
SEGUNDA PARTE

ADVERTENCIA

Como siempre sucede en el caso de un megasismo, su estudio principia por las observaciones sismográficas que se hacen en las estaciones de la Red Sismológica, de tal manera, que siguiendo un orden cronológico esas observaciones deberían figurar en la primera parte de la Memoria; pero para describir el fenómeno sísmico en la forma más completa, de tal manera que el conjunto de él y sus características más notables no se perdieran en detalles y accidentes, pensamos en que la forma mejor ajustada al orden sería anteponer los datos recogidos en el campo por la comisión que visitó en primer lugar la zona megasísmica del Estado de Veracruz; y dar en seguida los datos instrumentales que contiene el informe del señor inspector de la Red Sismológica que formó parte de la comisión y las observaciones del jefe de la Estación Sismológica Central. A continuación se expone el estudio sismográfico completo, utilizando las indicaciones de los sismógrafos de la Red Nacional y los datos de algunas estaciones extranjeras. Las pequeñas diferencias que puedan notarse entre las observaciones sismográficas del primer momento, y las que se consignan en el estudio posterior no indican discrepancias censurables; por el contrario, son la mejor prueba de la unidad de acción e independencia de criterio con que se han realizado; y demuestran simplemente que al verificarse el estudio sismográfico se tenían a la vista los datos geológicos, tectónicos y macrosísmicos de la región estremecida y los sismográficos de un número mayor de estaciones. Por lo tanto, el trabajo era más fácil, se podían enlazar, y discutir las observaciones y discernir su importancia con mejores juicios. Así es que el criterio final ha sido más amplio y a la vez más concreto que en los primeros momentos de la catástrofe. En resumen, no hay contradicciones ni repeticiones inútiles al presentar en esta forma la segunda parte de la Memoria, sólo existe una comprobación provechosa de los datos obtenidos, lo que está de acuerdo con el proceder de todas las ciencias de observación, que ensanchan su criterio y establecen conclusiones con el acopio de datos.

I

Informe que sobre los fenómenos sísmicos del 3 de enero de 1920, rinde el inspector de la red sismológica

La noche del 3 de enero último, los sismógrafos de la Estación Sismológica Central, registraron varios temblores, siendo el de mayor intensidad el que principió a las 9 h., 48 m. 03 s. (tiempo medio de Tacubaya) y que fué sentido por todas o casi todas las personas, pues su intensidad alcanzó en México, el grado IV de la escala absoluta de Cancani.

En atención a que actualmente la Red Sismológica Nacional ha pasado por una crisis, bien lamentable por cierto, varias de sus estaciones han dejado de funcionar, pues las de Mérida, Zacatecas, Monterrey y Guadalajara hace tiempo que quedaron fuera de servicio; únicamente las de Mazatlán y Oaxaca trabajaban, aunque de manera deficiente. Por este motivo, en los temblores de que se ocupa el presente estudio, fué muy difícil situar, desde luego, la porción epicentral. La dirección del Instituto Geológico trata de reorganizar a la mayor brevedad la Red Sismológica y crear algunas estaciones más, que permitan hacer el estudio completo de aquellos temblores que tienen lugar en territorio nacional. Así, los fenómenos del día 3 de enero habrían sido observados ventajosamente, si en las ciudades de Puebla y Veracruz, por ejemplo, se hubiera dispuesto de estaciones sismológicas, pues en estos lugares la intensidad de los movimientos no habría causado ningún desperfecto en los instrumentos y, por lo tanto, las fases de los temblores habrían sido registradas con toda claridad, permitiendo localizar el foco con precisión; estas estaciones vendrían a aumentar el campo de acción de la red actual.

La catástrofe del 3 de enero nos ha venido a recordar una vez más la necesidad de legislar prohibiendo cierta clase de construcciones que ponen en peligro la vida de sus moradores y la pérdida de capitales; y además, la importancia de que se establezcan en el país estaciones sismológicas en número suficiente y condiciones determinadas, divulgando los conocimientos sobre la ciencia sismológica, a fin de evitar, o por lo menos disminuir los efectos de los terremotos. Los gastos que estos estudios demanden no deben conceptuarse como perdidos, pues para saber dónde es de esperarse que se produzcan temblores, y por lo mismo, prevenir a los habitantes de las regiones afectadas, hay necesidad de hacer observaciones sistemáticas y continuas, dotando al país de una red completa.

De gran utilidad habrían sido los datos que suministraran personas de criterio, respecto de los temblores del 3 de enero en las regiones afectadas; pero desgraciadamente esta ha sido una de las veces en que se han alterado más las noticias, imprimiendo a los acontecimientos un giro fantástico y dando proporciones a la catástrofe, que afortunadamente no tuvo. Aquí debemos hacer mención del sinnúmero de falsedades asentadas en todos los diarios de la metrópoli.

Para evitar toda alteración en las noticias que provienen de las poblaciones en que tiembla con frecuencia, podría crearse una especie de policía sismológica, así como la hay minera, encomendando a personas de cierta ilustración y de buen criterio, la adquisición de los datos, siempre que un fenómeno sísmico tuviera lugar, para lo cual se dividiría la población en cuarteles, teniendo el jefe de cada uno la obligación de formar estadísticas, dar avisos, noticias, etc. Esto sería de gran interés para el estudio de la sismología, cuyo campo bien yermo aún se encuentra en nuestro país.

Nuestras observaciones instrumentales las hicimos en Jalapa con un sismógrafo vertical de Wiechert de 80 kilogramos de masa, instalado provisionalmente en la Escuela Industrial de Señoritas. Dicho instrumento era el único en disponibilidad, habiendo sido indispensable uno horizontal para el estudio completo de los movimientos.

2.—LOS CHOQUES PREMONITORES

En algunos puntos del Estado de Veracruz aseguran haber sentido un temblor el día 2 de noviembre del año próximo pasado; y como en la Estación Sismológica Central registraron los sismógrafos varios movimientos en ese día, pudieran tomarse como choques premonitores, es decir, como la iniciación de la serie de movimientos, de los cuales fué el más importante el del día 3 de enero de 1920.

Algunos de estos movimientos discrepan un poco en la distancia que se ha calculado para el temblor principal, distancia que es de 234 kilómetros de la Estación Central al epifoco; y ha habido, además, un intervalo de tiempo considerable entre la presentación de aquellos choques y la del terremoto principal. Fuera del movimiento que se anota en el cuadro adjunto en primer término, y que por el carácter con que se registró en el sísmógrafo de 17,000 kilogramos de masa de la Estación Central, pudo haber sido sentido en la zona conmovida por el del día 3 de enero, los demás, podemos afirmar, han sido únicamente instrumentales.

Fecha	Instrumento	Carácter	P.	L.	M.	C.	Fin	Km.
Nbre. 2	17,000 K. NS.	III _v	1.40.59	1.41.30	1.41.33	1.42.38	1.46.38	264
" "	" " "	I _v	2.14.15	2.15.16	.....	2.15.56	2.17.08	264
" "	" " "	I _v	3.00.33	3.01.04	3.01.18	3.01.54	3.04.54	271
" "	" " "	I _v	3.45.36	3.46.06	.....	3.46.44	3.48.44	264
" 5	" " "	I _v	13.51.58	13.52.26	13.52.30	13.52.54	13.53.47	234
" 14	" " "	III _v	6.39.42	6.40.15	.....	.....	.....	271

Las fases de estos temblores están dadas en tiempo medio de Greenwich, según lo convenido en la Asociación Internacional de Sismología.

Con frecuencia los grandes temblores son precedidos de ligeros movimientos llamados choques premonitores, interesantes, porque ellos, como los choques subsecuentes, pueden en varias ocasiones servirnos para comprobar la distancia del foco, darnos cuenta de la actividad, etc. En muchos casos el temblor principal se presenta desde luego, y a veces las sacudidas principales son varias, sin que haya choques premonitores.

En mi concepto, los temblores anotados en el cuadro anterior y que he llamado premonitores, no satisfacen del todo para considerarlos como tales, pero el hecho de haberse sentido, como antes queda enunciado, un temblor en Jalapa y en otras localidades del Estado de Veracruz el día 2 de noviembre de 1919, me ha hecho consignarlos en esta parte del trabajo. El único temblor que tiene una distancia igual a la encontrada para el del 3 de enero, es el registrado el día 5 de noviembre a las 13 h., 51 m., 08 s., tiempo de Greenwich. Los demás tienen una diferencia con la distancia anterior, que es de 234 kilómetros, de 30 y 37 kilómetros.

En los sísmógrafos de la Estación Sismológica de Oaxaca, 5 m. antes del temblor se registró un microsismo, pero como las fases están mal definidas, no se puede comprobar si fué del mismo foco del temblor principal.

3.—HORA DEL TEMBLOR

Ya queda dicho al principio de este trabajo que los sísmógrafos de la Estación Central registraron el temblor principal a las 9 h., 48 m., 0.3 s., único dato que debemos considerar como exacto, ya que el tiempo marcado en los instrumentos lo da el Observatorio Astronómico a cuyos cronómetros sincronizados se les aplica la corrección debida. Los datos ministrados por la Estación Sismológica de Oaxaca, siempre han tenido una diferencia en tiempo muy notable; y la Estación de Mazatlán pocas son las veces que proporciona datos para el estudio de los temblores del país, pues generalmente sus registros son de temblores lejanos que llegan a nuestras costas por el Pacífico.

La falta de cuidado para corregir los relojes en ciertas ciudades de

importancia, ha sido causa de que se tropiece con dificultades en los cálculos del tiempo. Así, en Jalapa, según manifiestan varias personas de la localidad, la hora en que sintieron el temblor principal, varía entre las 9.45 y las 9.52. El hecho de estar situada esta ciudad aproximadamente a 40 kilómetros del foco, nos da derecho a considerar que allí el temblor debe haberse sentido pocos momentos antes de las 9.48 03, hora del registro en Tacubaya, y que se debe tener como hora exacta. Esta, referida a tiempo de Greenwich, corresponde a las 4 h., 24 m., 50 s. Hecha la determinación de la fase "CERO," es decir, el momento preciso en que el temblor se verificó en el epifoco, nos dió la siguiente hora: 4 h., 24 m., 16 s. en tiempo medio de Greenwich. Tacubaya tiene una diferencia en tiempo con Greenwich, de 6 h., 36 m., 47 s.

El estudio de estos registros puede verse en el adjunto informe que rinde el señor ingeniero Francisco Patiño y Ordaz, jefe de la Estación Sismológica Central:

"Tacubaya, 21 de enero de 1920.—Sr. Director del Instituto Geológico. —México.—Tengo el honor de remitir a usted el registro que formé con el estudio de los temblores registrados en la Estación Central, la noche del día 3 del presente y la mañana del día 4, no habiéndose registrado después ningún movimiento; así como una noticia formada con los telegramas llegados a la oficina de las distintas poblaciones en las que se sintió el fenómeno.

El temblor principal o inicial se verificó a las 9 h., 48 m., 03 s., p. m. (tiempo medio de Tacubaya) y fué registrado por todos los instrumentos de la estación que estaban en funcionamiento; siguiendo después una serie de movimientos, repeticiones del anterior, de menor intensidad.

En el sismógrafo de 17 toneladas, únicamente se obtuvo la fase inicial del temblor, no habiéndose registrado las otras fases por haberse caído los estiletos.

Por el examen atento de los diagramas del referido temblor, se ve que es del tipo impetuoso o explosivo, notándose con toda claridad una desviación del estilete en ambas componentes, hacia el Norte y hacia el Este en las tiras del sismógrafo de 17 toneladas y con semiamplitudes de 6 y 66 milímetros, respectivamente.

La fase L—P en los diagramas de los sismógrafos horizontales de 200 y 125 kilogramos es de 27 segundos, encontrando igual intervalo para los verticales. Calculando con este intervalo la distancia del epicentro con la conocida fórmula del profesor F. Omori: $x \text{ Km.} = 7,27 \text{ y seg.} + 38 \text{ Km.}$, se obtienen 234 Km. al epifoco.

Para localizar el epicentro no se cuenta en la actualidad con más datos que los obtenidos en la Estación Central y los de la Estación de Oaxaca. Los diagramas de esta última estación, dieron un buen registro y la fase L—P es de 30 seg. y corresponde a una distancia de 256 Km. al epifoco, calculando con la misma fórmula.

