



CURSO DE FORMACIÓN

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA SÍSMICA Y ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS

M.S.C. EDWAR ESTEBA APAZA.
INGENIERO ESTRUCTURAL



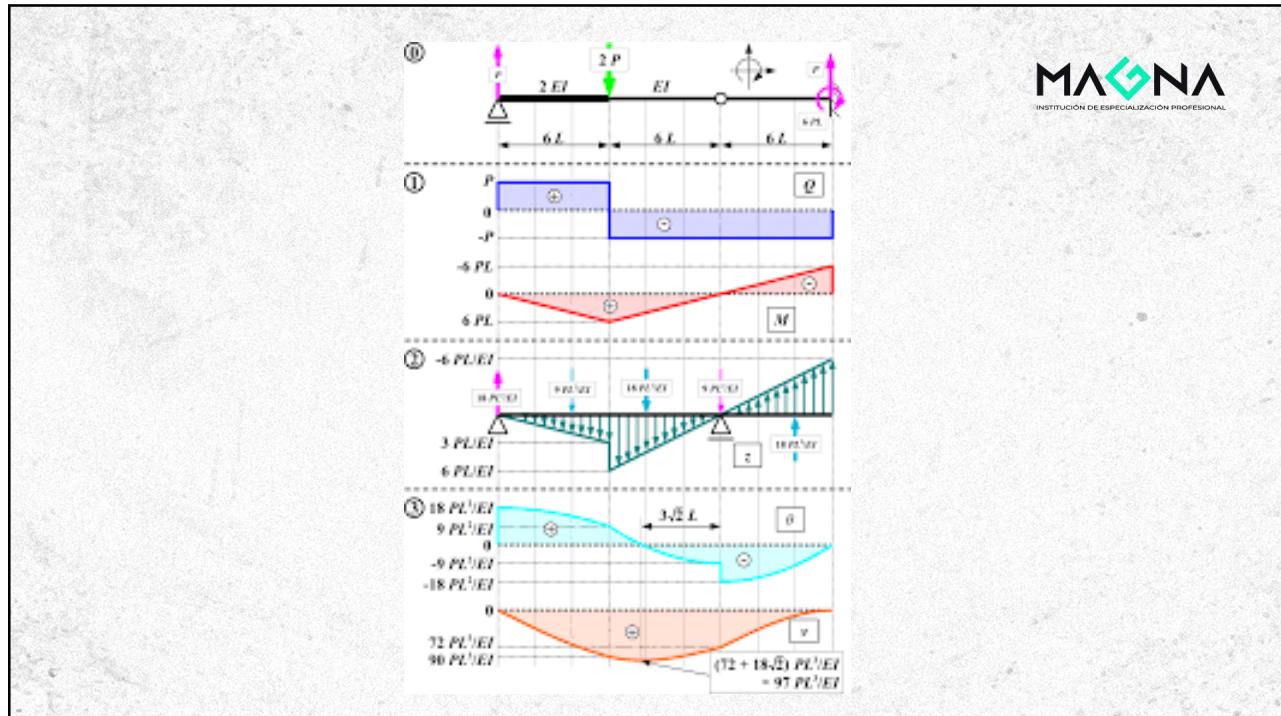
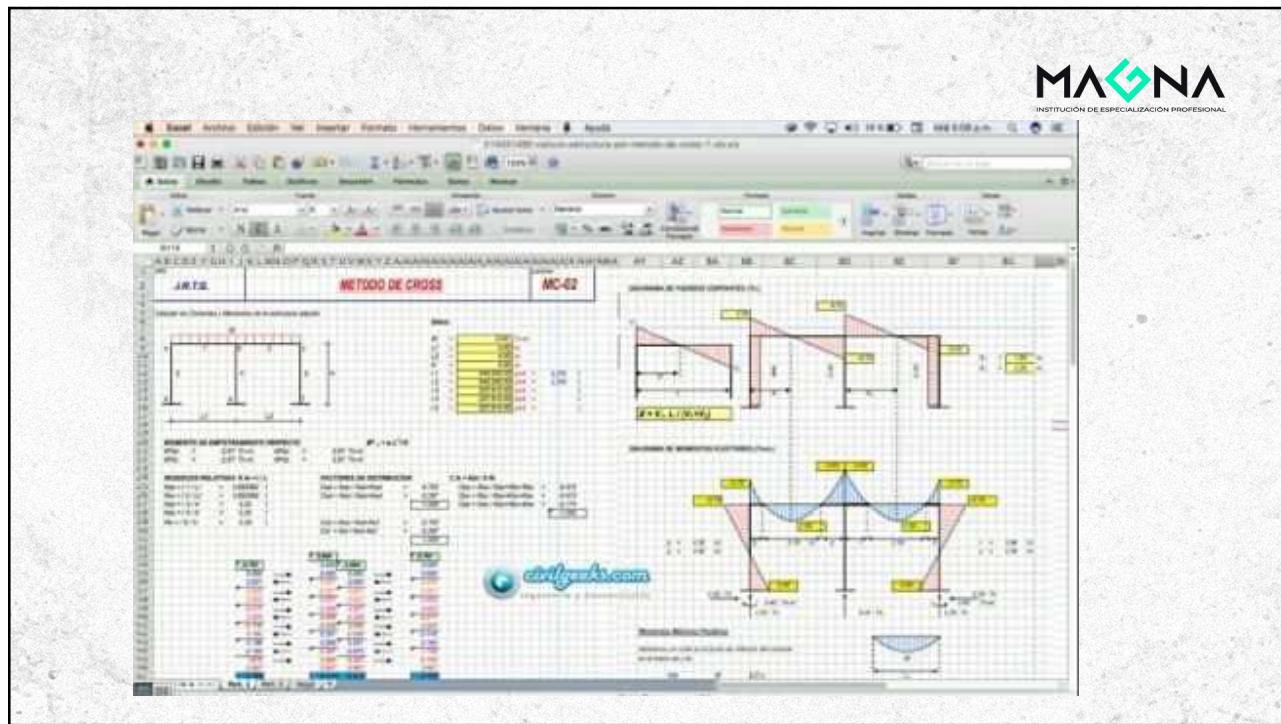
MODULO I: DEFINICIÓN DE LA ACCIÓN SÍSMICA

¿Que se entiende por acción sísmica?



