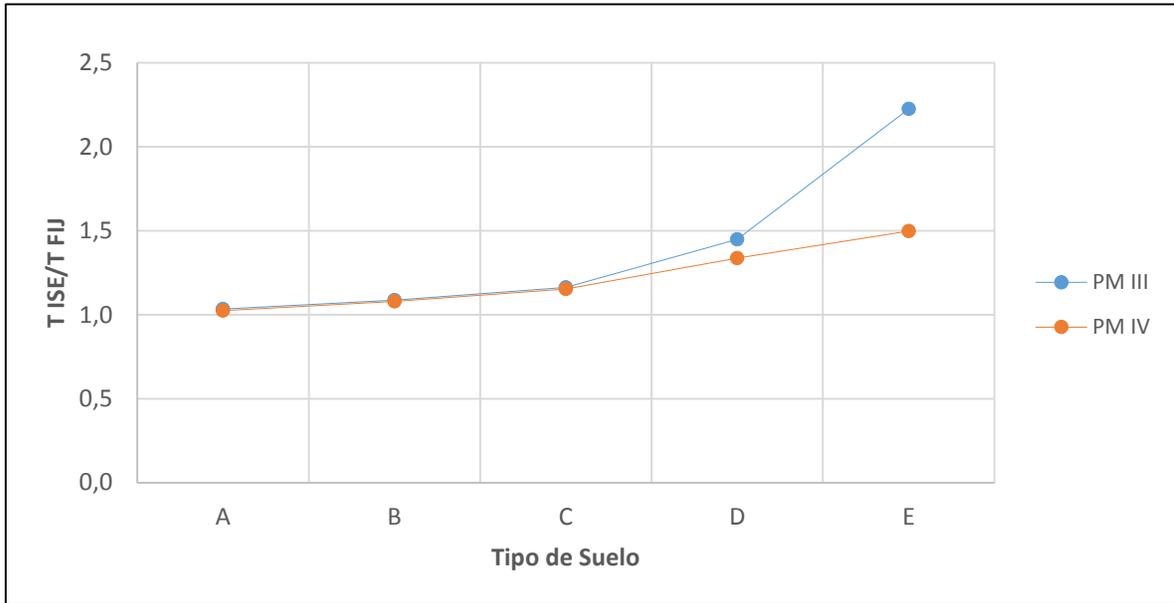


Figura B3. Relación de Periodos Fundamentales, Dirección X.

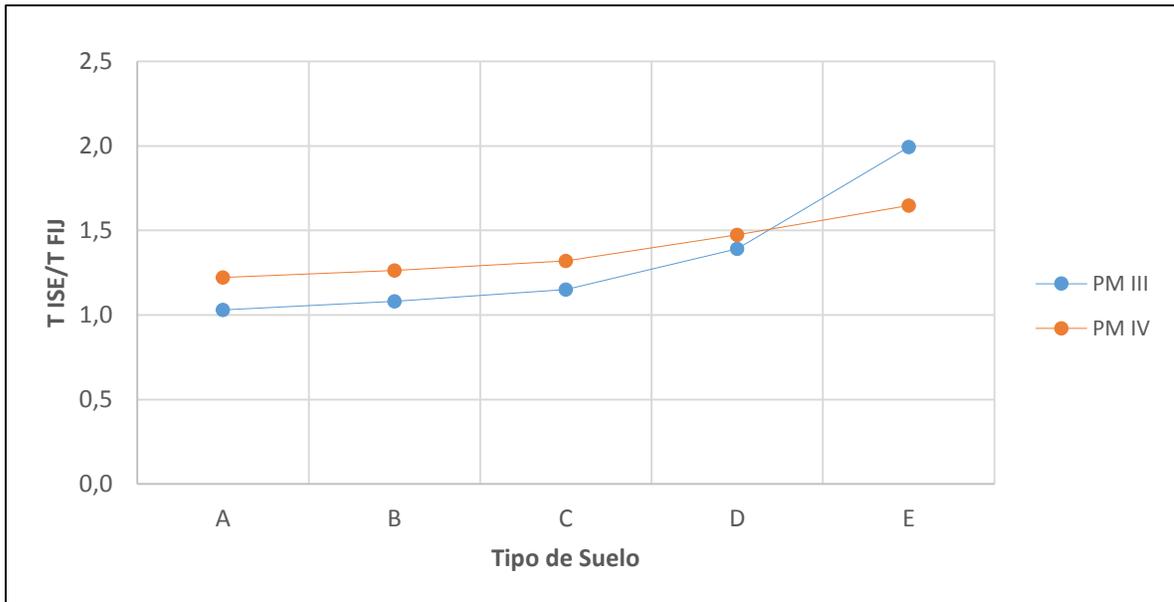
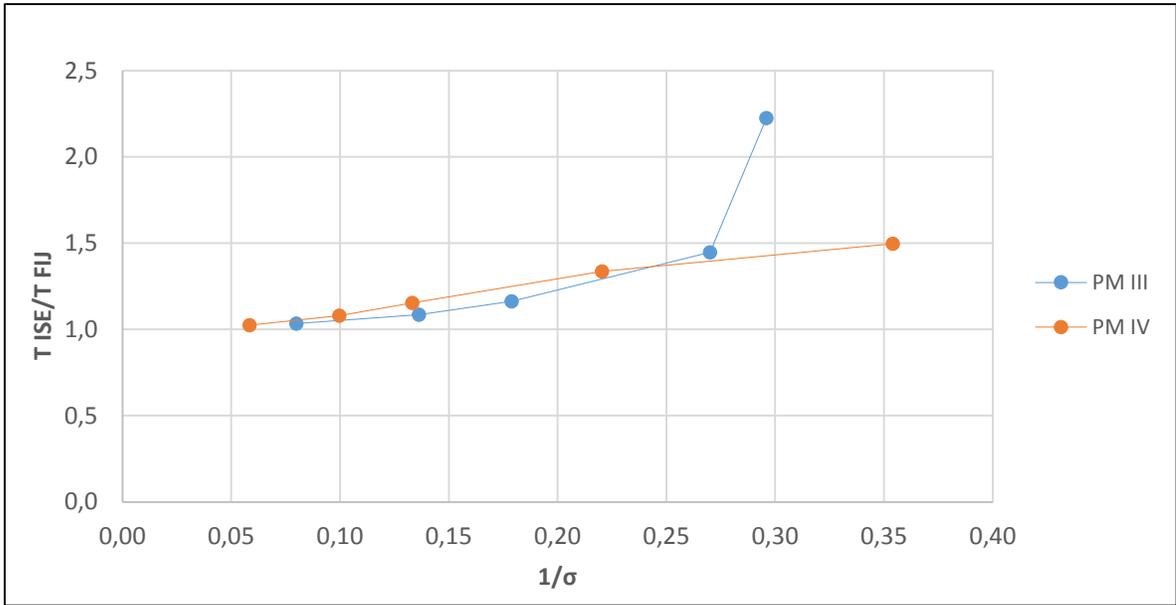
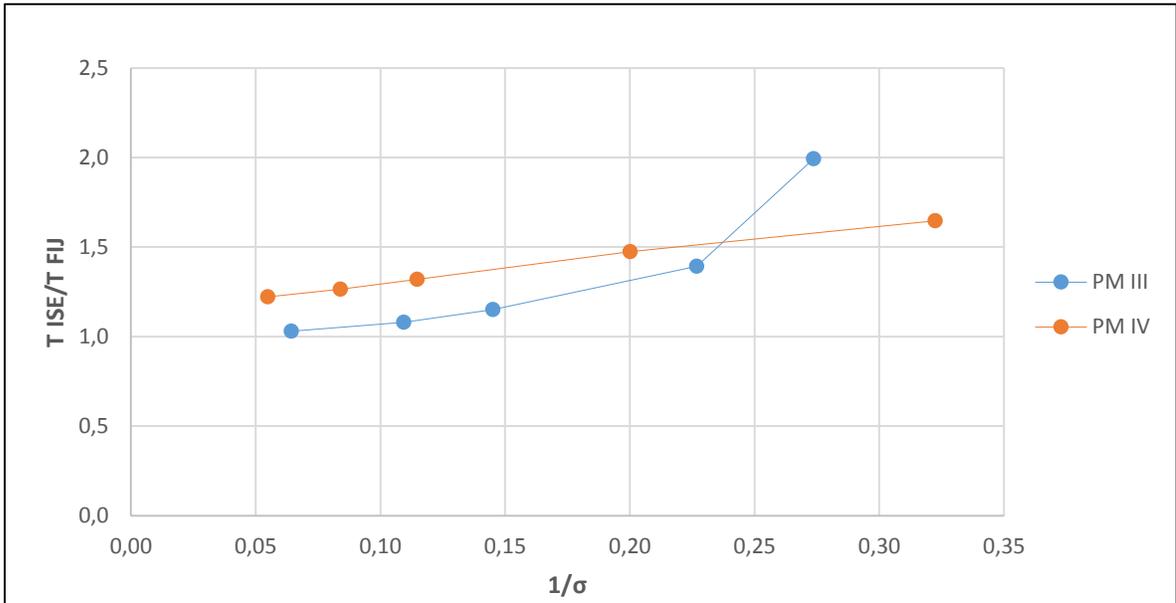


Figura B4. Relación de Periodos Fundamentales, Dirección Y.



**Figura B5. Relación de rigidez Suelo-Estructura, Dirección X.**



**Figura B6. Relación de rigidez Suelo-Estructura, Dirección X.**

**Anexo C**

**Rigideces**

Se presentan los valores calculados en base a las formulas detalladas en Anexos A. Estos valores, son los utilizados en los resortes de los modelos, los cuales, caracterizan a cada tipología de suelo.

**Tabla C1. Rigideces traslación vertical, Plaza Mayor IV.**

Kz [N/m3]						
Dirección	Area [m2]	A	B	C	D	E
X	597,5393	3485043,4	985117,545	417707,995	99328,0996	22798,261
Y	597,5393	3484331,5	984464,227	417140,923	98809,6345	22391,7372

**Tabla C2. Rigideces traslación vertical, Plaza Mayor III.**

Kz [Kgf/m3]						
Dirección	Area [m2]	A	B	C	D	E
X	1107,7837	284624319	78980252,3	32007281,6	6907256,16	1244885,424
Y	1107,7837	284630892	78986172,8	32012192,2	6911326,51	1247383,138

**Tabla C3. Rigideces, Plaza Mayor IV, Dirección X.**

Tipo de suelo	Resortes [N/m]				
	Horizontal		Balanceo		Torsión
	Ky	Kx	Kry	Krx	Kt
A	1,62565E+11	1,62565E+11	2,0853E+14	2,4816E+14	4,6499E+14
B	46506514674	46414239843	5,59403E+13	6,7507E+13	1,2819E+14
C	20018793834	20018793834	2,26439E+13	2,7736E+13	5,3403E+13
D	5056337761	5026739686	4,59442E+12	5,9682E+12	1,2093E+13
E	1295538623	1245461072	7,2248E+11	1,1127E+12	2,5442E+12

**Tabla C4. Rigideces, Plaza Mayor IV, Dirección Y.**

Tipo de suelo	Resortes [N/m]				
	Horizontal		Balanceo		Torsión
	Ky	Kx	Kry	Krx	Kt
A	1,6256E+11	1,62565E+11	2,0699E+14	2,4677E+14	4,632E+14
B	4,6507E+10	46414239843	5,5155E+13	6,68E+13	1,2728E+14
C	2,0019E+10	20018793834	2,2163E+13	2,7302E+13	5,2844E+13
D	5056337761	5026739686	4,3613E+12	5,7581E+12	1,1821E+13
E	1295538623	1245461072	6,1652E+11	1,0172E+12	2,4209E+12

**Tabla C5. Rigideces, Plaza Mayor III, Dirección X.**

Tipo de suelo	Resortes [N/m]				
	Horizontal		Balanceo		Torsión
	K <sub>y</sub>	K <sub>x</sub>	K <sub>ry</sub>	K <sub>rx</sub>	K <sub>t</sub>
A	2,75503E+11	2,6163E+11	1,9243E+13	1,4079E+13	9,8639E+12
B	82017722901	7,403E+10	5,2044E+12	3,8531E+12	2,7304E+12
C	35500004396	3,1423E+10	2,1251E+12	1,593E+12	1,1421E+12
D	8393506293	7756934237	4,4652E+11	3,5093E+11	2,6239E+11
E	2130117432	1599038185	7,8055E+10	6,9349E+10	5,6936E+10

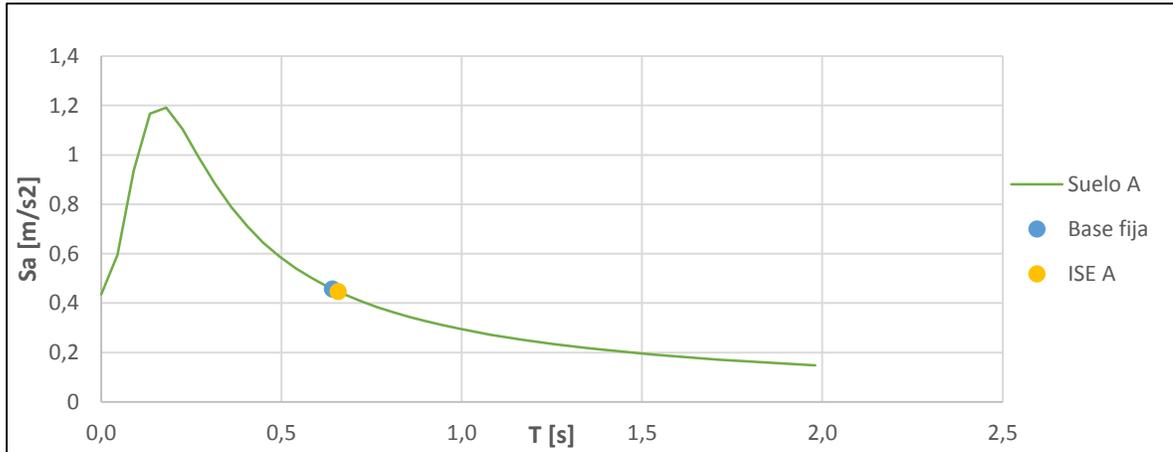
**Tabla C6. Rigideces, Plaza Mayor III, Dirección Y**

Tipo de suelo	Resortes [N/m]				
	Horizontal		Balanceo		Torsión
	K <sub>y</sub>	K <sub>x</sub>	K <sub>ry</sub>	K <sub>rx</sub>	K <sub>t</sub>
A	2,755E+11	2,6163E+11	1,9259E+13	1,4088E+13	9,8681E+12
B	8,2018E+10	7,403E+10	5,2123E+12	3,8575E+12	2,7325E+12
C	3,55E+10	3,1423E+10	2,13E+12	1,5957E+12	1,1434E+12
D	8393506293	7756934237	4,4888E+11	3,5224E+11	2,6303E+11
E	2130117432	1599038185	7,9128E+10	6,9945E+10	5,7224E+10

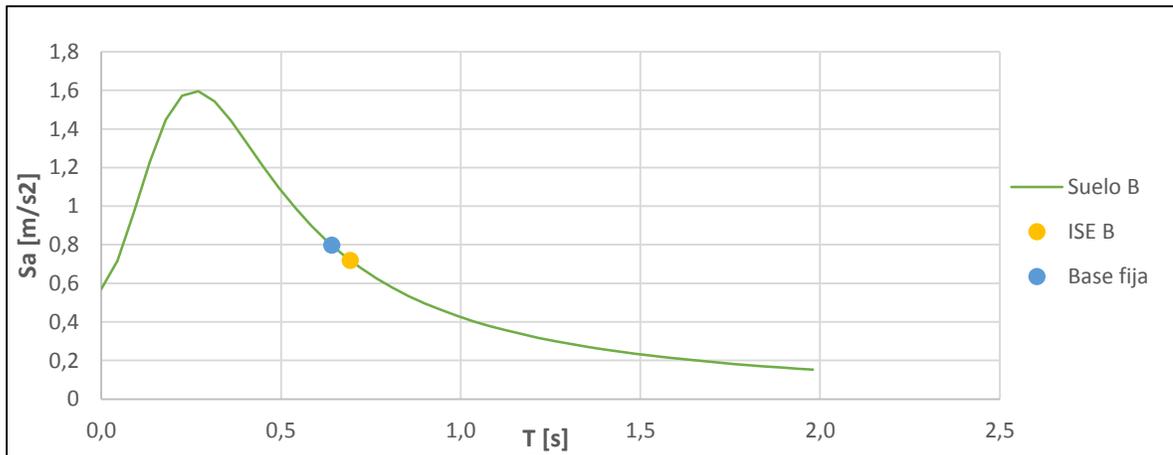
## **Anexo D**

**Coordenadas Espectrales en Espectros de pseudoaceleración de Diseño:**

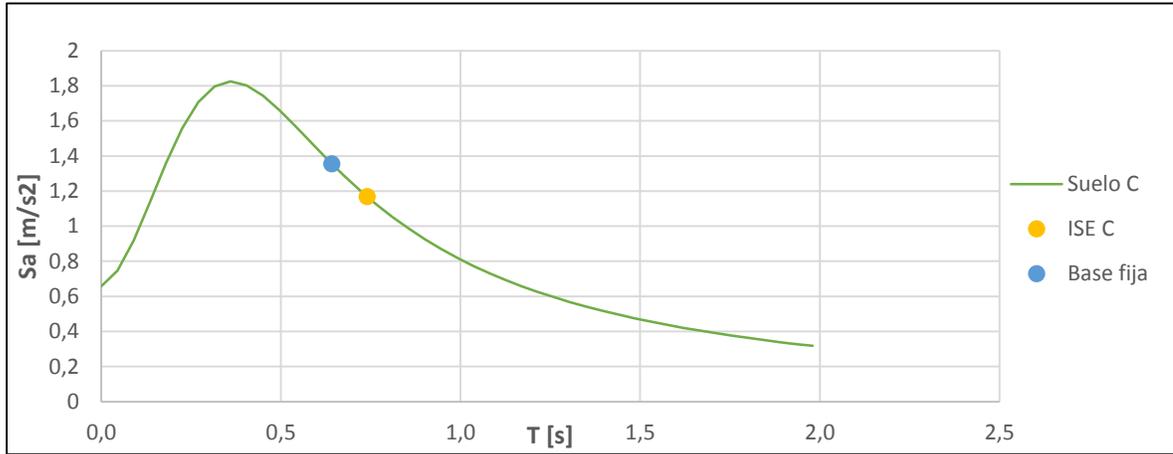
En este apartado se detallan los espectros de pseudoaceleración de diseño para todos los casos analizados. En estos se muestran los cambios en las coordenadas espectrales, debido al cambio en los periodos fundamentales, en ambas direcciones de análisis (X e Y), y para los dos edificios.



