



Conciencia Tecnológica
ISSN: 1405-5597
contec@mail.ita.mx
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Evaluación de la Calidad de Registros Acelerográficos mediante la Ley de Newcomb-Benford

Villagrán-Arroyo, Edgar Iram; Posada-Sánchez, Ana Elena; Cruz-Gómez, Marco Antonio; Hidalgo-Toxqui, Juan Pablo; Galindo-Ramírez, Stephania; Muñoz-Flores, José Gilberto Otoniel

Evaluación de la Calidad de Registros Acelerográficos mediante la Ley de Newcomb-Benford

Conciencia Tecnológica, núm. 59, 2020

Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94463783001>

Evaluación de la Calidad de Registros Acelerográficos mediante la Ley de Newcomb-Benford

Evaluation of the Quality of Accelerographic Records through the Newcomb-Benford Law

Edgar Iram Villagrán-Arroyo 1
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
iram.villagran@correo.buap.mx

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94463783001>

Ana Elena Posada-Sánchez 1
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Marco Antonio Cruz-Gómez 1
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Juan Pablo Hidalgo-Toxqui 1
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Stephania Galindo-Ramírez 1
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

José Gilberto Otoniel Muñoz-Flores 1
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Recepción: 21 Noviembre 2019
Aprobación: 30 Mayo 2020

RESUMEN:

NOTAS DE AUTOR

- 1 M. en I. Edgar Iram Villagrán-Arroyo
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, 14 Sur y Av. San Claudio, S/N, Puebla, México, C. P. 72570, Tel. 2222295500, Ext. 7644, iram.villagran@correo.buap.mx.
 - 1 M. en I. Ana Elena Posada-Sánchez
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, 14 Sur y Av. San Claudio, S/N, Puebla, México, C. P. 72570, Tel. 2222295500, Ext. 7644, iram.villagran@correo.buap.mx.
 - 1 Dr. Marco Antonio Cruz-Gómez
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, 14 Sur y Av. San Claudio, S/N, Puebla, México, C. P. 72570, Tel. 2222295500, Ext. 7644, iram.villagran@correo.buap.mx.
 - 1 Dr. Juan Pablo Hidalgo-Toxqui
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, 14 Sur y Av. San Claudio, S/N, Puebla, México, C. P. 72570, Tel. 2222295500, Ext. 7644, iram.villagran@correo.buap.mx.
 - 1 Pasante Stephania Galindo-Ramírez
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, 14 Sur y Av. San Claudio, S/N, Puebla, México, C. P. 72570, Tel. 2222295500, Ext. 7644, iram.villagran@correo.buap.mx.
 - 1 Estudiante José Gilberto Otoniel Muñoz-Flores
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, 14 Sur y Av. San Claudio, S/N, Puebla, México, C. P. 72570, Tel. 2222295500, Ext. 7644, iram.villagran@correo.buap.mx.
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, 14 Sur y Av. San Claudio, S/N, Puebla, México, C. P. 72570, Tel. 2222295500, Ext. 7644, iram.villagran@correo.buap.mx.

En el presente trabajo se retoman los estudios de Simon Newcomb y Frank Benford, elaborados a partir del análisis de señales de tiempo de fenómenos naturales, con el objetivo de calificar las señales de aceleración de eventos sísmicos de la estación ubicada en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de la Ciudad de México, a partir de la distribución del primer dígito de cada dato a lo largo de la serie. Se analizan las señales de las dos estaciones que han operado en el sitio: SCT1 y SCT2. Los acelerogramas utilizados fueron obtenidos de sismos cuyas magnitudes y procedencias difieren considerablemente, y se distinguen los eventos que cumplen en su formato original con la Ley de Newcomb-Benford (Ley NB) de los que no lo hacen. Posteriormente, se aplican 12 diferentes combinaciones de corrección de línea base y filtros, con ayuda del software SeismoSignal, y se presenta un procedimiento para demostrar que estas correcciones no siempre resultan en señales de buena calidad, pero a la vez, cuando si lo hacen, la comparación con la Ley NB constituye una forma de elección de la mejor corrección para cada señal. Se introduce el concepto de discrepancia como una medida de evaluación cuantitativa de la calidad de la señal. Este procedimiento es aplicable a diferentes señales de tiempo de fenómenos naturales.

PALABRAS CLAVE: acelerograma, ley de Newcomb-Benford, filtros, sismos, línea base.

ABSTRACT:

In the present work, the studies of Simon Newcomb and Frank Benford, based on the analysis of time signals of natural phenomena, are taken to qualify the signals of acceleration of seismic events of the SCT station of Mexico City, from the distribution of the first digit of each data throughout the series. The signals of the two stations that have operated on the site are analyzed: SCT1 and SCT2, whose magnitudes and origins differ considerably, and the events that comply in their original format with Law NB are distinguished from those that do not. Subsequently, 12 different combinations of baseline correction and filters are applied with the help of the SeismoSignal software, and a procedure is presented to demonstrate that these corrections do not always result in good quality signals, but at the same time, when they do, the Comparison with Law NB constitutes a way of choosing the best correction for each signal. The concept of discrepancy is introduced as a measure of quantitative evaluation of signal quality. This procedure is applicable to different time signals of natural phenomena.

KEYWORDS: accelerogram, Newcomb-Benford law's, filters, earthquakes, baseline.