¿Qué métodos de cálculo conocen?

- Analítico – Métodos tradicionales
- Computacional – Método FEM.
- Probabilistico.



MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

Academia v@r@ Prepar@te

Calcular por el método de Cross los diagramas de esfuerzos del pórtico que se adjunta, sabiendo que $E=3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, $I=0,000675 \text{ m}^4$.

Rigideces

$$K_a = K_b = \frac{4EI}{L} = \frac{4}{3}EI$$

$$K_d = K_f = \frac{4EI}{L} = \frac{8}{3}EI$$

$$K_b = K_g = \frac{4EI}{L} = EI$$

$$K_i = K_j = \frac{3EI}{L} = EI$$

$$K_e = K_c = \frac{4EI}{L} = 2EI$$

Coefficientes de reparto

$$C_{BA} = C_{GA} = \frac{K_a}{K_a + K_b} = 0,571$$

$$C_{BC} = C_{CF} = \frac{K_e}{K_e + K_d} = 0,429$$

$$C_{BG} = C_{GD} = \frac{K_b}{K_a + K_b} = 0,429$$

$$C_{BE} = C_{ED} = \frac{K_d}{K_e + K_d} = 0,571$$

$$C_{EB} = C_{FG} = \frac{K_b}{K_b + K_e + K_f} = 0,15$$

$$C_{GD} = C_{EF} = 0,15$$

$$C_{CD} = C_{FE} = 0,15$$

$$C_{CG} = C_{FI} = 0,15$$

Grado de traslacionalidad

$$GT = 10 \cdot 3 - [3 + 2 \cdot (4-1) + 4 \cdot 2(2-1)] = 30 - 28 = 2$$

Coefficientes de transmisión

$$\beta_{BA} = \beta_{BC} = \beta_{CF} = \beta_{CD} = \beta_{FC} = \beta_{EC} = \beta_{DE} = 0,5$$

$$\beta_{BG} = \beta_{CF} = \beta_{TG} = \beta_{FC} = \beta_{FE} = \beta_{EF} = \beta_{ED} = 0,5$$

$$\beta_{CL} = \beta_{FE} = 0$$

Momentos de empotramiento perfecto

$$M_A = \frac{PL^2}{12}$$

$$M_B = -\frac{PL^2}{12}$$

$$M_A = 2a \text{ kNm}$$

$$M_B = -2a \text{ kNm}$$

$$M_{CB} = 2LS \text{ kNm}$$

$$M_{ED} = -2SE \text{ kNm}$$

$$M_{FG} = 2a \text{ kNm}$$

$$M_{EF} = -2a \text{ kNm}$$

$$M_A = \frac{Mb}{L} \left(2 - \frac{3b}{L} \right)$$

$$M_B = -\frac{Mb}{L} \left(2 - \frac{3a}{L} \right)$$

Método de Cross Sistemas traslacionales

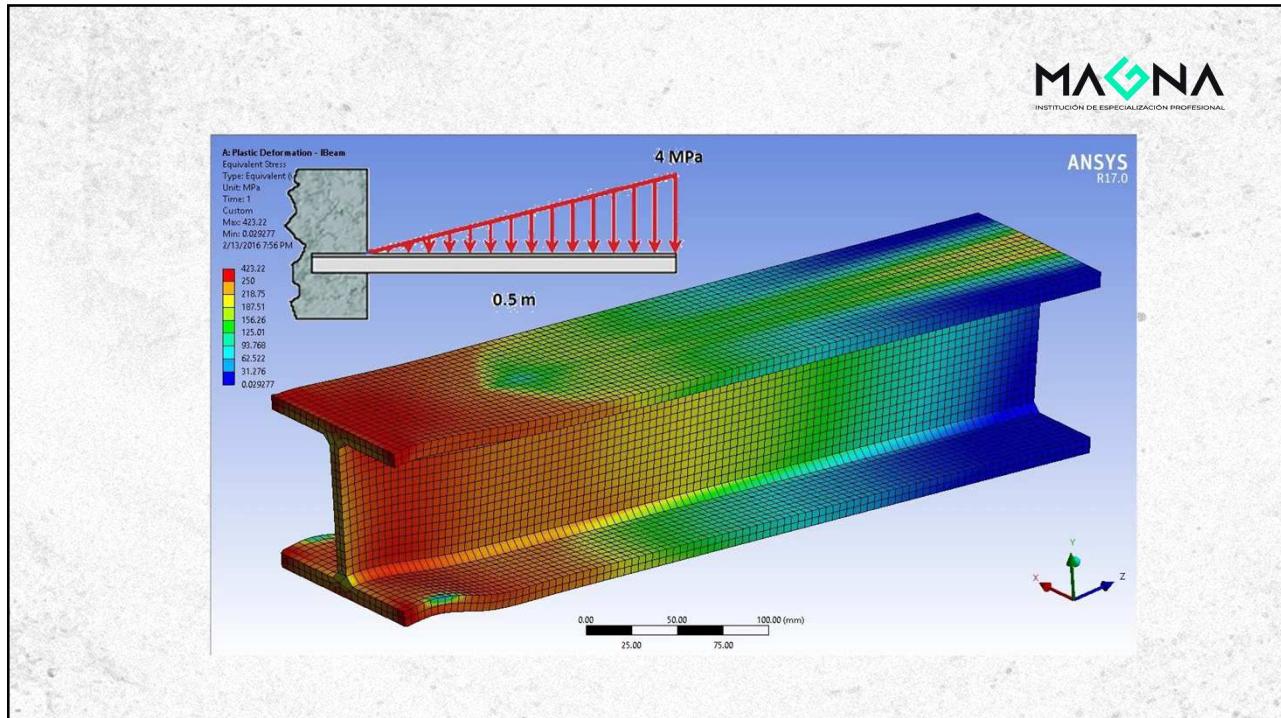
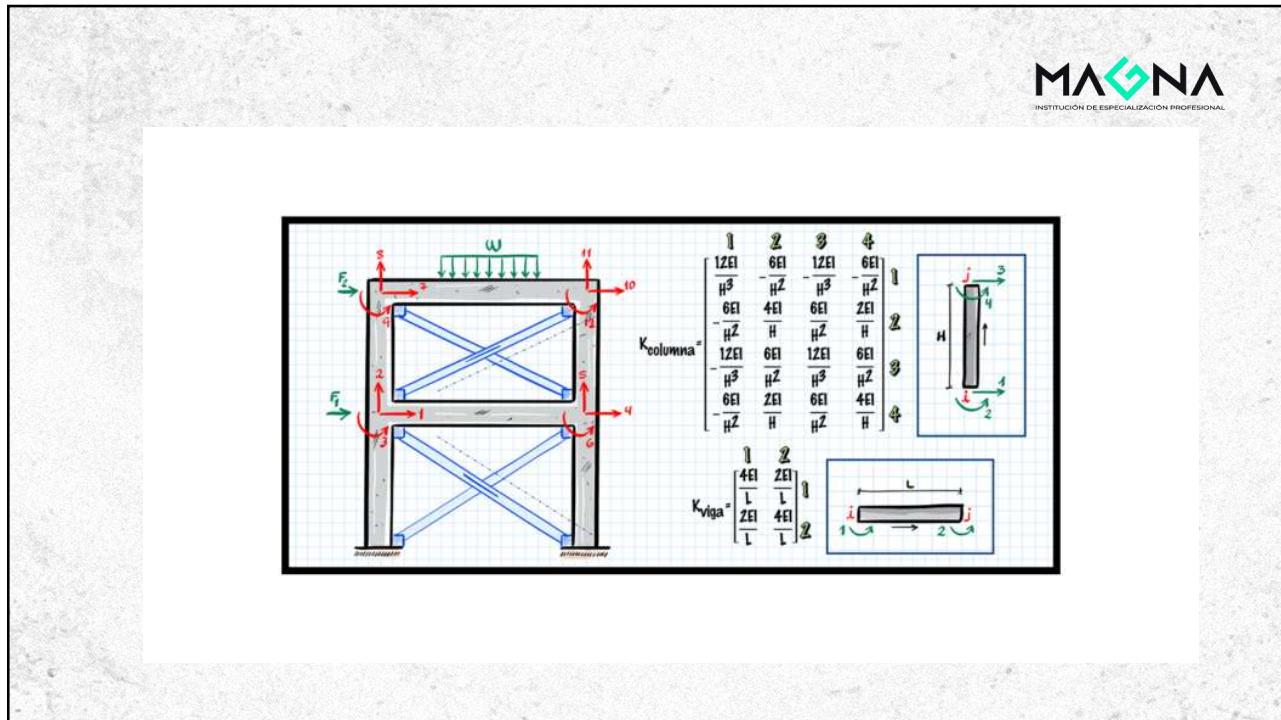
1. Rigideces
2. Coeficientes de reparto
3. Coeficientes de transmisión
4. Momentos de empotramiento perfecto

