



Tarea 1

Ondas en sismología

Valentina Iturra Rosales
Profesor Arturo Belmonte-Pool
Ayudante Diego Zanetti
Fecha de entrega: 10 de Abril de 2024
Concepción, Chile

1. Item 1

Determine velocidades de propagación de onda compresional para los siguientes materiales: Corteza de la Tierra, Acero, Goma, Madera, Aluminio, Cobre, Agua, Granito.

A partir de las densidades de cada material (ρ) y los módulos de young (E) dados por las columnas dos y tres de la tabla (1.1) respectivamente, se puede utilizar la ecuación (1.1) para despejar la velocidad de propagación (α).

$$\alpha = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.1)$$

De modo que los resultados se pueden evidenciar en esta misma tabla (1.1) en la ultima columna.

Material	Densidad [Kg/m ³]	Modulo de Young [Pa]	Velocidad de propagación [m/s]
Corteza	$2.7 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^{10}$	$5.8 \cdot 10^3$
Acero	7850	$2.1 \cdot 10^{11}$	$5.17 \cdot 10^3$
Goma	1250	$2.7 \cdot 10^7$	$0.15 \cdot 10^3$
Madera	550	$7 \cdot 10^9$	$3.57 \cdot 10^3$
Aluminio	2698	$7 \cdot 10^{10}$	$5.09 \cdot 10^3$
Cobre	8960	$1.1 \cdot 10^{11}$	$3.5 \cdot 10^3$
Agua	1000	$2.02 \cdot 10^9$	$1.42 \cdot 10^3$
Granito	2690	$5 \cdot 10^{10}$	$4.31 \cdot 10^3$

Tabla 1.1: Tabla de datos obtenidos.

2. Item 2

a) Para una onda armónica $u(x, t) = A \cos(\pi t - 2\pi x)$. Determine frecuencia angular (ω), periodo (T), velocidad de propagación (v) y longitud de onda (λ).

Sabemos que una onda cumple con una ecuación del tipo $u(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$ de lo que se puede desprender que $\omega = \pi [rad/s]$ y $k = 2\pi [m^{-1}]$. Con esto, se pueden despejar las demás variables, de la siguiente forma:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\pi} = 2 [s]$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1 [m]$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\pi}{2\pi} = \frac{1}{2} \left[\frac{m}{s} \right]$$

b) Dibuje los desplazamientos como una función de la posición y el tiempo. Asuma $A=1$.

Con $A = 1$, tendremos una ecuación del tipo $u(x, t) = \cos(\pi t - 2\pi x)$, como esta depende de dos variables, debemos considerar una de las dos variables constante para determinar el desplazamiento en función de la otra.

Es decir, para determinar el desplazamiento en función del tiempo, podemos considerar un $x = 0.1$, de este modo la ecuación resulta $u(x = 0.1, t) = \cos(\pi t - 0.2\pi)$ lo que se vería como en la figura (2.1).

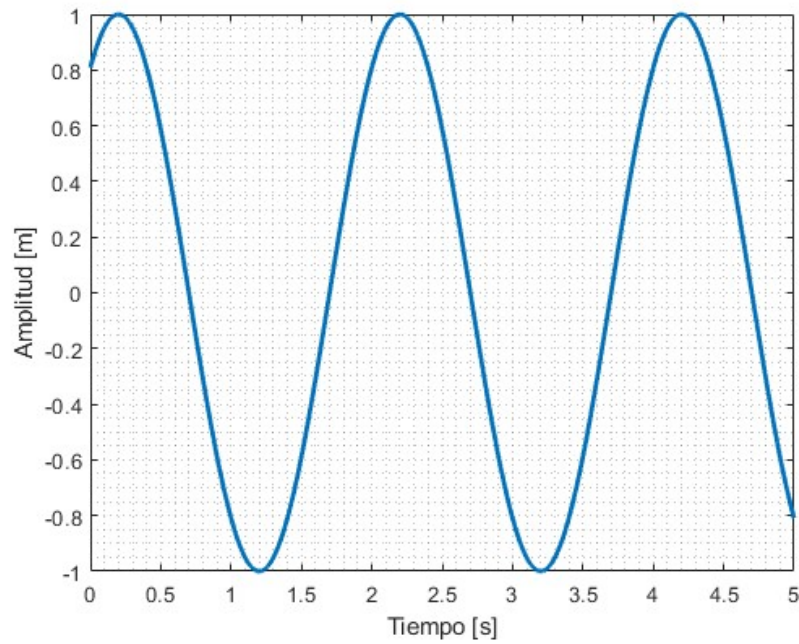


Figura 2.1: Desplazamiento en función del tiempo.