Con las medidas de las semiamplitudes de la desviación inicial en la primera fase de los sismogramas del péndulo de 17 toneladas y calculando el rumbo con la fórmula: $\text{tg.} a = \frac{A_e}{A_n}$ se obtiene un ángulo azimutal de $84^\circ 49'$ aproximadamente para el rumbo del epifoco; y haciendo una construcción gráfica con las mismas medidas se obtiene un ángulo de $84^\circ 45'$, resultado que concuerda con el anterior.

Los sismógrafos verticales de 1,300 y 80 kgs. señalan una desviación positiva para el primer impulso, lo que indica que la onda de llegada fué de compresión y el desalojamiento del suelo debe haberse verificado desde el epifoco y como los estiletos del citado sismógrafo se desalojaron al Norte y al Este, es de afirmarse que el rumbo del epicentro se encuentra al Norte $84^\circ 49'$ E. de la Estación Central.

Trazando un círculo con un radio igual a 234 Km. y como centro la Estación Central y trazando otro con un radio de 256 Km. y con centro en Oaxaca, ambos se cortan en un punto al Sur de Jalapa.

Es de notarse que a las 10 h., 26 m., 17 seg., p. m. se verificó un temblor de distinto foco del que se trata, pues la gráfica obtenida en los diagramas de los sismógrafos de 200 y 125 kilogramos, así como en los verticales de 1,300 y 80 kgs. dan una prefase de 3 seg. Calculada la distancia para el epifoco con la fórmula $x \text{ Km.} = 7,48y \text{ seg.}$, se obtiene 22 Km., de distancia al lugar de la perturbación.

Este movimiento fué acompañado de ruidos subterráneos y se sintió con suma violencia. En la población de San Angel, D. F., según informes verbales obtenidos de algunas personas, el temblor fué muy fuerte y de corta duración, llamando la atención el ruido prolongado que acompañó al fenómeno.—Protesto a usted mi atenta y respetuosa consideración.—*Francisco M. Patiño y Ordaz.*”

A continuación se dan a conocer el catálogo de macro y microsismos registrados en la Estación Sismológica Central el día 4 de enero de 1920 y el de macrosismos sentidos en la República durante el mes de enero de 1920.

Cuadro de los Macro y Microsismos registrados en la Estación Sismológica Central el día 4 de enero de 1920

Número pro- gestivo.	Fecha.	INSTRUMENTOS WIECHERT				FASES EN TIEMPO MEDIO DE GREENWICH				FIN	Amplitud.	T. Δg.	Distancia en Kilómetros.	OBSERVACIONES
		Massa	Componente	V.	e.	T ₀	P.	L.	M.						C.
1	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	III _v	4 24 50	.....	.....	.....	.....	.....	Se cayeron los estiletes.
1	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	III _v	4 24 50	.....	.....	.....	.....	.....	"
1	4	200	N.-S.	80	3:5	5.	III _v	4 24 51	4 25 18	.....	.....	.....	.....	"
1	4	200	E.-W.	80	3:5	5.	III _v	4 24 50	4 25 17	4 25 32	4 25 30	4 36 06	.....	"
2	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	III _v	5 00 04	5 00 31	5 00 41	5 01 50	5 02 55	.....	"
3	4	200	N.-S.	80	3:5	5.	III _{da}	5 03 02	5 03 05	5 03 05	5 03 50	5 05 11	.....	"
3	4	200	E.-W.	80	3:5	5.	III _{da}	5 03 02	5 03 05	5 03 05	5 03 41	5 05 17	.....	"
4	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	I _r	6 04 45	6 05 11	.....	.....	6 07 37	.....	"
5	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	III _v	6 10 54	6 11 21	6 11 32	6 12 42	6 15 42	.....	"
5	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	III _v	6 10 54	6 11 22	6 11 28	6 12 14	6 14 44	.....	"
6	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	III _v	7 23 10	7 23 36	7 23 44	7 25 02	7 31 44	.....	"
6	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	III _v	7 23 10	7 23 36	7 23 45	7 26 15	7 31 50	.....	"
7	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	II _v	8 36 58	8 37 24	8 37 36	8 38 11	8 41 07	.....	"
7	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	II _v	8 36 58	8 37 25	8 37 30	8 38 00	8 41 07	.....	"
8	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	I _v	8 57 19	8 57 46	8 57 50	8 58 22	9 00 35	.....	"
8	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	I _v	8 57 19	8 57 47	8 57 50	8 58 15	9 00 30	.....	"
9	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	II _v	10 06 51	10 07 17	10 07 22	10 09 16	10 12 46	.....	"
9	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	II _v	10 06 51	10 07 18	10 07 23	10 08 46	10 11 46	.....	"
10	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	I _v	10 39 59	10 40 26	10 40 32	10 41 06	10 43 26	.....	"
10	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	I _v	10 39 59	10 40 26	10 40 32	10 41 06	10 43 26	.....	"
11	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	III _v	13 20 49	13 21 06	13 21 12	33 22 55	13 26 55	.....	"
11	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	III _v	13 20 49	13 21 05	13 21 12	33 22 55	13 26 55	.....	"
12	4	17 000	N.-S.	2,000	2:5	1.5	III _v	18 28 54	18 29 21	18 29 34	18 31 41	18 34 24	.....	"
12	4	17 000	E.-W.	2,000	2:6	1.5	III _v	18 28 55	18 29 23	18 29 29	18 31 44	18 34 24	.....	"

CATALOGO DE LOS MACROSISMOS SENTIDOS EN LA REPUBLICA DURANTE EL MES DE ENERO DE 1920

DIAS	LUGARES	Hora en T. M. G.	Grado	MOVIMIENTOS			Fenómenos acompañantes	OBSERVACIONES
				Clase	Duración	Dirección		
4	Amecameca, Méx.....	h. m. s. 4 21 47	III.	Oscilatorio.....	1 minuto.....	E.-W.		
4	Apizaco, Pueb.....	4 24 47	II.	"	Poca.			
4	Calpulalpan, Tlax.....	4 26 47	III.	"	5 segundos.....	N.-S.		
4	Córdoba, Ver.....	4 26 01	III.	Oscilatorio y girtatorio.....	47 segundos.....	N. W.-S. E.		
4	"	4 49 47	II.	Oscilatorio.				
4	"	5 05 47	II.	"				
4	"	5 44 47	II.	"				
4	"	5 54 47	I.	"				
4	"	6 13 56	I.	"				
4	"	6 52 36	I.	"				
4	"	8 40 07	I.	"				
4	"	9 00 40	I.	"				
4	"	10 44 17	I.	"				
4	Coscomatepec, Ver.....	4 16 47	VII.	"				
4	Cuautla de Jiménez, Oax	4 25 47	IV.	"	40 segundos.....	E.-W	Causó desgracias y derrumbes.	
4	Cuicatlán, Oax.....	4 31 47	II.	"	10 "		Significaron dos sacudidas de menor duración e intensidad.	
4	Chignahuapan, Pue.....	4 25 47	II.	Trepidatorio.....	10 a 12 segundos.			
4	Huamantla, Tlax.....	4 21 47	III.	Trepidatorio y oscilatorio	25 a 30 "		Repitió débilmente a las 4 ^{h.} 36 ^{m.} 47 ^{s.}	
4	Huachinango, Pue.....	4 21 47	III.	Trepidatorio.....	30 segundos.		Causó muchos derrumbes y cuarteaduras en el 30% de las construcciones.	
4	Jalapa, Ver	4 32 47	VIII.	"	40 segundos.....		Repitió 7 veces, sisendo oclatorio, con intervalos de una hora.	
4	Orizaba, Ver.....	4 31 47	III.	"				

DIAS	LUGARES	Hora en T. M. G.	Grado	MOVIMIENTOS			Fenómenos acompañantes	OBSERVACIONES
				Clase	Duración	Dirección		
4	Orizaba, Ver.....	h. m. s. 13 06 47	II	Oscilatorio.	20 segundos.....	NE.-SW.	Repetieron movimientos oscilatorios. Repetió 3 veces, ligeramente, con intervalos de 15 minutos. Precedido de ligeras ondulaciones, con intervalos muy cortos. Al disminuir en intensidad hubo un sacudimiento trepidatorio. Fueron ruidos subterráneos. Repetió tres veces, ligero, hasta las 7h. 36m. 47s. Causó varios desperfectos en los edificios públicos y particulares. Repetió nueve veces, con menor intensidad.	
4	Otumba, Méx.....	4 24 47	III	"	15 "	NW.-SE. y NE.-SW.		
4	Puebla, Pue.....	4 35 47	IV	"	30 "	E.-W.		
4	Puerto Lobos, Ver.....	4 18 47	III	"	30 "	"		
4	Río Blanco, Ver.....	4 34 47	III	Trepidatorio.	30 "	"		
4	San Jerónimo, Oax.....	4 24 47	III	"	15 "	"		
4	San Marcos, Pue.....	4 21 47	IV	Oscilatorio.....	20 "	N.-S. y E.-W.		
4	Santa Rosa, Ver.....	4 23 47	IV	Trepidatorio	Corta	"		
4	Tecamachalco, Pue.....	4 21 47	IV	Oscilatorio.....	20 segundos.....	E.-W.		
4	Tetela de Ocampo, Pue.	4 25 47	IV	"	50 "	NW.-SE.....		
4	Tehuacán, Pue.....	4 22 47	IV	Trepidatorio y oscilatorio	50 "	N.-S.		
4	Teotitlán, Oax.....	4 21 47	III	Trepidatorio	35 "	"		
4	Tlaltlaquui, Pue.....	4 25 47	IV	Oscilatorio.....	50 "	NW.-SE.		
4	Tlaxco, Tlax.....	4 25 47	III	"	10 "	E.-W.		
4	Tuxpan, Ver.....	4 21 47	III	"	30 "	"		
4	Tacubaya, D.F.....	4 24 50	IV	"	10 "	E.-W.		
4	Tacubaya, D.F.....	5 03 04	IV	Trepidatorio.....	2 "	"		
4	Veracruz, Ver.....	4 34 47	IV	Oscilatorio.....	30 "	"		
4	Zongolica, Ver.....	4 31 47	V	Trepidatorio y oscilatorio	"	S.-N.....		
4	Zacapoaxtla, Pue.....	4 26 47	III	Trepidatorio y oscilatorio	40 segundos.....	SW.-NE.....		
4	Zacatlán, Pue.....	4 25 47	IV	Oscilatorio.....	25 "	SE.-NW.		
4	Córdoba, Ver.....	13 40 57	II	Trepidatorio	"	"		

Dia	LUGARES	Hora en T. M. G.	Grado	MOVIMIENTOS			Fenómenos acompañantes	OBSERVACIONES
				Clase	Duración	Dirección		
4	Córdoba, Ver	h. m. s. 16 47 47	II	Trepidatorio				Débil. Causó desgracias personales y derrumbes. Siguen sacudimientos de corta intensidad.
5	Coscomatepec, Ver	4 16 47	VII					
5	Rinconada, Ver	5 56 47	III		1 minuto			
6	Coscomatepec, Ver	4 16 47	II	Oscilatorio.				
6	Coscomatepec, Ver	8 36 47	II	"				
7	Coscomatepec, Ver	6 06 47	II	"				
7	Coscomatepec, Ver	15 51 45	II	"				
7	Córdoba, Ver	16 01 57	III	"	10 segundos	NW.-SE.		
7	Zongolica, Ver	3 41 47	III	"	5 "	W.-E.		
7	Zongolica, Ver	15 56 47	III	"	5 "	E.-W.		
7	Zongolica, Ver	16 06 47	II	"	3 "			
10	San Jerónimo, Oax	3 26 47	III	Trepidatorio	30 "	NW.-SE.		
14	Zongolica, Ver	sin hora	III	Oscilatorio	5 "			
15	Zongolica, Ver	6 36 47	III	Trepidatorio	5 "			
17	Salina Cruz, Oax	2 56 47	II	"	4 "			
18	Acapulco, Gro	10 16 47	II	"	3 "			
21	Salina Cruz, Oax	5 06 47					Se oyeron al W. algunos retumbos lejanos.	
22	Córdoba, Ver	9 45 37	III	Trepidatorio	8 segundos.			
22	Coscomatepec, Ver	9 36 47	III	Oscilatorio.				
22	Orizaba, Ver	9 2 47	III	"	25 "			
22	Orizaba, Ver	9 36 47	III	"	6 "	N.-S.		
22	Tezuitlán, Pue.	9 51 47	II	"	4 "			
22	Tlatlaucui, Pue.	9 36 47	III	"	5 "	SE.-NW.		
22	Veracruz, Ver	9 50 47	II	"	Corta.			
22	Zacapoaxtla, Pue	9 36 47	III	"	3 a 5 segundos	SE.-NW.		
23	Coscomatepec, Ver	4 36 47	III	Trepidatorio	10 segundos.		Fuertes ruidos subterráneos.	
23	El Hule, Oax	3 51 47	III	Oscilatorio	15 "	NW.-SE.		