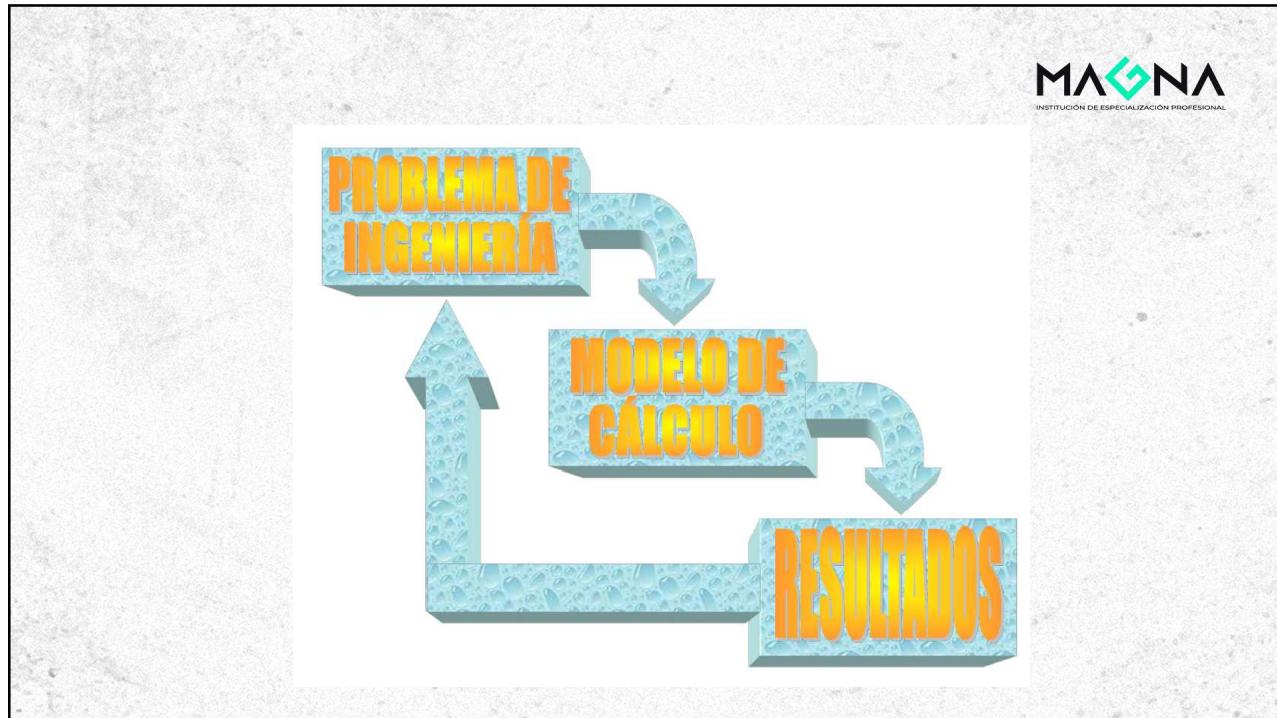
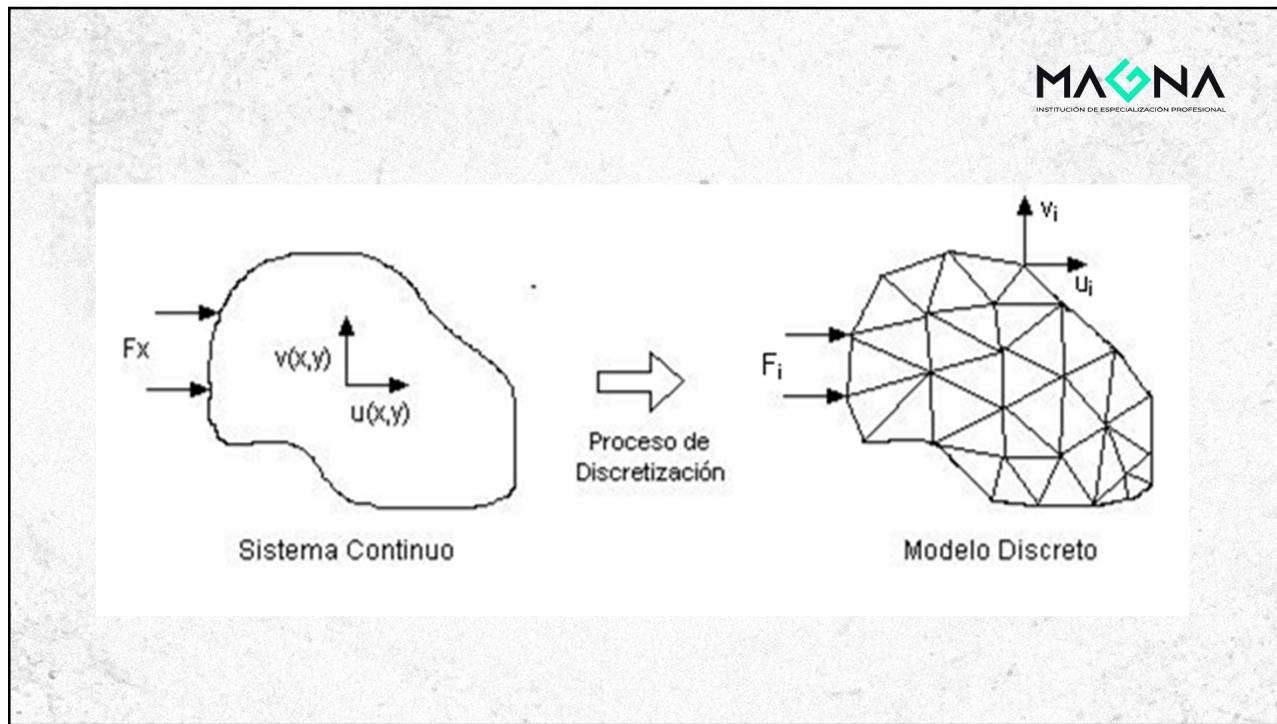
MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

