



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES



INESTABILIDAD DINÁMICA

**CAMILO FUENTES PÉREZ
HORACIO DOMÍNGUEZ FUENZALIDA**

FECHA: 2 DE JULIO

PROFESOR: CRISTIÁN CRUZ



1. PREGUNTA 1

Se solicita realizar un análisis de respuesta no lineal de una estructura sometida el registro sísmico de El Centro, ocurrido el año 1940 en California. La estructura por estudiar se modela como un sistema de 1 grado de libertad, con las siguientes propiedades:

T_n [s]	ξ
2.0	5%

Tabla 1. Propiedades de la estructura.

Además, la estructura se diseña con un material de comportamiento bilineal, cuyo comportamiento se caracteriza en *Gráfico 1*.

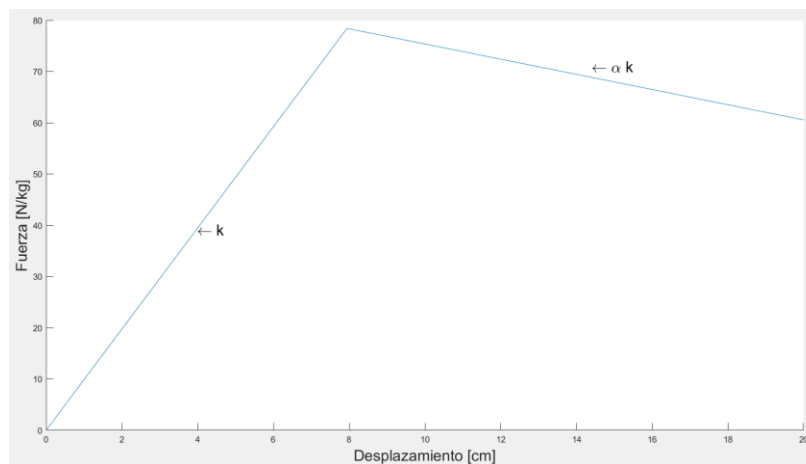


Gráfico 1. Modelo bilineal del comportamiento de la estructura.

Donde la resistencia lateral de la estructura es $C_y = 0.08$ y el factor alfa que multiplica la pendiente luego de la fluencia es de $\alpha = -0.15$.

Para realizar el análisis solicitado, se considera el comportamiento bilineal como la suma de un sistema elasto-plástico perfecto con el de un sistema lineal. Lo cual se expresa como:

$$f_s = f_{sEPP} + f_{sLineal}$$

Con,

$$f_{sEPP} = \begin{cases} u (1 - \alpha)k & , u < u_y \\ (1 - \alpha)F_y & , u \geq u_y \end{cases}$$

$$f_{sLineal} = u \alpha k$$



Ambos modelos se presentan junto al modelo total.

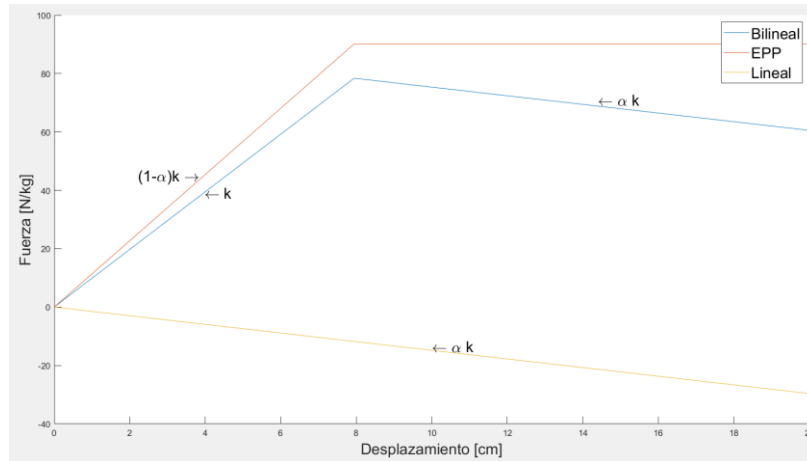


Gráfico 2. Modelo elasto-plástico perfecto y lineal junto al modelo bilineal.

El análisis de respuesta no lineal se realiza mediante el método de Newmark descrito en la Tarea 3, incorporando los efectos de la pérdida de resistencia luego de la fluencia que se aprecia en el modelo bilineal. En efecto, el gráfico tiempo historia de la estructura bajo el registro sísmico de El Centro, 1940 se presenta a continuación.