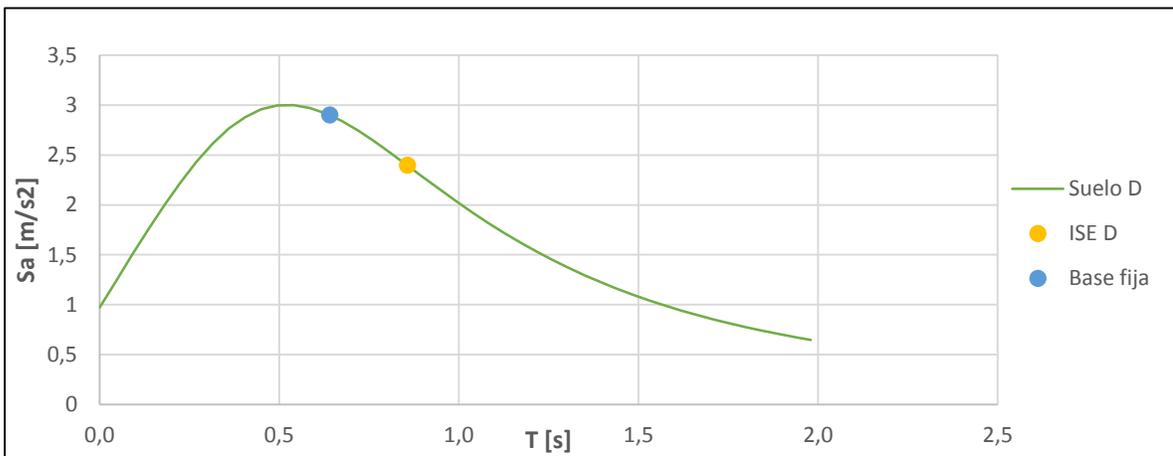
**Figura D1. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo A, PM IV, Dirección X.**



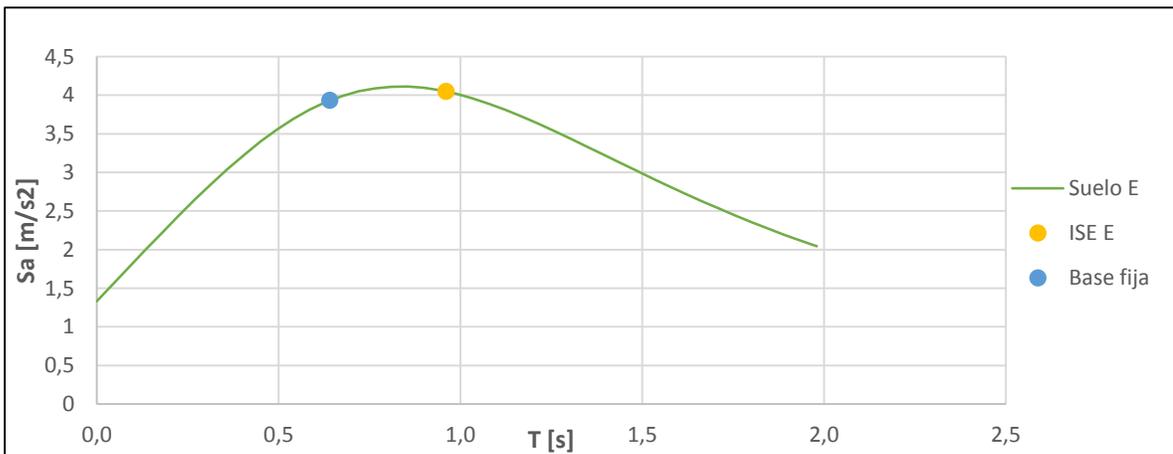
**Figura D2. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo B, PM IV, Dirección X.**



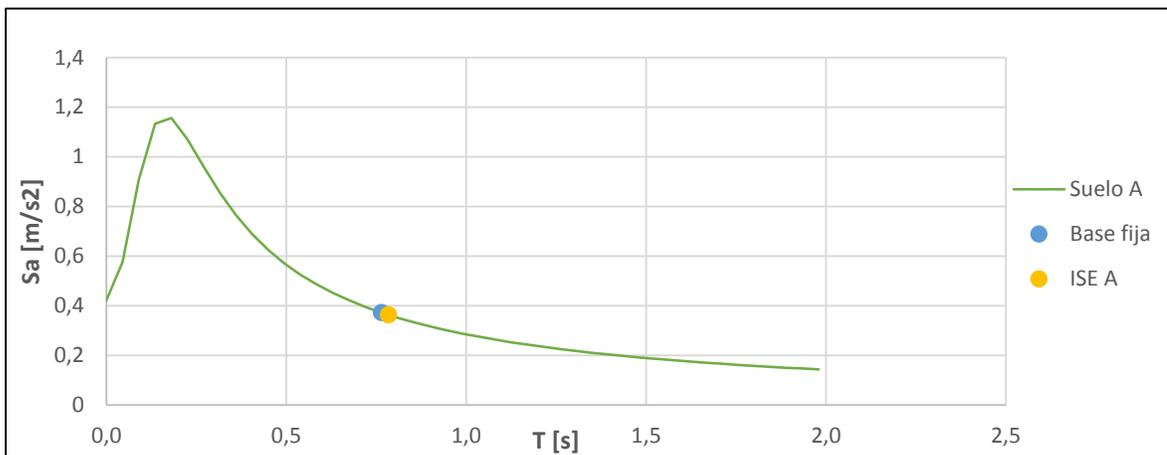
**Figura D3. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo C, PM IV, Dirección X.**



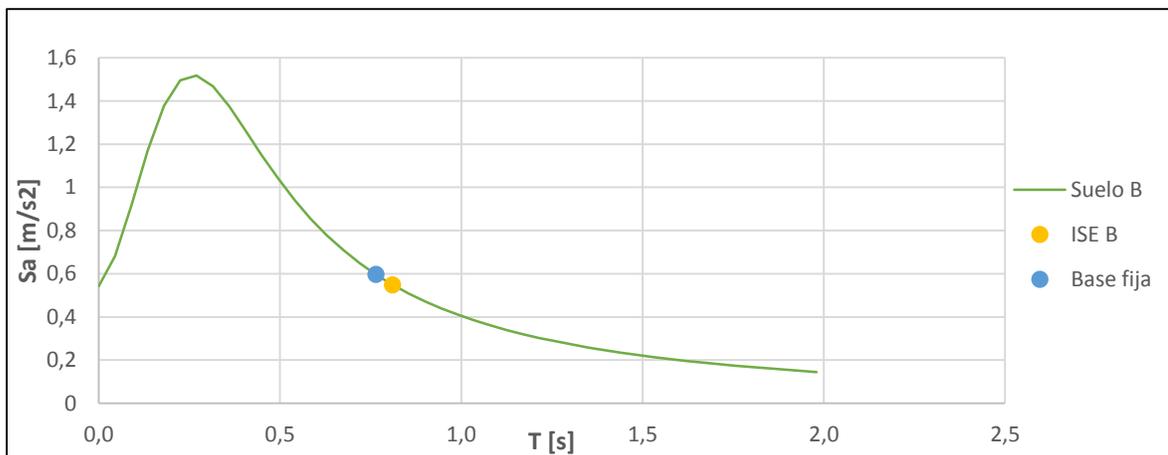
**Figura D4. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo D, PM IV, Dirección X.**



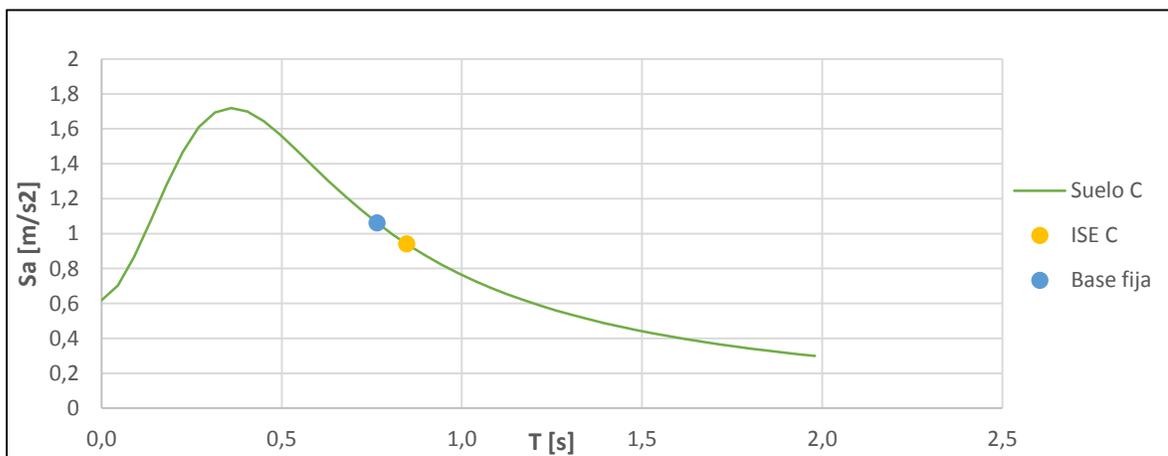
**Figura D5. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo E, PM IV, Dirección X.**



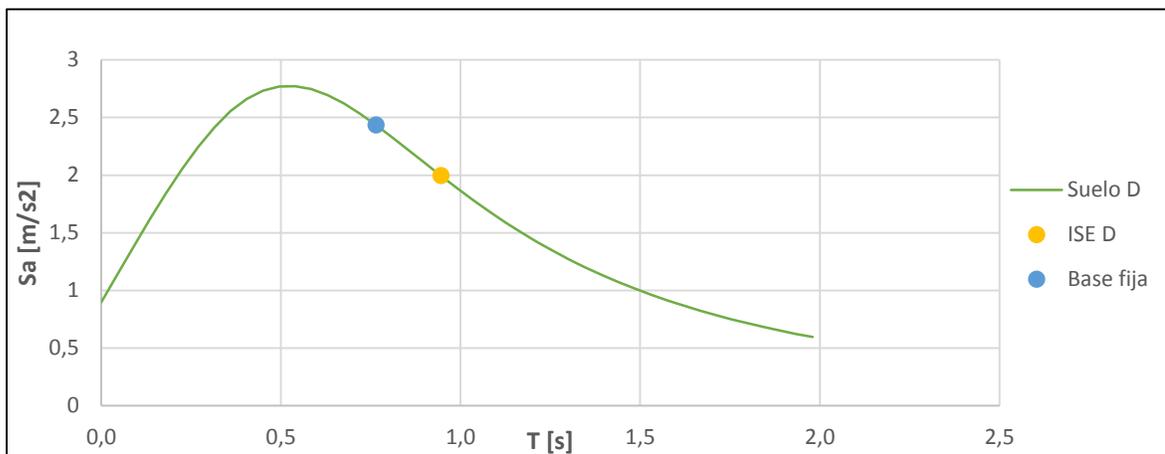
**Figura D6. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo A, PM IV, Dirección Y**



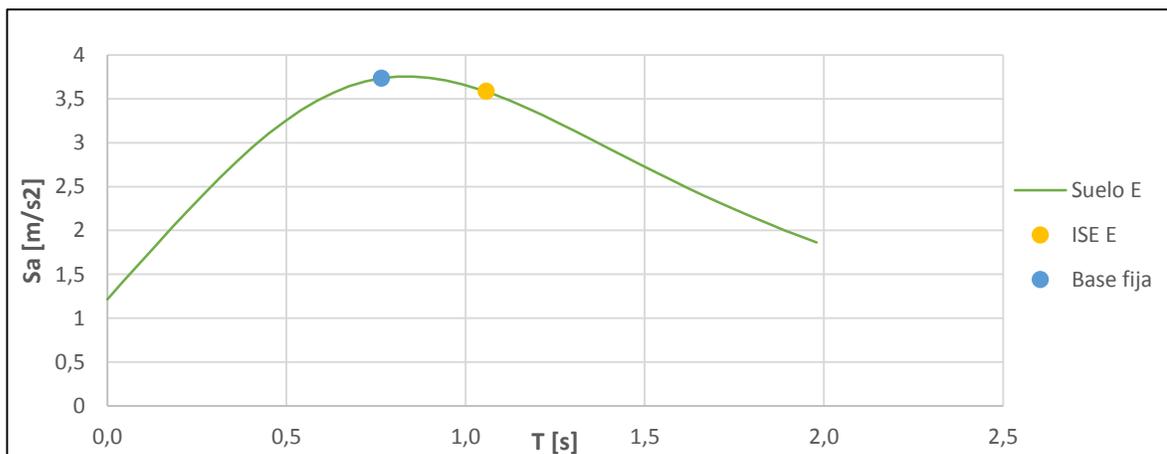
**Figura D7. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo B, PM IV, Dirección Y.**



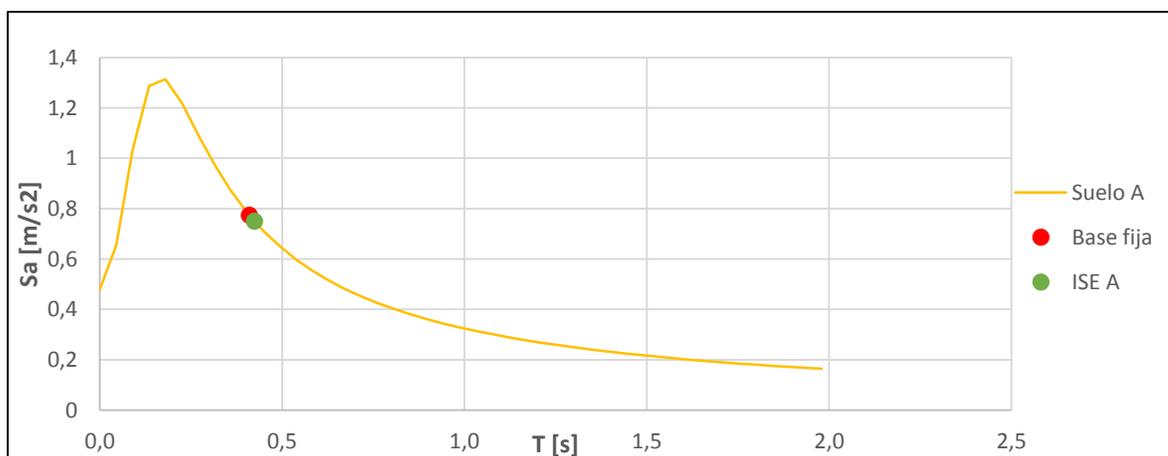
**Figura D8. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo C, PM IV, Dirección Y.**



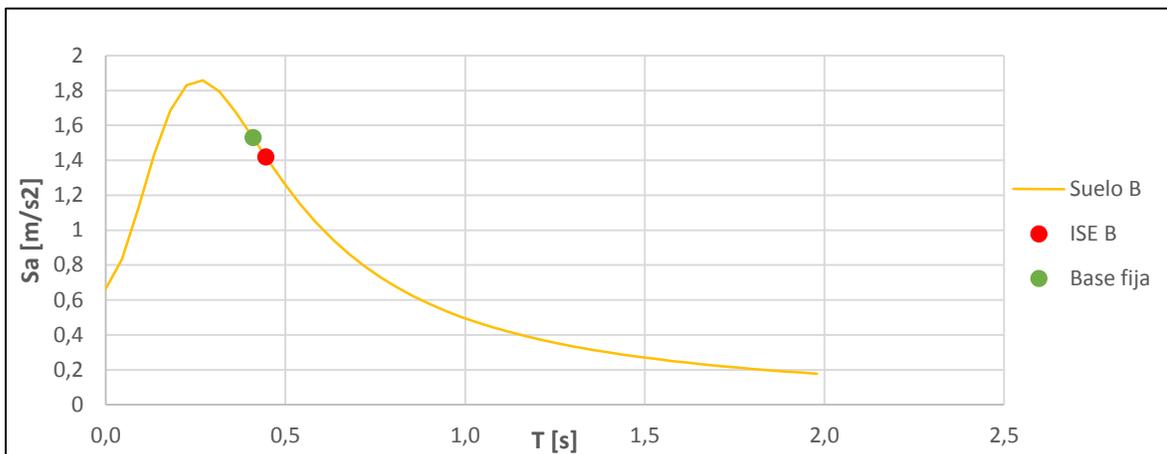
**Figura D9. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo D, PM IV, Dirección Y.**



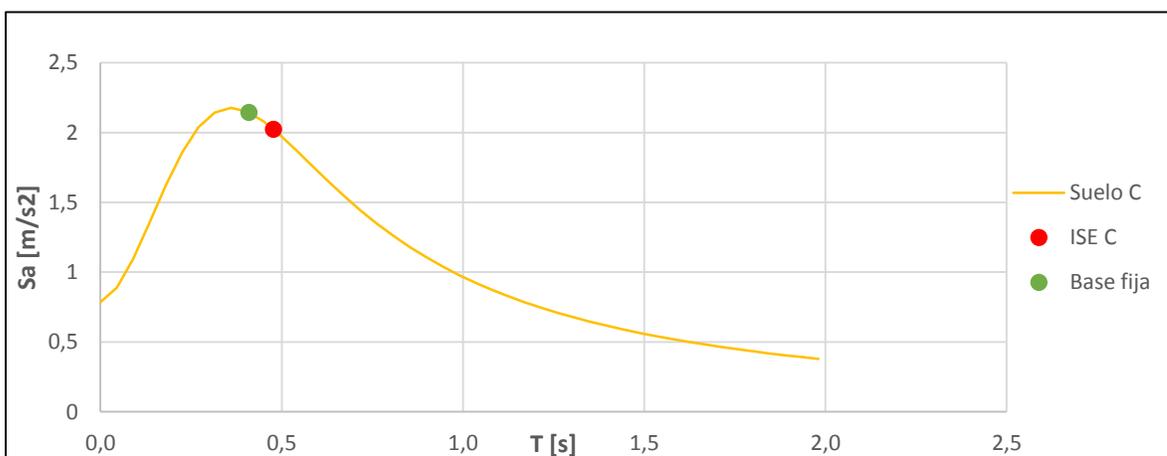
**Figura D10. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo E, PM IV, Dirección Y.**



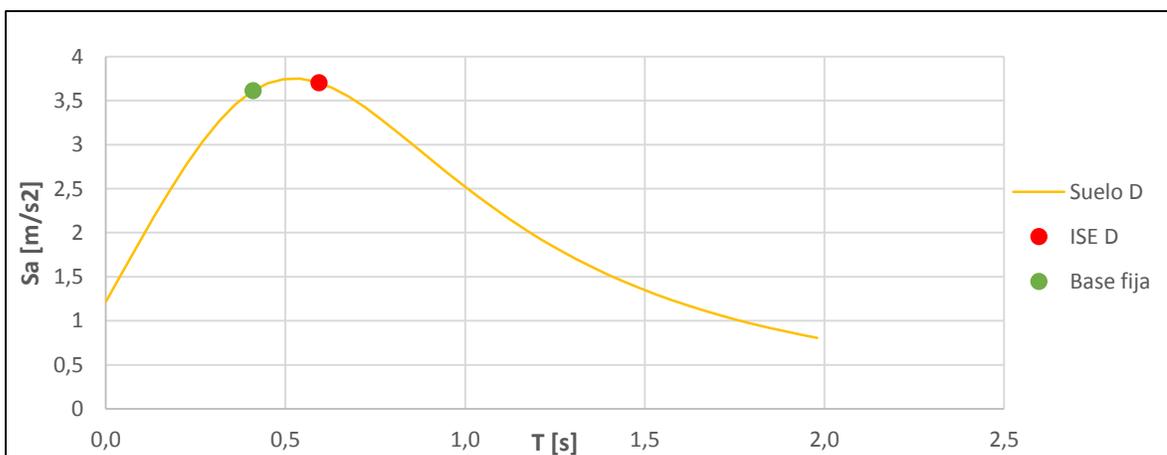
**Figura D11. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo A, PM III, Dirección X.**



**Figura D12. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo B, PM III, Dirección X.**



**Figura D13. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo C, PM III, Dirección X.**



**Figura D14. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo D, PM III, Dirección X.**

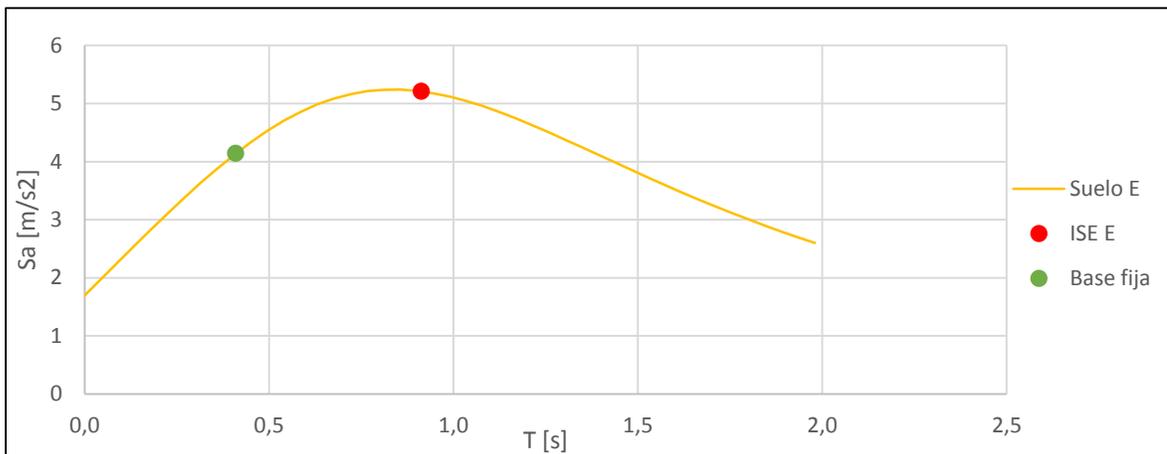


Figura D15. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo E, PM III, Dirección X.