Del mismo modo, para determinar el desplazamiento en función de la posición se puede tomar un t constante, en este caso consideramos $t = 0$ de modo que la ecuación resultaría $u(x, t = 0) = \cos(-2\pi x)$ y se podrá ver como en la figura (2.2).

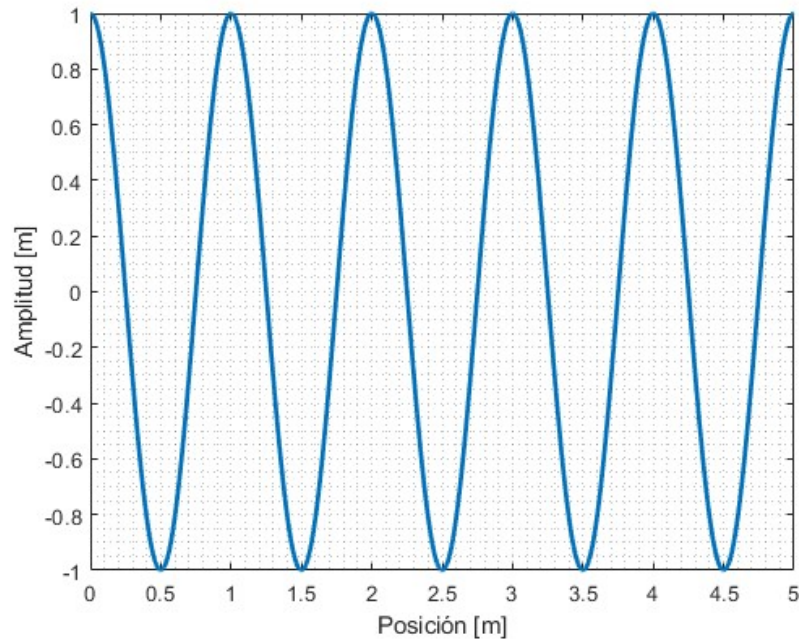


Figura 2.2: Desplazamiento en función de la posición.

3. Item 3

Descargue datos de sismicidad para el terremoto del Maule 2010 e Illapel 2015, para el periodo de tiempo indicado en clases. Analice si se cumplen las siguientes leyes empíricas para cada evento.

a) Grafique la Ley de G-R y obtenga las constantes a y b . Interprete los valores de “ a ” y “ b ” para cada caso.

Utilizando la siguiente función en MATLAB se reordenan las cantidades de sismos para cada magnitud y se extrae el \log_{10} para cada caso. Posteriormente, se lleva a cabo un ajuste lineal sobre la pendiente de la curva logarítmica para obtener los parámetros “ a ” y “ b ”.

```

1 function [a,b] = lgr(archivo)
2 %Valentina Iturra Rosales
3
4 datos=readmatrix(archivo);
5
6 magnitud = datos(:,5);
7
8 M = [0:0.1:9];
9
10 count=0;
11 for i = 1:length(M)
12     count=count+1;
13     n= find(magnitud > M(i));

```

```

14     N(count,1)= length(n);
15 end
16
17 LOG=log10(N);
18
19 %p= find(M >4.1 & M<7.1); %Despues del terremoto Maule
20 %p= find(M >3.9 & M<7.1); %Despues del terremoto Illapel
21 %p= find(M >3.4 & M<6.2); %Antes del terremoto, Maule
22 %p= find(M >4 & M<6.4); %Antes del terremoto, Illapel
23
24 x = M(p);
25 y = LOG(p);
26
27 pf = polyfit(x,y,1);
28 pv = polyval(pf,x);
29
30 a = pf(2);
31 b = pf(1);
32
33 figure()
34 plot(M,LOG,'LineWidth',2)
35 hold on
36 plot(x,pv,'LineWidth',2)
37 xlabel("Magnitud")
38 ylabel("Logaritmo de eventos acumulados")
39 title("Ley de Gutenberg-Richter") %Renombrar dependiendo el terremoto
40 grid minor
41 %xlim([0 8.8]) %Maule
42 %xlim([0 8.4]) %Illapel
43 legend("Datos","Ajuste lineal")

```

Código 1: Función utilizada para la ley de Gutenberg-Richter.