Día	LUGARES	Hora en T. M. G.	Grado	MOVIMIENTOS			Fenómenos acompañantes	OBSERVACIONES
				Clase	Duración	Dirección		
23	El Hule, Oax.	h. m. s. 6 36 47	II	Oscilatorio	25 segundos.	N.-S.		
23	Orizaba, Ver.	4 41 47	III	"	"	"		
23	Córdoba, Ver.	4 56 07	III	Trepidatorio	26 "	"	Ruidos subterráneos.	
23	Rinconada, Ver.	4 46 47	III	"	4 "	"		
23	Salina Cruz, Oax.	4 24 47	II	"	"	"		
23	Tetela, Pue.	4 46 47	III	Oscilatorio	Corta	NE.-SW.		
23	Tlatlaqui, Pue.	4 42 47	II	"	5 segundos.	"		
23	Zacapoaxtla, Pue.	4 41 47	III	"	10 "	"		
23	Zongolica, Ver.	4 43 47	III	"	5 "	NW.-SE.		
24	San Jerónimo, Oax.	4 31 47	III	"	30 "	"		
25	Zongolica, Ver.	2 36 47	III	"	5 "	NW.-SE.	Repetió 5 veces lento, hasta las 6 h. 36 m. 47 s.	
25	Orizaba, Ver.	5 51 47	III	"	6 "	N.-S.		
29	Orizaba, Ver.	5 36 47	II	"	"	"		
29	Córdoba, Ver.	5 55 47	II	Trepidatorio.	Corta	N.-S.		
30	Huajuapán, Oax.	11 51 47	II	Oscilatorio	"	"	Precedido de fuertes ruidos subterrá- neos.	
31	Coscomatepec, Ver.	4 48 47	II	"	"	"		
31	Coscomatepec, Ver.	6 36 47	II	"	"	"		
31	Coscomatepec, Ver.	9 36 47	II	"	"	"		

Posteriormente a los choques registrados en los cuadros anteriores, el jefe de la Estación Central expidió el siguiente boletín:

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO
BOLETIN DE LA ESTACION SISMOLOGICA CENTRAL.

Principio del temblor	Onda de máxima intensidad	Fin del temblor	Distancia al epifoco
3h. PWm. PUs.....	Eh. 02m. 40s.....	3h. 03m. 16s.....	234 kilómetros

Las fases están dadas en tiempo medio de Tacubaya. El temblor estudiado fué registrado por el sismógrafo de 17 toneladas; su principio bien definido señala una ligera desviación al E. y al N. le corresponde el grado I de la escala de Cancani y III de carácter en el sismograma.

Es de suponerse que el epicentro se encuentra al NE. de la Estación Central. Tanto por la distancia como por las desviaciones iniciales, debe encontrarse en la región recientemente perturbada.

Tacubaya, 22 de enero de 1920.

Francisco M. Patiño y Ordaz.—Rúbrica.

Nota: Acabo de recibir del Observatorio Meteorológico, tres mensajes telegráficos que avisan haberse sentido el temblor a que hago referencia, en Orizaba, Tlatlauqui y Zacapoaxtla.

4.—DURACION E INTENSIDAD

Igual dificultad que para determinar la hora exacta en los lugares conmovidos más intensamente, existe para determinar la duración del temblor por medio de observaciones personales. En el sismógrafo horizontal de 17,000 kilogramos, de la Estación Sismológica Central, la duración de las ondas máximas fué de 12 segundos, como se puede ver en el cuadro del informe del señor ingeniero Francisco Patiño y Ordaz, jefe de la Estación Central, pero en Jalapa muchas personas afirman que el temblor tuvo una duración de 15 segundos, en tanto que otras la elevan hasta 30. Es cuerdo suponer que la duración de la porción sensible de este movimiento para las personas no fué mayor de 12 segundos, en primer lugar, por el dato instrumental; en segundo, porque un temblor trepidatorio de la intensidad del que nos ocupa, en una región donde las construcciones dejan mucho que desear, habría acabado con todos los pueblos cercanos a la región epicentral, inclusive la ciudad de Jalapa, donde existen algunas casas bien construidas. Debemos hacer constar que en la ciudad de Jalapa, solamente hubo tres muertos por los derrumbes, según los datos recogidos en la Presidencia Municipal.

Varias pruebas tenemos de que el movimiento fué demasiado rápido, sólo que generalmente la excitación en los momentos del peligro, la aprehensión, alarma o pánico que sigue a la percepción del temblor, depende de la emotividad de los individuos. Depende también de la costumbre de sentir temblores. En Oaxaca he tenido oportunidad de observar temblores de fuerte intensidad y larga duración, y allí, donde las construcciones son en lo general buenas, se tiene confianza en ellas y no se observan las escenas que en Guadalajara se observaron con la serie de temblores del año de 1912, donde no están familiarizados con esta clase de fenómenos y donde las habitaciones no dan ninguna garantía.

En Jalapa, punto en que hice la mayoría de las observaciones por haber tenido que instalar allí un sismógrafo que llevamos, sentí tres temblores, los días 21, 22 y 23; éstos fueron claramente de carácter trepidatorio, no imprimieron a los objetos suspendidos ninguna oscilación. Además, su duración estuvo comprendida entre 3 y 5 segundos. La intensidad fué aproximadamente del grado IV de la escala de Cancani. (Para estimar la intensidad de los temblores se han formado varias escalas, entre las que figuran las de Mercalli, Omori, Rossi-Forel y otras, pero nosotros hemos usado siempre la de Cancani, por ser la más completa y a ella nos referiremos siempre en nuestros cálculos.)

En la ciudad de México el temblor principal, pues ya hemos dicho que los choques fueron tres, debe haber tenido el grado IV de la escala mencionada, en Jalapa estuvo comprendida su intensidad entre los grados VIII y IX, según la tantas veces mencionada escala, pues para que un temblor cause destrucciones y contusiones, debe tener el grado VIII o más; aunque es fácil comprender que con el grado VII, por la caída de las tejas puede muy bien haber heridos y debemos tener presente que en esta región, como casi en todas aquellas donde llueve mucho, se emplean techos de teja de dos aguas.

Por la narración de las personas se sabe que casi en toda la región conmovida, el suelo sufrió un levantamiento repentino, descendiendo con gran violencia; sin embargo, muchas personas manifiestan haberse dado cuenta de ligeras oscilaciones. En Jalapa, donde no había ningún sismoscopio ni sismógrafo para determinar la dirección del movimiento, se guiaron naturalmente por la sensibilidad, teniendo esto sus inconvenientes, pues cuando el temblor es ligero, la dirección se puede percibir, no así cuando es fuerte y se está en o muy cerca del área epicentral. Igualmente, se estima la dirección por las oscilaciones de los objetos suspendidos, pero en este caso se debe tener en cuenta que el impulso inicial del péndulo puede ser perturbado por algún otro motivo. Por todo esto, creí conveniente guiarme para obtener una dirección aproximada (dirección de la acción sensible o destructora del temblor) por la caída de objetos, muros, etc.

Mallet y varios otros sismólogos, después de repetidas observaciones, admiten que las paredes que han sido derribadas, fueron atacadas por ondas perpendiculares a ellas; y las agrietadas lo han sido por ondas paralelas a la posición de esas paredes. Si nos hemos de guiar por esto, comprobaremos que la dirección del movimiento del 3 de enero, en la ciudad de Jalapa, fué de Poniente a Oriente; y en el capítulo correspondiente se verá la acción de estos temblores en las construcciones de la ciudad citada.

5.—CHOQUES SUBSECUENTES

A los temblores del día 3 de enero sucedieron algunos temblores, sin que su número haya llegado al que en Jalapa pretenden, pues allí dicen que después del temblor principal o sea el de las 9 h., 48 m., 03 s., siguió temblando con gran frecuencia. En el cuadro formado en la Estación Sismológica Central, se puede estimar el número de ellos, hora, carácter, intensidad, etc.

A los pocos días de instalado el sismógrafo vertical en la ciudad de Jalapa, se registraron tres choques subsecuentes, cuyas fases son:

Fecha	Instrumento	Carácter.	P.	L.	M.	C.	Fin	Dist. en Km.
Enero 21	Wiechert	II _d	H. M. S. 3.10.20	H. M. S. 3.10.24	H. M. S. 3.10.27	H. M. S. 3.10.45	H. M. S. 3.11.10	30
„ 22	Z. 80 Kgs	III _d	10.05.15	10.08.18	10.05.23	10.05.55	10.06.35	22.4
„ 23	.....	I _d	11.15.12	11.15.15	11.15.19	11.15.25	11.16.15	22.4
Tiempo medio de Tacubaya								

En seguida del temblor que se registró en la Estación Sismológica Central la noche del 3 de enero, a las 10 h., 23 m., 17 s., se registró también uno de origen doméstico, probablemente del Pedregal de San Angel, tipo de temblores que nos es bastante conocido, pues desde la instalación de la Estación Central, el año de 1910, se vienen registrando con relativa frecuencia. Sus distancias han variado entre 3 kilómetros y medio y 24, al Sur de Tacubaya. Una lista de estos temblores registrados el año de 1912 y un ligero estudio, pueden verse en el boletín número 18 del Instituto Geológico, páginas 43-44.

Podría muy bien haber acontecido que los temblores del día 3 hubieren venido a acelerar la presentación de este otro temblor, pero en todo caso este movimiento no debe considerarse como un after-shock. Este temblor vino acompañado de fuerte ruido subterráneo.

Como al referirse la prensa a este movimiento, le diera proporciones catastróficas, el director del Instituto Geológico me comisionó para hacer un ligero reconocimiento en San Angel e inmediaciones del Pedregal. Como resultado de esta pequeña excursión, le manifesté no haber encontrado ninguna grieta en la Huerta del Carmen, grieta que "vieron" algunos reporteros de los diarios de la metrópoli. No hubo allí ninguna cuarteadura, derrumbe o desgracia personal, pues así me lo manifestaron el Presidente Municipal de San Angel, los vecinos del lugar, el encargado de la Sección de Excavaciones de la Dirección de Antropología, los operarios que trabajan en la explotación del basalto para la Secretaría de Comunicaciones, y muchas otras personas, pues tomé cuanto dato se pudo, por tener gran interés en este asunto.

Ruidos subterráneos.—En Jalapa como en casi todos los puntos del area epicentral, los temblores han sido acompañados de retumbos, que según algunos observadores, han tenido semejanza con el ruido producido por la creciente de un río, otros como fuerte viento, otros como el trueno del rayo lejano. También se han dado cuenta del ruido producido por los techos al ser sacudidos por el temblor.

Larde, observador salvadoreño, dice que los retumbos pueden ser en muchos casos reputados como verdaderos temblores de tierra, pues que un terremoto está constituido por movimientos oscilatorios de diversas clases de las partículas terrestres; los sonidos son también movimientos vibratorios que, como aquéllos, se propagan por ondas y los retumbos subterráneos son oscilaciones de las partículas terrestres. Las ondas sísmicas longitudinales y las ondas sonoras no difieren más que por el período, esto es, la duración de cada oscilación.

6.—EFECTOS DE LOS TEMBLORES DEL 3 DE ENERO DE 1920 EN LAS CONSTRUCCIONES DE LA CIUDAD DE JALAPA

Pocas personas manifiestan haber sentido ligeras oscilaciones en los temblores del día 3 de enero y sin embargo, en esta ciudad hubo una zona,

que, como puede verse en el plano de la Lám. XLIV-A, fué la que mayores daños sufrió, y que tiene una dirección aproximada de E. a W. en su mayor longitud.