INTRODUCCIÓN

Los registros de aceleración que aparecen en la página de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes [1] son un insumo importante para la investigación en Ingeniería Sísmica en México, sus valores se han obtenido a partir de los datos almacenados en los equipos que se encuentran instalados en diferentes estaciones en la República Mexicana, principalmente en la Ciudad de México.

La gran variedad de equipos instalados implica señales que no son equivalentes en resolución, lo que dificulta realizar postprocesos de registros con largos intervalos, aún para la misma estación.

La observación directa de una historia de aceleración puede no permitir apreciar si se trata de un registro cuya calidad sea adecuada para su empleo en análisis posteriores, por lo que se utilizan diferentes criterios que permiten considerar este aspecto.

Aunque físicamente la velocidad es la integral de la aceleración, se ha observado que al integrar numéricamente las señales para obtener el registro equivalente a la velocidad o al desplazamiento, hay un corrimiento tal que la señal no termina en cero, como sería de esperarse en el fenómeno real, para el cual la velocidad final necesariamente debe ser cero. Lo anterior debido a causas que tienen que ver con el propio instrumento de medición [2]. El desplazamiento final no necesariamente debe ser cero, como se hace evidente al formarse grietas en el suelo después de un sismo

El procedimiento habitual para corregir este corrimiento consiste en utilizar algoritmos de ajuste de la línea base o la aplicación de filtros para atenuar el ruido [3]. Sin embargo, no existe un parámetro que garantice que después de la aplicación de estos algoritmos la señal es confiable para ser procesada.

Por lo anterior, este trabajo pretende responder a las preguntas ¿es el análisis mediante la Ley NB una herramienta que asegure la calidad de un registro acelerográfico? y ¿Es posible corregir mediante procedimientos estándar un registro acelerográfico que inicialmente no cumple con la ley para que lo haga?

El presente trabajo tiene como objetivos verificar que la Ley NB se puede aplicar a las señales acelerográficas para asegurar la calidad de los registros, y aplicar un procedimiento que pretenda que señales que no cumplen con la Ley se corrijan y tengan un comportamiento satisfactorio.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el siglo XIX el astrónomo Simon Newcomb [4], al observar el desgaste no uniforme de las hojas de las tablas de logaritmos, publicó un artículo en el cual postula que las cantidades producto de observaciones naturales, dado que las tablas eran empleadas por científicos de varias disciplinas, poseían dígitos iniciales que no se distribuyen uniformemente, sino que obedecen a una “ley” logarítmica propuesta por él mismo, en forma de enunciado, “la ley de probabilidad de la ocurrencia de números es tal que las mantisas de sus logaritmos son equiprobables”.

En 1938 Frank Benford publicó otro documento [5], en el que observó que la misma propiedad se presentaba al analizar estadísticamente las frecuencias de 20,229 lecturas de 20 series procedentes de campos tan diferentes como cantidad de habitantes en las poblaciones, longitudes de ríos, estadísticas de béisbol, domicilios, etc. Su conclusión es que esta ley aplica particularmente a aquellas series en las que los números no tienen una relación aparente. Esta afirmación abre dos posibilidades: que la ley sea aplicable a números aleatorios, o bien, a dígitos con un orden implícito, aunque no evidente. Por estas dos contribuciones a esta particularidad de los primeros dígitos se le denomina Ley de Newcomb-Benford (NB).

La aplicabilidad de la Ley NB en registros sísmicos, así como la diferencia que se presenta en series sustitutas, deterministas o aleatorias fue utilizada por Villagrán *et. al.* [6] y ha sido demostrada ampliamente en el análisis de fenómenos naturales, esto es, sin más intervención humana que la medición. Por otra parte, cuando los datos poseen algún tipo de participación social, como pueden ser los procesos electorales, los indicadores pueden no ajustarse a la Ley como lo muestra Gonzalo Castañeda [7].

La Ley NB es de escala invariante, esto es, que no importa las unidades de los datos o si éstos se transforman a otro sistema [8], o bien, si sus magnitudes son grandes o pequeñas, por lo que, en nuestro caso, no es relevante que las unidades de los acelerogramas estén definidas en gales ($1\text{gal} = 1\text{cm/s.}$) o porcentajes de . (aceleración gravitacional estándar).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se consultó la página de la Red Acelerográfica del Instituto de Ingeniería de la UNAM-Base de datos de registro [1], y como sitio icónico a partir de septiembre de 1985, se seleccionaron las estaciones SCT1 y SCT2, con todos los registros reportados hasta diciembre de 2017 (20 y 53 eventos, respectivamente).

Se procesaron los registros utilizando un algoritmo para determinar si cumplen o no con la ley NB.

A todos los registros se les aplicaron 12 combinaciones entre corrección de línea base y distintas opciones de filtro, mediante el software SeismoSignal [9], para que cumplieran con que la velocidad final fuera muy cercana a cero. Una vez identificada la combinación con la que cada registro cumple con los criterios anteriores se construyó una tabla resumen con los parámetros de filtrado utilizados. Posteriormente se realizó una segunda revisión y se reclasificaron los registros, separando a los que cumplieron de los que no. Finalmente se integraron los resultados encontrados y se presentan las conclusiones obtenidas.

Los datos sísmicos fueron proporcionados por la Red Acelerográfica del Instituto de Ingeniería [1], producto de las labores de instrumentación y procesamiento de la Unidad de Instrumentación Sísmica. Los datos son distribuidos a través del Sistema de Base de Datos Acelerográficos en web: <http://aplicaciones.iingen.unam.mx/AcelerogramasRSM/>.