USMP
SAN MARTÍN DE PORRES

Graficamos el diagrama $\left(\frac{M}{EI}\right)$ para la viga, tal como se muestra en la figura

Diapositiva 11





MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

2 ¿Qué son los elementos finitos?

- El método de elementos finitos consiste en la discretización de un sistema continuo en elementos muy pequeños llamados "elementos finitos" los cuales tienen las mismas propiedades del sistema inicial.
- Estos "elementos finitos" pueden ser de distintas formas y tamaños, además tienen nodos definidos que permiten obtener información de esfuerzo y deformación.

SISTEMAS DISCRETOS

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

Bar
Electrical network
Sistema Hidráulico

Structure
node
element
node
resistance
pipe
node
element

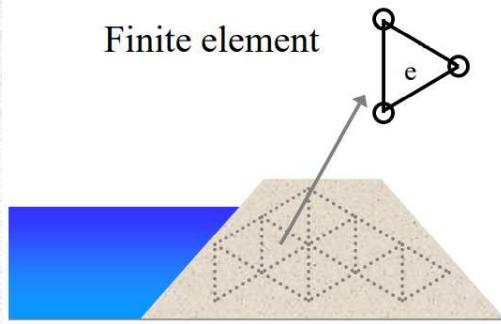
Equilibrium of element
 $K^e \cdot a^e = q^e$

Assembly
 $\sum q^e = f \Rightarrow \sum K \cdot a = f$

Solución
Solution
 $a = K^{-1} f$

SISTEMAS CONTINUOS

Finite element



Equilibrium of element

$$\underline{K}^e \underline{a}^e = \underline{q}^e$$

Assembly

$$\Sigma \underline{q}^e = \underline{f} \Rightarrow \boxed{\underline{K} \cdot \underline{a} = \underline{f}}$$