En Jalapa se emplean para la construcción la piedra cortada, la mampostería, el ladrillo, el adobe y el lodo; la madera es empleada pocas veces. Las habitaciones que menos resintieron los temblores fueron las de mampostería; y en lo general, todas aquellas cuyos techos eran muy pesados fueron muy averiadas. Las casas de la clase más humilde, construídas de madera con techos de paja, resistieron perfectamente, debido a la ligereza de los materiales empleados. Estas chozas sólo sufren desperfectos cuando los "horcones" que sostienen el techo no están clavados en el suelo a profundidad conveniente, pues entonces al oscilar los techos salen de su posición vertical. En esta ciudad son muy pocas las construcciones de cemento armado (construcción ideal para los países sísmicos), pues yo sólo conocí tres casas construídas por este sistema. Una de ellas, de los señores Pasquel, ubicada en la calle de Enríquez, tuvo ligeras cuarteaduras en algunos de los muros y en los arcos de los corredores; y estos desperfectos de ninguna manera se pueden considerar como serios para haber sido desocupada, cosa más bien debida a un exceso de precaución, porque en ella los habitantes estarán más seguros que en cualquiera otra de la ciudad.

En la zona mayor de las dos marcadas en el plano, las destrucciones más importantes fueron sobre las casas cuyas paredes maestras están orientadas de N. a S. y que, por lo tanto, recibieron las ondas perpendicularmente. En la zona marcada con tinta azul, las destrucciones no fueron tan importantes como en la parte que hemos indicado, pero el hecho de estar situada en la parte de mayor inclinación de la ciudad, fué motivo de que hubiera varios deslizamientos, ya de paredes aisladas, ya de casas en conjunto. Con objeto de darme cuenta de los desperfectos y ver si se podía apreciar el rumbo de llegada de las ondas, visité el cementerio, porque en estos lugares, por la diversidad de las construcciones, formas, materiales, etc., se llegan a conseguir buenos datos; pero en Jalapa el cementerio no tiene monumentos importantes, y los pocos desperfectos que allí se notaron, más bien son debidos a la acción del tiempo. No hubo en este lugar ningún caso de vórtice.

Los edificios que más sufrieron en la ciudad, fueron los siguientes: el Palacio de Gobierno, con cuarteaduras en la parte S. y en los techos, principalmente en los de la Biblioteca Pública; Palacio de Justicia: derrumbes de varios muros, de un torreón, caída al Poniente de gran parte de la cornisa de la calle que ve al Oriente; Colegio Preparatorio: grietas en algunas piezas, como la dirección, sin que éstas fueran graves; hospital, derrumbes; cuarteles, únicamente cuarteaduras; la catedral tiene una cuarteadura a lo largo de la nave central y de menor importancia en las naves laterales, además, cayó parte del aplanado; la iglesia del Calvario, sufrió derrumbes en una torre y cerca de la sacristía; la Administración de Correos, sufrió desplomes de importancia, derrumbes y cuarteaduras serias, pues este edificio como todos los que están en la parte más inclinada, resintió más los efectos del movimiento. El Seminario Conciliar tiene derrumbes muy notables y grandes grietas; la Misión Presbiteriana tiene, igualmente, varios derrumbes. De las estaciones, la única que sufrió cuarteaduras fué la del ferrocarril de Jalapa a Córdoba.

El Hotel Juárez tuvo algunos derrumbes, caída de la cornisa en parte, y ligeras grietas; la Capilla de la Cruz, cuarteaduras; la de los Corazones, derrumbe en las torres y varias cuarteaduras; la agencia del Banco Nacional, derrumbes y cuarteaduras, el Casino Jalapeño y los teatros Cáuz y Limón, sólo cuarteaduras. Casi todos los edificios de la calle de Enríquez sufrieron cuarteaduras y desplomes, pero en esa calle hubo algunos casos de inmunidad, como el Banco Mercantil, la casa nueva de los señores Pasquel y la dulcería.

Cerca de las estaciones, por la del ferrocarril de Jalapa a Teocelo, se

derrumbó una barda de mampostería de regular altura, situada en dirección NS., se partió en toda su longitud, como 50 centímetros del suelo y cayó en gran parte hacia el Oriente. En las estatuas de los parques y en las columnas de algunos edificios no se descubrió tampoco ningún caso de vórtice. Examinando con cuidado la columna del busto del señor Juárez, en el parque del mismo nombre, se distinguen leves desportilladuras en la parte que ésta se une al pedestal.

Para terminar diremos que aún es imposible predecir los temblores de tierra, de suerte que el público debe recibir con toda reserva las noticias alarmantes que la prensa suele publicar. La sismología no llega todavía a ese supremo ideal, por lo mismo, en esas regiones donde los temblores del 3 de enero causaron tantos estragos como lo suelen sufrir todos los pueblos de las regiones sísmicas, deben los habitantes buscar su defensa en las construcciones apropiadas, pues el caso probablemente se repetirá, ya que se trata de una zona notoriamente sísmica.

El Instituto Geológico ha repartido folletos en los que trata el problema de las construcciones asísmicas, ha demarcado, aun cuando de una manera general, cuáles son las zonas sísmicas del país, y si los habitantes de la hoy región devastada por estos temblores, al reconstruir sus heredades toman en cuenta ciertos consejos basados en las observaciones y reglas deducidas de la práctica, en los temblores subsecuentes no habrán de lamentar en tan considerable cantidad ni las desgracias personales ni la pérdida del capital que representan sus propiedades.

México, D. F., 10 de abril de 1920.

Manuel Muñoz Lumbier.
Inspector de la Red Sismológica.

II

Estudio sismográfico

A.

Observaciones instrumentales directas

1.—*Estación Sismológica Central. Tacubaya, D. F.*—Coordenadas: $\lambda = 99^\circ 11' 37''$ W. de Greenwich; $\varphi = 19^\circ 24' 18''$ N. Altura sobre el nivel del mar 2,290 metros (nivelación topográfica corrida desde Veracruz).

La noche del 3 de enero de 1920, fué registrado por los sismógrafos de la Estación Central el terremoto que nos ocupa, como un macrosismo del grado III-IV, que fué sentido por la mayoría de los habitantes de la población, aunque con menos intensidad de la que tuvo en la ciudad de México; porque en las colinas de Tacubaya los choques sísmicos son menos enérgicos que en el fondo del Valle. La onda de llegada fué impetuosa y se registró a las 21h., 48m., 63s., (tiempo medio de Tacubaya), o sea a las 4h., 24m., 50s., del día 4 en tiempo medio de Greenwich. Los instrumentos que la registraron fueron el gran péndulo horizontal de 17 toneladas del doctor Wiechert, los péndulos horizontales de 200 y 125 kilogramos del mismo autor, los Bosch-Omori de 10 kilogramos, y los verticales de 80 y 1,300 kilogramos.

Primer impulso.—Fué claramente definido, los instrumentos horizontales se desalojaron bruscamente hacia el NE. (casi al E.); el suelo se movió al SW. (casi al W.); los instrumentos verticales acusaron un choque inicial dirigido de abajo hacia arriba (+ Z), por lo que la onda de llegada fué de *compresión o externa*, esto es, el primer impulso fué desde el epifoco (el esque-

ma de la figura 3, lámina III-B da idea del funcionamiento de los péndulos horizontales de la Estación Central a la llegada de la primera onda).

Longitud de las ondas de la primera fase.—En el péndulo de 17 toneladas (componente N—S), se registraron 13 ondas longitudinales que forman la fase L—P, con duración de 24 segundos, la componente registró aún durante 8 segundos más, quedando fuera de servicio por la violencia de las ondas superficiales. La primera onda de la fase L—P, fué rápida, $T=1$ segundo, presenta un ripple en su primer cuarto. El período medio de las ondas L—P, fué de 1s, 85; y aceptando la velocidad de 6.1 Km. para las ondas, P_1 , según el valor encontrado por K. Haussmann, dentro de los 250 Km. en derredor del epifoco, resulta para la longitud de las ondas P_1 :

$$\lambda = vT = 6.1 \times 1.85 = 11,285 \text{ metros.}$$

El registro de la componente E-W, fué muy deficiente y sólo pudo aprovecharse la dirección del primer impulso.

Fase L—P. Con el fin de calcular la distancia epicentral, promediamos la duración de la fase L—P en los registros de los sismógrafos pequeños de la Estación Central:

Instrumento y componente	L—P Segundos	Δ Km. al Epifoco
Wiechert.		
200 Kgs. NS.....	24	212,48
" " EW.....	24	212,48
125 " NS.....	25	219,75
" " EW.....	27	234,39
Bosch-Omori.		
10 Km. NS.....	27	234,29
" " EW.....	27	234,29
Sumas.....	154	1,347,58
Promedios.....	25,6	224,59

Aceptamos para Δ el valor de 225 kilómetros. El péndulo vertical de 30 kilogramos, dió L—P=28 segundos. La misma fase en el registro del vertical de 1,300 kilogramos, es dudosa.

Determinación de las coordenadas del epifoco.—(Método del Príncipe Boris Galitzin).

Sabiendo que la primera onda longitudinal fué de compresión por el signo positivo de Z, y que el impulso fué por eso mismo externo, el epifoco debió haber quedado dentro del cuadrante NE. Siendo sensiblemente iguales las constantes de ambas componentes horizontales en cada uno de los sismógrafos, calculamos el azimut con las lecturas directas del sismograma en cada instrumento, tanto más, cuanto que la emergencia del choque inicial fué tan enérgica, que prácticamente anuló las pequeñas diferencias que pudieran haber existido entre dichas constantes. Encontrando para el sismógrafo de 17 toneladas:

$$\text{tg. } i = \frac{A_E}{A_N} = \frac{66,00}{5,75} = 11,4783 = \text{tg. } 85^\circ 01'. \text{ De donde el azimut es: N. } 85^\circ 01' \text{ E.}$$

Respecto de los demás instrumentos horizontales, obtuvimos los siguientes resultados, que después promediamos:

$$\begin{aligned} \text{Wiechert.: } 200 \text{ Kgs.: } \text{tg. } i &= \frac{3.6}{0.2} 18.0000 = \text{tg. } 86^\circ 49' \\ \text{" } 125 \text{ " : } \text{tg. } i &= \frac{6.5}{0.3} 12.3333 = \text{tg. } 87^\circ 18' \\ \text{B.-Omori. } 10 \text{ " : } \text{tg. } i &= \frac{5.0}{0.4} 12.5000 = \text{tg. } 85^\circ 25' \\ \text{Promedio del azimut: N. } &86^\circ 30' \text{ E.} \end{aligned}$$

El cálculo de las coordenadas se hizo utilizando los siguientes datos: Tacubaya: $\lambda = 99^{\circ} 12' W.$ de Greenwich; $\varphi = 19^{\circ} 24' N.$; $\Delta = 225$ Km.; Az = N. $86^{\circ} 30' E.$; y fueron éstas, que comparamos con las del Cofre de Perote y las del Pico de Orizaba: (véase Lám. I.-B.)

Lugar	Latitud	Longitud	Observaciones
Epifoco (I).....	$19^{\circ}32' N.$	$97^{\circ}03' W.$	(Lámina II.—B; figura 5)
P. de Orizaba.....	$19^{\circ}02' N.$	$97^{\circ}16' W.$	Estas posiciones están determinadas por la Comisión Geográfica Exploradora.
C. de Perote.....	$19^{\circ}30' N.$	$97^{\circ}08' W.$	

Estos resultados indican que el epifoco debería estar más o menos a 11 Km. al NE. del Cofre de Perote, muy cerca de Jalapa y a 29 Km. (ca) del centro de la isoseista XI., trazada en vista de las observaciones macrosísmicas sobre el terreno (Lám. I.-B). Este error que no sale de los límites de la tolerancia, encierra para nosotros útiles enseñanzas.