Entre ellos se identificaron las diversas fuentes de origen, las Figuras 1 y 2 muestran la ubicación geográfica de los epicentros correspondientes a los registros considerados en el análisis para las estaciones SCT1 y SCT2, respectivamente. Al mismo tiempo, las Tablas 1 y 2 presentan los datos que corresponden a los acelerogramas, incluyendo su fecha, hora universal, distintas magnitudes, aceleración máxima en cm/s. y el nombre del registro.

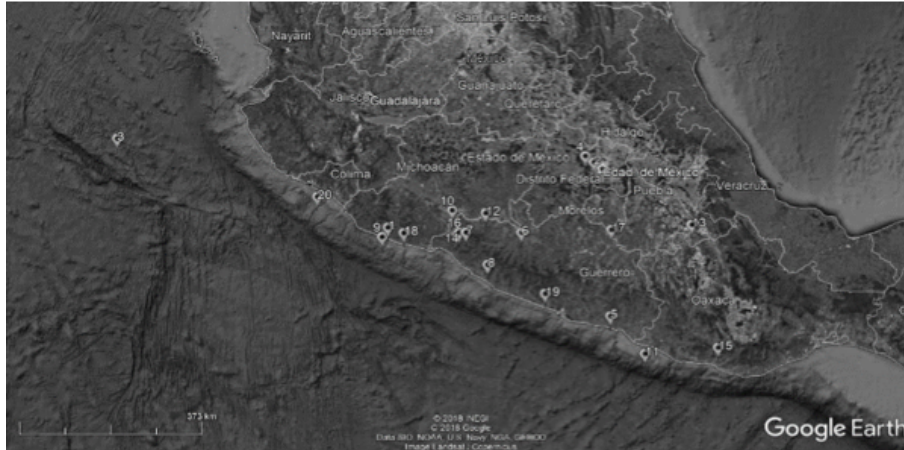


FIGURA 1

Ubicación de los epicentros de los sismos registrados por la estación SCT1 del año 1985 al 2003 [10]

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los tres canales que reporta cada estación, se eligió aquél que contuviera la mayor aceleración en valor absoluto, en todos los casos se trató de aceleraciones horizontales.

Para cada registro se identificó el primer dígito significativo de cada lectura y se contabilizó el número de veces en que coincidía con alguno de los primeros nueve números naturales. El número de veces de cada dígito entre el total de lecturas proporciona el porcentaje de dicho primer dígito con respecto al total. Posteriormente se graficaron los dígitos del 1 al 9 en el eje de las abscisas y el porcentaje de cada primer dígito en las ordenadas, simultáneamente con la probabilidad de ocurrencia de Benford (Ecuación 1).

$$F_a = \log_{10} \left(\frac{a + 1}{a} \right)$$

Donde F_a es la probabilidad de ocurrencia del dígito . en la primera posición de los números de la serie.



FIGURA 2

Ubicación de los epicentros de los sismos registrados por la estación SCT2 del año 1989 al 2017 [10]

TABLA 1

Registros obtenidos de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes para la estación SCT1 (Se encuentra en UTC se indica la mayor magnitud y cm/s)

No.	Fecha Sismo	Hora Sismo (UT C)	Mag	Acel. máx (cm/s ²)	Archivo
1	19/09/1985	13:17:42	Mc= 8.1	161.63	SCT18509.191
2	02/12/1985	17:10:09	Mc= 3	8.49	SCT18512.021
3	04/01/1986	23:31:14	Ms= 5.4	10.08	SCT18601.041
4	05/01/1986	10:37:14	Mc= 3.5	8.19	SCT18601.051
5	24/10/1993	07:52:18	Ms= 6.6	10.53	SCT19310.241
6	23/05/1994	01:41:46	Mc= 5.6	5.98	SCT19405.231
7	10/12/1994	16:17:40	Mc= 6.3	13.88	SCT19412.101
8	15/07/1996	21:23:38	Ms= 6.5	7.17	SCT19607.151
9	11/01/1997	20:28:27	Me= 7.3	12.03	SCT19701.111
10	22/05/1997	07:50:55	Ms= 6	4.41	SCT19705.221
11	19/07/1997	14:22:04	Ms= 6.3	3.28	SCT19707.191
12	20/04/1998	22:59:17	Mb= 5.9	3.14	SCT19804.201
13	15/06/1999	20:42:07	Me= 7	31.34	SCT19906.151
14	21/06/1999	17:43:05	Me= 6.2	5.42	SCT19906.211
15	30/09/1999	16:31:14	Me= 7.6	36.38	SCT19909.301
16	29/12/1999	05:19:46	Mb= 6.1	4.84	SCT19912.291
17	21/07/2000	06:13:39	Me= 6	21.65	SCT10007.211
18	09/08/2000	11:41:47	Me= 7	8.61	SCT10008.091
19	08/10/2001	03:39:19	Me= 6.1	5.98	SCT10110.081
20	27/01/2003	07:06:34	Me= 7.6	73.5	SCT10301.271

Ya desde el artículo original de Benford [5] se infiere que la distribución de probabilidad no es una ley en el sentido estricto, pero sí marca una tendencia muy clara, por lo que en el análisis se utilizaron tres criterios:

1. Criterio de semejanza, 100 % visual,
2. Que la cantidad de veces que se repite cada dígito vaya decreciendo conforme avanzan los dígitos.
3. Criterio de discrepancia, que se explica más adelante.