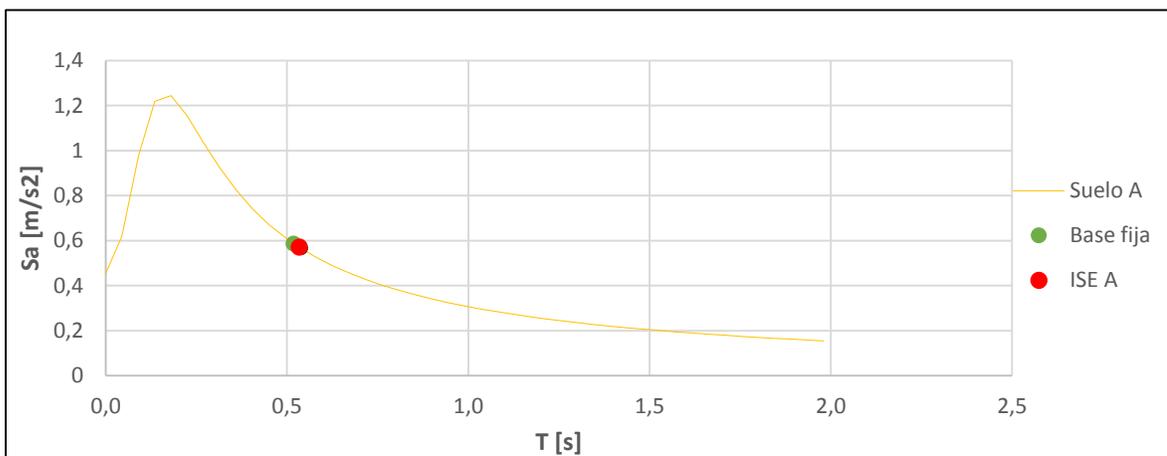


Figura D16. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo A, PM III, Dirección Y.

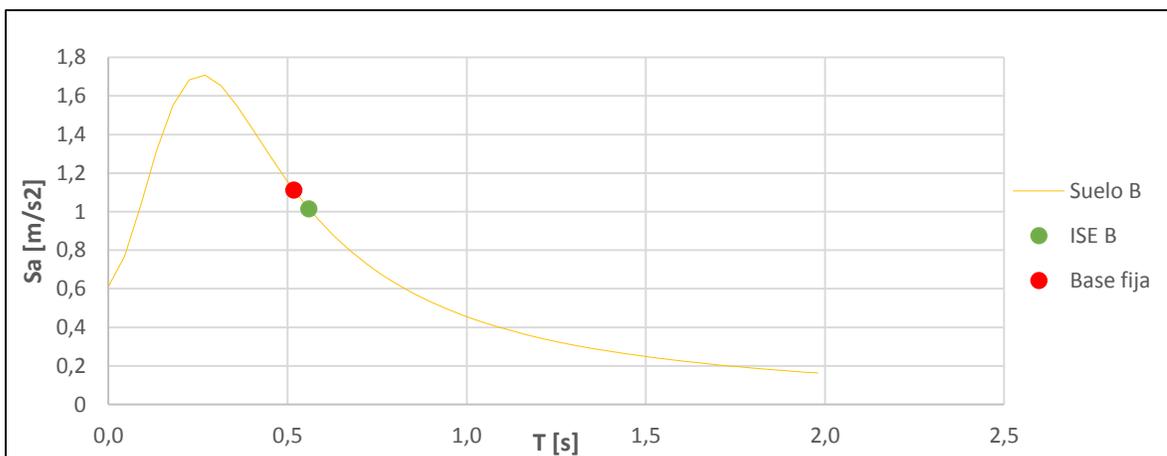


Figura D17. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo B, PM III, Dirección Y.

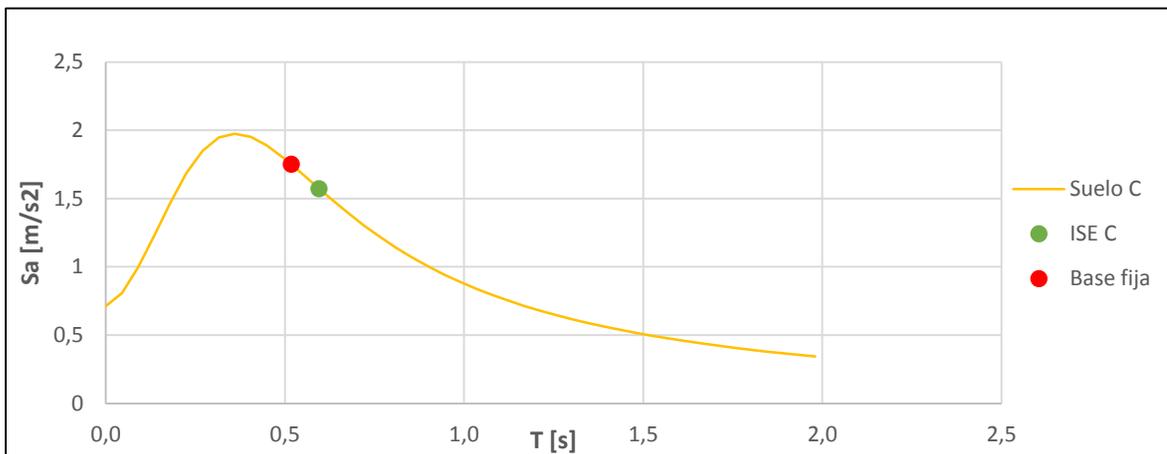


Figura D18. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo C, PM III, Dirección Y.

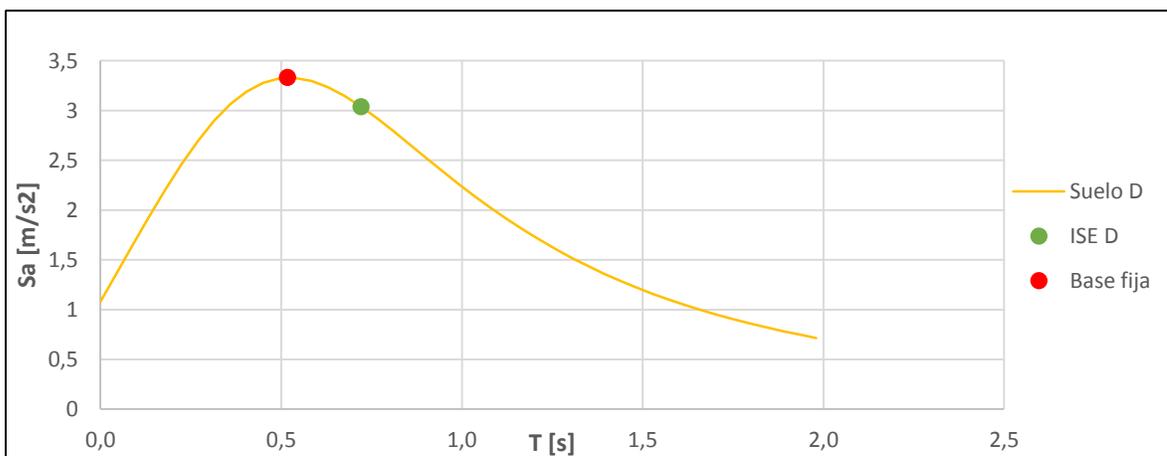


Figura D19. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo D, PM III, Dirección Y.

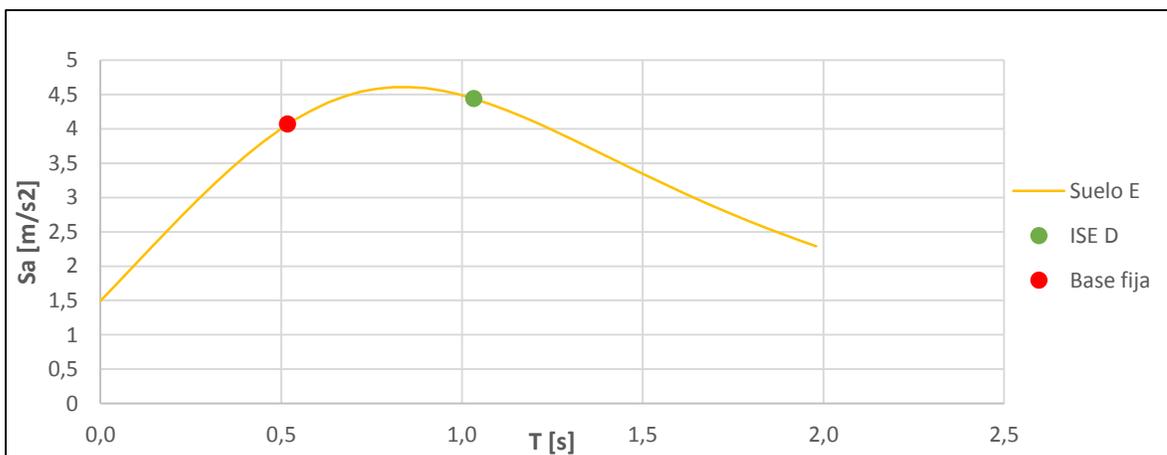
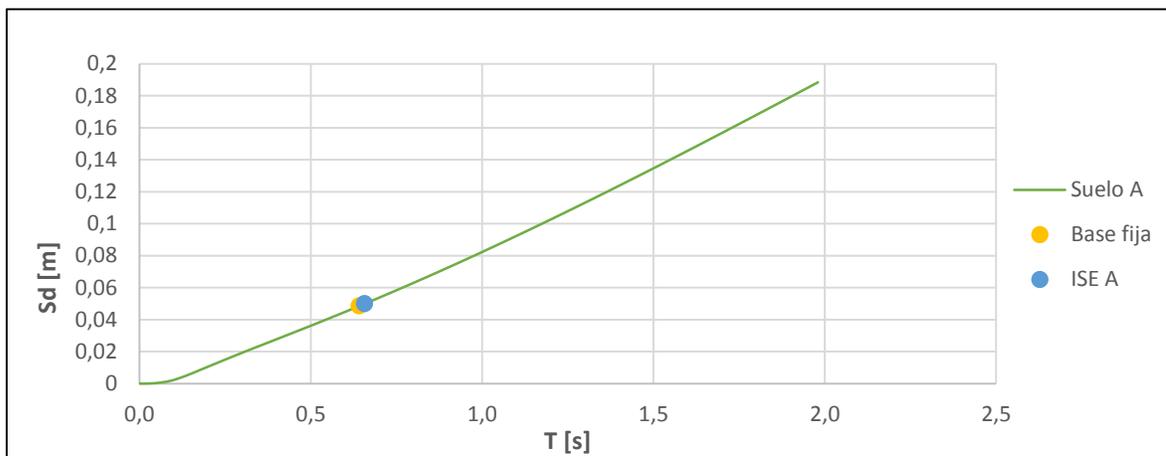


Figura D20. Espectro de Seudoaceleración de diseño en Suelo E, PM III, Dirección Y.

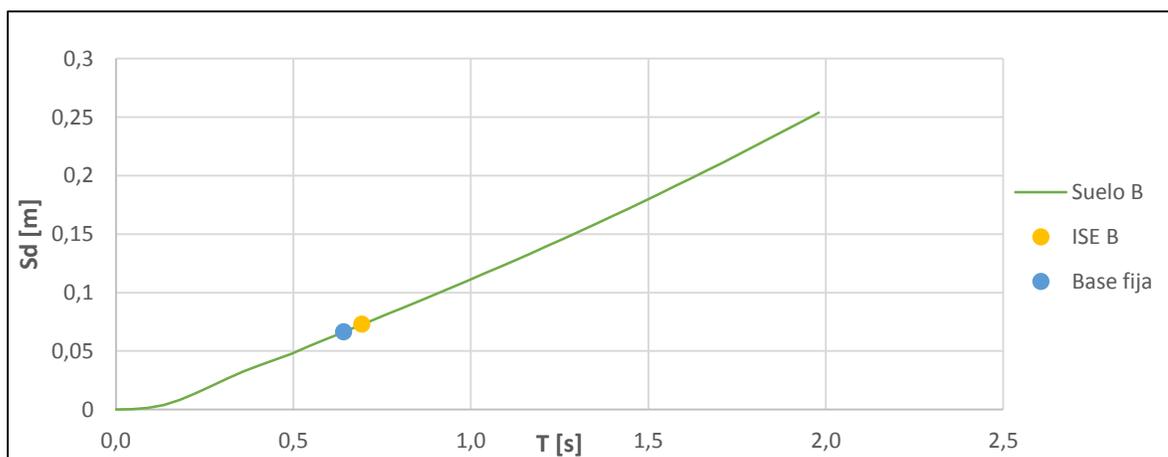
## **Anexo E**

### **Coordenadas Espectrales en Espectros de Seudodesplazamiento de Diseño**

A continuación se detallan los cambios en las coordenadas espectrales sobre los Espectros de Seudodesplazamiento de todas las situaciones evaluadas, para ambas direcciones (X e Y) y para los dos edificios.



**Figura E1. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo A, PM IV, Dirección X.**



**Figura E2. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo B, PM IV, Dirección X.**

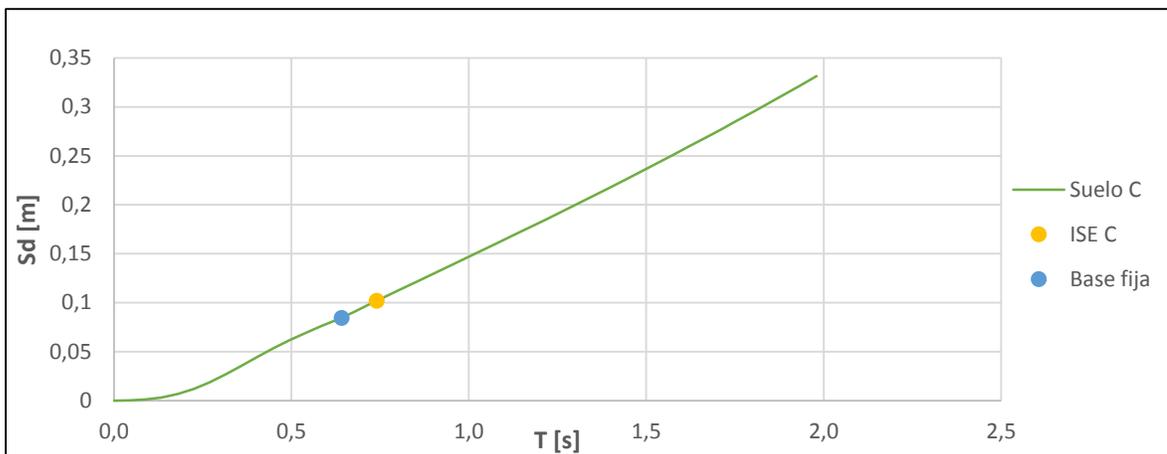


Figura E3. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo C, PM IV, Dirección X.

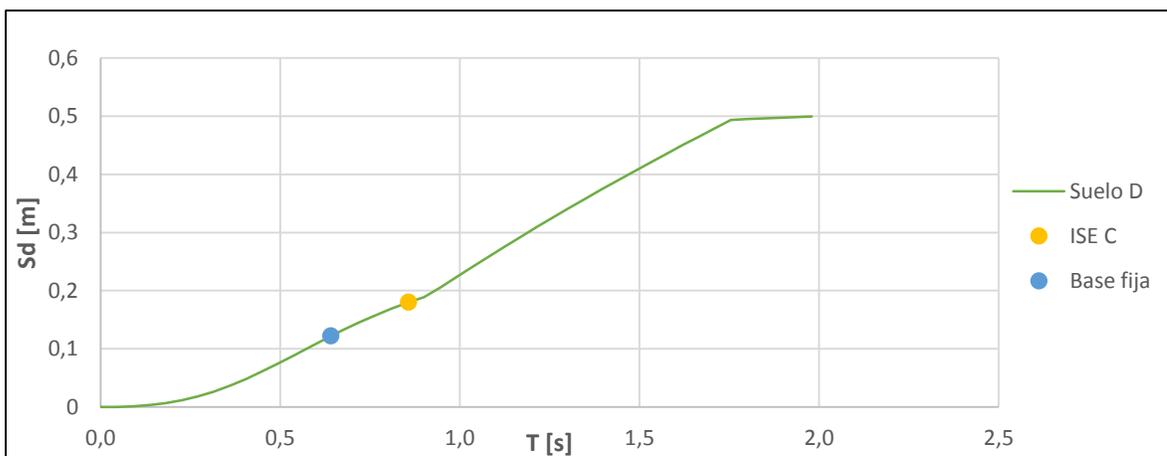


Figura E4. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo D, PM IV, Dirección X.

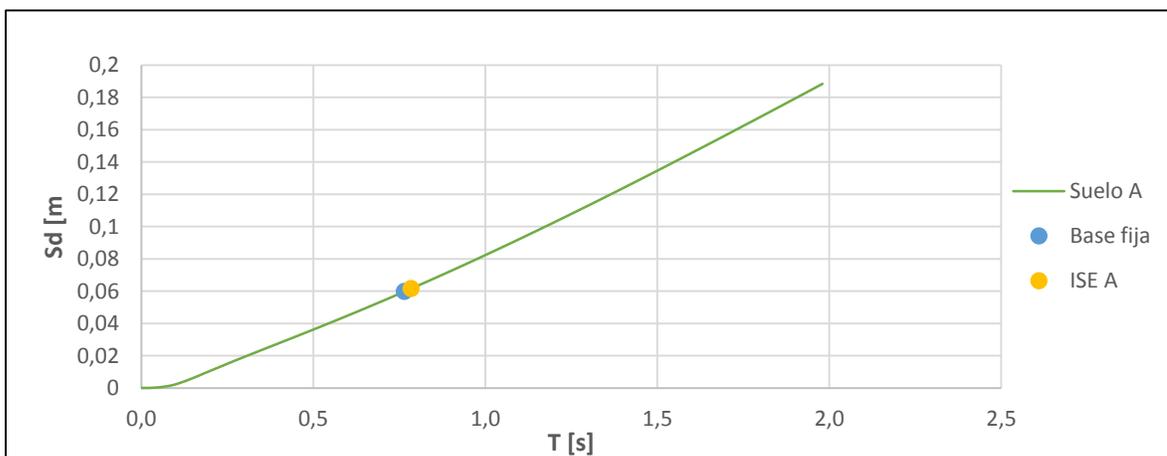
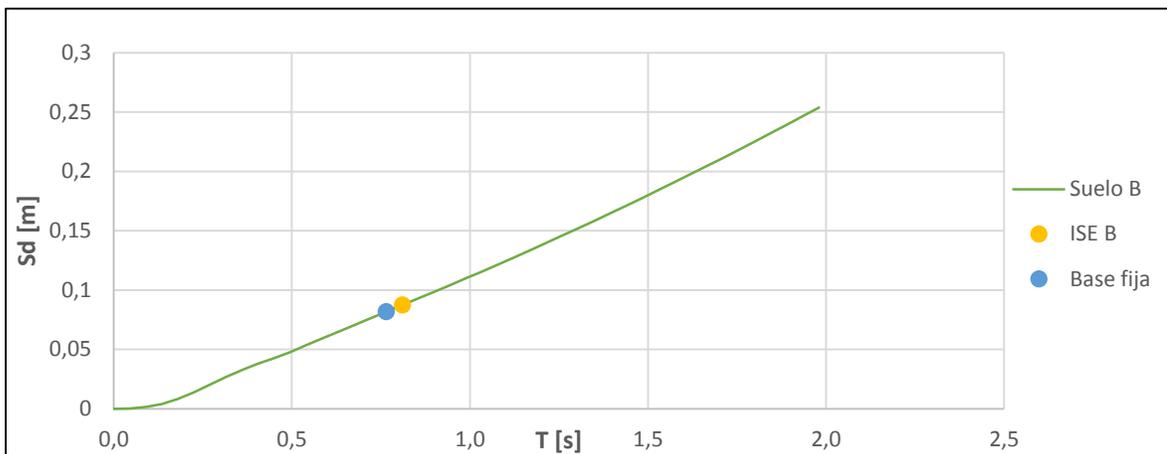
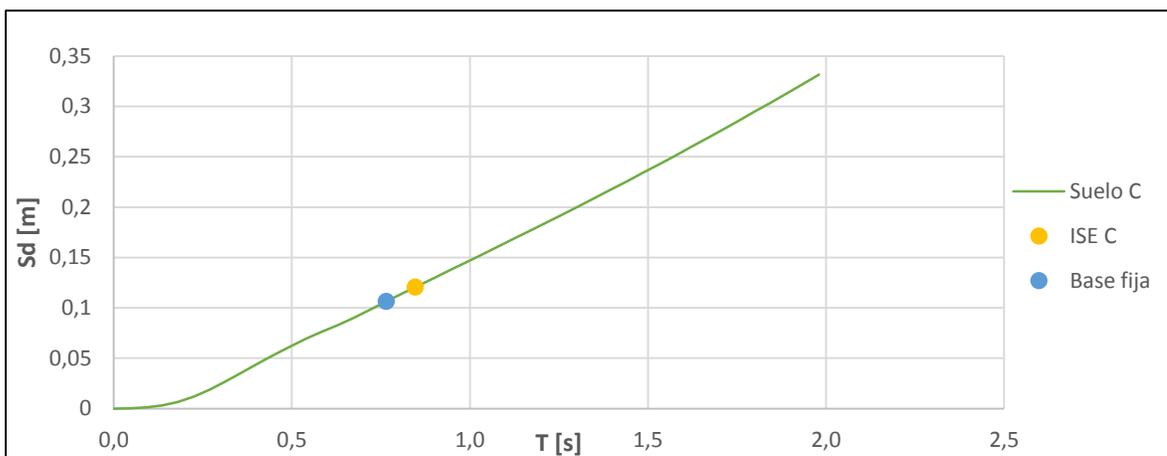


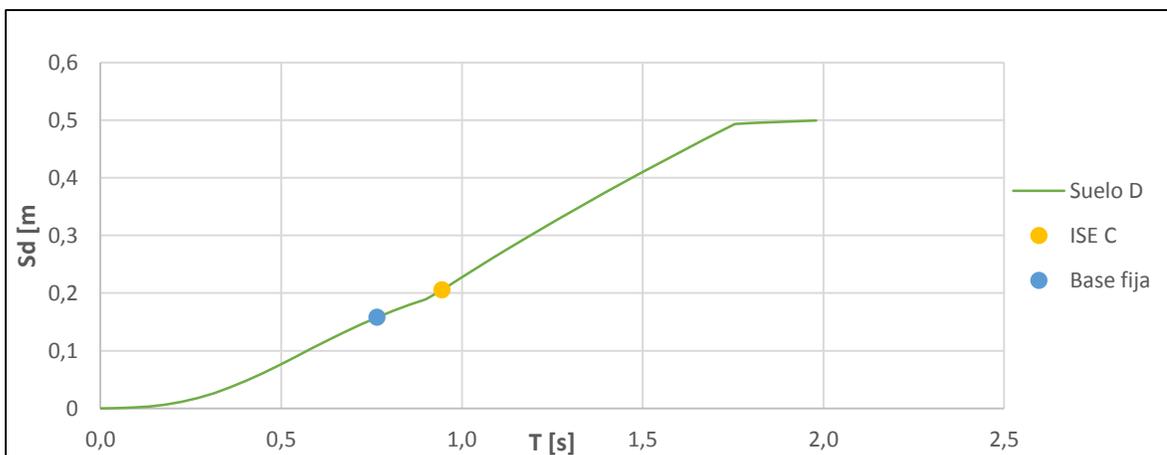
Figura E5. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo A, PM IV, Dirección Y.