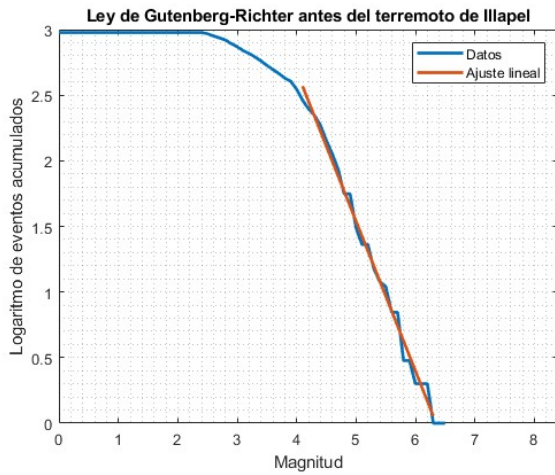
De este modo al ejecutar la función para 6 meses posteriores a los terremotos de Maule e Illapel, y luego para los mismos eventos pero meses antes, se obtienen los parámetros de la ecuación (3.1) indicados en la tabla (3.1).

$$\log_{10} = a - b \cdot M \quad (3.1)$$

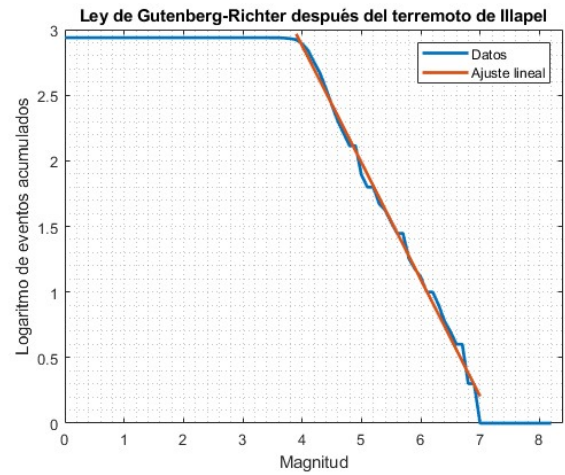
Parámetros	Illapel antes	Illapel	Maule antes	Maule
a	7.2522	6.4418	6.7712	7.8641
b	1.1423	0.8910	1.0865	1.1010

Tabla 3.1: Valores de parámetros “a” y “b” en cada caso.

Los resultados correspondientes al terremoto de Illapel antes y después del evento se presentan en la figura (3.1). Estos resultados, junto con los valores de “b” en las columnas dos y tres de la tabla (3.1), indican que luego del terremoto, la pendiente del ajuste es menor que meses antes de que este ocurriera. Aunque en la figura (3.1) este cambio es apenas perceptible, los valores de “b” nos permiten observarlo. Probablemente esto se debe a que el terremoto tuvo una magnitud de $8.4M_w$, lo que provoca que la recta después del evento tienda a ser más horizontal para alcanzar este valor.



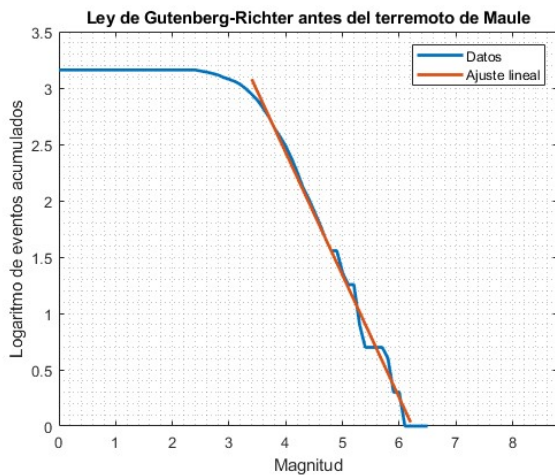
(a) Antes del terremoto.