La Figura 3 presenta la comparación de diferentes registros sísmicos con la ley NB, en las figuras a) y b) se observan registros cuya tendencia coincide satisfactoriamente, mientras que en las figuras c) y d) las discrepancias son evidentes. La observación de los registros por sí solos no proporciona información suficiente como para apreciar esta diferencia.

TABLA 2
Registros obtenidos de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes para la estación SCT2 (Se encuentra en UTC y cm/s²).

No.	Fecha Sismo	Hora Sismo	Mag	Acel máx (cm/s ²)	Archivo
1	25/04/1989	14:29:00	M=6.9	39.98	SCT28904.251
2	11/05/1990	23:43:49	Mb=5.3	4.79	SCT29005.111
3	31/05/1990	07:35:26	M=5.9	8.13	SCT29005.311
4	16/11/1990	22:27:52	M=3.9	8.37	SCT29011.161
5	24/10/1993	07:52:18	M=6.6	11.45	SCT29310.241
6	23/05/1994	01:41:46	M=5.6	7.3	SCT29405.231
7	10/12/1994	16:17:40	M=6.3	15.26	SCT29412.101
8	14/09/1995	14:04:30	M=7.3	32.21	SCT29509.141
9	09/10/1995	15:35:51	M=7.5	10.7	SCT29510.091
10	25/02/1996	03:08:13	M=6.9	6.66	SCT29602.251
11	25/02/1996	14:27:24	M=5.3	3.09	SCT29602.252
12	15/07/1996	21:23:38	M=6.5	6.59	SCT29607.151
13	03/02/1998	03:02:01	M=6.4	4.61	SCT29802.031
14	15/06/1999	20:42:07	M=7	30.18	SCT29906.151
15	21/06/1999	17:43:05	M=6.2	5.46	SCT29906.211
16	30/09/1999	16:31:14	M=7.6	35.45	SCT29909.301
17	21/07/2000	06:13:39	M=6	21.23	SCT20007.211
18	08/10/2001	03:39:19	M=6.1	5.71	SCT20110.081
19	22/01/2003	02:06:34	M=7.6	21.92	SCT20301.221
20	01/01/2004	23:31:49	M=6.3	5.43	SCT20401.011
21	11/08/2006	14:30:41	M=5.9	4.56	SCT20608.111
22	13/08/2006	15:14:26	M=5.1	0.4	SCT20608.131
23	13/04/2007	05:42:22	M=6.3	11.63	SCT20704.131
24	13/04/2007	08:43:50	M=5.4	4.64	SCT20704.132
25	06/11/2007	06:35:42	M=5.6	2.44	SCT20711.061
26	12/02/2008	12:50:18	M=6.6	4.18	SCT20802.121
27	27/03/2009	08:48:16	M=5.3	2.07	SCT20903.271
28	27/04/2009	16:46:27	M=5.7	6.79	SCT20904.271
29	22/05/2009	19:24:18	M=5.7	10.96	SCT20905.221
30	26/04/2011	11:07:28	M=5.5	2.11	SCT21104.261
31	05/05/2011	13:24:07	M=5.5	3.28	SCT21105.051
32	11/12/2011	01:47:25	M=6.5	21.72	SCT21112.111
33	20/03/2012	18:02:47	M=7.4	36.99	SCT21203.201
34	02/04/2012	17:36:42	M=6	8.67	SCT21204.021
35	11/04/2012	22:55:10	M=6.4	5.58	SCT21204.111
36	13/04/2012	10:10:03	M=5.2	2.05	SCT21204.131
37	15/11/2012	09:20:22	M=6.1	6.06	SCT21211.151
38	05/04/2013	01:58:48	M=5.3	2.86	SCT21304.051
39	12/04/2013	03:45:09	M=5.2	2.31	SCT21304.121
40	22/04/2013	01:16:34	M=5.8	5.54	SCT21304.221
41	16/06/2013	05:19:03	M=5.8	31.72	SCT21306.161
42	16/08/2013	15:32:59	M=5.1	2.8	SCT21308.161
43	21/08/2013	12:38:30	M=6	11.05	SCT21308.211
44	18/04/2014	14:27:23	M=7.2	34.11	SCT21404.181
45	08/05/2014	17:00:16	M=6.4	22.91	SCT21405.081
46	29/07/2014	10:46:14	M=6.4	3.51	SCT21407.291
47	30/09/2015	17:25:55	M=5.5	3.05	SCT21509.301
48	23/11/2015	20:41:20	M=5.6	3.78	SCT21511.231
49	10/04/2016	07:11:21	M=5.4	0.95	SCT21604.101
50	08/05/2016	07:33:59	M=6	3.71	SCT21605.081
51	27/06/2016	20:50:33	M=5.7	3.43	SCT21606.271
52	08/09/2017	04:49:17	M=8.2	25.36	SCT21709.081
53	19/09/2017	18:14:40	M=7.1	91.68	SCT21709.191