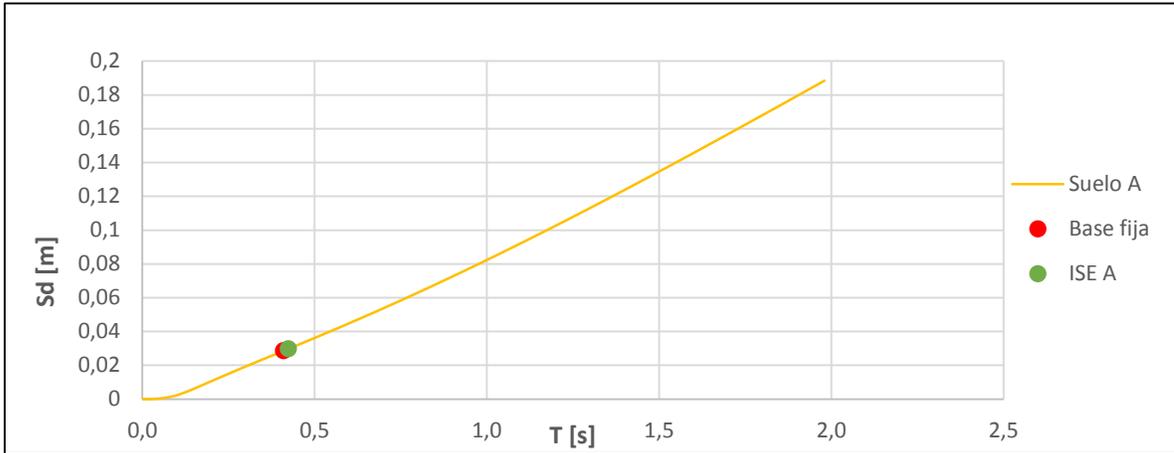
**Figura E6. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo B, PM IV, Dirección Y.**



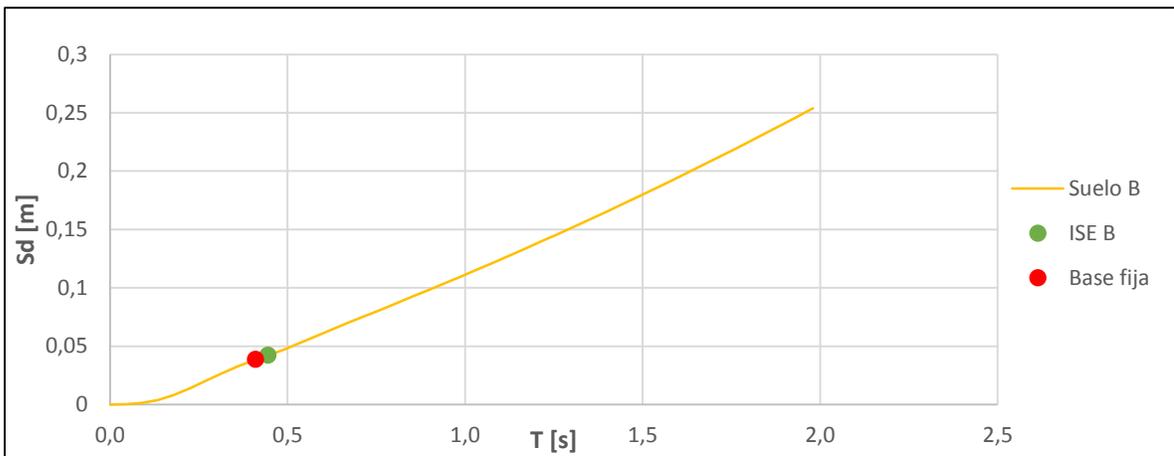
**Figura E7. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo C, PM IV, Dirección Y.**



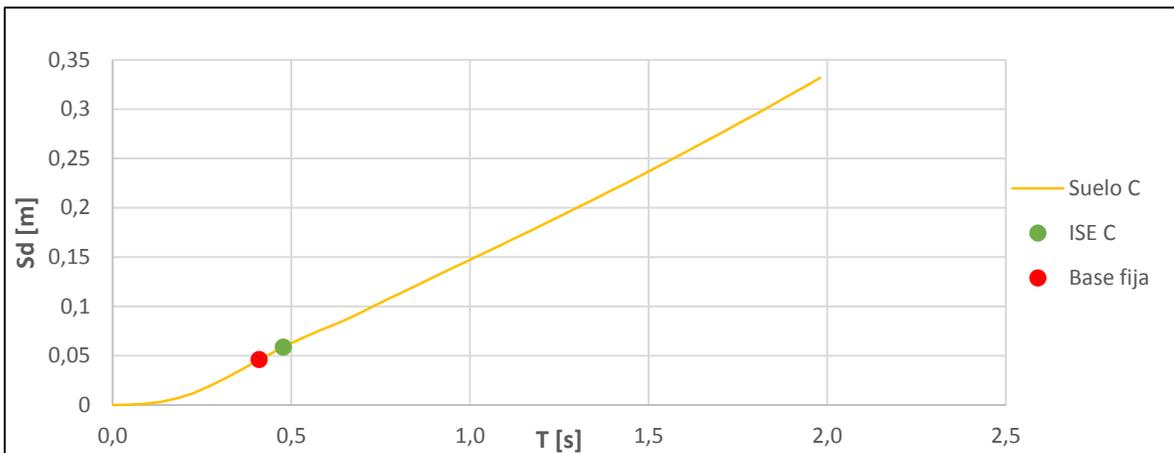
**Figura E8. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo D, PM IV, Dirección Y.**



**Figura E9. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo A, PM III, Dirección X.**



**Figura E10. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo B, PM III, Dirección X.**



**Figura E11. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo C, PM III, Dirección X.**

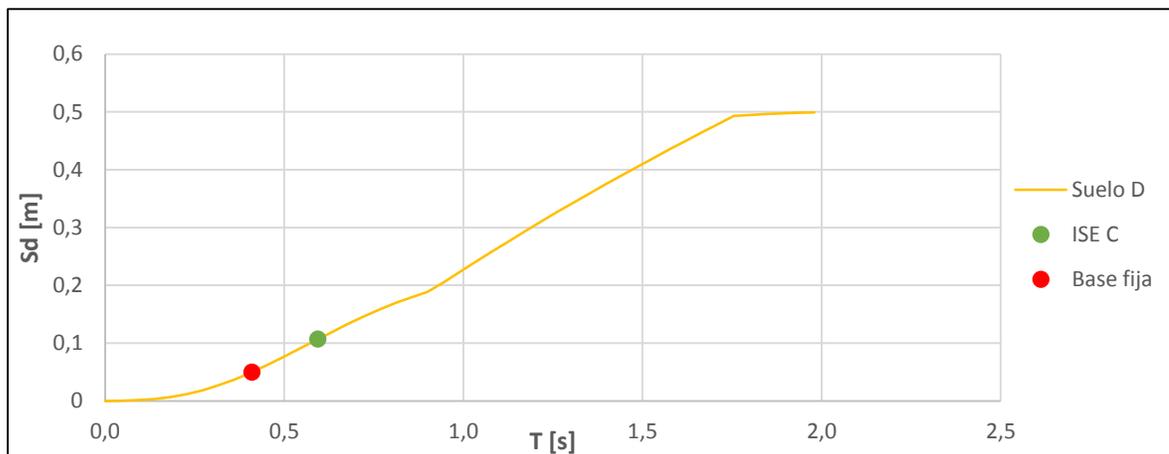


Figura E12. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo D, PM III, Dirección X.

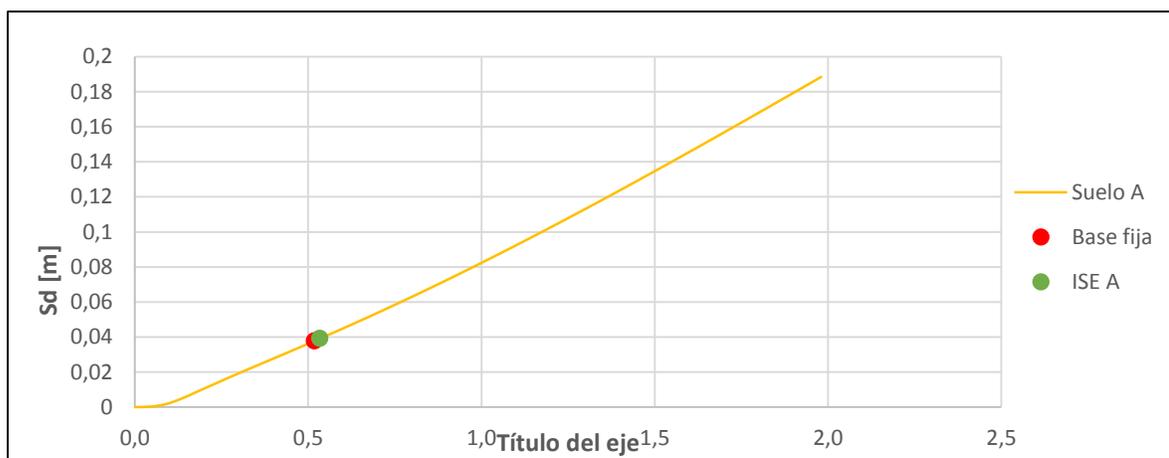


Figura E13. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo A, PM III, Dirección Y.

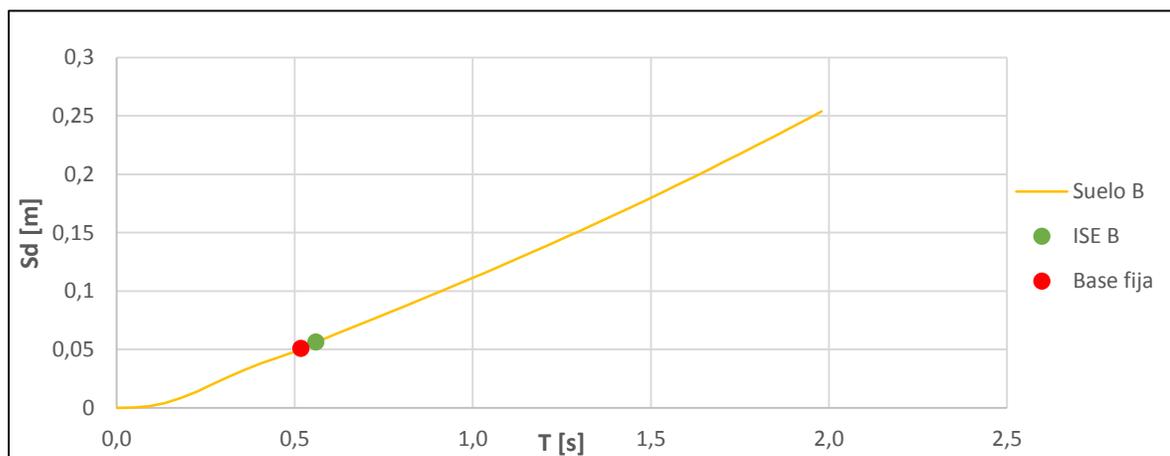
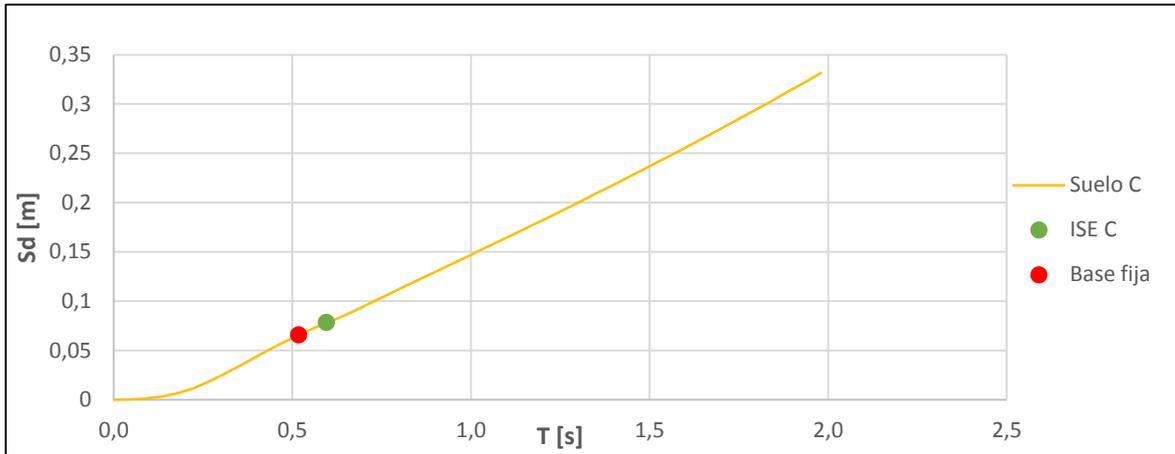
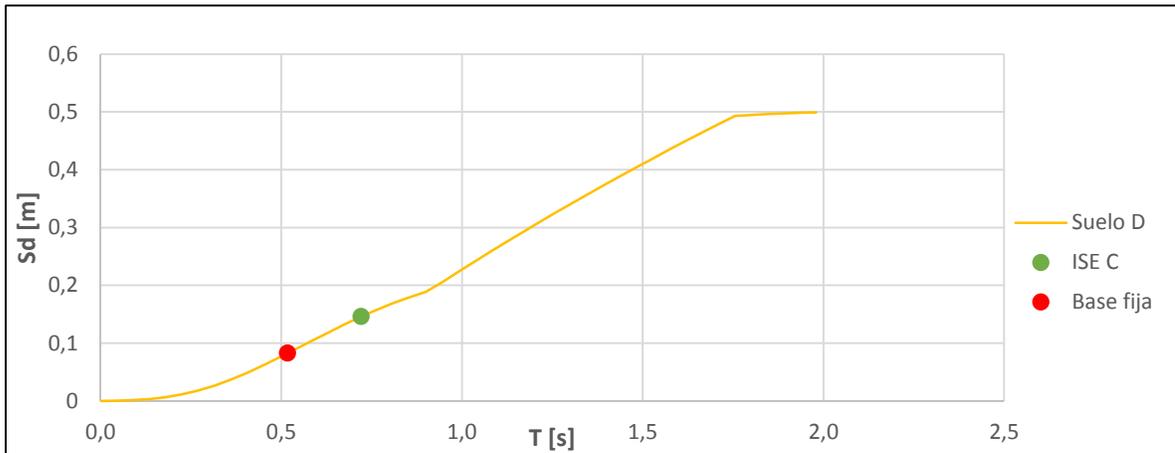


Figura E14. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo B, PM III, Dirección Y.



**Figura E15. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo C, PM III, Dirección Y.**

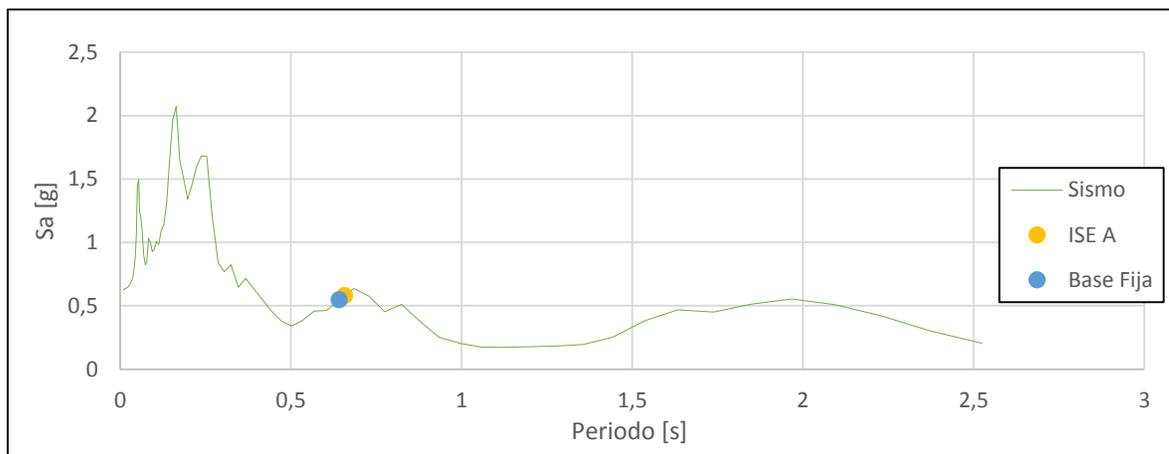


**Figura E16. Espectro de Seudodesplazamiento de diseño en Suelo D, PM III, Dirección Y.**

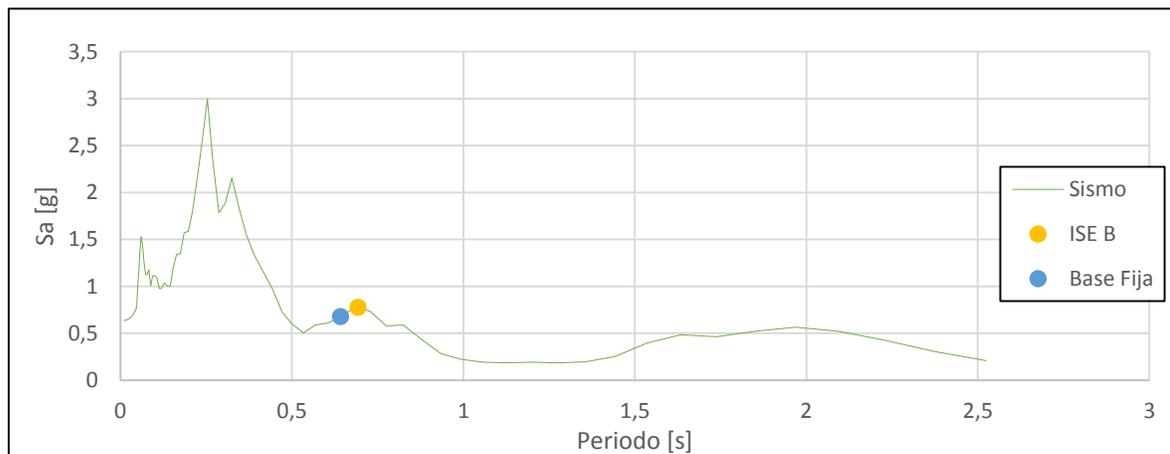
**Anexo F**

**Coordenadas Espectrales en Espectros de Seudodesplazamiento de Registro Sísmico ccp  
27/F**

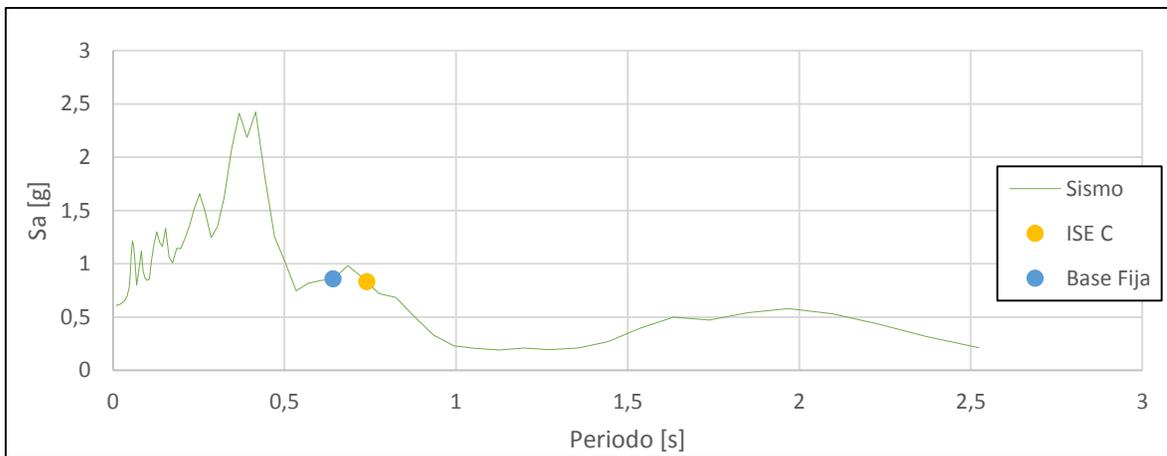
En esta sección se detallan los cambios en las coordenadas espectrales sobre los Espectros de Seudoaceleración del registro ccp 27/F, adaptados a cada tipología de suelo, en cada dirección de análisis (X e Y) y del instrumento (Long. y Transv.), y para ambos edificios.