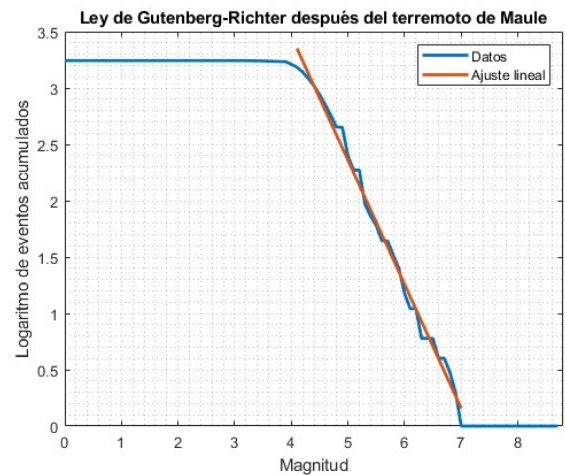
(b) Después del terremoto.

Figura 3.1: Aplicación de la ley de Gutenberg-Richter para el terremoto de Illapel.

Por el contrario, en el caso del terremoto de Maule, se observa claramente en la figura (3.2) una tendencia más vertical en el ajuste posterior al evento, lo cual se confirma mediante los valores de las columnas tres y cuatro de la tabla (3.1), que muestran un valor de “b” mayor después del terremoto que antes. Esto sugiere que tras el terremoto, existe una mayor incidencia de sismos de baja magnitud, posiblemente debido a réplicas posteriores al evento. Por el contrario, antes del terremoto, la tendencia apunta hacia sismos de mayor magnitud, en el rango de 4 a 6 M_w .



(a) Antes del terremoto.



(b) Después del terremoto.

Figura 3.2: Aplicación de la ley de Gutenberg-Richter para el terremoto de Maule.

b) Aplique la Ley de Omori ajustando una curva a la gráfica de cantidad de sismos ocurridos por unidad de tiempo. Obtenga las constantes K y c.

Utilizando la siguiente función en MATLAB se proporciona un recuento diario de eventos desde la fecha del terremoto hasta seis meses posteriores, a continuación se implementa la ley de Omori dada por la ecuación (3.2). En este proceso, se determina “K” como el máximo valor de eventos y se estima “c” siguiendo el ajuste de la curva.

$$n(t) = \frac{K}{c+t} \quad (3.2)$$

```

1 function [K,c] = LO(terremoto)
2 %Valentina Iturra Rosales
3
4 datos = readtable(terremoto, 'Delimiter', ',');
5
6 fechas = table2array(datos(:,1));
7 fechas = flipud(fechas);
8
9 c=0;
10 for i =1:length(fechas)
11     c = c+1;
12     primer=(fechas{i});
13     a = primer(1:10);
14     fecha(i,1) = datenum(a);
15     fechas{i}=a;
16 end
17
18 a = datenum(fechas(1), 'yyyy-mm-dd');
19 b(1) = a;
20 k(1) = length(find(fecha == b(1)));
21
22 p = fecha(end) - fecha(1);
23 for i = 2:p
24     b(i,1) = b(i-1) +1;
25     k(i,1) = length(find(fecha == b(i)));
26 end
27
28 fecha_datetime = datetime(b, 'ConvertFrom', 'datenum');
29
30 K = max(k);
31 c = 0.01;
32 for i = 1:length(k)
33     n(i,1) = K / (c+i);
34 end
35
36 figure()
37 plot(fecha_datetime,k,'LineWidth',2)
38 hold on
39 plot(fecha_datetime,n,'LineWidth',1.5)
40 grid minor
41 xlim([fecha_datetime(1)-5 fecha_datetime(end)+5])

```

```

42 ylim([0-5 max(k)+5])
43 xtickformat("MMM yyyy")
44 xlabel("Fecha")
45 ylabel("Número de eventos")
46 title("Ley de Omori") %Renombrar dependiendo el terremoto
47 legend("Datos","Curva ajustada")

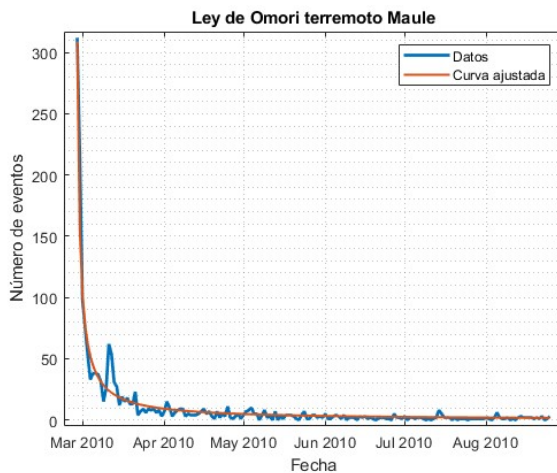
```

Código 2: Función utilizada para la ley de Omori.