La Estación Central tiene la obligación, por cierto justamente establecida, de proporcionar a la mayor brevedad posible, las coordenadas del epifoco de cualquier macrosismo vecino, antes de recibir telegramas de las estaciones foráneas o de la región epicentral. En el supuesto de que se cuente con los datos indispensables para aplicar el método del Príncipe B. Galitzin, estos datos son: distancia epicentral, signo de Z., desviación inicial del suelo y azimut del epifoco. ¿Debe exigir la curiosidad pública, que siempre está ávida de noticias, que se festine un trabajo delicado? Creemos que no y mucho menos sensato es el propalar la idea de que los temblores de tierra pueden pronosticarse. Aún la lectura de los sismogramas, ofrece dificultades que pueden orillar a error, porque es más fácil la distinción de los intervalos L—S y S—P en el registro de un telesismo a más de 5,000 Km., dado que la diferenciación de las ondas se hace más clara con la distancia, tal como si el interior terrestre obrando como un prisma, separase por su interposición las ondas que lo atraviesan, según su orden de refrangibilidad; y a mayor masa de medio refringente corresponde una separación más definida de los grupos de ondas que emergen en la estación de observación, es decir, las ondas se clasifican por sí mismas. Tratándose de terremotos vecinos, especialmente entre 100 y 500 Km., no son siempre iguales las dificultades que ofrece su interpretación; en estos registros interviene mucho la intensidad del movimiento; fijar la duración de la fase L—P en el sismograma de un temblor intenso y cercano es tarea difícil: las ondas longitudinales presentan amplitudes exageradas; entre el período de ellas y el de las ondas L, no hay diferencia apreciable, el punto crítico se marca por la interferencia de los grupos de ondas, es decir, sin terminar la emergencia de las ondas P, se verifica la llegada de las ondas L, y la mezcla de ambas determina por lo general una suspensión casi instantánea (igual al período de las ondas), de las oscilaciones del péndulo, como si éste tratase de reaccionar para dejarse llevar por las más enérgicas. El problema es fijar este punto crítico, sin recurrir muchas veces al cambio de período y amplitud que deben corresponder al principio de la fase L, como sucede con un microsismo instrumental, en el que la transición de una fase a otra se caracteriza por los elementos de onda diferentes. El observador en caso de duda acerca de la duración de L—P, en el registro de un megasismo, debe consultar los choques microsísmicos anteriores y posteriores al movimiento principal, descubrir si hay entre ellos, algunos cuya fase P, sea constante, ya sea en el diagrama que retiró del sismógrafo o en el que a continuación reciba los trazos del instrumento; recurrir también a la carta sísmica del país y al catálogo de macrosísmos para asegurarse de la mayor o menor certidumbre que tiene su lectura en el registro del megasismo que estudia. Es así como procedimos en el caso del terremoto de Acambay-Tixmadejé, ocurrido a 125 Km. al N. $58^{\circ} W.$ de Tacubaya el 19 de noviembre de 1912. Este papel auxiliar de los choques anteriores y de los recurrentes, es muy importante y permite asegurar la distancia epicentral con mucha aproximación. Se ne-

cesita criterio para seleccionar entre los distintos microsismos que acompañan al megasismo, cuáles provienen del mismo foco o de sus cercanías, porque los temblores de *relais* o simpáticos que se presentan algunas veces, como ha sucedido con el terremoto del 3 de enero, tienen sus epifocos a distancias considerables del foco principal que los hizo entrar en actividad, y pueden conducir a una equivocación.

Hemos señalado las dificultades en la lectura del diagrama de un megasismo cercano y la manera de vencerlas; pasemos ahora a las causas de error en la determinación del azimut del epifoco.

Entre las condiciones que debe tener el sismógrafo horizontal, se cuenta como esencial la independencia de las dos componentes rectangulares, esta independencia material tiene un límite como es natural, esto quiere decir que no es absoluta; si suponemos un rayo sísmico longitudinal, cuya proyección horizontal coincida con la línea EW., que pasa por la estación sismológica al llegar el impulso accionará a la componente EW., que registrará una amplitud mucho mayor que la que corresponde a la dirección NS., que teóricamente debería ser nula; de aquí resulta que la relación:

$tg. i = \frac{A_E}{A_N}$, tiende al infinito, porque $tg. 90^\circ = \infty$. Esto significa en la práctica que en las cercanías de las direcciones principales: NS. y EW., como los valores de la tangente cambian muy rápidamente en relación con las variaciones angulares del azimut, resultará mayor incertidumbre en el cálculo que si el rayo incidente llega en las cercanías del plano bisector de ambas direcciones. Se cometerá menor error al calcular el rumbo de un epifoco en el segundo que en el primer caso. Para corregir estos eventos posibles, deben orientarse de distinta manera los sismógrafos que funcionan en la Estación Central. Actualmente, todos están orientados según la meridiana y la línea EW.; debemos tener alguno cuyas componentes correspondan a las direcciones intermedias; así como contamos con una escala de distintas sensibilidades en los diferentes instrumentos, es indispensable también orientarlos de tal manera, que uno u otro reciba el rayo en las condiciones más favorables para disminuir en lo posible el error en el azimut. Precisamente, en el terremoto del 3 de enero la separación entre el epicentro localizado por el método del Príncipe B. Galitzin y el epicentro real del movimiento, según las observaciones sobre el terreno, se debe a un error de azimut, pues el que se cometió en la distancia epicentral no tiene importancia; y ya se vió que el primer impulso emergió con una dirección que difiere poco de la línea EW.

Fases del movimiento.—Como estos datos constan en el catálogo de la Estación Central, aquí sólo daremos a conocer el análisis de los registros del sismógrafo horizontal Wiechert de 200 kilogramos; por la misma razón no consignaremos las fases de los choques anteriores recientes del mismo foco y de los choques subsecuentes, cuando a estos movimientos nos reframos.

Constantes del instrumento: $T_0 = 5$; $V = 80$; $e = 5.3$. (ambas componentes).

INSTRUMENTO			Carácter.	PRINCIPIO DE LAS FASES EN TIEMPO MEDIO DE GREENWICH					FIN	Máxima		Δ Km.
Autor	Masa.	Comp.		O.	P.	L.	M.	C.		A.	T.	
Wiech.	200 Kgs.	N.-S.	III _v	h. m. s. 4 24 19	h. m. s. 4 24 51	h. m. s. 4 25 15	h. m. s. 4 25 30	h. m. s. 4 36 06	h. m. s. 4 49 16	50	3	212.5
"	"	E.-W.	"	4 24 18	4 24 50	4 25 14	4 25 32	4 34 32	4 49 16	60	3	212.5

A es la semiamplitud de la onda máxima y como los instrumentos fueron afectados en su funcionamiento normal por la violencia del sacudimiento, omitimos el cálculo de la aceleración máxima. El error cometido en tiempo es ± 1 segundo.

2.—*Estación sismológica de Oaxaca, Oax.*—Coordenadas: $\lambda = 96^\circ 42' 33''$ W. de Greenwich; $\varphi = 17^\circ 01' 14''$ N.; altura sobre el nivel del mar:

1,571 metros. (Estación de segundo orden). Dotación de instrumentos: un sismógrafo horizontal Wiechert de 200 kilogramos y un vertical de 80 kilogramos del mismo autor.

Los sismogramas que proporcionaron los instrumentos de Oaxaca, pueden calificarse de excelentes, son los registros característicos del tipo de macrosismo cercano. Desgraciadamente las tiras llegaron a nuestro poder mutiladas y el tiempo suministrado a los sismógrafos, está afectado de un error desconocido. Por esta circunstancia nos vemos imposibilitados para dar a conocer las fases del movimiento, pues ninguna utilidad reporta su conocimiento. Hemos medido los intervalos que a cada fase corresponden y son los siguientes:

$$\begin{aligned} (L - P)_N &= 29 \text{ segundos}; (L - P)_E = 29 \text{ segundos}; (M - L)_N = 12 \text{ segundos}; \\ (M - L)_E &= 10 \text{ segundos}; (C - M)_N = 6^m.12^s; (C - M)_E = 6^m.25^s; (F - C)_N = 27^m.08^s; \\ &(F - C)_E = 27^m.23^s. \end{aligned}$$

Semi-amplitudes y períodos de la onda máxima en ambas componentes: NS.: A m.m.=59.; T segs=3.; EW.: A m.m.=59, 5; T segs=3. Distancia epicentral: 249 Km.

La tira del sismógrafo vertical llegó en las mismas condiciones, los intervalos son:

$$\begin{aligned} (L - P) &= 30 \text{ segundos}; (M - L) = 20 \text{ segundos}; (C - M) = 3^m.45^s; (F - C) = 19^m.52^s \\ A &= 39,5^m; T = 4 \text{ segundos}; \text{ distancia epicentral: } 256 \text{ Km.} \end{aligned}$$

El principio fué impetuoso. Se desconocen las constantes instrumentales, excepción de la amplificación que era de 80 veces para las tres componentes.

Aplicación del método del Príncipe Boris Galitzin.—El suelo fué impetuosamente movido hacia el SE. y el sismógrafo vertical acusa un impulso inicial dirigido de abajo hacia arriba (+Z), por lo que la onda de llegada fué de compresión o externa y el epifoco quedó al NW. de Oaxaca; hechas las medidas del primer choque, resulta: $\text{tg. } i = \frac{A_w}{A_n} = \frac{1.5}{6_0} = 0.2500 = \text{tg. } 14^\circ 0.2'$; por lo que el azimut es: N. $14^\circ 02'$ W. Haciendo uso de la distancia epicentral de 249 Km., situamos el epifoco gráficamente con los datos de la estación de Oaxaca en el punto II, de la lámina II-B, figura 5., cuyas coordenadas son: $\varphi_{II} = 19^\circ 14' \text{ N.}$; $\lambda_{II} = 97^\circ 18' \text{ W.}$ de Greenwich. El punto así determinado, viene a quedar entre el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, por su latitud; pero su longitud está afectada de un error que se cuenta al E. del epifoco real del terremoto; lo que quizá se debió a un rozamiento de los émbolos de los amortiguadores del sismógrafo horizontal de Oaxaca, que se descubrió posteriormente en una visita de inspección a esa estación.

Las ondas P_1 fueron muy amplias, tuvieron un período de 2 segundos; la que se registró en segundo lugar fué muy intensa e igualó en amplitud a las ondas L, en la componente NS.

A los 24 minutos, 11 segundos del principio de las ondas P_1 , se registró el primer choque subsecuente del terremoto, bajo la forma de un microsismo instrumental cuyas ondas se sobrepusieron en las de la coda del registro principal que todavía no terminaba; este after-shock, fué registrado también como del mismo foco en la Estación Central a los 24 minutos, 16 segundos de la llegada de la primera onda a Tacubaya. Estos intervalos deberían ser iguales, si consideramos que fué igual la velocidad de las ondas P_1 en el terremoto y en el choque que le siguió, y si fué el mismo el foco de vibración; como hay una diferencia de 5 segundos, es probable que el reloj de la estación de Oaxaca, haya tenido un error de 4 segundos, porque la prefase para el after-shock en Oaxaca, mide 30 segundos en vez de 29 que corresponden a la fase (L—P) del movimiento principal. En los diagramas precedentes de Oaxaca se presentan dos choques subsecuentes, microsismos, además del que ya hicimos notar; en todos la duración de la fase (L—P) es de 30 segundos. Esto demuestra que las vibraciones procedan del mismo foco de estremecimiento, es decir, que prácticamente no hubo "migración

del foco;" hecho que comprueban los registros de los choques recurrentes obtenidos en la Estación Central; en los que, como se verá después, los valores del intervalo (L—P) variaron dentro de límites muy restringidos. Esto no sucedió con los choques subsecuentes del terremoto de Acambay-Tixmadejé, del 19 de noviembre de 1912, varios segmentos de la falla sismotectónica entraron sucesivamente en acción, convirtiéndose en nuevos focos de vibración, que se acercaban o alejaban al E. y al W. del primitivo foco del sacudimiento.

Antes de registrarse el terremoto de Chilchotla-Patlanalá en los diagramas de Oaxaca, los instrumentos registraron un microseísmo local característico de la región, pues son abundantes los registros de este tipo en la Estación de Oaxaca; la prefase duró 11 segundos y le corresponde una distancia epicentral de 82 Km.

3.—*Estación Sismológica de Jalapa, Ver.*—(Provisional.) Coordenadas: $\lambda = 96^{\circ} 54' 49''$ W. de Greenwich: $\varphi = 19^{\circ} 31' 35''$ N.; altura sobre el nivel del mar: 1,427 metros.

Dotación de instrumentos: un sismógrafo vertical Wiechert de 80 kilogramos.

La estación de Jalapa comenzó a prestar sus servicios algunos días después del terremoto del 3 de enero, en vista de la necesidad de registrar los choques recurrentes en los límites de la área megasísmica. Como no se tenía en disponibilidad otro instrumento más apropiado, se instaló un sismógrafo vertical de 80 kilogramos tipo Wiechert, en una pieza baja de la Escuela Industrial de señoritas en Jalapa.

Actualmente se ha quitado de ese lugar el instrumento para que forme parte de la dotación de una estación de segundo orden, que funcionará dentro de poco tiempo en el puerto de Veracruz, conforme a un proyecto de localización de las estaciones que forman el Servicio Sismológico Nacional, cuya reorganización y mejoramiento sobre bases verdaderamente racionales, es objeto preferente de la atención del actual director del Instituto Geológico de México.