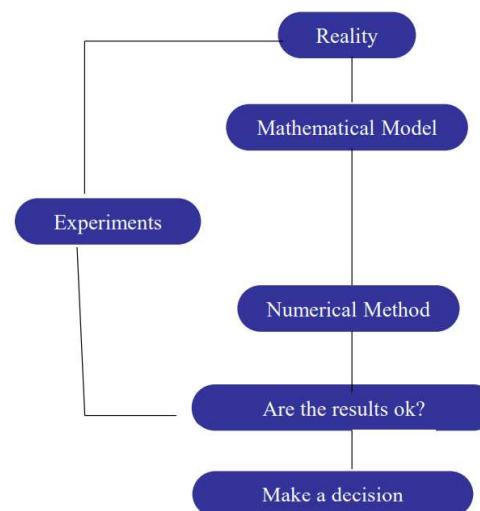
Solution

$$\underline{a} = \underline{K}^{-1} \underline{f}$$

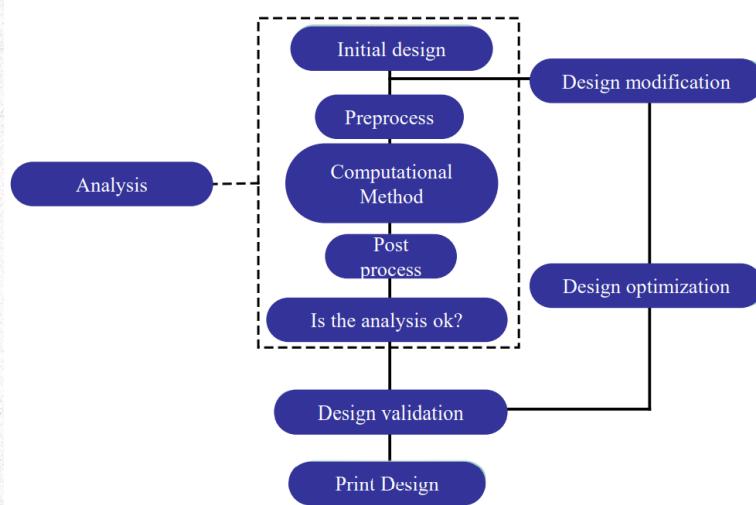
- Strain $\varepsilon = f(a)$

- Stress $\sigma = g(a)$

OBJETIVO DEL FEM

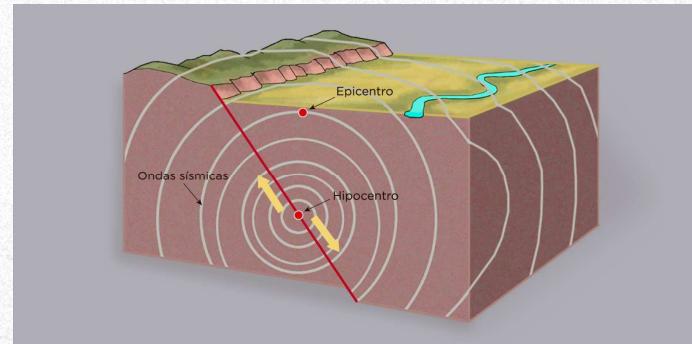


ESTADO DE ANÁLISIS



¿QUE SE ENTIENDE POR ACCIÓN SÍSMICA?

- Es el efecto dinámico de las componentes horizontales y verticales en una estructura, debido a la aceleración del terreno por causa de un sismo



Entonces:

Para diseñar una edificación de concreto reforzado que sea capaz de resistir eventos sísmicos es necesario tener control total de cinco variables fundamentales:

- 1) Rígidez,
- 2) Masa,
- 3) Resistencia,
- 4) Capacidad dúctil y
- 5) El peligro sísmico.

El hecho de manejar estas cinco variables mediante el uso del raciocinio, el buen juicio y la experiencia llevarán, sin duda, a lograr el objetivo prescrito.

Esta investigación nos va a permitir conocer de forma rápida y sencilla los conceptos básicos de la sismología y así tener conciencia de la importancia del estudio de la sismología, para diseñar estructuras capaces de resistir en lo posible sismos (que sean seguras y económicas) tomando en cuenta Las Normas Ecuatorianas de Construcción que presentan los requerimientos y metodologías que deberán ser aplicados al diseño sismo resistente de edificios principalmente, y en segundo lugar, a otras estructuras.

NOCIONES BASICAS DE SISMOLOGIA

Causas que generan los terremotos

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

Los terremotos pueden definirse como movimientos de la corteza terrestre, con amplitudes y frecuencias dependientes del tiempo.

Las causas que los generan son variadas:

Terremotos tectónicos: están causados por la rotura brusca de las capas rocosas a lo largo de superficies de fractura (fallas), son los más fuertes y más frecuentes.

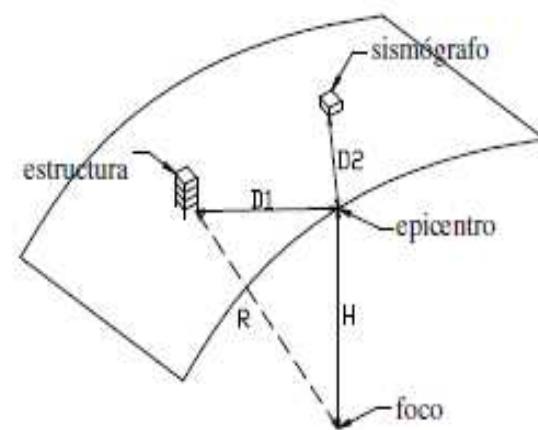
Terremotos de origen volcánico: la explosión de gases durante las erupciones volcánicas puede producir terremotos que, en general, tienen una intensidad pequeña y afectan a superficies limitadas.

Terremotos de colapso: son los originados en cavidades subterráneas por el colapso de las mismas, son de baja intensidad.

En general, el movimiento de la corteza se produce por un choque o movimiento brusco ocurrido a una cierta profundidad bajo la superficie terrestre en un punto teórico denominado *foco* o *hipocentro*, a su proyección sobre la superficie terrestre se le denomina *epicentro*.

DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE UN SÍSMO

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL



Los sismos desde el punto de vista de la ingeniería y su caracterización



- Los terremotos más importantes son los **tectónicos**, pues son los que traen consecuencias más desastrosas en las estructuras que afectan, debido a esto, son los que se tienen en cuenta para la elaboración de normas para la construcción de estructuras sismo-resistentes.
- La intensidad sísmica es una medida de los efectos de los terremotos en el entorno y en particular sobre las estructuras.
- Algunos de los efectos sobre las estructuras en orden creciente de intensidad son:
 - 1. Fisuración** de las estructuras de madera
 - 2. Agrietamiento** de las estructuras débiles de mampostería
 - 3. Agrietamiento** de las estructuras ordinarias de mampostería
 - 4. Colapso** parcial de estructuras ordinarias de mampostería; daño en estructuras bien ejecutadas de mampostería no diseñadas para resistir fuerzas sísmicas
 - 5. Colapso** de estructuras ordinarias de mampostería; las estructuras con diseño antisísmico son seriamente dañadas; daños en cimientos; grietas en el terreno.
- La mayoría de las estructuras son destruidas junto con sus cimientos, daños importantes en presas y diques, grandes deslizamientos del terreno destrucción casi total, grandes masas de rocas desplazadas, etc.