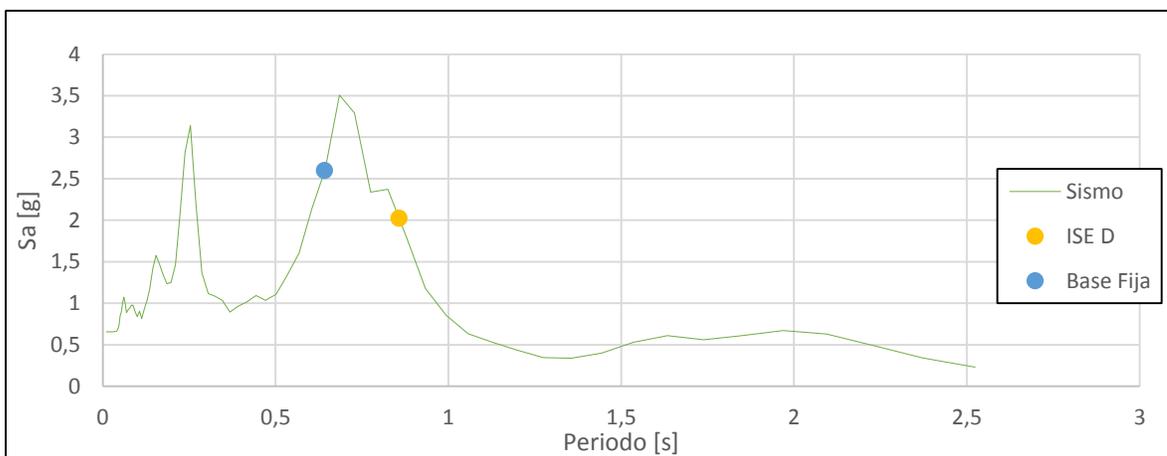
**Figura F1. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo A, PM IV, Dirección X.**



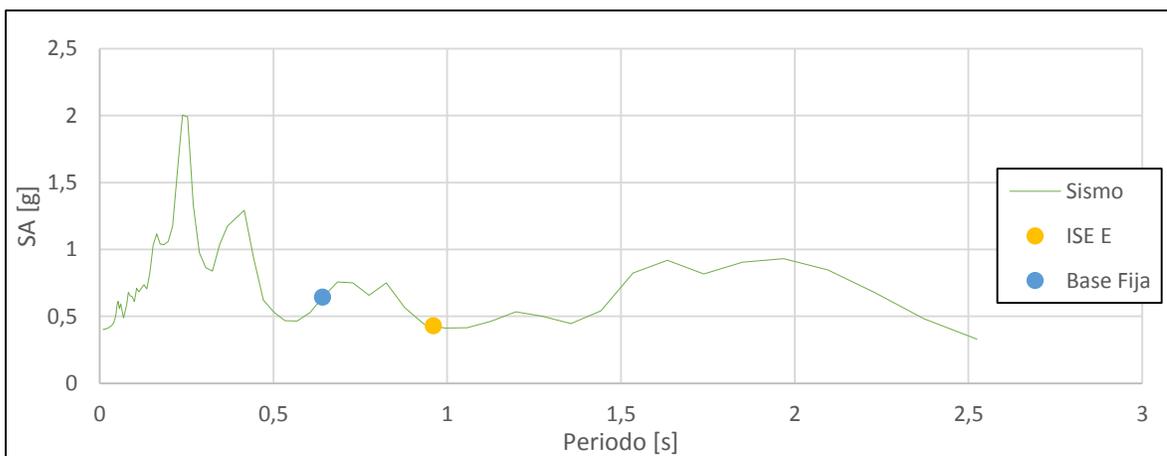
**Figura F2. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM IV, Dirección X.**



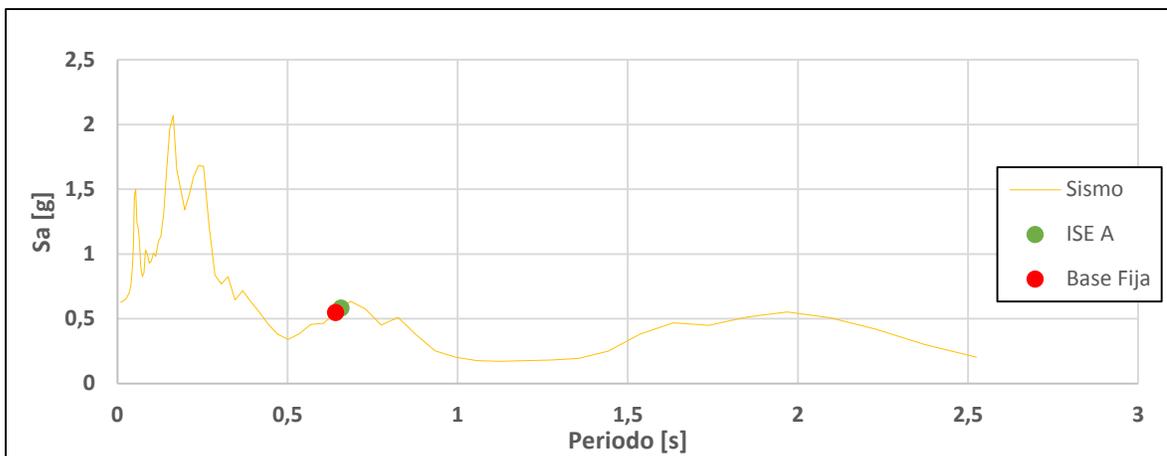
**Figura F3. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo C, PM IV, Dirección X.**



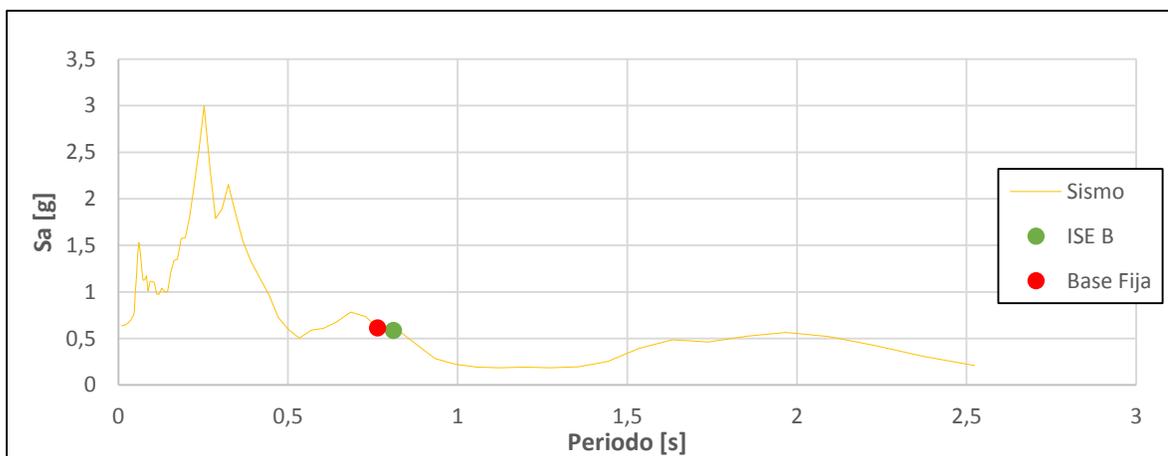
**Figura F4. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM IV, Dirección X.**



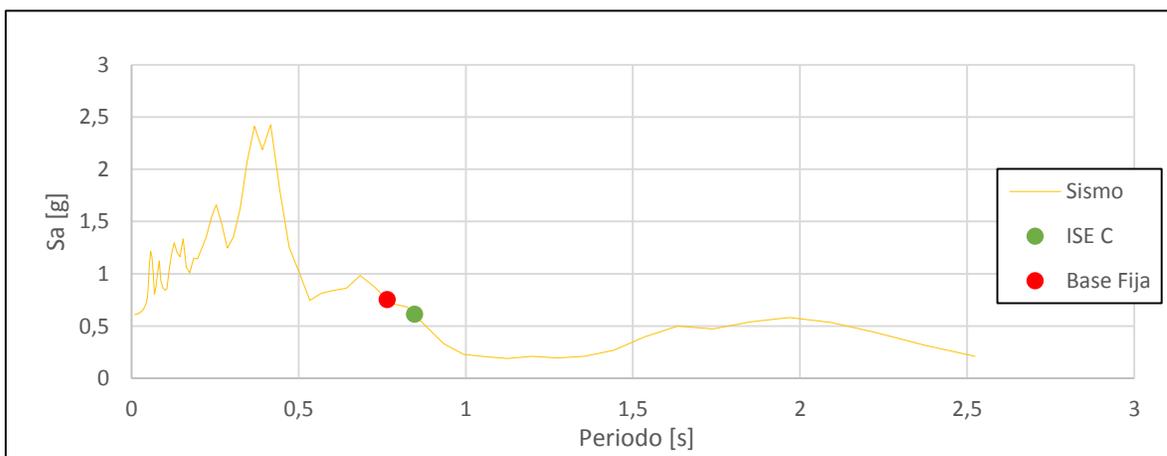
**Figura F5. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM IV, Dirección X.**



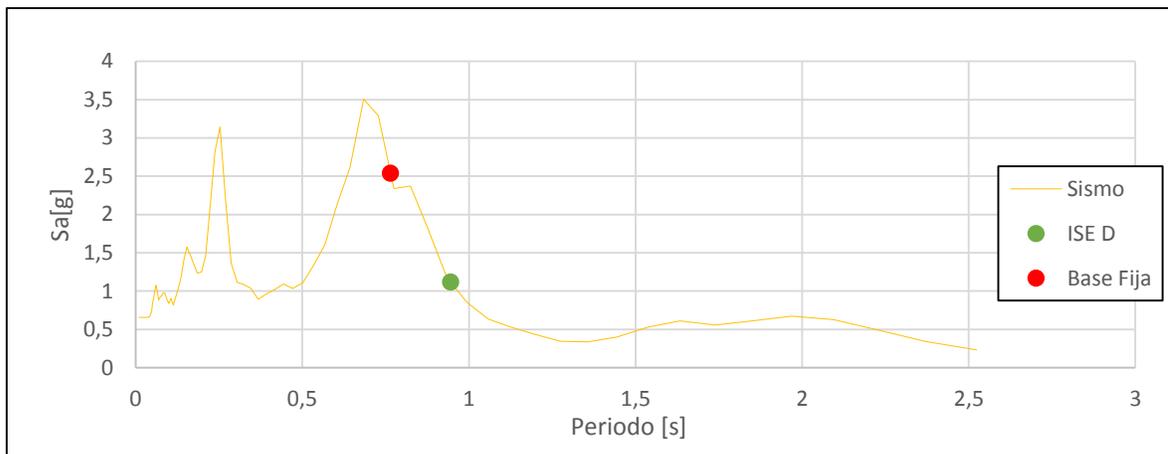
**Figura F6. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM IV, Dirección Y.**



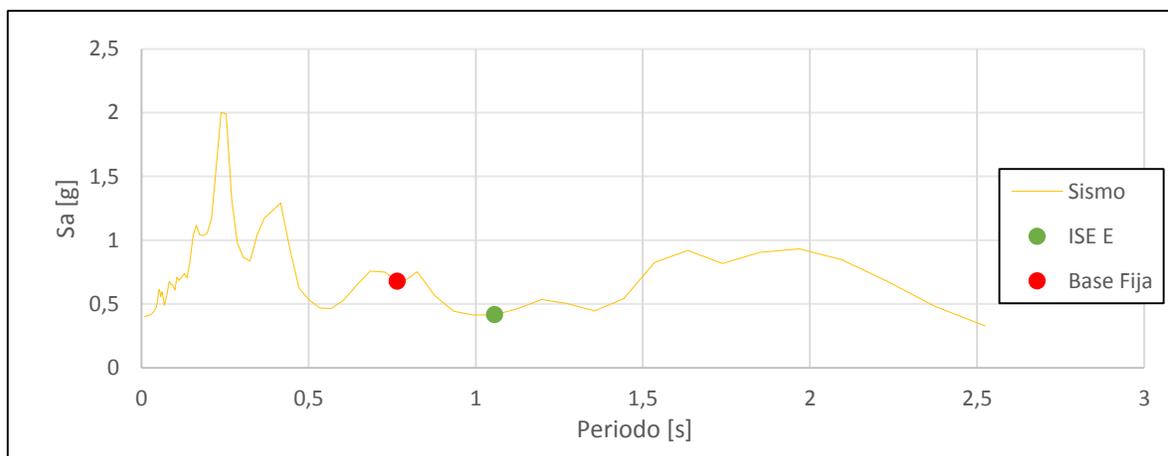
**Figura F7. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM IV, Dirección Y.**



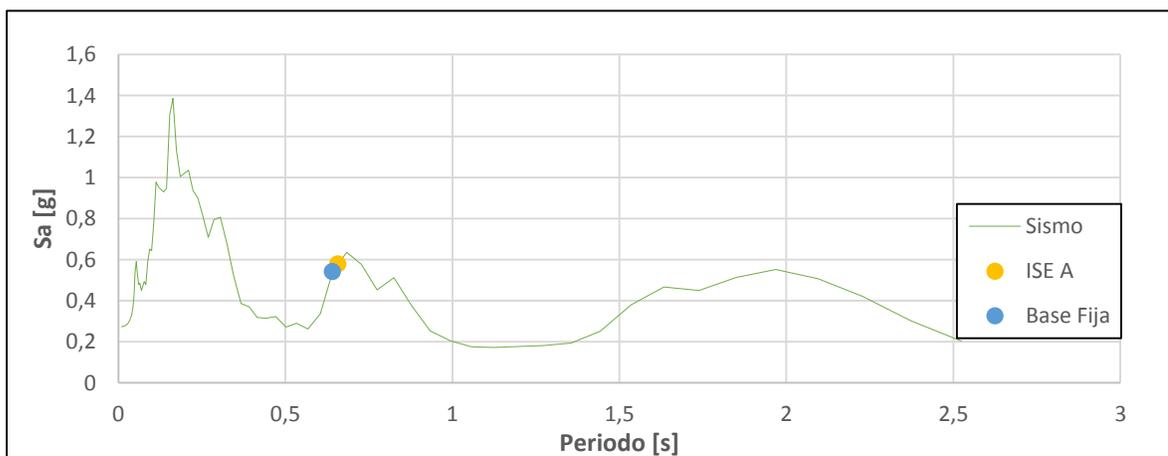
**Figura F8. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo C, PM IV, Dirección Y.**



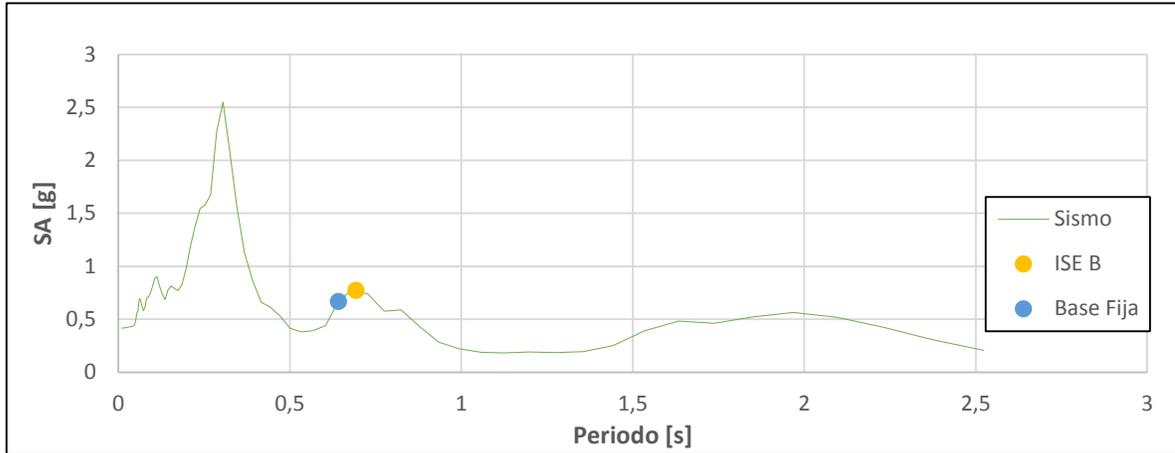
**Figura F9. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM IV, Dirección Y.**



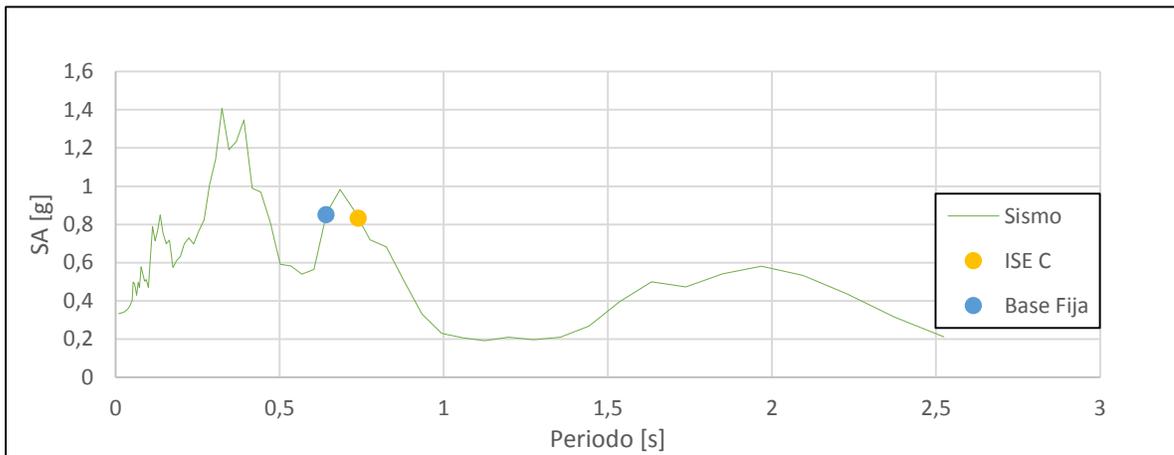
**Figura F10. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo E, PM IV, Dirección Y.**