La Figura 4 presenta las gráficas de aceleración, velocidad y desplazamiento correspondientes a un canal de un registro acelerográfico, antes de aplicar filtros. Como se aprecia, la velocidad al final del registro no es cero, por lo que se precisa realizar correcciones que ayuden a que la señal cumpla con esta condición física necesaria. Entre los registros analizados se observó que la cantidad de decimales con que cuentan varía en función del equipo que los registró. Para los registros obtenidos en la estación SCT1 se encontró que la cantidad de decimales era únicamente de dos, puesto que el equipo DCA-333 cuenta con una resolución de 12 bits, mientras que los registros más recientes de SCT2 corresponden a equipos IDS y K2, cuya resolución es de 16 y 18 bits respectivamente, lo que permite definir la señal hasta cuatro decimales [11]. Además de la resolución de los equipos, la duración de los registros varía también en función de los modelos, ya que los DCA permitían registrar con un preevento de 4 s y un postevento de 14 s, mientras que los equipos IDS y K2 permiten programar preeventos y posteventos que llegan hasta 60 s. Lo anterior, puede provocar el truncamiento de las señales más antiguas en el final del registro (aceleración diferente de cero). Como consecuencia de ello las velocidades finales al calcularse matemáticamente no concluyen en cero y, por lo tanto, el desplazamiento tiende a crecer o decrecer indefinidamente.

A las señales seleccionadas se les realizaron 12 combinaciones de correcciones de línea base (constante, lineal, cuadrática y cúbica) con tres opciones de filtro pasabanda (Butterworth, Chebyshev y Bessel). Para cada combinación se revisó nuevamente el cumplimiento de la ley NB y se distinguieron los registros que la cumplían de aquellos que no, destacando la combinación con la que la cumplieran mejor.

La Tabla 3 presenta las combinaciones aplicadas a los registros de la estación SCT1, donde los símbolos indican aquellos filtros con los que la señal cumple con la ley NB.

La Tabla 4 presenta condiciones similares a la tabla 3, para los registros de la estación SCT2.

De las Tablas 3 y 4 es posible apreciar que no existe una combinación que sea aplicable a todos los registros para hacerlos cumplir con la Ley NB, aun tratándose de la misma estación, lo que se observa porque en ninguna columna aparecen sólo símbolos de #.

Para algunos registros, aparentemente, es indistinta la combinación a aplicarse para cumplir con la Ley, sin embargo, no son equivalentes como lo muestra la Figura 5.

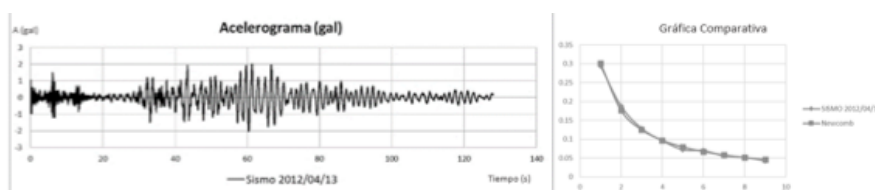


FIGURA 3. A)
Acelerogramas y su correspondiente comparación contra NB.

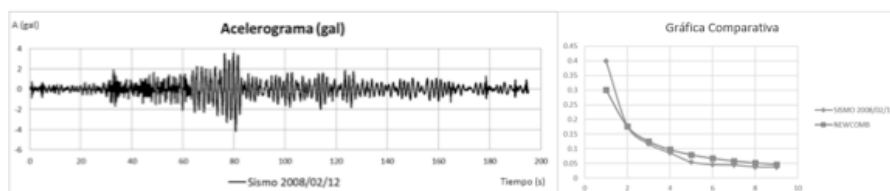


FIGURA 3. B)
Acelerogramas y su correspondiente comparación contra NB.

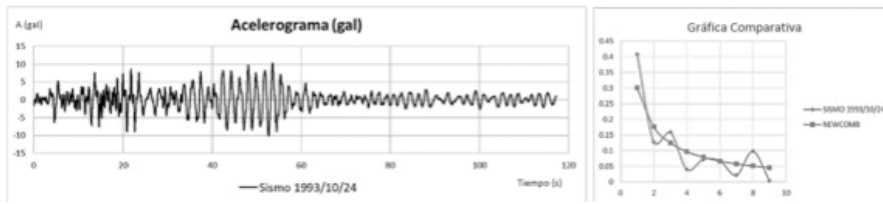


FIGURA 3. C)
Acelerogramas y su correspondiente comparación contra NB.

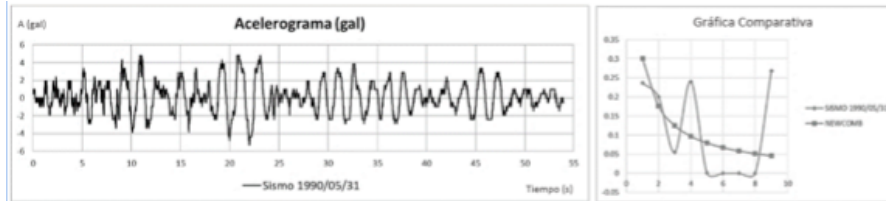


FIGURA 3
Acelerogramas y su correspondiente comparación contra NB.