- Un sismo se caracteriza por su intensidad (parámetro subjetivo) y por su magnitud (parámetro objetivo).
- La escala objetiva más popular es la de **Ritcher**, en la que la magnitud **M** mide la energía del terremoto en el foco y es el logaritmo decimal de la amplitud del movimiento sísmico, medido en micrones a 100[km] del epicentro, por un sismógrafo Wood-Anderson estándar.
- La magnitud M está relacionada con la energía del terremoto, en ergios, por la expresión:

$$\log E = 11,8 + 1,5 M$$

Registro de ondas sísmicas. Parámetros utilizados y mapas de riesgo sísmico



- Los terremotos son fenómenos debidos a la brusca liberación de la energía de deformación acumulada durante largos períodos de tiempo en la zona superficial de la tierra. Los sismos producen ondas de varios tipos, que se propagan desde su foco en todas las direcciones a través de la tierra. Estas ondas son registradas mediante aparatos denominados sismógrafos, diseñados para medir la aceleración, la velocidad o el desplazamiento del movimiento sísmico.
- Los mapas de riesgo sísmico representan una síntesis de todos los datos sismológicos y geológicos de un país. Estos mapas se utilizan para determinar el nivel de protección que se debe alcanzar en las estructuras en cada zona de riesgo.

Diversos aspectos brindan la subdivisión en zonas, pero los fundamentales son:



- **Estudios geológicos y geotécnicos:**

Proporcionan datos de composición y características dinámicas de las rocas y capas de suelo que componen la corteza terrestre.

- **Estudios sismológicos:**

Sintetizan los parámetros que caracterizan la sismicidad de la zona:

1. ubicación de fallas
2. registro de los terremotos que ocurren en la zona
3. mapas de epicentros
4. datos históricos
5. períodos de retorno (intervalo medio de tiempo en que se espera ocurran dos sismos de igual o mayor intensidad)
6. datos del mecanismo focal
7. correlación de la sismicidad de la zona analizada con la de la macro zona en la que se encuentra.

- **Estudios de Ingeniería y Sismología:**

1. análisis del efecto que han producido sobre las estructuras y las personas los terremotos ocurridos en el pasado
2. “predicción” estadística de las características más probables de la acción sísmica que se produzca en la zona.

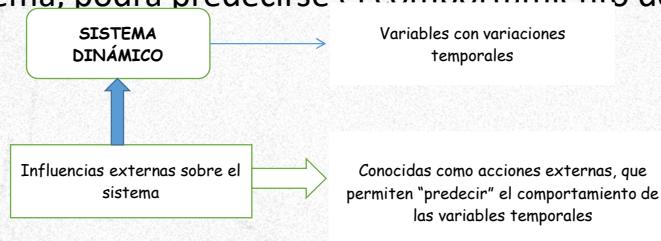


- Es importante destacar que la geología local de la zona puede modificar la propagación de las ondas sísmicas. Las ondas se reflejan y se refractan cuando en su recorrido aparece una discontinuidad, por ejemplo una variación de las características mecánicas del terreno, ello produce cambios en la velocidad.
- En general, el cálculo y la cuantificación de las acciones sísmicas en la estructuras se realiza en función de protocolos, secuencias y definiciones de acciones dadas por normas y reglamentos.

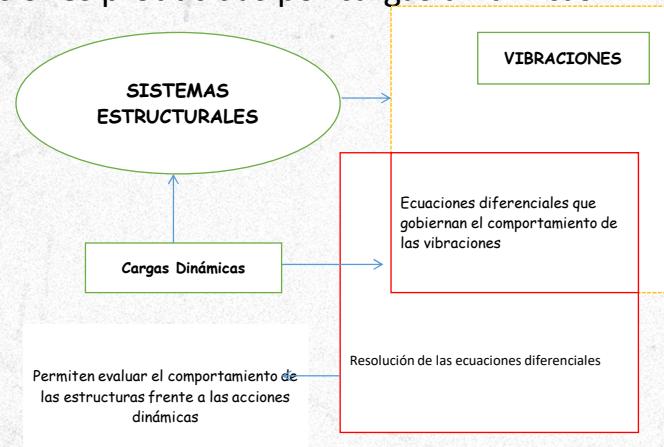
CONCEPTOS BÁSICOS DE DINAMICA ESTRUCTURAL



- En un sentido amplio, un sistema dinámico es aquel cuyas variables experimentan variaciones en el tiempo y, si se conocen las influencias externas que actúan sobre el sistema, podrá predecirse el comportamiento de este.



- Para nosotros, los sistemas a estudiar serán sistemas estructurales, las variaciones en el tiempo serán vibraciones producidas por cargas dinámicas.



SISMO DE DISEÑO

- Evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años (periodo de retorno de 475 años), determinado a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura o a partir de un mapa de peligro sísmico.
- Para caracterizar este evento, puede utilizarse un grupo de acelerogramas con propiedades dinámicas representativas de los ambientes tectónicos, geológicos y geotécnicos del sitio, conforme lo establece esta norma. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden modelarse mediante un espectro de respuesta para diseño, como el proporcionado en esta norma.

SEGURIDAD SÍSMICA



- Se aplicará la filosofía tradicional de diseño

El objetivo de desempeño de esta filosofía busca evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de todo tipo de estructura. Se añade el objetivo de protección en mayor medida y de garantía de funcionalidad luego de un evento sísmico extremo para las estructuras de ocupación especial y esencial.

Sin embargo, las actuales tendencias en el mundo se dirigen no sólo a la protección de la vida, sino también a la protección de la propiedad y a la búsqueda del cumplimiento de diversos niveles de desempeño sísmico, para cualquier tipo de estructura.

Para el caso de estructuras distintas a las de edificación, tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, presas, tuberías, etc., cuyo comportamiento dinámico es distinto al de las estructuras de edificación, se deben aplicar consideraciones adicionales especiales que complementen los requisitos mínimos que constan en el presente documento.