Los after-shocks registrados en Jalapa, fueron poco numerosos, no tiene interés presentar una lista de ellos, porque ninguna ley preside a su presentación en el tiempo; pertenecen al tipo general de domésticos o locales, todos microsísmicos y no se pueden relacionar con los registros de las estaciones de Tacubaya y Oaxaca que no recibieron esos movimientos, porque provinieron de un foco demasiado superficial.

Del 21 al 24 de enero fueron registrados tres movimientos del mismo foco.

El día 21 por la noche (el diagrama no tiene tiempo) se registró con la fase (L—P)=5 segundos, que da una distancia epicentral de 37,4 Km. Su duración fué de 4 minutos 12 segundos; la semiamplitud de la onda máxima mide 5 milímetros y el período $T=1,2$ s. La onda de llegada fué de dilatación (—Z).

El día 22 por la noche a las 10h. 05 minutos (ca) (el diagrama no tiene tiempo), se registró un microsismo. (L—P)=4,6s., de donde la distancia epicentral es de 34,4 Km. Duración 3 minutos: $A=21$ m.m.; $T=1$ seg. no se distingue el signo del primer impulso.

La noche del 23 de enero a las 11 h., 15 m. (ca), se registró un microsismo: (L—P) =3 s., por lo que la distancia epicentral es de 22,4 Km.; duración 1 m. 30 s.; $A=0,5$ m.m.; $T=1$ seg. (?). No se distingue el signo del primer impulso.

Promediando los intervalos leídos en los anteriores registros, obtenemos (L—P)=4,2., que da una distancia epicentral de 31,4 Km.

Después de estos movimientos los registros fueron cada vez más raros. Sin embargo, dada la constancia de las fases (L—P) observadas en Tacubaya y en Oaxaca, que demuestran que el foco no se ha desalojado mucho a lo largo del accidente tectónico que lo produjo, hemos utilizado las indicaciones del sismógrafo de Jalapa para hacer una localización "retrospectiva" del epifoco

del 3 de enero por el método elemental de intersecciones, obteniendo gráficamente el punto III de la figura 5, lámina II.-B; cuyas coordenadas son: $\varphi_{III} = 19^{\circ} 16' N.$ y $\lambda_{III} = 97^{\circ} 05' W.$ de Greenwich. Las coordenadas del epifoco real localizado por las observaciones macrosísmicas sobre el terreno son: $\varphi_0 = 19^{\circ} 17' N. \pm 1'$ y $\lambda_0 = 97^{\circ} 09' \pm 2'$.

Los puntos I y II de la figura 5, lámina II.-B, se obtuvieron aisladamente por el método del Príncipe B. Galitzin para las estaciones de Tacubaya y de Oaxaca.

Empleando el método de intersecciones, sin recurrir a ningún procedimiento tendente a forzar favorablemente los resultados de las observaciones instrumentales, hemos obtenido un punto, el III, dentro de la isoseísta XI (lám. I.-B), que casi coincide con el centro de gravedad de esta área, lugar ocupado por la falla de Ocochochocan. Para tener a la vista estos resultados de las observaciones macrosísmicas y relacionarlos con las observaciones macrosísmicas sobre el terreno, que constan en la TERCERA PARTE de esta memoria, hemos formado el siguiente cuadro, refiriendo las localidades a los dos puntos más notables del relieve en la región estremecida el 3 de enero de 1920.

LOCALIDAD	Latitud	Longitud	OBSERVACIONES	METODO
I.....	19°32' N.	97°03' W.	Tacubaya, Est. Central.....	B. Galitzin.
II.....	19°14' "	97°18' "	Oaxaca, Oax	" "
III.....	19°16' "	97°05' "	Tacubaya, Oaxaca y Jalapa.	Intersecciones.
Falla de Ocochochocan..	19°17' "	97°09' "	Observaciones de campo.	
Cofre de Perote	19°30' "	97°08' "	Comisión Geográfica Expl.	
Pico de Orizaba.....	19°02' "	97°16' "	" " "	

Desgraciadamente no pudimos utilizar los diagramas de la estación de segundo orden de Mazatlán, Sin., porque los sismógrafos estaban en malas condiciones y el instrumento horizontal marcó una prefase que no correspondió absolutamente a la distancia epicentral.

4.—*Registros de los choques anteriores, recientes del mismo foco.*—No hay duda de que el área epicentral del 3 de enero pertenece a una región sísmica ya reconocida como tal, por sus movimientos anteriores, cuidadosamente recopilados y consignados en las efemérides sísmicas mexicanas del señor don Juan Orozco y Berra.

En la carta sísmica de la República Mexicana, publicada en 1892 por el Conde F. de Montessus de Ballore, se incluye la región que estudiamos (San Andrés Calchicomula-Jalapa), dentro de una extensa área que llega por el S. hasta el litoral de Oaxaca, área que por su sismicidad se coloca en segundo lugar, entre todas las regiones sísmicas de nuestro país, ocupando el primero el Estado de Guerrero.

Aquí nos referiremos únicamente a los choques premonitores que tuvieron una relación bastante íntima con el terremoto del 3 de enero. Los vecinos de Saltillo Lafragua y los de Chilchotla, recordaban después de la catástrofe del 3 de enero, que 2 meses antes se habían dejado sentir repetidos temblores en esas localidades, produciendo la alarma de las poblaciones por la frecuencia con que se sucedían y la intensidad de algunos de ellos. Este período sísmico se inició poco después del mediodía del primero de noviembre de 1919 y terminó en la madrugada del día siguiente, sintiéndose 16 movimientos en ese lapso de tiempo. En esta forma se inició el fenómeno sismotectónico que algunos días después había de manifestarse bruscamente y con grande intensidad.

El equilibrio que buscaban las capas superiores de la corteza, principió con movimientos pequeños que no fueron suficientes para evitar otro mayor y de graves consecuencias.

El péndulo de 17 toneladas de la Estación Central de Tacubaya, registró en noviembre, del 1.º al 2, nueve de los choques de la región epicentral Chil-

chotla-Patlanalá (Estado de Puebla); aunque algunos de ellos fueron perceptibles para las personas al SW. hasta Saltillo Lafragua y al NE., hasta Jalapa.

Damos a continuación las horas de llegada de los choques premonitores (T. M. G.) a la Estación Central, los intervalos L—P, las distancias epicentrales y el carácter de los movimientos por su aspecto en los diagramas. (Las fases constan en el catálogo de la Estación Central.)

NOVIEMBRE 1919	Componente	P.			L.-P.	Kilómetros	Carácter
		T.	M.	G.	Segundos		
1º	N.-S.	h.	m.	s.	26	227	II _v
..	E.-W.	19	35	06	25	220	..
2	N.-S.	1	42	51	25	220	III _v
..	E.-W.	1	42	51	24	212	..
..	N.-S.	1	49	32	25?	220	I _v
..	E.-W.	1	49	32	26?	227	..
..	N.-S.	2	16	34	26?	227	..
..	E.-W.	2	16	34	25?	220	..
..	N.-S.	3	01	22	26	227	..
..	N. S.	3	14	54	24?	212	..
..	N.-S.	3	19	58	22?	198?	..
..	N.-S.	3	47	27	28?	252?	..
..	N.-S.	8	14	32	Apenas visible.		

Nuestros últimos registros son ligeramente perceptibles en los diagramas. Los choques del primero al dos de noviembre, no fueron registrados por ningún otro instrumento.

Nótase la constancia de la duración de la fase (L.—P.) que se ha mantenido la misma para el registro del choque megasísmico del 3 de enero de 1920 y para los choques recurrentes.

En virtud de que la región Saltillo Lafragua, Cosautlán, no tiene vías de comunicación (falta servicio postal y telegráfico en Chilchotla, Quimixtlán, Patlanalá, Camuxapa y Barranca Grande), la Estación Central no tuvo conocimiento de los movimientos sentidos con tanta frecuencia en esa zona en el mes de noviembre de 1919; es seguro que debido a este aislamiento no se hayan tenido noticias anteriores de otros choques sísmicos de la misma región. En la carta sísmica de la República que ha estado en formación desde el año de 1909 en la Estación Sismológica Central de Tacubaya, anotamos en el año de 1911 algunos focos sísmicos cercanos a la zona epicentral que nos ocupa, por noticias telegráficas recibidas de Huatusco y Coscomatepec, Ver.

5.—*Choques recurrentes registrados en la Estación Central.*—Los movimientos sísmicos que siguieron al terremoto del día 3 de enero, no fueron numerosos si se compara ese período de inquietud, con el que ha seguido a otros megasismos. Durante las dos primeras horas que siguieron al choque principal, fueron incontables los sacudimientos en los lugares cercanos al epifoco. Por eso al preguntar a uno de los nativos de Chilchotla algo acerca de la duración del movimiento, dijo: “que había temblando durante dos horas.” Esta frecuencia decreció rápidamente durante los primeros días y después fueron escasos los temblores, que siempre estuvieron acompañados de ruidos subterráneos y seguidos de los que producían los nuevos derrumbes en las montañas, cuyo material superficial removido y fracturado había quedado en malas condiciones de estabilidad. La Comisión del Instituto Geológico que visitó la zona epicentral a mediados del mes de marzo, no tuvo ocasión de sentir ningún movimiento sísmico en 10 días de permanencia; sólo se oyeron algunos ruidos subterráneos en Chilchotla.

El período sísmico que despertó el terremoto de Acambay-Tixmadejé en 1912, se prolongó por más de un año y la frecuencia sísmica decreció con lentitud; pero en este terremoto, el equilibrio se restableció con mucha mayor rapidez. Uno que otro temblor se dejó sentir hasta mediados de marzo. La Estación Central registró algunos de los más intensos que siguieron al movimiento principal dentro de las primeras 48 horas en que aquél ocurrió.

Los after-shocks que acompañan a un terremoto, son interesantes para el estudio en el terreno y para el sismográfico, por las razones siguientes:

1.^a La variación de la duración del intervalo (L—P) puede servir para demostrar la migración del foco dentro del accidente tectónico que produjo el terremoto; y por tanto se pueden fijar las dimensiones de él o por lo menos las de su proyección en el terreno, como lo hemos hecho en el presente caso.

2.^a Facilita el trabajo del sismologista y le sirven de comprobación para adquirir seguridad sobre la lectura de la fase L—P, en el sismograma principal.

3.^a Si con el transcurso del tiempo los choques subsecuentes van teniendo una área macrosísmica más y más limitada, significará que los nuevos focos de sacudimiento son cada vez más superficiales.

4.^a Si el período sísmico formado por los after-shocks es largo y la frecuencia sísmica decrece conforme a una ley más o menos conocida a la que pueda asimilarse la curva del período de inquietud, será posible, dentro de límites restringidos y en el terreno de la probabilidad, pronosticar el tiempo en que estas sacudidas deberán desaparecer de la área epicentral.

5.^a El estudio dentro del área epicentral, haciendo uso de tromómetros apropiados, dará mucha luz sobre la localización más aproximada de los focos de estremecimiento y de su profundidad; y si las observaciones son numerosas pueden formarse las ecuaciones para calcular en lo sucesivo distancias epicentrales en las que intervengan las constantes más aproximadas en vista de la densidad y elasticidad de las rocas que forman el medio trasmisor de las ondas en el área epicentral.

En la zona que estudiamos decreció rápidamente la frecuencia sísmica, lo que significa que el movimiento máximo del 3 de enero restableció el equilibrio de una sola vez en las capas estructurales que sirven de soporte al compartimiento de la corteza en que se encuentra el epifoco.

Hemos utilizado los diagramas que trabajaron en la Estación Central inmediatamente después del terremoto y hemos construído la discontinua de la Fig. 4, Lám. III-B., que contiene 14 movimientos posteriores al terremoto. Este está representado por la línea gruesa y entre los que le siguen debemos distinguir: 1.^o las réplicas o sismos reflejados desde el anti-epicentro y cuya periodicidad obedeció bastante bien a la ley establecida por el sabio profesor don Emilio Oddone. La Estación Central registró tres que se representan en la discontinua de Gredner (Lám. III-B., Fig. 4) por ordenadas llenas de 5 centímetros de longitud; y marcadas con (R) en sus extremos; los intervalos de tiempo que mediaron entre el choque principal y cada dos de ellas fueron los siguientes: $P(R)_1 - P(\text{principal}) = 35\text{m.}, 14\text{s.}$; $P(R)_2 - P(R)_1 = 38\text{m.}, 39\text{s.}$; $P(R)_3 - P(R)_2 = 32\text{m.}, 11\text{s.}$ Estos intervalos tienen por promedio: 36m., 41s.; y este retardo de 2m., 41s., con respecto a la constante sísmica descubierta por el señor profesor Oddone puede explicarse por nuestra distancia epicentral (225 Km.) o por las perturbaciones que ocasionaron las ondas directas procedentes del mismo foco sobre las ondas reflejadas desde el anti-epicentro.