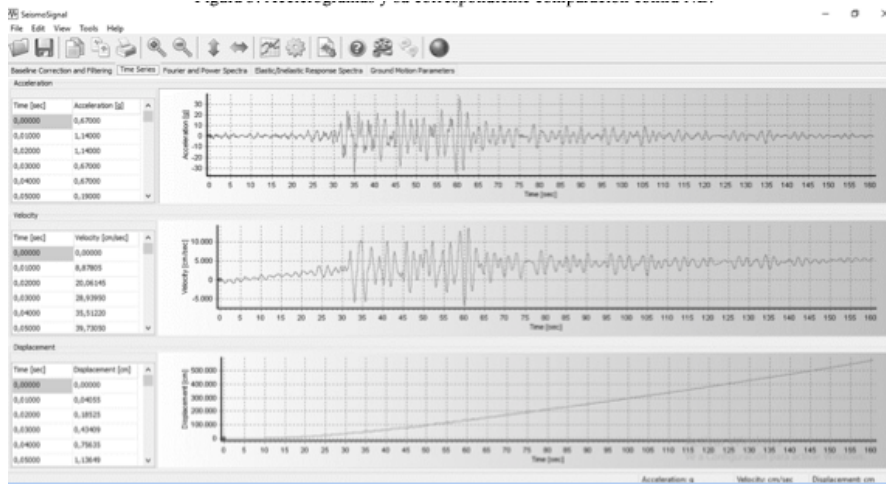


FIGURA 4
Aceleración, velocidad y desplazamiento para un canal a partir de un registro acelerográfico [9].

TABLA 3
 Correcciones aplicadas a los registros de la estación SCT1
 (C – Constante, L – Lineal, 2 – Cuadrático y 3 – Cúbico).

No. de registro	Tipo de filtro											
	Bessel				Chebyshev				Butterwoth			
	Tipo de polinomio para la Corrección de Línea Base											
	C	L	2	3	C	L	2	3	C	L	2	3
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	x	✓	x	✓	x	x	✓	✓	x	X	x	x
3	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x
4	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
12	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
17	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x
19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
20	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓

TABLA 4
Correcciones aplicadas a los registros de la estación SCT2.

Disc =	Tipo de filtro											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.1	Bessel			Chebyshev				Butterworth				
No.	Tipo de polinomio utilizado para la Corrección de Línea Base											
Reg	Ce	L	2	3	Ce	L	2	3	Ce	L	2	3
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
13	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	x	x	x	x
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
19	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x
20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
23	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
24	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
25	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
26	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
27	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
28	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
29	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
30	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
31	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
32	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
33	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
34	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
35	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
36	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
37	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
38	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
39	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
42	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x
43	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
44	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
46	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
47	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
48	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
49	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
50	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
51	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
52	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
53	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Desde el punto de vista de los autores, la mejor opción de corrección para este registro es alguna de las dos últimas de la figura 5c).

Un criterio menos subjetivo consiste en calcular un valor de “discrepancia” con respecto a los valores esperados de acuerdo con la Ley NB. Se calcula el porcentaje de discrepancia de cada dígito y la suma de todos éstos es lo que se presenta como valor. La tabla 4 presenta los registros que después de ser sometidos a los procesos de filtrado y corrección de línea base cumplieron con la Ley NB con una discrepancia menor o igual al 10 %. Se puede decir que cuánto más se relaja este valor un mayor número de registros cumplen con la Ley.

Por otra parte, se observa de las tablas 3 y 4 que existen algunos registros para los cuales ninguna combinación de corrección satisface la Ley NB. Nuevamente, desde nuestro punto de vista, estos registros deberían considerarse “anómalos”, por lo que no se recomienda su uso para análisis posteriores.

Tal es el caso del registro 16 de la estación SCT1, como se observa en la figura 6. Se presentan solamente las gráficas de forma ilustrativa, ya que para las distintas opciones de corrección de línea base con cada filtro, las gráficas son muy similares.

Aún después de procesar las señales puede continuar la incertidumbre acerca de la calidad original del registro, por lo que la Ley NB resulta nuevamente un instrumento que puede ayudar a definir si la señal puede ser utilizada para otros análisis o es preferible no utilizarla.

CONCLUSIONES

Se presenta un procedimiento para calificar la calidad de los registros acelerográficos mediante el uso de la Ley NB. La visualización de los acelerogramas como historias de tiempo, permite determinar en forma inmediata la calidad de la señal, si se cuenta con experiencia en el manejo de este tipo de información, sin embargo, la Ley NB puede ser una herramienta de análisis adicional que permitirá revisar los datos en forma rápida y verificar si los datos del registro cumplen con ella y, en caso de no hacerlo este puede ser un indicio de la posible existencia de anomalías.

Después de aplicar la corrección de la línea base y algún método de filtrado, no se tiene la certeza de que la señal obtenida haya corregido las posibles anomalías, por lo que al aplicar nuevamente la comparación con la distribución de la Ley NB es posible no sólo esta verificación, sino la selección de la combinación más adecuada para cada señal.

El criterio de discrepancia permite al usuario establecer la tolerancia que desea con respecto a la calidad de la señal a partir del parámetro definido.