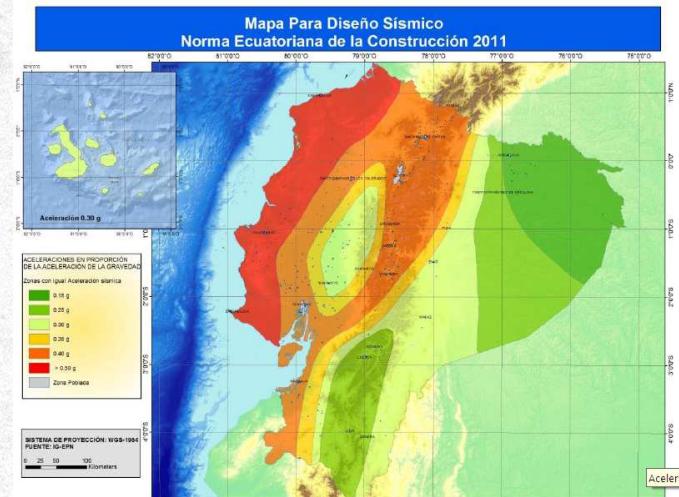
Se consideraran los siguientes niveles de frecuencia y amenaza sísmica

- Frecuente (menor)
- Ocasional (moderado)
- Raro (severo): sismo de diseño - período de retorno es a 475 años
- Muy raro (extremo): para estructuras esenciales y de ocupación especial
- período de retorno es a 2500 años

Zonas Sísmicas

Zonificación sísmica y factor de zona Z

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL



- El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona IV.

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

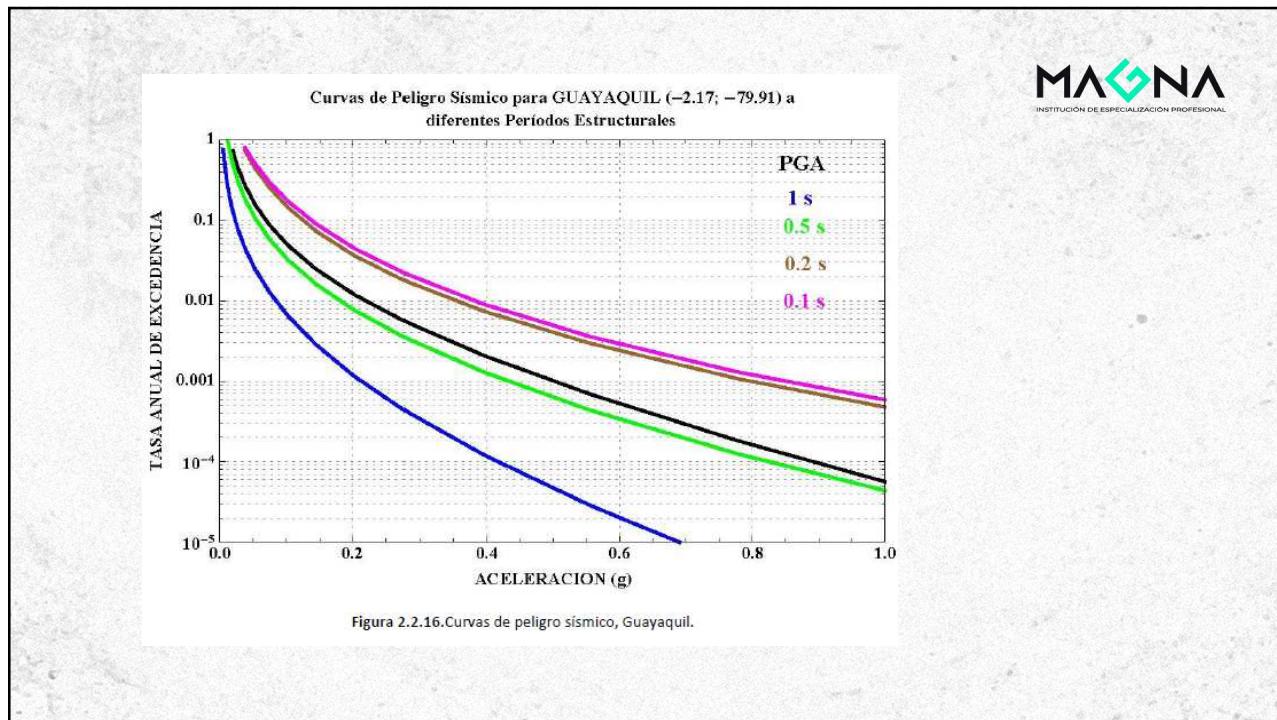
Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Todo el territorio ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta, con excepción del:

Nororient que presenta una amenaza sísmica intermedia,
Litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta.

Determinación:

Para facilitar la determinación del valor de Z, existe una tabla del factor Z en el capítulo 2 de N.E.C.