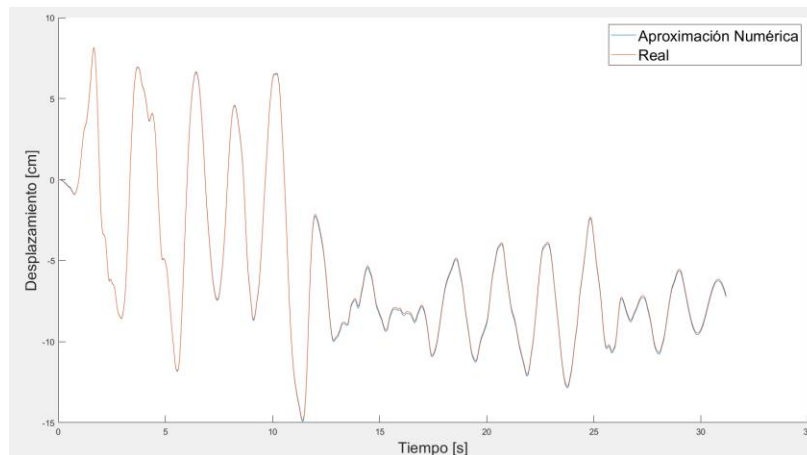


Gráfico 3. Respuesta de estructura bajo estudio ante el registro de El Centro, 1940.

En el gráfico se aprecia la aproximación numérica mediante el código de Newmark junto con los resultados entregados. A modo de realizar una comparación cuantitativa, se determinan los valores máximos de la solución real y de la aproximación numérica, resultando magnitudes de 14.84 [cm] y 14.93 [cm]. Esta diferencia se traduce en un error porcentual de 0.597%, por lo que se desprende que el método representa bien la respuesta tiempo-historia de la estructura.



A pesar del pequeño error porcentual, se estima que las diferencias entre los dos análisis se pueden deber a la utilización de la constante gravitacional g , cuyo valor pudo haber variado de un análisis a otro.

Por otra parte, se solicita graficar la histéresis del sistema para todo el registro, esta también es comparada con resultados previamente entregados.

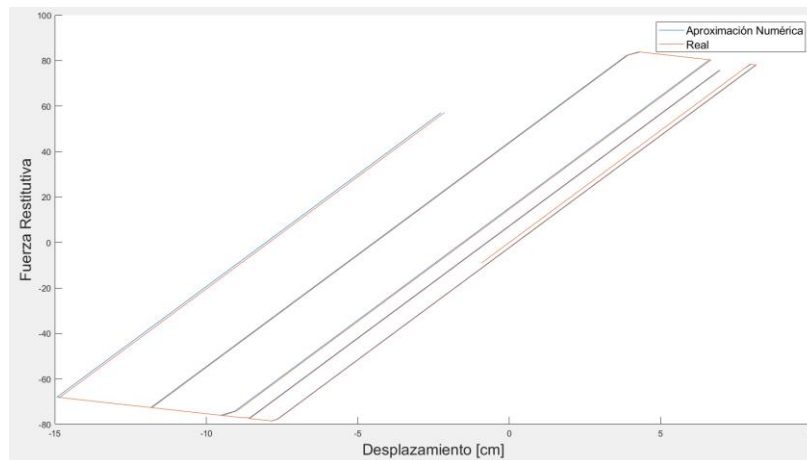


Gráfico 4. Histéresis de la estructura para el registro de El Centro, 1940.

Nuevamente se aprecia que los resultados de la aproximación numérica realizada con el Método de Newmark No Lineal representan en gran medida el resultado entregado. Sin embargo, se aprecian diferencias de pequeña magnitud en ciertos desplazamientos. Estos errores nuevamente se asocian a la estimación de la constante de gravedad utilizada.

2. PREGUNTA 2

Se cuenta con 4 registros y para cada uno se realizará el siguiente análisis:

2.1. Problema 1

Si se analiza el coeficiente sísmico C_y , se puede decir que a medida que esta disminuye, tanto la ductilidad como los desplazamientos de la estructura serán mayores. Dentro de este análisis, el colapso se generará cuando el desplazamiento tienda a infinito. De este modo, para evitar que la estructura llegue a este punto se necesita el valor de C_y justo antes.



A efectos de lo solicitado, se varía el coeficiente sísmico desde valores mayores a menores y se evalúa mediante el Método de Newmark no Lineal Bilineal el desplazamiento asociado a cada registro. Bajo los parámetros de entrada (Periodo natural, amortiguamiento y pendiente rango no lineal) y el concepto descrito en el primer párrafo, se obtienen los siguientes valores:

Localidad	Cc
Concepción	0.29
Talca	0.2
Santiago	0.11
Valparaíso	0.06

Tabla 2. Coeficiente sísmico inelástico mínimo para evitar colapso en cada registro.

Al observar los valores obtenidos, da cuenta de que mientras mas cerca se este del epicentro del sismo, mayor resistencia será necesaria aportar a la estructura, ya que, debido a la propagación de un sismo, se sabe que, a mayor distancia, menor intensidad. Este fenómeno es conocido como atenuación geométrica.