Filtro + Línea Base: Bessel + Pasabanda

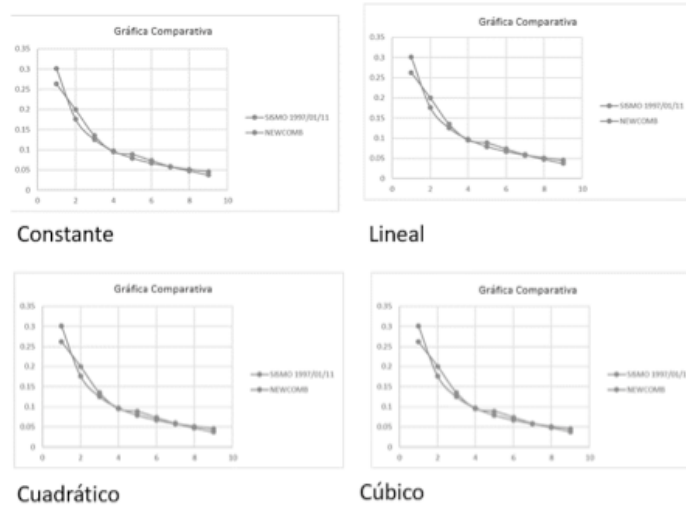


FIGURA 5.- A)

Comparación de las señales corregidas para el registro 9 de la estación SCT1 contra la Ley NB. A) Aplicación del filtro de Bessel con las cuatro correcciones de línea base, b) Con el filtro de Butterworth y c) Con el filtro de Chebyshev.

Filtro + Línea Base: Butterworth + Pasabanda

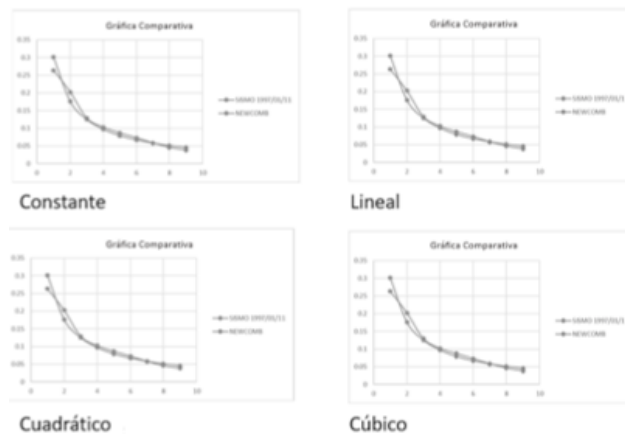


FIGURA 5.- B)

Comparación de las señales corregidas para el registro 9 de la estación SCT1 contra la Ley NB. A) Aplicación del filtro de Bessel con las cuatro correcciones de línea base, b) Con el filtro de Butterworth y c) Con el filtro de Chebyshev.

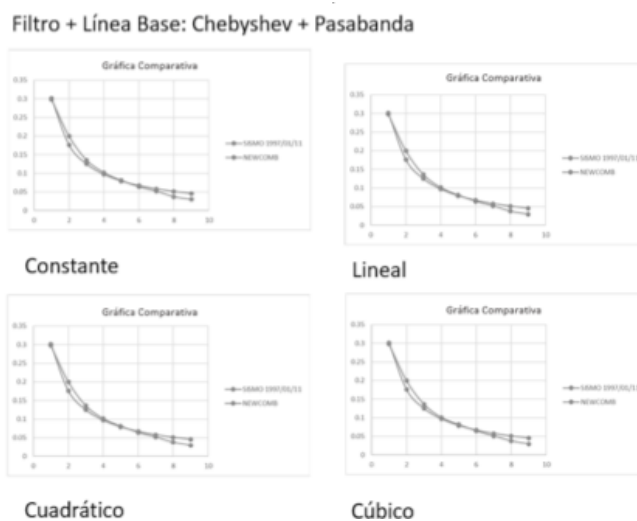


FIGURA 5.- C)

Comparación de las señales corregidas para el registro 9 de la estación SCT1 contra la Ley NB. A) Aplicación del filtro de Bessel con las cuatro correcciones de línea base, b) Con el filtro de Butterworth y c) Con el filtro de Chebyshev.

Cuando un registro no cumpla con la Ley NB, incluso después de aplicarle correcciones, se recomienda realizar una inspección meticulosa de la señal, en el dominio del tiempo, con el propósito de identificar posibles fuentes anómalas y que pueden ser eliminadas en forma sencilla. Si después de lo anterior, la señal sigue sin cumplir con la Ley NB se recomienda no utilizarla en futuros análisis.

Dadas las características de aplicabilidad de la Ley NB a señales de tiempo obtenidas a partir de fenómenos naturales, este procedimiento es útil para analizar la calidad de otros tipos de registros.

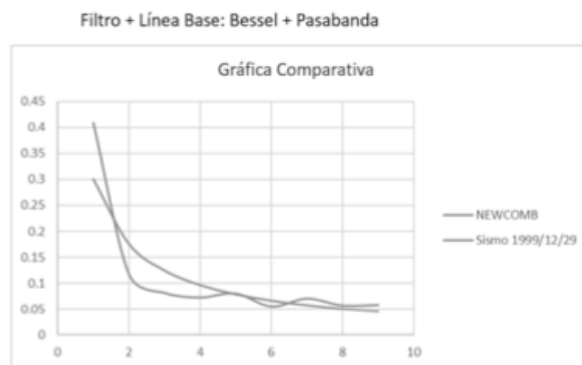


FIGURA 6.- A)

Comparación de las señales corregidas para el registro 16 de la estación SCT1 contra la Ley NB. A) Aplicación del filtro de Bessel, b) Con el filtro de Butterworth y c) Con el filtro de Chebyshev.