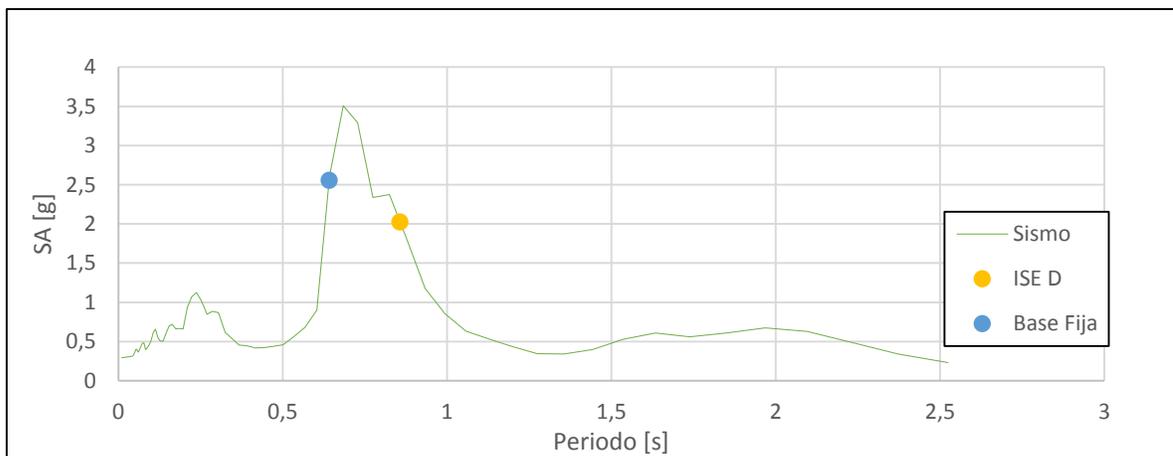
**Figura F11. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo A, PM IV, Dirección X.**



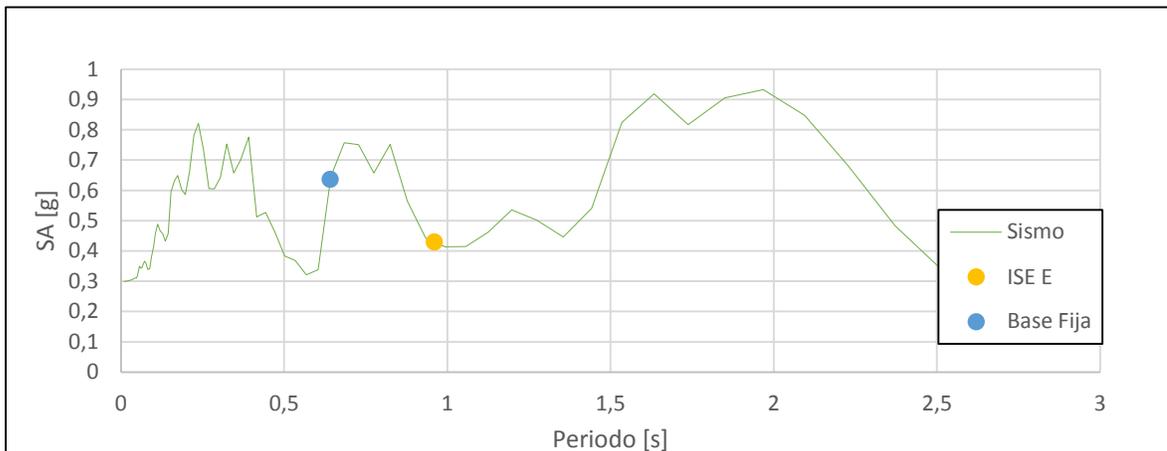
**Figura F12. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo B, PM IV, Dirección X.**



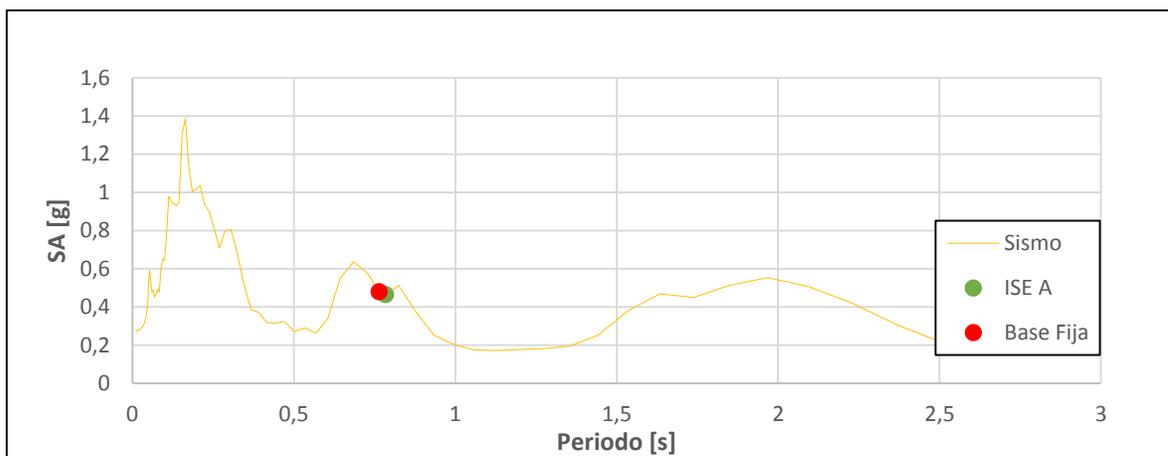
**Figura F13. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo C, PM IV, Dirección X.**



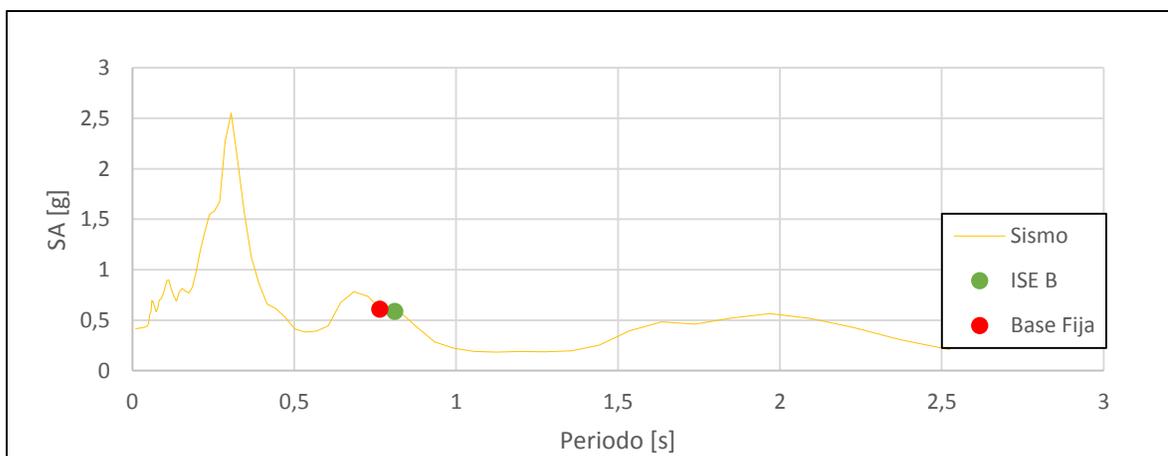
**Figura F14. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo D, PM IV, Dirección X.**



**Figura F15. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo E, PM IV, Dirección X.**



**Figura F16. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo A, PM IV, Dirección Y.**



**Figura F17. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo B, PM IV, Dirección Y.**

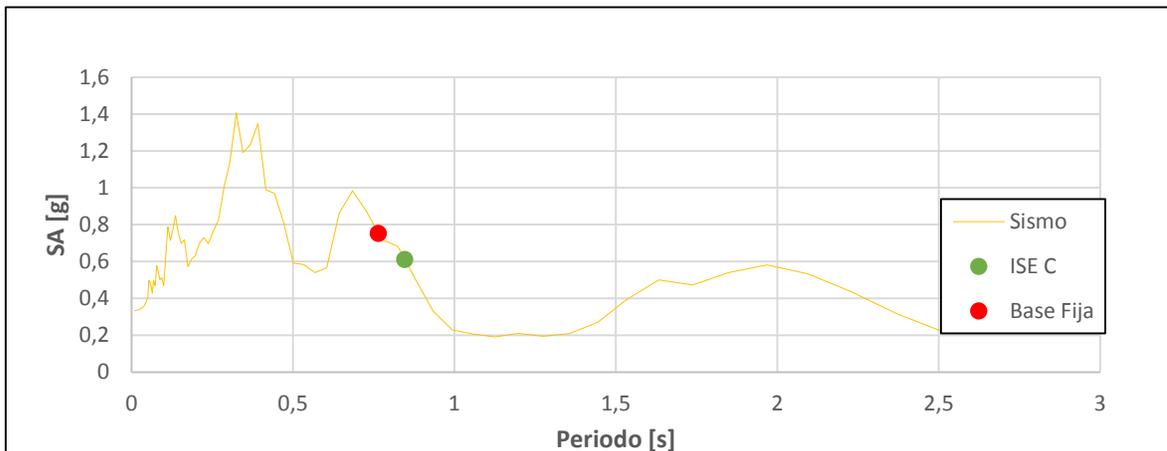


Figura F18. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo C, PM IV, Dirección Y.

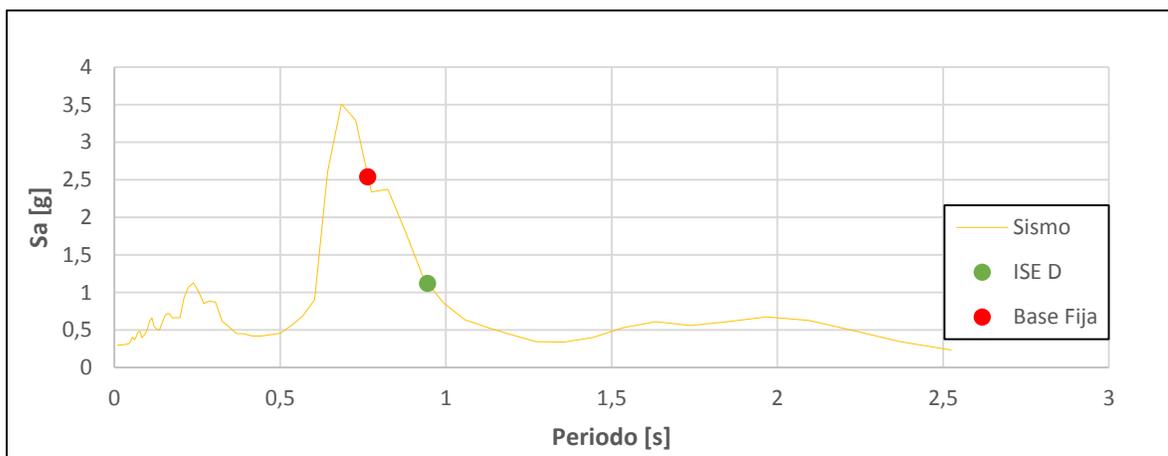


Figura F19. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo D, PM IV, Dirección Y.

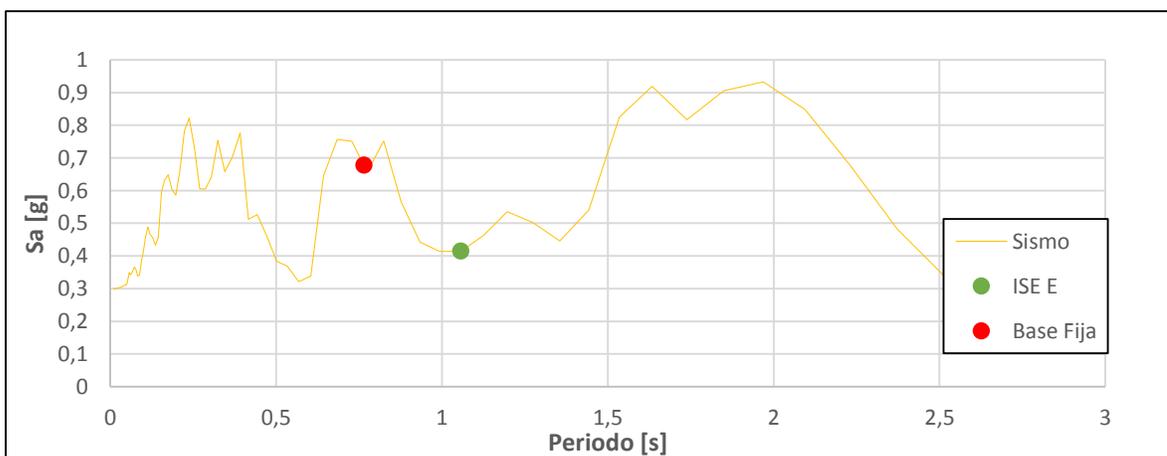
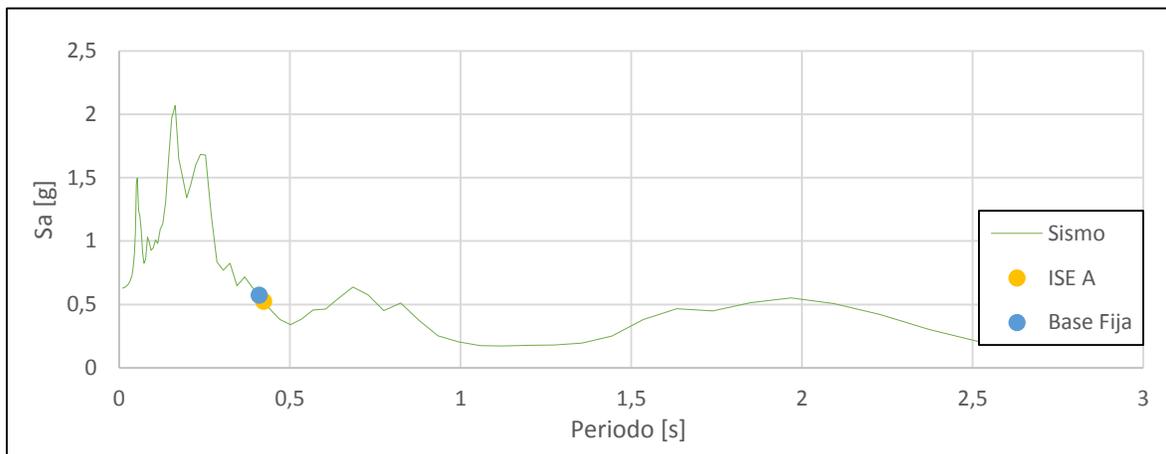
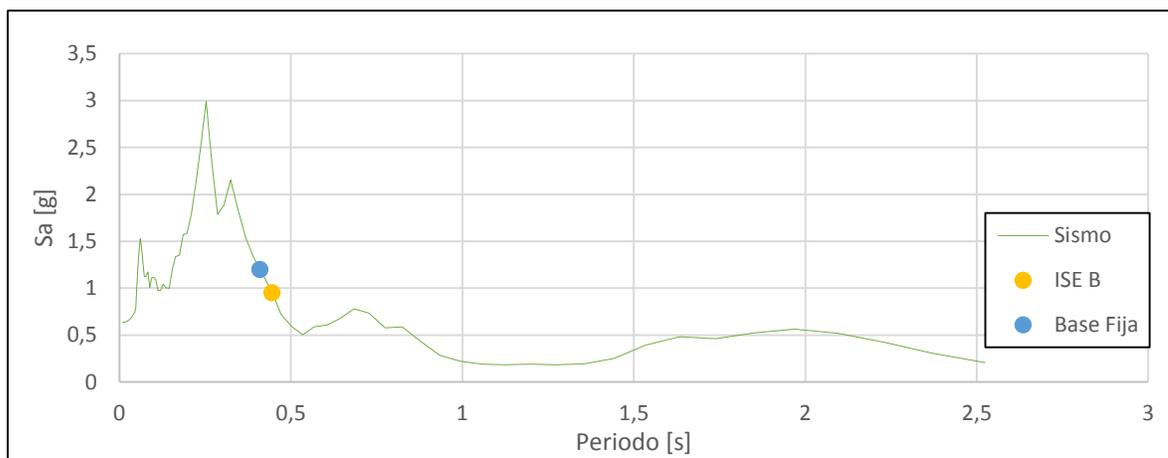


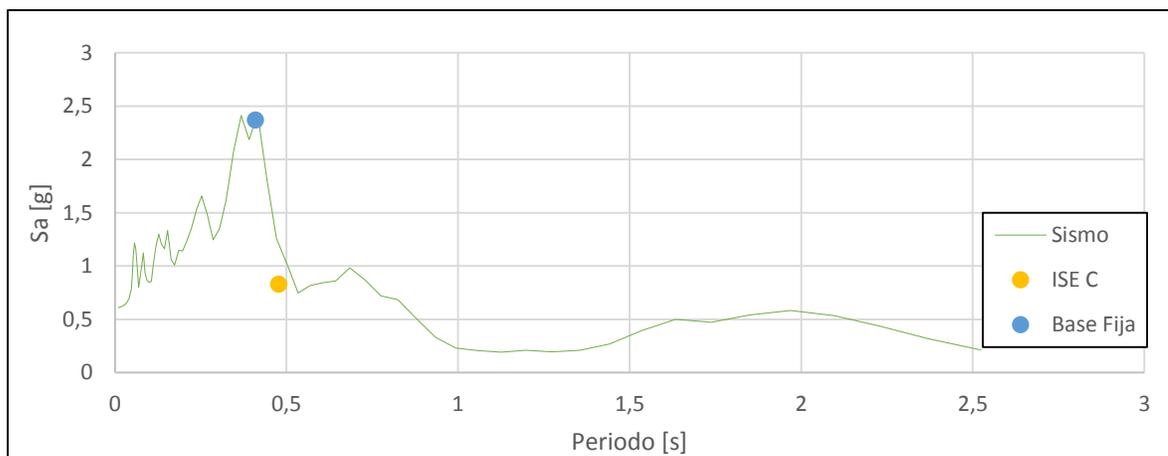
Figura F20. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo E, PM IV, Dirección Y.