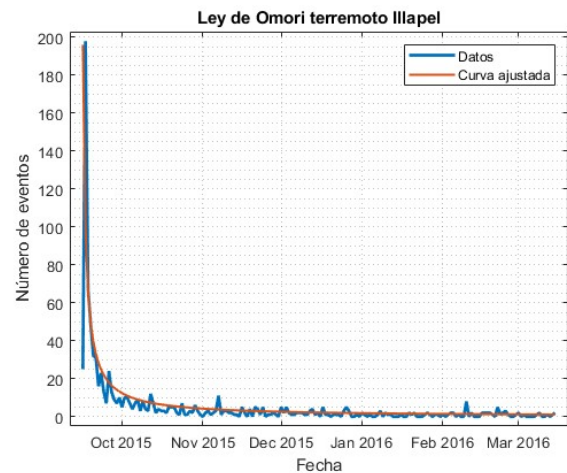
Con ello se obtienen los resultados presentados en la tabla (3.2) y la figura (3.3), donde el valor de “K” para ambos casos es notable, ya que en Maule se evidencia un máximo número de eventos sobre 300, mientras que en Illapel este número se sitúa alrededor de 190, como se aprecia claramente en las figuras (3.3 a y b). Por otro lado, el parámetro “c” se determinó según la adecuación a la variabilidad de los datos, resultando en ambos casos en un ajuste apropiado con el mismo valor de “c”.

Parámetros	Maule	Illapel
K	312	198
c	0.01	0.01

Tabla 3.2: Valores de parámetros “K” y “c” en cada caso.



(a) Terremoto de Maule.



(b) Terremoto de Illapel.

Figura 3.3: Aplicación de la ley de Omori.

c) ¿Es la magnitud relevante en el cumplimiento de estas leyes?

En relación con la ley de Gutenberg-Richter, podríamos afirmar que esta ley se cumple al observar que a medida que la magnitud de un terremoto aumenta, la frecuencia con que ese evento ocurra disminuye. En cuanto a la ley de Omori, esta se relaciona mayormente con las réplicas tras un terremoto, por lo que se puede decir sobre la magnitud en esta ley, que mientras mayor sea la magnitud, esto desencadenará una mayor cantidad de eventos posteriores.

Por lo tanto, se podría afirmar que la magnitud es un factor relevante en ambas leyes. En el caso de la ley de Omori, este aspecto se evidencia al comparar los eventos posteriores a los terremotos de Maule e Illapel, donde el terremoto de Maule, que tuvo una mayor magnitud que el de Illapel, superó en más de 100 la cantidad de eventos registrados. Es probable que en un evento de menor magnitud, las réplicas sean considerablemente menos frecuentes. De igual modo, para la ley de Gutenberg-Richter, se confirma en ambos casos de terremoto que antes del evento, la frecuencia de los sismos con magnitudes inferiores a 6 es significativamente mayor. Además, se observa que después del terremoto, la ocurrencia de eventos de alta magnitud en cada caso es mínima.

¿Qué diferencias hay entre ambos terremotos?

Comenzando con la diferencia en magnitudes, el terremoto de Maule registró una magnitud de $8.8M_w$, mientras que el de Illapel fue de $8.4M_w$. Esta diferencia en las magnitudes, como mencionamos anteriormente, conlleva a una mayor cantidad de réplicas en un caso que en el otro, como se observa por la ley de Omori. Además, al aplicar la ley de Gutenberg-Richter antes de cada evento, se observa que en el caso de Illapel, la frecuencia de eventos comienza a disminuir gradualmente entre $2.5M_w$ y $4M_w$ y luego abruptamente, mientras que en Maule, la frecuencia experimenta una caída abrupta después de los $3M_w$.

Además, en cuanto a la hora en que ocurrió cada evento, se registra que el evento de Illapel tuvo lugar a las 19:54 horas, mientras que el evento de Maule ocurrió en la madrugada a las 03:34 horas. Como se aprecia en la figura (3.3), en (a) el evento de Maule muestra un inicio con una gran cantidad de réplicas, dado que estas comienzan el mismo día 27 de febrero de 2010. Por otro lado, en la figura (b), se observa un crecimiento posterior en el número de eventos, pues aunque el terremoto ocurrió el 16 de septiembre de 2015, es al día siguiente que se registran más eventos debido a las réplicas.