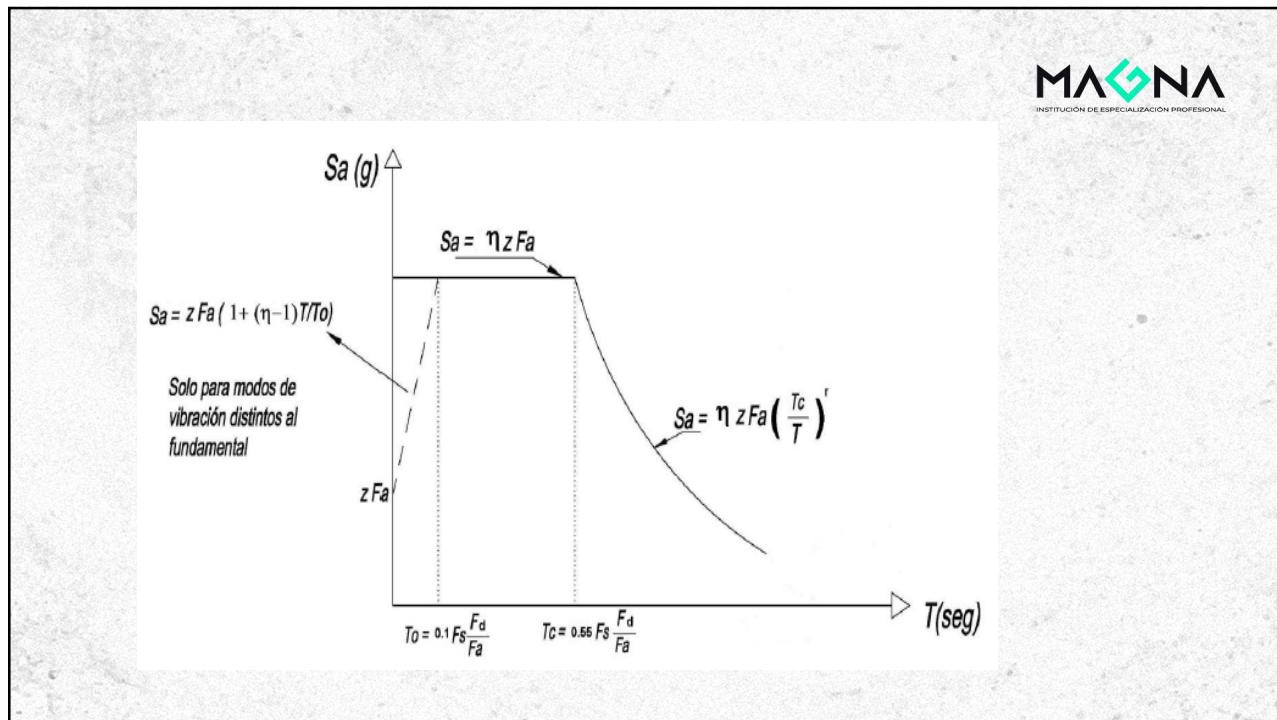


Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones



El espectro de respuesta elástico de aceleraciones **S_a**, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, consistente con:

- El factor de zona sísmica Z,
- El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a, F_d, F_s.



- Dónde:
- η** Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1 \text{ s}$) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
- F_a** Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- F_d** Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- F_s** Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.
- S_a** Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura.
- T** Periodo fundamental de vibración de la estructura.
- T_0** Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- T_c** Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- Z** Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

Categoría de edificio y coeficiente de importancia



- La estructura a construirse se clasificará en una de las categorías que se establecen en la siguiente tabla y se adoptará el correspondiente factor de importancia I.
- El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de DISEÑO



Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Requisitos del diseño sismo-resistente

- Para satisfacer este requisito, la estructura no debe colapsar cuando se somete a la carga máxima de diseño para el que fue diseñado. Una estructura se considera que satisface los criterios de estado de último límite, si la sección de que se trate:
 - compresión,
 - tracción,
 - cortante,
 - torsión,
 - flexión.

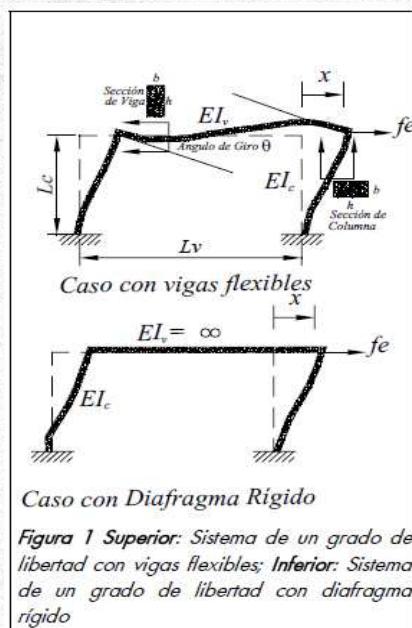
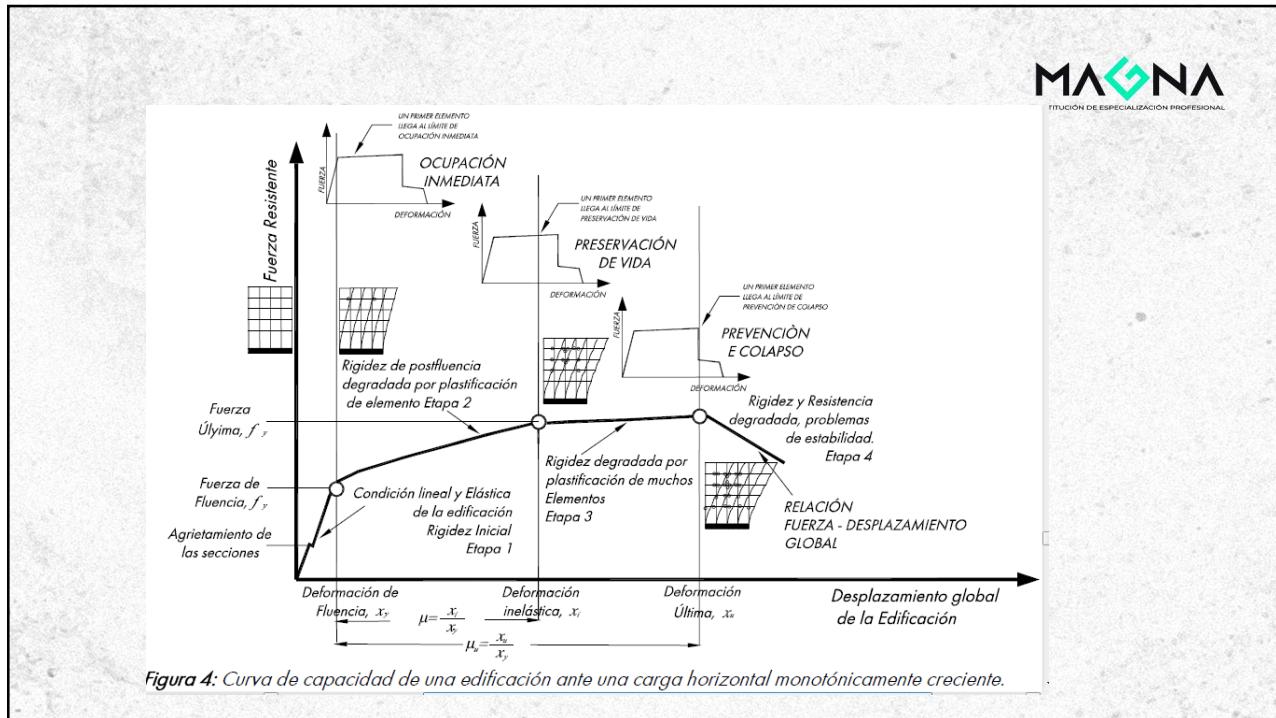


Figura 1 Superior: Sistema de un grado de libertad con vigas flexibles; Inferior: Sistema de un grado de libertad con diafragma rígido



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**



INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