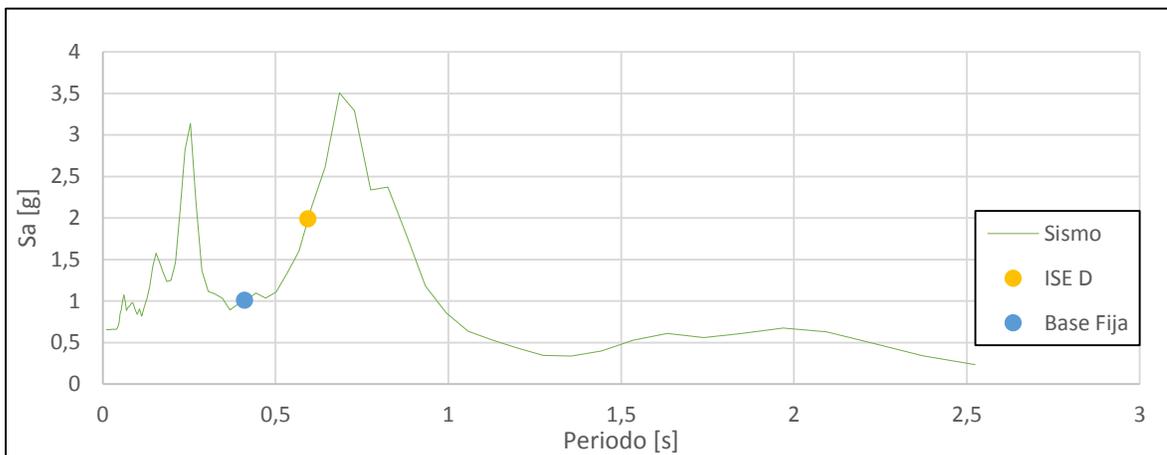
**Figura F21. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo A, PM III, Dirección X.**



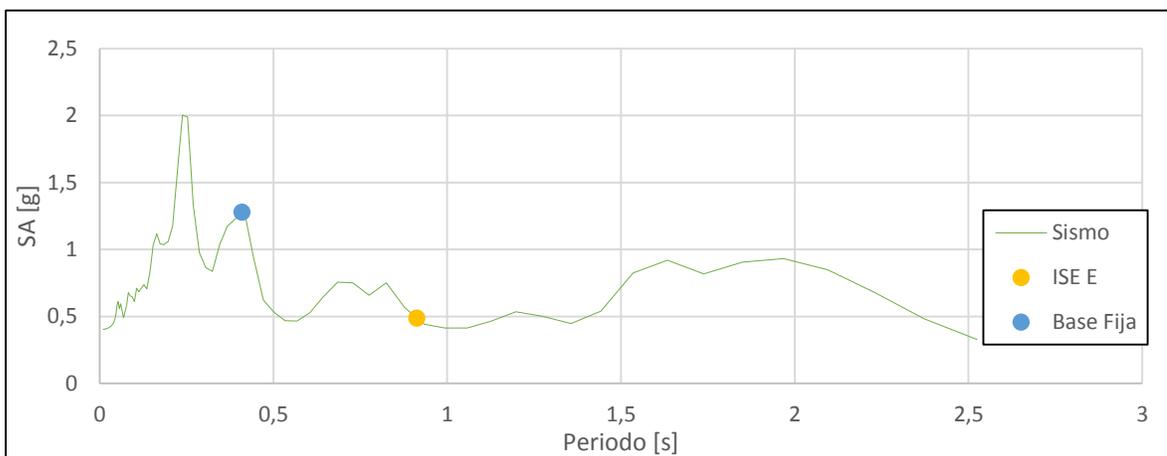
**Figura F22. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM III, Dirección X.**



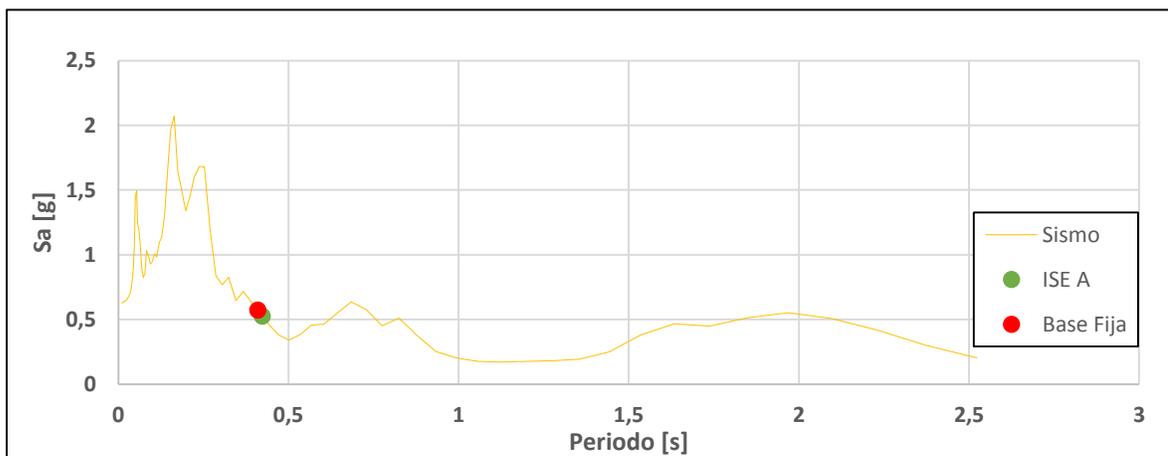
**Figura F23. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo C, PM III, Dirección X.**



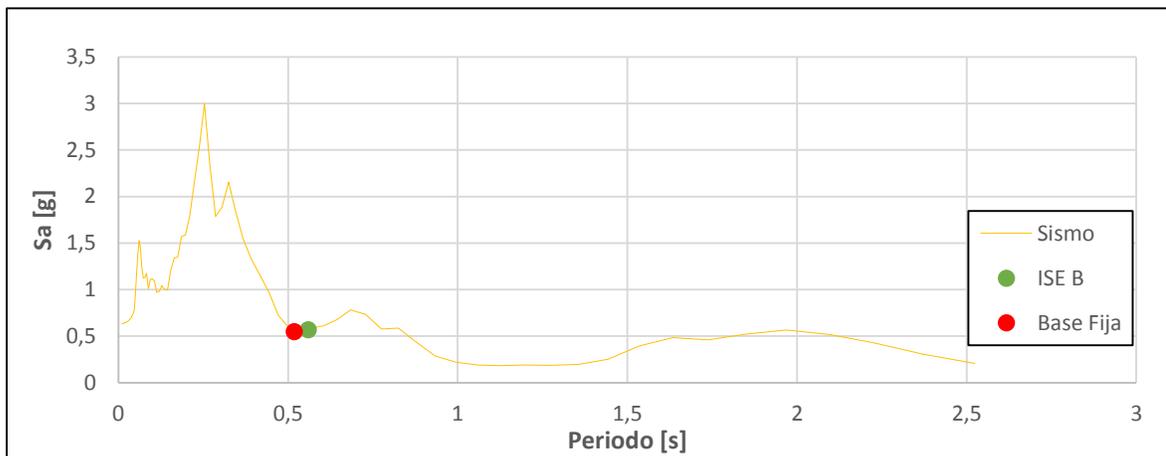
**Figura F24. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM III, Dirección X.**



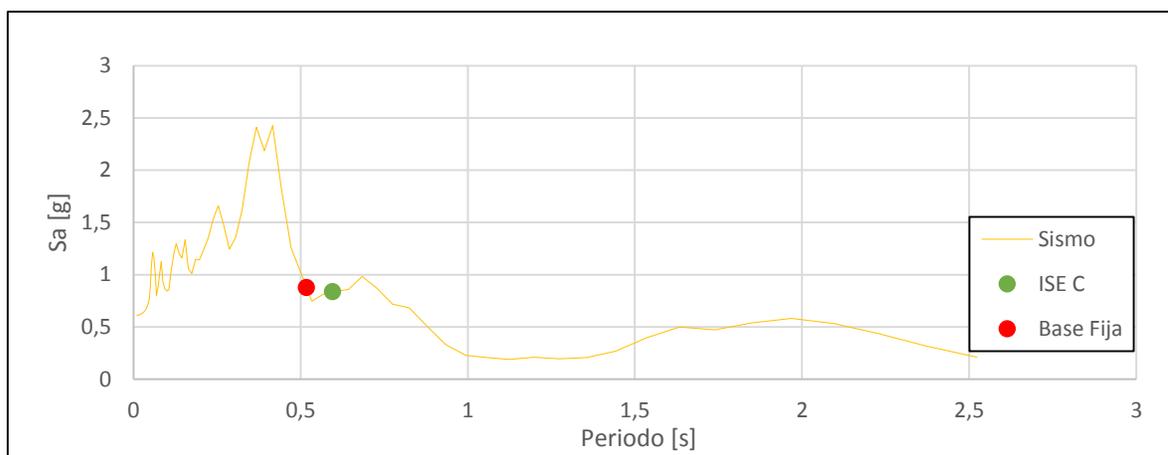
**Figura F25. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo E, PM III, Dirección X.**



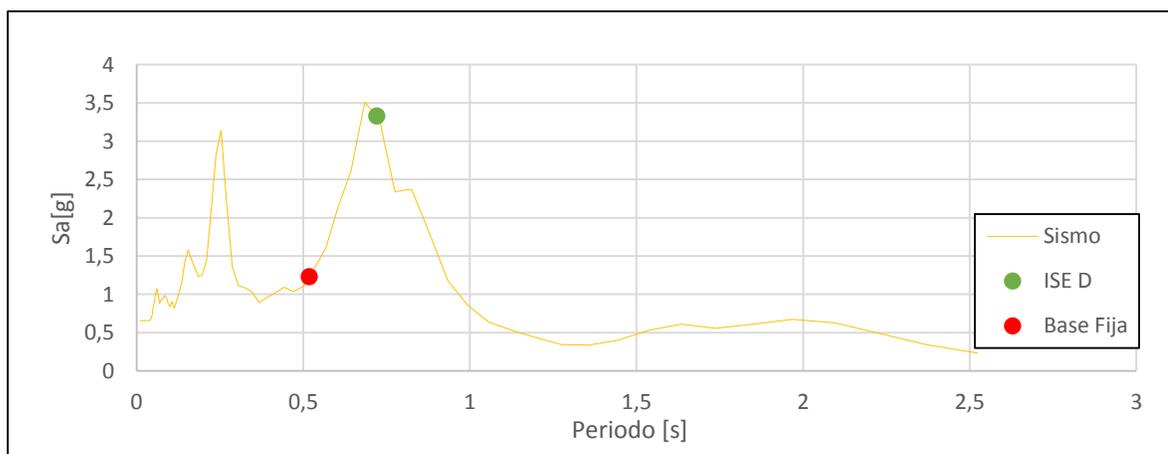
**Figura F26. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo A, PM III, Dirección Y.**



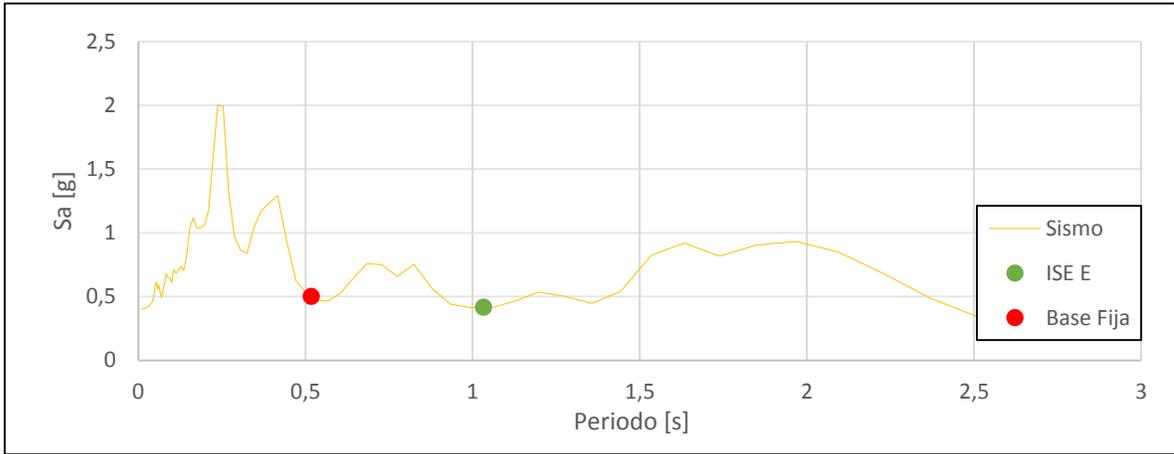
**Figura F27. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo B, PM III, Dirección Y.**



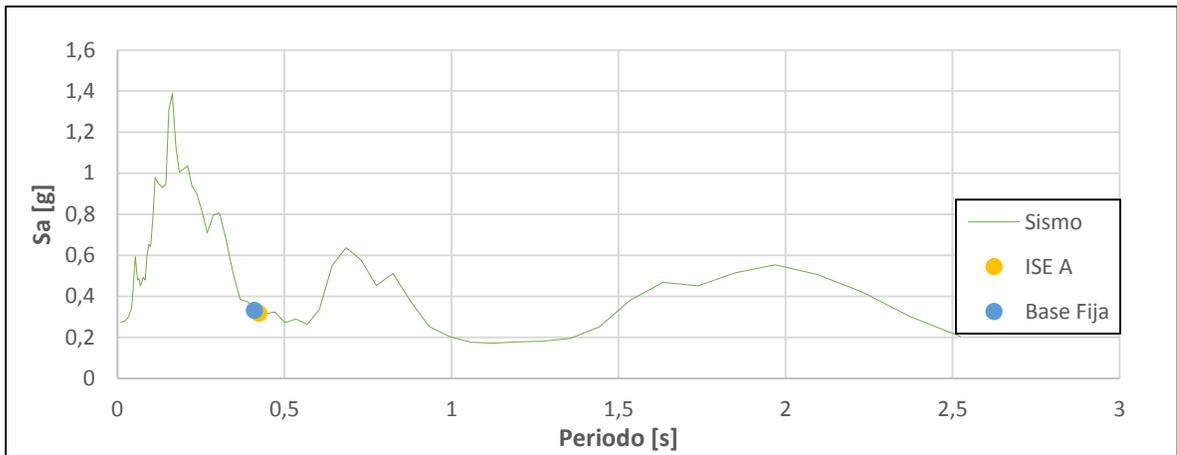
**Figura F28. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo C, PM III, Dirección Y.**



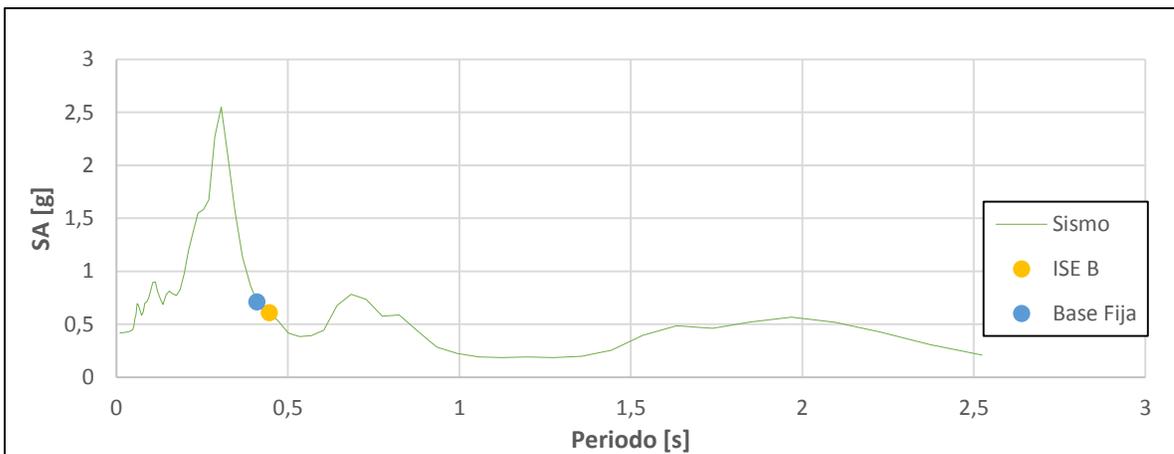
**Figura F29. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo D, PM III, Dirección Y.**



**Figura F30. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Long. en Suelo E, PM III, Dirección Y.**



**Figura F31. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo A, PM III, Dirección X.**



**Figura F32. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo B, PM III, Dirección X.**

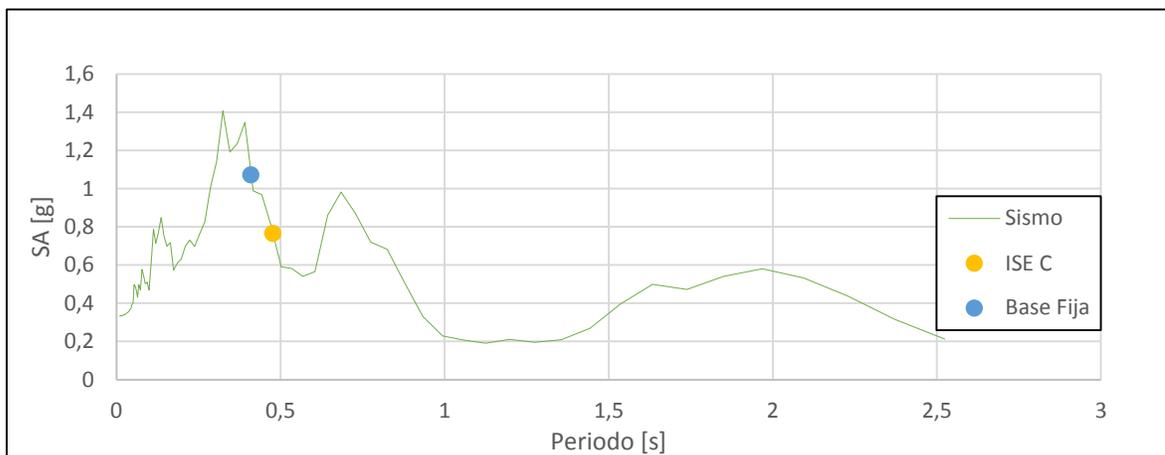


Figura F33. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo C, PM III, Dirección X.

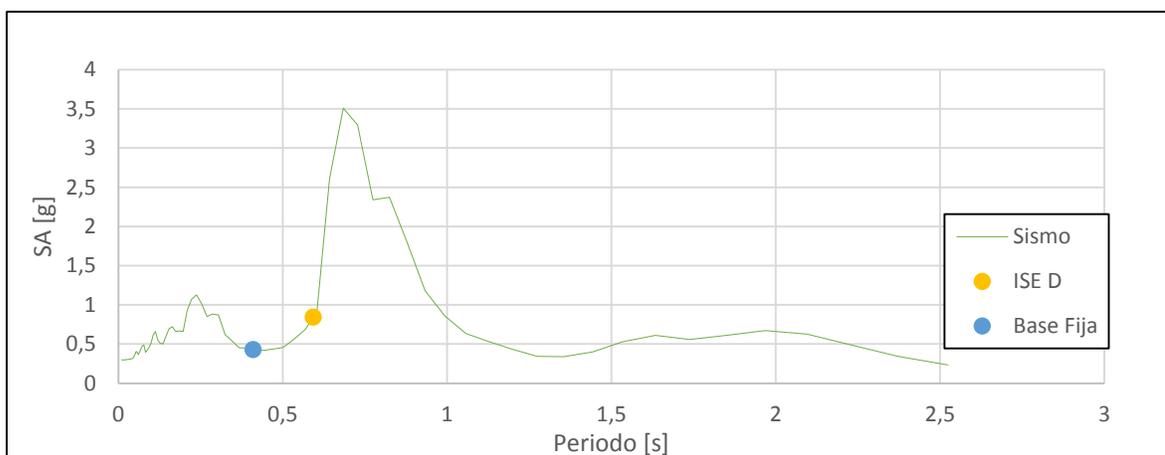


Figura F34. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo D, PM III, Dirección X.

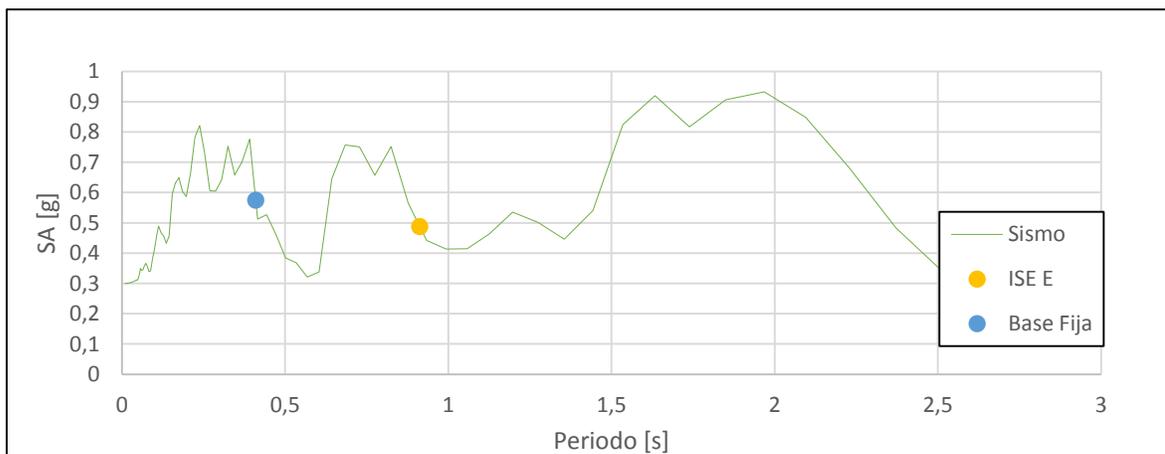


Figura F35. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo E, PM III, Dirección X.