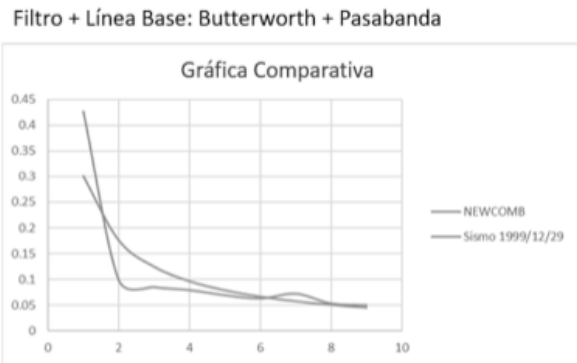


FIGURA 6.- B)

Comparación de las señales corregidas para el registro 16 de la estación SCT1 contra la Ley NB.
 A) Aplicación del filtro de Bessel, b) Con el filtro de Butterworth y c) Con el filtro de Chebyshev.

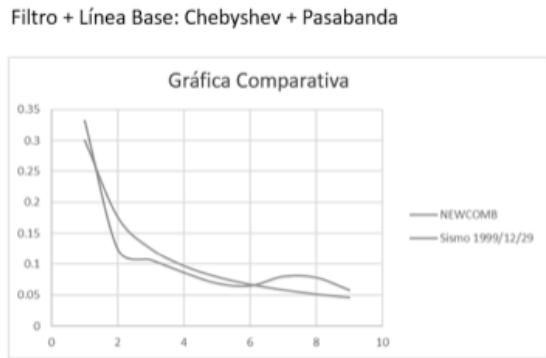


FIGURA 6.- C)

Comparación de las señales corregidas para el registro 16 de la estación SCT1 contra la Ley NB.
 A) Aplicación del filtro de Bessel, b) Con el filtro de Butterworth y c) Con el filtro de Chebyshev.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa SeismoSoft por otorgar la licencia académica para el uso del software SeismoSignal, con el que se realizaron los procedimientos de corrección de línea base y aplicación de filtros digitales a todas las señales. También se extiende un reconocimiento a la Unidad de Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería de la UNAM por las actividades de operación y mantenimiento que desarrolla para la obtención de los registros sísmicos.

The authors wish to express their gratitude the SeismoSoft company for give us the academic license authorization for the use of the SeismoSignal software, with which the baseline correction procedures and application of digital filters were carried out for all signals. Recognition also extends to the Seismic Instrumentation Unit of the Engineering Institute of the UNAM for the operation and maintenance activities it develops to obtain seismic records.

REFERENCIAS

- [1] II-UNAM (2019) Base de datos de registros acelerográficos de la RAII-UNAM, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 2019. Recuperado el 15 de junio de 2018 de: <http://aplicaciones.iingen.unam.mx/AcelerogramasRSM/Consultas/FiltroAv.aspx>.

- [2] Hu Guorui y Lu Tao. (2015) "Review on Baseline Correction of Strong-Motion Accelerogram. International Journal of Science", Technology and Society. Vol. 3, No. 6, 2015, pp. 309-314. Doi: 10.11648/j.ijsts.20150306.16.
- [3] Trifunac, M. D. (1971) "Zero Baseline Correction of Strong-Motion Accelerograms", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1201-1211. October, 1971. Recuperado el 13 de noviembre de 2018 de: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/61/5/1201/116920/zero-baseline-correction-of-strong-motion?redirectedFrom=fulltext>.
- [4] Newcomb, S. (1881) "Note on the Frequency of Use of the Different Digits in Natural Numbers", American Journal of Mathematics, Vol. 4, No. ¼, pp. 39-40. Recuperado el 20 de febrero de 2019 de: https://www.jstor.org/stable/2369148?seq=1#metadata_info_tab_contents, American Journal of Mathematics is currently published by The Johns Hopkins University Press.
- [5] Benford, F. (1938) "The Law of Anomalous Numbers, Proceedings of the American Philosophical Society", Vol. 78, No. 4, Marzo 31, 1938, pp. 551-572, publicado por American Philosophical Society, recuperado el 1 de abril de 2016 de: <http://www.jstor.org/stable/984802>.
- [6] Villagrán A., E. I., Posada S., A. E., Escobar S., J. A. (2011) "Caracterización de Acelerogramas como Series de Tiempo Caóticas". Memorias del XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Noviembre de 2011, Aguascalientes, México.
- [7] Castañeda, G. (2011) "La ley de Benford y su aplicabilidad en el análisis forense de resultados electorales", Política y Gobierno, Volumen XVIII, Número 2, II semestre de 2011, pp. 297-329, México, Enero de 2011, ISSN-1665-2037.
- [8] Hill, T. P. (1995). "The Significant-Digit Phenomenon", The American Mathematical Monthly, Vol. 102, Abril de 1995, p. 322 – 327, recuperado el 8 de marzo de 2019 de: <http://works.bepress.com/tphill/31/>.
- [9] SeismoSoft (2016) SeismoSignal, Versión 2016, Obtenido de: <http://www.seismosoft.com> con licencia académica.
- [10] Google LLC (2018) Mapa de México en Google Earth, elaborado el 12 de octubre de 2018.
- [11] Alcántara N., L., Torres N., M., González-Pomposo, G. J., Ayala H., M., Almora M., D., García Sánchez, F., Posada S., A. E., López-Pimentel, J. M., Macías C., M. A., Morales R., G., Ruiz G., A. L., Flores A., M., Vázquez L., R., Vázquez M., E. y Jiménez B., J. (2008) La red de Acelerógrafos de la Ciudad de Puebla, Informe de actividades de 2004 a 2007, Reporte: RACP-II/BUAP-09, Proyecto 1578, Junio 2008, México, D.F.