2.^o Constan en la discontinua que presentamos, los choques subsecuentes o recurrentes propiamente así llamados, representados por ordenadas llenas de 2 cm. de longitud. 3.^o Un temblor de "relais" o simpático, que se presentó a las 5h., 03m., 04s. (T. M. G.), del tipo doméstico, cuyo epifoco estuvo a 22 Km. de la Estación Central de Tacubaya y que fué sentido en esa ciudad, en la de México y en la población de San Angel, D. F., como macrosismo del grado IV y de breve duración, se representa en la figura citada por una ordenada puntuada. En diez horas fueron registrados 14 choques por el péndulo de 17 toneladas:

Número progresivo	P.		L-P	Kilometros	OBSERVACIONES
	T. M. G.	Segundos			
1.....	4 49 06	?	?	?	
2.....	5 00 04	27	234.29		Réplica (R) ₁
3.....	5 03 04	3	22.44		¿Del Ajusco?
4.....	0 13 04	?	?		I _v
5.....	5 38 43	?	?		Réplica (R) ₂
6.....	6 04 45	?	?		I _v
7.....	6 10 54	26,5	230.68		Réplica (R) ₃
8.....	7 23 10	26	227.02		I _v
9.....	8 36 58	26,7	232.11		I _v
10.....	8 44 21	?	?		I _v
11.....	8 57 19	28,5	245.20		I _v
12.....	10 06 51	26	327.02		II _v
13.....	10 39 58	26,5	230.08		I _v
14.....	13 20 39	26	227.02		II _v

Después se registraron otros 3 choques en el péndulo de 17 toneladas, el primero, a las 18h., 27m., 59s. (T. M. G.), del día 4, su prefase fué de 25 segundos, que corresponde a una distancia epicentral de 219,75 Km.; es un microsismo de fases bien definidas; los otros 2 ocurrieron el día 5 de enero a las 3h., 46m., 42s., y a las 7h., 15m., 00s. (T. M. G.), siendo sus prefases de 26 segundos y de 27,5 segundos y sus distancias epicentrales respectivas de 227,02 y 234,29 Km.; estos movimientos fueron apenas perceptibles en el diagrama. Así se cerró el registro de after-shocks en la Estación Central.

Posteriormente, el 28 de agosto de 1920, la Estación Central registró un microsismo a las 10h., 14m., 27s. (T. M. G.), cuya prefase fué de 26,5 seg. y su distancia epicentral de 230,68 Km.; este terremoto fué sentido con violencia en la región epicentral del 3 de enero. Particularmente hemos obtenido informes por vecinos de Saltillo Lafragua, de que no han cesado desde enero, los movimientos sísmicos. En Chilchotla y en Patlanalá han sido frecuentes los ruidos subterráneos. En el Valle de Chilchotla, los temblores recientes de junio y julio del año actual, han producido el alumbramiento de aguas subterráneas; y se nos ha asegurado que al pie de las montañas se han formado ciénegas.

B.

Observaciones instrumentales extranjeras

Deseando el señor Director del Instituto Geológico de México, que la información acerca de este terremoto fuese lo más completa que se pudiera hacer, solicitó de los señores directores de los observatorios e instituciones oficiales y privadas que se ocupan de las observaciones sísmicas, sistemáticas, datos acerca de los registros que hubiesen obtenido con motivo de esta perturbación. Han llegado a nuestro poder los datos de cinco estaciones extranjeras: Spring Hill College, Mobile, Alabama; St. Louis University, St. Louis, Mo., George Town University, Washington, D. C.; Harvard University, Cambridge, Mass; y Ottawa, Dominion Observatory. Los datos son muy escasos, y no es que haya sido desairada su solicitud, sino que una característica del sacudimiento del 3 de enero, fué precisamente la de que sus ondas no se propagaron demasiado lejos del epicentro. En cartas muy atentas, los señores directores de algunas instituciones, manifestaron que sus instrumentos no habían registrado el terremoto; mencionaremos entre estas cartas las siguientes: del señor doctor don Eduardo Fontseré, Director del Observatorio de Fabra, Barcelona, quien hace notar que tampoco se registró en ninguna de las estaciones españolas; del señor Director, de la Weather Bureau, Central Office de Manila, Islas Filipinas, profesor don Miguel Saderra y Masó S. J.; del señor Director del

Observatorio de la Plata, profesor don J. Aguilar; del señor Director del Observatorio Nacional del Río de Janeiro, Brasil, don Henrique Morez; del señor Director de la Hauptstation Für Erdbebenforschung am Physikalischen Stats-Laboratorium zu Hamburg, profesor y doctor R. Schütt, quien dice que el temblor mexicano proporcionó un registro demasiado débil, las estaciones italianas no lo registraron. Esto constituye una prueba de que el foco del terremoto fué muy poco profundo, además de las que presentaremos en la tercera parte de esta memoria. Daremos a continuación los datos de las cinco estaciones mencionadas en primer lugar, transcribiendo algunas de las opiniones autorizadas que emiten acerca de los registros los distinguidos sismólogos: J. B. Woodworth, F. A. Tondorf S. J. y Cyril Ruhlmann S. J.

1.—SPRING HILL COLLEGE, MOBILE ALABAMA

Coordenadas, latitud $30^{\circ} 41' 44''$ N.; longitud $88^{\circ} 08' 46''$ W. de Greenwich. Altura sobre el nivel del mar, 60 metros. Instrumento: Wiechert 80 kilogramos. (La componente NE. no está amortiguada.)

ENERO 1920	FASES EN TIEMPO MEDIO DE GREENWICH			Fin	Amplitud T.			Km.
	Pe.	S ó L	M.		E.	N.	S.	
4	h. m. s. 4 26 48	h. m. s. 4 29 14	h. m. s. 4 29 18	h. m. s. 4 43 00	5.3	5.3	3.5	1,410?

“De México: registro peculiar. Período corto; PS. tienen el mismo período (3.5); intervalo S—P muy corto; falta L; E. amortiguada; N. sin amortiguamiento, dieron registros idénticos, parecen ser una superposición de ondas P. de diferentes choques.”

Director *Cyril Ruhlmann S. J.*

El señor Ruhlmann manifiesta además, que la distinción de P. y S. es muy clara, siendo la misma la lectura sobre ambas componentes, aunque la N.—S. no estaba amortiguada, lo que se explica por el período demasiado corto de las ondas. Después añade, y esto es importante para nosotros, “los temblores mexicanos me dan muy raras veces una distinción entre S. y L. ¿es esto porque entre nosotros no hay otra cosa que agua?”

Esta misma dificultad la hemos experimentado en la Estación Central de Tacubaya, cuando se registran movimientos de la América Central, cuyas distancias epicentrales oscilan entre 1,000 y 2,000 Km. y en estos casos, el medio trasmisor de las ondas no es siempre el fondo del Océano, sino el banco continental; es posible que se trate de una constante desconocida entre los intervalos de emergencia de las ondas S. y de la llegada de las ondas L., lo que podía aclararse cubriendo con puntos de observación, el espacio que media entre nuestras estaciones actuales y las del país vecino, circunstancia que ya se ha tomado en consideración al discutirse un proyecto de reinstalación de estaciones sismológicas en México y que se realizará en breve.

2.—ST. LOUIS UNIVERSITY, ST. LOUIS MO.

Coordenadas: latitud $38^{\circ} 38' 17''$ N. Longitud $90^{\circ} 13' 58''$, 5 W. de Greenwich. Instrumento Wiechert de 80 kilogramos (astático horizontal). Tiempo medio de Greenwich.

Enero 4 de 1920.

P_n : 4^h. 26^m. 85 P_s : 4^h. 26^m. 85
 S_n : 4^h. 30^m. 55 S_s : 4^h. 30^m. 70

"L no se distingue en ninguna de las dos componentes."

$$M_N = 4^h.37^m.5$$

$$M_N = 4^h.37^m.5$$

$$F = 4^h.58^m$$

$$\Delta = 2,310 \text{ kilómetros.}$$

Director, *J. B. Goesse, S. J.*

3.—GEORGETOWN UNIVERSITY, WASHINGTON, D. C.

Coordenadas: latitud: $38^\circ 54' 25''$ N.; longitud: $77^\circ 04' 24''$ W. de Greenwich; altura sobre el nivel del mar: 42,4 metros.

ENERO 4 1920	FASES EN T. M. G.			FIN	Kilómetros
	Pe	S.	eL.		
Componente E.-W.....	h. m. s. 4 27 53	h. m. s. 4 32 52	h. m. s. 4 35 18	h. m. s. 5 20 00	3,230
„ N.-S.....	4 27 53	4 32 46	4 35 18	5 20 00	3,140

"No se distingue M. No hubo porción principal en el diagrama."

Director, *F. A. Tondorf, S. J.*

4.—HARVARD UNIVERSITY, CAMBRIDGE, MASS.

Coordenadas: latitud: $42^\circ 22' 36''$ N.; longitud: $71^\circ 06' 59''$ W. de Greenwich; altura sobre el nivel del mar: 7 metros. (Amortiguamiento magnético $1\frac{1}{2} : 1$.)

"Las ondas eP. tuvieron en ambas componentes horizontales, un período de 2 segundos; las iP. de 3 segundos en la componente EW. Las S. de 6 segundos en ambas componentes; y las ondas L. de 13 segundos, así como la M. en la componente EW."

ENERO 4 1920	FASES EN TIEMPO MEDIO DE GREENWICH					FIN	AMPLITUD		T. s.	Distancia epicentral
	eP.	iP.	S.	eL.	M.		E.	N.		
Comp. E.-W.	h. m. s. 4 28 37	h. m. s. 4 28 45	h. m. s. 4 33 56	h. m. s. 4 37 07 ?	h. m. s. 4 46 39	4 45 (ca.)	2.5	2.5	13	3,520 Kms.
Comp. N.-S...	4 28 40	4 28 49	4 33 56	4 37 07 ?	.....	.....	.....	.....	...	3,530 ..

"Los registros fueron considerablemente perturbados por microsismos que tenían período de 6 segundos, de tal manera que la emergencia de las ondas P. fué obscura, excepto para las iP. en las que se marcó un brusco impulso y un aumento de amplitud. Se encuentra sobre ambos registros, una débil huella de pequeñas vibraciones superpuestas sobre las ondas microsísmicas y aparecen algunos segundos antes que iP. Estas pequeñas vibraciones tienen períodos de 2 segundos y son las eP." El señor profesor J. B. Woodworth en carta anterior al envío de las fases del movimiento, que ya presentamos, tiene algunos conceptos de significante importancia para la sismología: "El carácter del registro en esta estación, la de Harvard, recuerda el del temblor que destruyó Cartago de Costa Rica en 1910. Indicó una intensidad débil a la distancia, TAL ES CON FRECUENCIA EL CASO DE LOS CHOQUES FUERTEMENTE SENTIDOS CERCA DE LAS ESTRUCTURAS POCO PROFUNDAS DE UN CONO VOLCANICO."

Es muy notable el caso de que el distinguido profesor de geología de Harvard, haya penetrado tan claramente en algunas de las condiciones tectónicas y estructurales que tuvo el terremoto del 3 de enero al producirse, bastán-

dole solamente la fisonomía y la interpretación de los registros obtenidos en Harvard, mucho antes de recibir informaciones dignas de crédito sobre la naturaleza del fenómeno. Hay más todavía, al referirse a la intensidad del megasismo, recuerda la catástrofe de Cartago de Costa Rica y ya veremos en el capítulo VI de la tercera parte, que el terremoto que estudiamos se acerca más al de Costa Rica que a cualquier otro de los que se han hecho memorables en los últimos años, por lo que respecta a la energía cinética desarrollada en ambos movimientos terrestres.