Cabe destacar que, en el análisis desarrollado, no se tomó en cuenta posibles efectos de sitio que puedan alterar la intensidad percibida.

2.2. Problema 2

El valor encontrado en el inciso anterior corresponda al Cc. Dicha variable representa el valor mínimo de resistencia lateral para evitar que la estructura colapse. Referente a este valor, el máximo factor de reducción de la resistencia para evitar colapso se puede determinar de la siguiente forma:

$$R_c = \frac{F_e}{F_c} = \frac{C_e}{C_c}$$

Dada esta ecuación, solo queda por determinar el coeficiente sísmico elástico de la siguiente manera:

$$C_e = \frac{S_a}{g}$$

Este coeficiente se determina mediante el Método de Newmark Lineal. Dicho método fue resuelto en tareas anteriores, por lo cual, se utiliza el código respectivo para determinar el espectro de aceleración en cada caso, en función de las variables de entrada de cada registro.



El espectro calculado mediante el método descrito entrega el máximo valor de aceleración para diferentes periodos evaluados. Sin embargo, en este caso, el periodo a considerar es 1 [s], por lo cual se extrae solo ese dato y se divide en la gravedad para obtener los siguientes coeficientes:

Localidad	Ce
Concepción	0.3945
Talca	0.3128
Santiago	0.2685
Valparaíso	0.1283

Tabla 3. Coeficiente sísmico elástico de cada localidad.

Nuevamente, se aprecia que el efecto de la distancia es un factor relevante, no importando si se analiza un caso elástico o inelástico. De esta forma, la tendencia mencionada anteriormente se mantiene en este caso.

Teniendo este valor, se reemplaza en la primera ecuación planteada y se llega a lo siguiente:

Localidad	Rc
Concepción	1.3603
Talca	1.5638
Santiago	2.4407
Valparaíso	2.1385

Tabla 4. Máximo factor de reducción de la resistencia para evitar colapso.

De forma general, a medida que se aumenta el factor de reducción R, mayor incursión en el rango no lineal tendrá la estructura. El valor obtenido corresponde al máximo factor de reducción que se puede aplicar, de modo que se evite el colapso.

A diferencia del análisis del Cc, no se sigue la misma tendencia radial descrita anteriormente. De esta forma, la localidad de Santiago es la que permite una mayor reducción que las otras 3 analizadas.



2.3. Problema 3

La fórmula empírica planteada por Miranda y Akkar el año 2003 es la siguiente:

$$R_c = 1 + a(\alpha)^{-b}$$

$$a = 0.26(1 - e^{-7.5T_n})$$

$$b = 0.89 + 0.04T_n + 0.15\ln(T_n)$$

Dado que la pendiente y el periodo son valores conocidos, simplemente queda reemplazar en la ecuación respectiva:

Localidad	Rc	Rc (M&A)	Diferencia Porcentual
Concepción	1.3603	2.5169	46%
Talca	1.5638		38%
Santiago	2.4407		3%
Valparaíso	2.1385		15%

Tabla 5. Máximo factor de reducción de la resistencia para evitar colapso calculado por ambos métodos.

Se observan errores porcentuales sumamente altos, con excepción de la ciudad de Santiago. Aun más, el Rc calculado por la formulación empírica de Miranda y Akkar es mayor que los calculados con el espectro. Esto implica que, si se toma en cuenta dicho Rc, las estructuras llegarán al colapso ya que el factor de reducción es mayor que el calculado según el espectro.

A modo de conclusión, se dirá que el primer método es mas preciso, ya que toma en cuenta la aceleración espectral exacta del registro para una estructura, mientras que el segundo, lo expresa de forma general, no importando el sismo que la afecte. Sin embargo, el costo computacional del primer método es mayor, debido al uso de métodos numéricos no lineales en el proceso.



3. ANEXOS

3.1. Códigos Pregunta 1

Parte i

```
[u,ud,udd,fs,fluencia,ductilidad]=Newmark_No_Lineal_Bilineal(alfa,beta,Tn,xi,dt,u_i,ud_i,uddg,Fy,R,T);
u_res=(uNL);
figure(1)
hold on
plot(T,u*980)
plot(t,u_res)
A=max(abs(u))*980
B=max(abs(u_res))
(A-B)/B
xlabel('Tiempo [s]','FontSize',18)
ylabel('Desplazamiento [cm]','FontSize',18)
legend("Aproximación Numérica","Real",'FontSize',18)
hold off
```

Parte ii

```
figure(2)
hold on
plot(u*980,fs*980)
plot(u_res,Fs)
xlabel('Desplazamiento [cm]','FontSize',18)
ylabel('Fuerza Restitutiva','FontSize',18)
legend("Aproximación Numérica","Real",'FontSize',13)
hold off
```