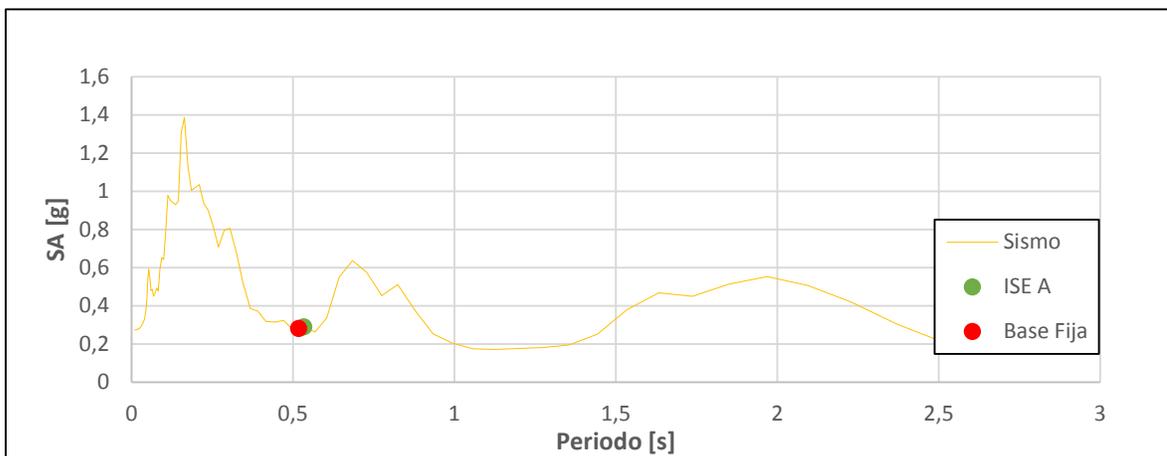


Figura F36. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo A, PM III, Dirección Y.

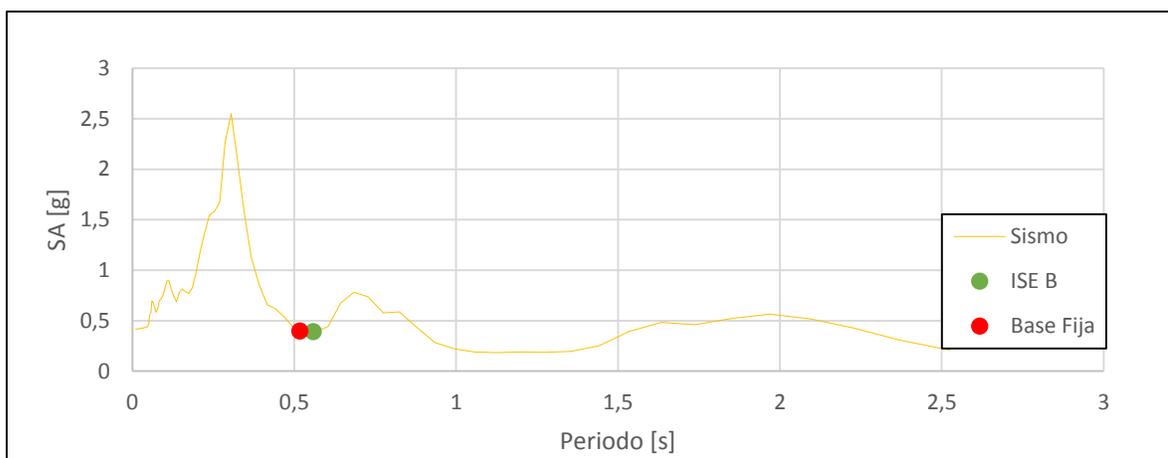


Figura F37. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo B, PM III, Dirección Y.

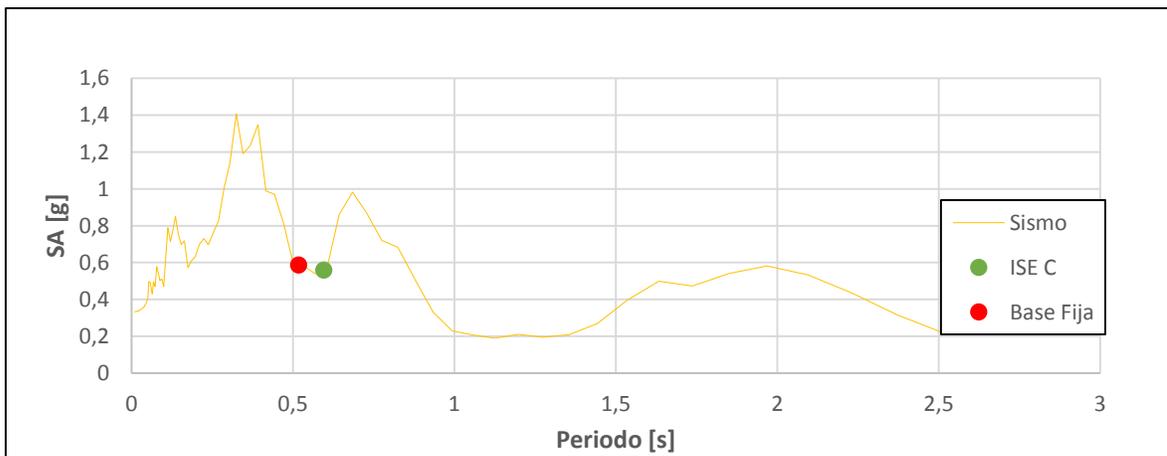


Figura F38. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo C, PM III, Dirección Y.

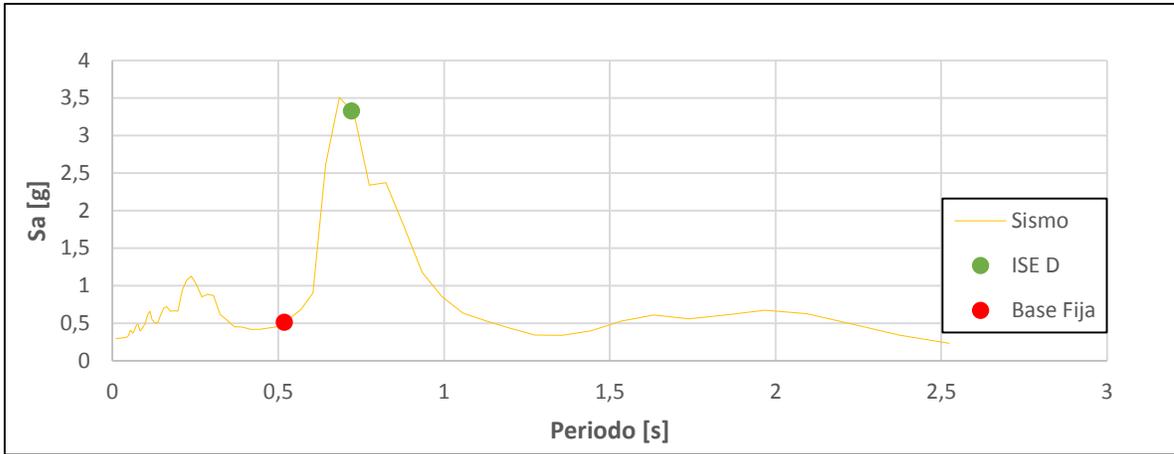


Figura F39. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo D, PM III, Dirección Y.

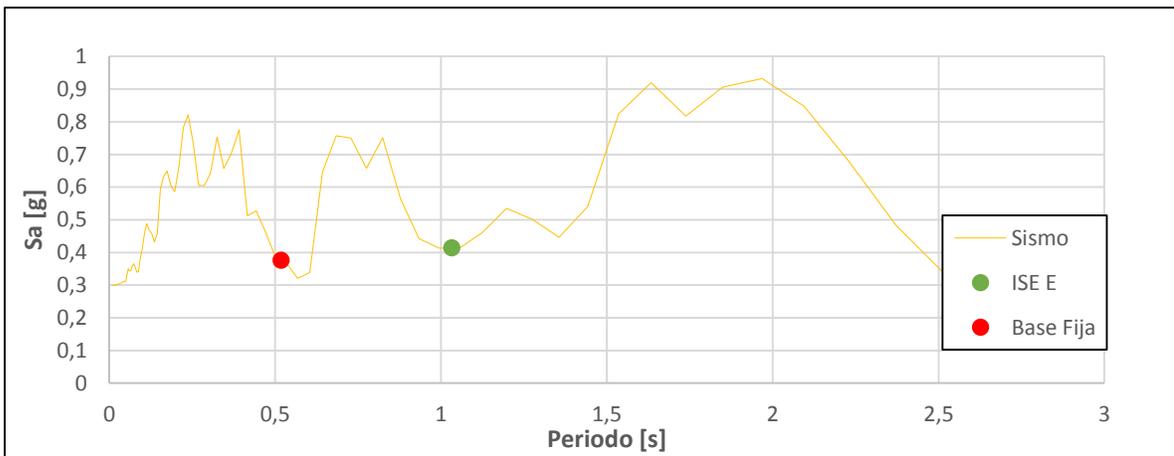


Figura F40. Espectro de Seudoaceleración ccp 27/F Transv. en Suelo E, PM III, Dirección Y.

## **Anexo G**

### **Relación de Seudoaceleraciones y Fuerzas Basales**

A continuación se muestran los gráficos en donde se detallan la información referida a la demanda de pseudoaceleración y fuerzas basales para todos los casos analizado, para ambas direcciones (X e Y), y para los dos edificios. Además, se presentan los análisis para la norma sísmica y los referidos al registro sísmico, sólo en el caso de las fuerzas basales.

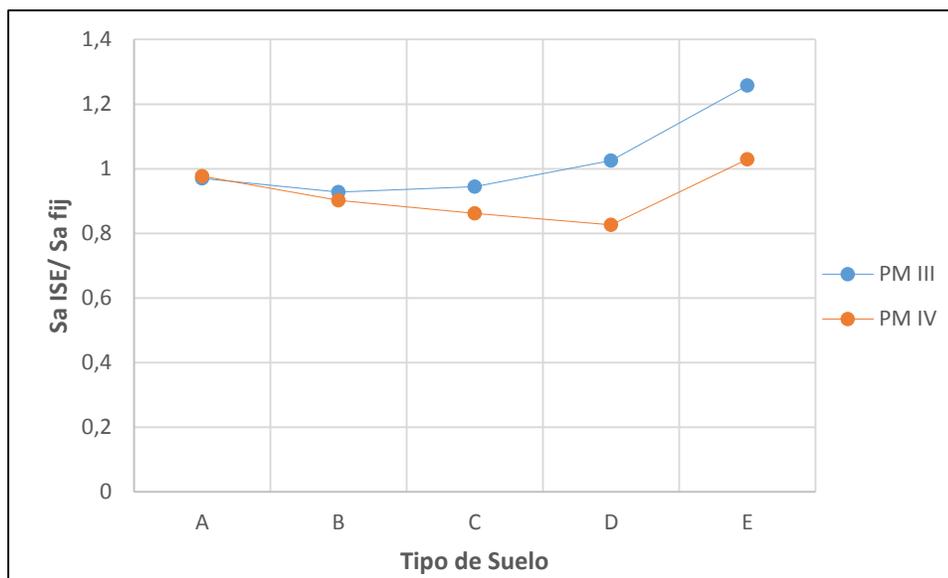


Figura G1. Relación de Seudoaceleraciones de Diseño, Dirección X.

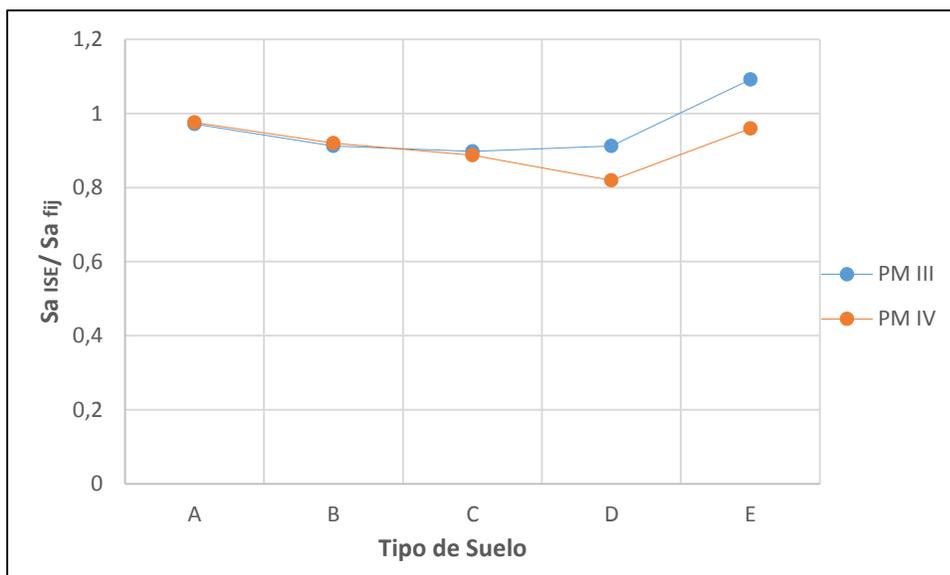
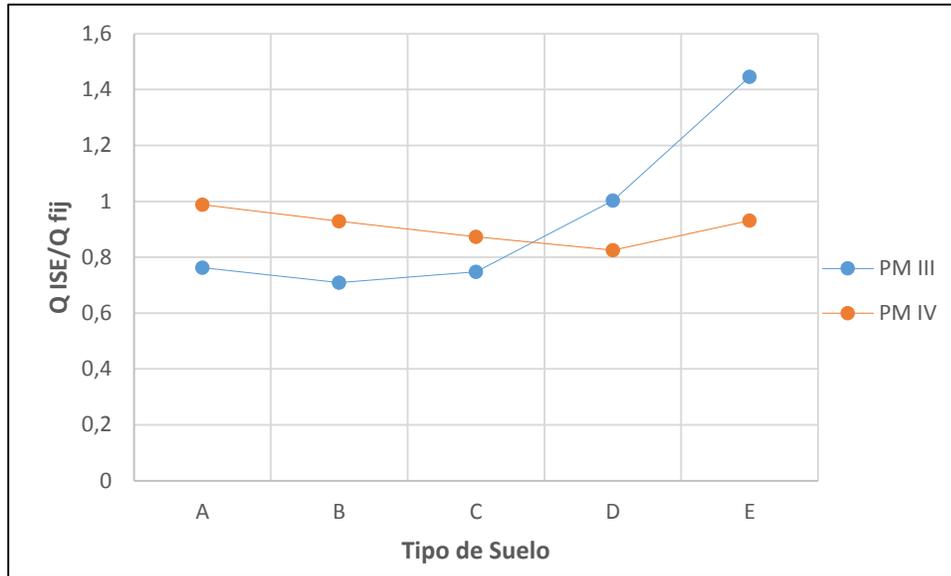
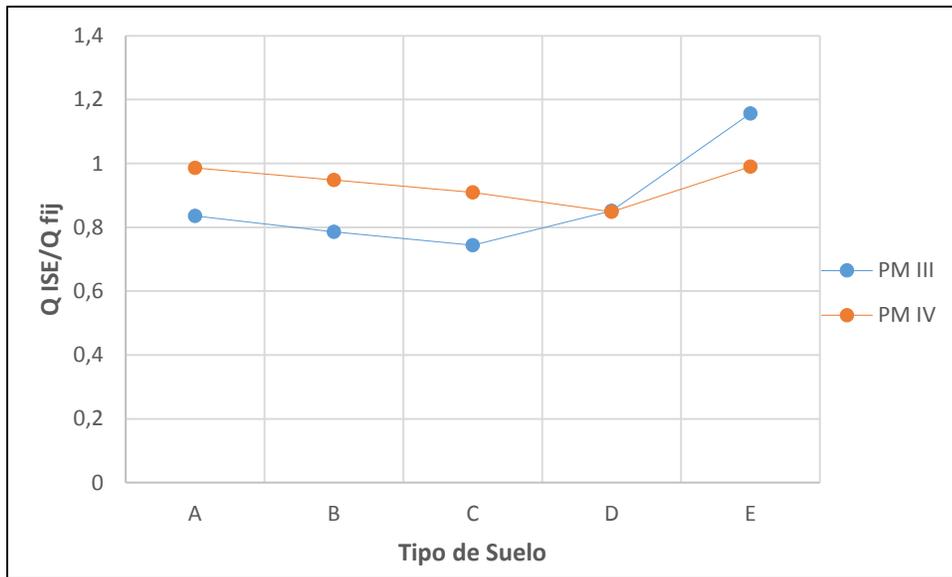


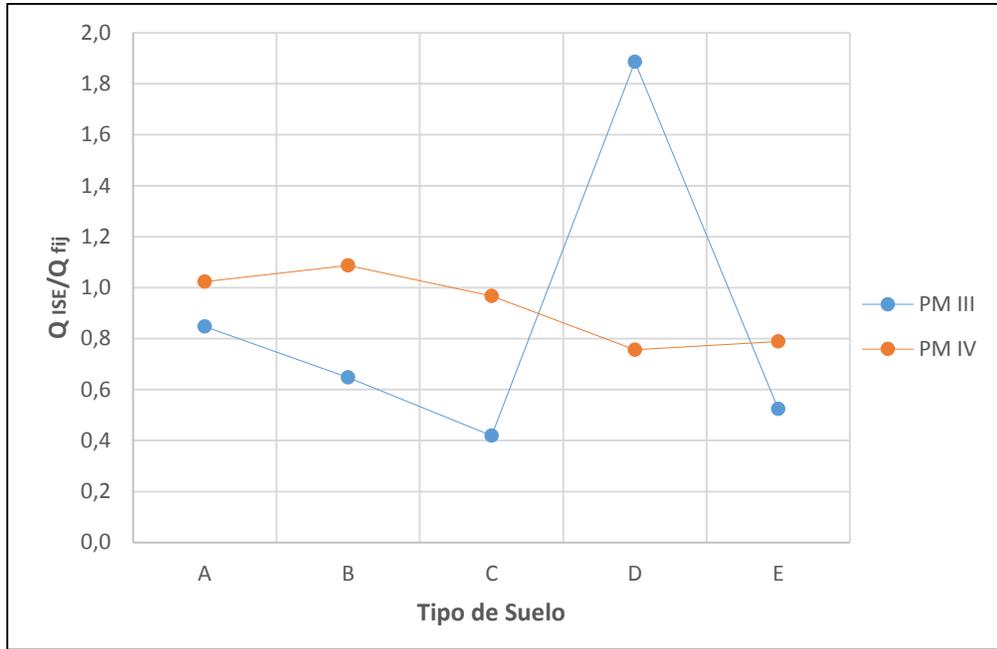
Figura G2. Relación de Seudoaceleraciones de Diseño, Dirección Y.



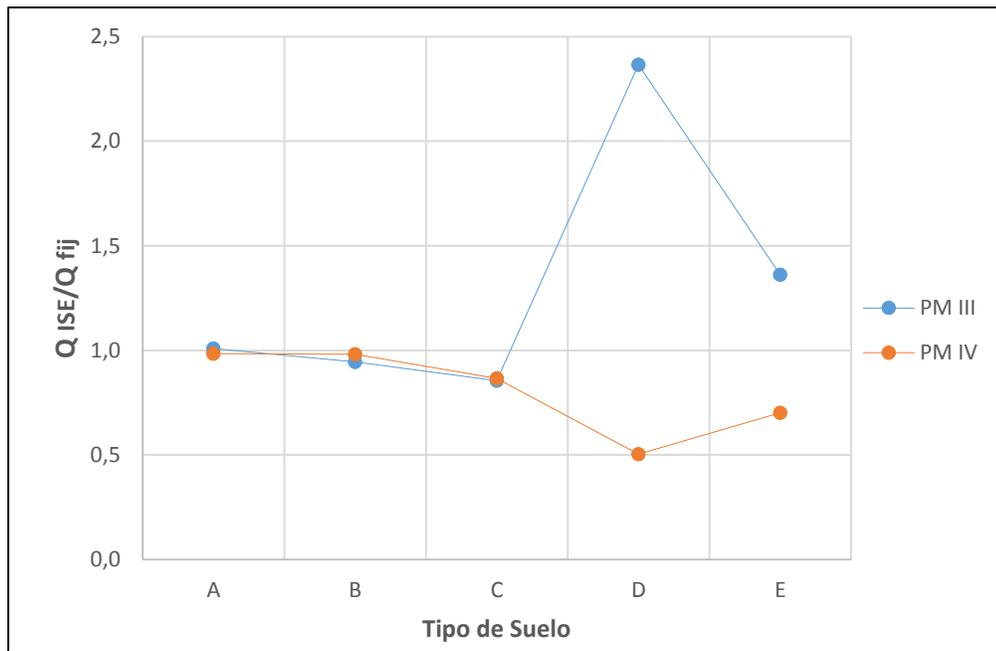
**Figura G3. Relación de Fuerzas Basales de Diseño, Dirección X.**



**Figura G4. Relación de Fuerzas Basales de Diseño, Dirección Y.**



**Figura G5. Relación de Fuerzas Basales en Sismo, Dirección X.**



**Figura G6. Relación de Fuerzas Basales en Sismo, Dirección Y.**