En otro párrafo de la misma carta (30 de enero de 1920), el señor profesor Woodworth trata el asunto de la propagación de las ondas, como ya dijimos que lo hace el señor profesor C. Ruhlmann de Mobile, Alabama, y se expresa en los siguientes términos:

“No puedo resistir la tentación de pensar que nuestras tablas de velocidad de propagación de las vibraciones P. y S. no son correctas para los temblores mexicanos. Las vibraciones que llegaron a la estación de Harvard del temblor del 3 de enero, atravesaron la corteza, abajo del fondo del Golfo de México y por consecuencia aproximadamente bajo el eje de la cadena montañosa de los Appalaches, que recorre la parte oriental de Estados Unidos; si esta estructura afectó la velocidad de propagación a la profundidad de las trayectorias de P. y S., aparentemente aumentó la velocidad más bien que haber decrecido; y por tanto, el intervalo S—P fué más corto que el normal y la distancia epicentral dada por las tablas será demasiado corta; y finalmente, el tiempo de presentación demasiado retardado.”

Es ciertamente posible que la velocidad de las ondas, al penetrar a la profundidad, en el macizo montañoso de los Appalaches, se incremente, porque el granito, gneiss, esquistos cristalinos, etc., que forman el zócalo de la cordillera, tienen mayor elasticidad que los terrenos volcánicos terciarios o que las calizas cretácicas. Finalmente, el señor profesor Woodworth localiza el epifoco del terremoto mexicano por intersección del arco que fija la distancia epicentral de 3,530 Km. con el círculo máximo que pasa por Cambridge y el Pico de Orizaba; y obtiene un punto a 40 Km. al N. 38° E. del Pico de Orizaba, es decir, señala un lugar muy próximo a Barranca Grande, Ver., dentro de la isoseista X del terremoto. (Véase la lámina I-B.)

5.—OTTAWA, EARTHQUAKE STATION, DOMINION OBSERVATORY

Coordenadas: latitud, 45° 23' 38" N.; longitud, 75° 42' 57" W. de Greenwich; altura sobre el nivel del mar: 83 metros. Enero 4 de 1920.

FASES EN TIEMPO MEDIO DE GREENWICH			FIN	Distancia epicentral
eP.	eS.	eL?		
h. m. s. 4 28 39	h. m. s. 4 33 52	h. m. s. 4 37 42	h. m. s. 5 15 00	3,440 kilómetros.

Las ondas S. parecen contener las ondas P. de corto período de un segundo temblor superpuesto al primero. Las ondas L. tuvieron un período de 15 segundos.

Director: *Ernest A. Hodgson.*

Al tratar de los registros de Spring Hill College, ya vimos que el señor Prof. Ruhlmann hace notar que parecen estar formados de ondas que provinieran de choques diferentes.

Ya para dar por terminado este capítulo y cuando habíamos perdido la esperanza de obtener mayor número de datos, recibimos el Bulletin of the Sismographic Stations of The University of California, número 19 del 29 de septiembre de este año, publicado en Berkeley, que contiene las observaciones hechas en las estaciones de Berkeley y de Lick, California.

Hemos juzgado oportuno introducir aquí los datos del catálogo de las estaciones mencionadas y la discusión que de los registros del terremoto del 3 de enero hace el Sr. Prof. Lewis A. Bond.

6.—BERKELEY STATION, CALIFORNIA

Coordenadas: latitud, 37° 52' 15" 9 N.; longitud, 122° 15' 36" 6 W. de Greenwich; altura sobre el nivel del mar, 85.4 metros. Las fases están dadas en Tiempo Medio Civil de Greenwich.

1920	Carácter	FASES	T. M. C. G.	T. s.	AMPLIACION			Distancia epicentral
					A _E	A _N	A _V	
Enero 4....	III _r	O.	h. m. s. 4 22 04	3,170 kilómetros.
" 4....	"	e P _N	4 28 18					
" 4....	"	e P _E	4 28 22					
" 4....	"	e P _V	4 28 16					
" 4....	"	e S _N	4 33 13					
" 4....	"	e S _E	4 33 11					
" 4....	"	e L _N	4 36 02					
" 4....	"	M _N	4 41 59	14	.....	101	
" 4....	"	M _E	4 41 52	10	132			
" 4....	"	M _V	4 41 41	10	.....	.....	53
" 4....	"	F.	4 05 (ca.)					

7.—THE LICK OBSERVATORY STATION, CALIFORNIA

Coordenadas: latitud, 37° 20' 24".5 N.; longitud, 121° 38' 34" W. de Greenwich; altura sobre el nivel del mar, 1,287.7 metros.

1920	Carácter	Fases	T. M. C. G.	T. s.	Amplitud			Distancia epicentral
					A _E	A _N	A _V	
Enero 4....	III _r	e P _N ?	h. m. s. 4 29 08					
" 4....	"	M _{n1}	4 38 46			21		
" 4....	"	M _{n2}	4 40 56			22		
" 4....	"	M _e	4 40 55		48			
" 4....	"	F	4 57					

"No se registró el movimiento en la componente vertical."

"El 4 de enero un choque sísmico destructor se registró en México. Las noticias de la prensa localizaron el área de la perturbación máxima en las cercanías del volcán de Orizaba, cerca de 70 millas al W. de Veracruz. Los registros del movimiento en las estaciones de Berkeley y del Observatorio de Lick presentan algunas peculiaridades interesantes."

"En la estación de Berkeley, la energía transmitida por el choque no fué suficiente para registrarse en los diagramas del tromómetro de Omori, pero los sismogramas del vertical Wiechert y de las componentes NW. y EW. de los instrumentos Bosch-Omori proporcionaron en conjunto un registro bastante satisfactorio del temblor."

"En el momento de la llegada de las ondas P., fueron registrados algunos microsismos persistentes por las componentes horizontales. Estos no aparecieron en la vertical; y aquí se registró una excelente "emersio" de las ondas P. a las 4 h., 28 m., 16 s. Durante algunos segundos antes del movimiento, pudieron distinguirse microsismos registrados por ambas componentes horizontales. Excepto en la componente vertical, las amplitudes de las ondas P. son excesivamente pequeñas en comparación con las de las fases L. y S."

“En la componente EW. aparece a las 4 h., 33 m., 11 s., una nueva fase marcada por un incremento tanto en período como en amplitud. Una comparación con las otras componentes demuestra un cambio semejante de carácter, aunque menos claramente marcado y aproximadamente en el mismo tiempo. Esto constituye el único cambio apreciable en la naturaleza del registro antes de la llegada de las ondas largas. El cambio es por tanto interpretado como debido a la llegada de los segundos tremors preliminares.”

“La única guía para determinar el tiempo de “inicipción” de la fase principal se obtuvo del registro de la componente NS. En ella se presentaron las ondas de largo período a las 4 h., 36 m., 02 s., que aunque complicadas por la continuación del registro de las ondas S. por varios minutos, se incrementan bien pronto en amplitud y llegan a ser distintamente sinusoidales. La interpretación de este tiempo como el que corresponde al principio de la fase principal, está de acuerdo con la parte precedente del registro.”

“En las otras dos componentes, las ondas S. ocultaron efectivamente el principio probable de la fase principal; y no es sino dos minutos más tarde con respecto al tiempo dado anteriormente para la “inicipción” de las ondas L., cuando estas ondas principian a dominar en los registros.”

“La máxima ocurrió aproximadamente al mismo tiempo en las tres componentes. En el momento de la máxima, las ondas fueron de un período notablemente mayor en la componente NS. que en las otras dos componentes, estas últimas tuvieron períodos iguales. El desalojamiento máximo fué un veinticinco por ciento mayor en la componente EW. que en la NS.”

“Los registros de la estación de Lick fueron muy poco satisfactorios. Debido probablemente a un ajuste defectuoso de los instrumentos, fueron pobremente inscriptas las ondas y los registros son de poco valor para aprender algo de ellos.”

Director: *Lewis A. Bond.*

8.—LA FASE “CERO”

Con los datos anteriores hemos determinado para cada estación la fase “cero” del terremoto, haciendo uso de las tablas del señor profesor Otto Klotz, publicadas en Ottawa en 1916, y encontramos los resultados más divergentes, que nos hacen confirmar las irregularidades anotadas ya por los señores profesores Woodworth y Ruhlmann en los párrafos anteriores.

ESTACIONES	O.		P.		Kilómetros
	h.	m. s.	h.	m. s.	
Tacubaya, México, D. F.....	4	24 18	4	24 50	212
Spring Hill Coll. Mobile, Ala.....	4	23 46	4	26 48	1,400
St. Louis Univ., St. Louis Mo.....	4	22 04	4	26 51	2,310
Berkeley Station, California	4	22 07	4	28 16	3,170
Georgetown Univ., Wásh., D. C.....	4	21 40	4	27 53	3,185
Harvard Univ., Cambridge, Mass.....	4	21 54	4	28 37	3,530
Ottawa, Canadá.....	4	22 03	4	28 39	3,440 ?

Como se ve por los datos anteriores, las estaciones de San Louis Mo., Berkeley, Harvard y Ottawa, son las que proporcionan los tiempos más aproximados para la fase “cero,” de manera que la más probable será 4 h., 22 m., 01 segundos.

Con el material de que disponemos resultará infructuosa la construcción del hodógrafo, los datos son muy escasos y dentro del primer megámetro en torno del epifoco no contamos con otra estación que la de Tacubaya, precisamente dentro del espacio en donde son necesarias muchas observaciones.

9.—CONCLUSIONES SISMOGRAFICAS

a). El terremoto fué registrado por un pequeño número de estaciones, no existiendo registros de él a más de cuatro megámetros del epifoco; lo que demuestra que el foco o hipocentro fué poco profundo.

b). Dentro del área macrosísmica las estaciones de Tacubaya y de Oaxaca recibieron el choque inicial bruscamente y en la forma de una onda de compresión, dato sismográfico que unido al anterior confirma la poca profundidad del hipocentro.

c). Las ondas longitudinales que partieron del foco de sacudimiento tuvieron una longitud de 11,285 metros, dentro de los 250 Km. en torno del epifoco.

d). La localización del epifoco por el método del Príncipe Boris Galitzin, aplicado a las observaciones sismográficas de Tacubaya, estuvo afectada de un error de azímut, debido a que los sismógrafos solamente están orientados según las direcciones cardinales principales, necesiéndose que algunos de ellos ocupen posiciones intermediarias para recibir el rayo sísmico en las condiciones más favorables. El mismo método aplicado a los sismogramas de la Estación Sismológica de Oaxaca, condujo a un resultado erróneo por el desajuste de los amortiguadores del sismógrafo horizontal.

e). Los intervalos L—P que correspondieron a los choques premonitores del 2 de noviembre de 1919, al choque principal del 3 de enero y a los choques recurrentes, fueron bastante concordantes para fijar la proyección horizontal del accidente tectónico que produjo el gran terremoto, demostrándose además que no hubo migración del foco. La misma constancia se observó en los registros de las estaciones de Oaxaca y de Jalapa.

f). Por el método elemental de intersecciones y dado que no hubo migración del foco, fué posible la localización retrospectiva del epifoco con resultados satisfactorios, pues coinciden las coordenadas geográficas así determinadas (Lám. 2-B, figura 5. Punto III), con las de la parte media del plano de Falla de Ocochoacan, accidente sismotectónico que ocupa el centro de gravedad de la área pleistósística del 3 de enero.

g). En vista de que las variaciones de los intervalos L—P de los choques anteriores y posteriores al terremoto se verificaron dentro de límites muy restringidos, fijamos las dimensiones de la línea de falla que entró en actividad sismogénica; los intervalos oscilan entre 22 y 28 segundos, lo que demuestra que la dovela movida mide 45 kilómetros más o menos de Oriente a Poniente, ocupando la parte media de esta longitud la falla de Ocochoacan.

h). El carácter de los registros obtenidos en las estaciones extranjeras, imprimen al terremoto la particularidad común de haber proporcionado sismogramas con ondas superpuestas que parecían provenir de choques distintos.

i). La dificultad para demarcar las fases S. y L. en los terremotos mexicanos cuando sus registros se hacen en estaciones situadas de 2,000 a 3,000 kilómetro del epifoco, es la misma que ya hemos observado para distinguir la llegada de las ondas S. y la de la fase principal, cuando se trata de terremotos cuyos epifocos se localizan en la América Central. Se hace necesaria la liga entre el centro de nuestro país y el N. por medio de punto de observación de que ahora carecemos para descubrir la constante que debe introducirse en las fórmulas que empleamos para calcular distancias epicentrales.

j). El momento físico en que las ondas longitudinales emergieron en el epifoco o sea la fase "cero," fué a las 4 h., 22 m., 01 s. (T. M. G.), como la más probable.

Tacubaya, D. F., 3 de octubre de 1920.

H. Camacho.—M. Muñoz Lumbier.