3.2. Códigos Pregunta 2

Datos

```
alfa=-0.15;
xi=0.05;
Tn=1;
R=10^(-10);
beta=1/6;
u_i=0;
ud_i=0;
u_colapso=100;
```




Concepción

```
Archivo='Concepcion2010-L.txt';  
delimiterIn=' ';  
headerlinesIn=1;  
Registro=importdata(Archivo,delimiterIn,headerlinesIn);  
Datos_C=Registro.data;  
dt_C=0.005;  
T_C=transpose(0:dt_C:(size(Datos_C,1)-1)*dt_C);
```

Santiago

```
Archivo='stgocentro2010-L.txt';  
delimiterIn=' ';  
headerlinesIn=1;  
Registro=importdata(Archivo,delimiterIn,headerlinesIn);  
Datos_S=Registro.data;  
dt_S=0.005;  
T_S=transpose(0:dt_S:(size(Datos_S,1)-1)*dt_S);
```

Talca

```
Archivo='Talca2010-L.txt';  
delimiterIn=' ';  
headerlinesIn=1;  
Registro=importdata(Archivo,delimiterIn,headerlinesIn);  
Datos_T=Registro.data;  
dt_T=0.005;  
T_T=transpose(0:dt_T:(size(Datos_T,1)-1)*dt_T);
```

Valparaíso

```
Archivo='valparaisoUTFSM2010-L.txt';  
delimiterIn=' ';  
headerlinesIn=1;  
Registro=importdata(Archivo,delimiterIn,headerlinesIn);  
Datos_V=Registro.data;  
dt_V=0.005;  
T_V=transpose(0:dt_V:(size(Datos_V,1)-1)*dt_V);
```



Parte i

```
Cy=0.01:0.7;
n=size(Cy,2);
for i=1:n
    [u_C,ud_C,udd_C,fs,fluencia,ductilidad]=Newmark_No_Lineal_Bilineal(alfa,beta,Tn,xi,dt_C,u_i,ud_i,Datos_C,Cy(1,n-i+1)*980,R,T_C);
    if max(abs(u_C))>u_colapso
        Cy_conce=Cy(1,n-i+2)
        break
    end
end
for i=1:n
    [u_S,ud_S,udd_S,fs,fluencia,ductilidad]=Newmark_No_Lineal_Bilineal(alfa,beta,Tn,xi,dt_S,u_i,ud_i,Datos_S,Cy(1,n-i+1)*980,R,T_S);
    if max(abs(u_S))>u_colapso
        Cy_stgo=Cy(1,n-i+2)
        break
    end
end
for i=1:n
    [u_T,ud_T,udd_T,fs,fluencia,ductilidad]=Newmark_No_Lineal_Bilineal(alfa,beta,Tn,xi,dt_T,u_i,ud_i,Datos_T,Cy(1,n-i+1)*980,R,T_T);
    if max(abs(u_T))>u_colapso
        Cy_talca=Cy(1,n-i+2)
        break
    end
end
for i=1:n
    [u_V,ud_V,udd_V,fs,fluencia,ductilidad]=Newmark_No_Lineal_Bilineal(alfa,beta,Tn,xi,dt_V,u_i,ud_i,Datos_V,Cy(1,n-i+1)*980,R,T_V);
    if max(abs(u_V))>u_colapso
        Cy_valpo=Cy(1,n-i+2)
        break
    end
end
end
```

Parte ii

```
[Sd,Sv,Sa_C,PSv,PSa]=Newmark_Lineal(beta,xi,dt_C,u_i,ud_i,Datos_C);
[Sd,Sv,Sa_S,PSv,PSa]=Newmark_Lineal(beta,xi,dt_S,u_i,ud_i,Datos_S);
[Sd,Sv,Sa_T,PSv,PSa]=Newmark_Lineal(beta,xi,dt_T,u_i,ud_i,Datos_T);
[Sd,Sv,Sa_V,PSv,PSa]=Newmark_Lineal(beta,xi,dt_V,u_i,ud_i,Datos_V);

for i=1:size(Sa_C,1)
    if Sa_C(i,1)==1
        Sa_conce=Sa_C(i,2);
        Sa_stgo=Sa_S(i,2);
        Sa_talca=Sa_T(i,2);
        Sa_valpo=Sa_V(i,2);
    end
end
Ce_C=Sa_conce/980
Rc_C=Ce_C/Cy_conce
Ce_S=Sa_stgo/980
Rc_S=Ce_S/Cy_stgo
Ce_T=Sa_talca/980
Rc_T=Ce_T/Cy_talca
Ce_V=Sa_valpo/980
Rc_V=Ce_V/Cy_valpo
```

Parte iii

```
a=0.26*(1-exp(-7.5*Tn));
b=0.89+0.04*Tn+0.15*log(Tn);
Rc=1+a*(-alfa)^(-b)
```